

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne oppgaven er siste del av et masterstudium i Industriell Økonomi ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Oppgaven er rettet mot bygg- og arkitektur, og er skrevet ved Instituttet for matematiske realfag og teknologi. Den tar for seg oppfølgingen av prosjekterte energiltak i byggefasen, og er et samarbeidsprosjekt med Veidekke på prosjekt, Ås Kvartal 5.

I denne oppgaven er det flere bidragsytere. Jeg ønsker spesielt å takke min veileder Thomas This for god veiledning. Videre rettes en stor takk til Tormod Aurlien og Dimitris Kraniotis for råd og støtte rundt testing av forsøkene. Fra Veidekke rettes en takk til samtlige som har bidratt med oppgaven. En spesiell takk til Marikken Dølven for assistanse ved gjennomføring av forsøk og all støtte rundt oppgaven.



Ås, 12. desember 2012

Mats C. J. Strand

Sammendrag

Målet med denne oppgaven har vært å ta for seg oppfølgingen av de prosjekterte energiltakene for kontorlokalet på Ås kvartal 5. Oppgaven bevisstgjør avvikene mellom den prosjekterte og virkelige energiberegningen. Det er tatt i bruk simuleringsverktøy, termografi og lufttetthetsmåler for å oppdage, analysere og forbedre avvikene på en mest kostnadseffektiv måte. Med avvik menes de resultatene som er gjeldene for at prosjektet ikke tilfredsstillt sitt mål om energikarakter A.

Grenseverdien for kontorbygg etter dagens ordninger er på 84 kWh/m^2 , mens den prosjekterte energisimuleringen oppgaven tar utgangspunkt i har et energibehov på 83 kWh/m^2 . Beregninger og målinger danner grunnlaget for oppgavens energisimulering. Det forventede energibehovet oppgaven har beregnet er 126 kWh/m^2 som tilsvarer energikarakter B. En vurdering av energisimuleringen viser et potensial for energieffektivisering ved isolering, eliminering av kuldebroer, tetting av luftlekkasjer og optimalisering av energiforsyningen. Oppgaven fastsetter tre energiltak innen hver av kategoriene nevnt over, som gir størst nytte for energibehovet. Det blir foretatt egne beregninger for optimalisering av konstruksjonsdeler og normalisert kuldebroverdi, og siden ingen av tiltakene oppnår målet blir et fjerde tiltak tatt i bruk. Dette tiltaket er basert på bruk av energieffektive og realistiske løsninger for å nå målet. Det fjerde tiltaket er dannet ved å kombinere flere av tiltakene som allerede er benyttet. Det vil si å eliminere kuldebroer, isolere, tette lekkasjer, bytte til VAV-anlegg og benytte solfanger og varmepumpe som energiforsyning. Resultatet er et energibehov på 84 kWh/m^2 som tilsvarer energikarakter A. Dette er det mest kostnadseffektive tiltaket med en total kostnad lik kr 720 749.

Abstract

The target of this study was to examine the implementation of the projected energy measures in office at Ås Kvartal 5. The task raises awareness at the differences between projected and actual energy calculation. There has been used simulation tools, thermal imaging and air tightness measures to detect, analyze and improve the deviations in the most cost effective manner. A deviation means that the result of the project does not meet its target of energy rating A.

The limit value for offices at current schemes is 84 kWh/m². The result of the projected energy calculation is 83 kWh/m² per year. The calculations and measurements form the basis of the energy simulation. The expected energy requirement is 126 kWh/m² equivalent to energy rating B. An assessment of the energy calculation shows a potential for improving energy efficiency by insulation, eliminating cold bridges, sealing air leaks and optimize energy supply. The task considers three energy initiatives within each category mentioned above, which provides the greatest benefit to energy requirement. Calculations are made for optimization of structural components and the value for normalized cold bridges. Since the initiatives fail to reach the target, a fourth initiative is used. This initiative is based on using energy efficient and realistic solutions to reach the target. By combining several of the measures already calculated, the fourth initiative is put together. This fourth initiative includes eliminate thermal bridges, use insulate, seal leaks, switch to VAV systems and use solar and heat pump as energy systems. The result is an energy requirement of 84 kWh/m² equivalent to energy rating A. This is the most cost-effective initiative with a total cost equals to 720 749 NOK.

Innholdsfortegnelse

Definisjoner	9
1. Problemstilling for oppgaven	11
1.1 Problemstilling.....	11
1.2 Bakgrunn	11
1.3 Avgrensinger	12
2. Teori	13
2.1 Beregning av energiytelse	13
2.1.1 Krav til energieffektivitet – TEK 07	13
2.1.2 Krav til energieffektivitet – TEK 10	16
2.1.3 NVEs Energimerkeordningen	18
2.1.4 NS 3031: 2007 Beregning av bygningers energiytelse	20
2.2 Verktøy	22
2.2.1 Termografering.....	22
2.2.3 Lufttetthetsmåling	23
2.2.3 Energisimulering	25
2.3 Energiforsyning	27
2.3.1 Elektrisitet	27
2.3.2 Fossile brensel	27
2.3.3 Fjernvarme	27
2.3.4 Varmepumpe	28
2.3.5 Solenergi.....	28
2.3.6 Biobrensel - pellets, ved og briketter	29
2.4 Bygningsmessige energiltak.....	29
2.4.1 Varmeisolering	29
2.4.2 Energieffektivt ventilasjonsanlegg.....	29
2.4.3 Energieffektive vinduer.....	30
2.4.4 Kuldebrobrytere	30
2.4.5 Solskjerming.....	30
2.4.6 Tetting av luftlekkasjer.....	30
2.4.7 Sluser ved inngangen	31
2.4.8 Energieffektive lys	31
2.4.9 Plassering av bygning.....	31

2.4.10	Lavemitterende materialer.....	31
2.4.11	Vindskjerming.....	31
2.5	Behovstyrte energiltak.....	31
2.5.1	Behovstyrt lys og tekniske utstyr	32
2.5.2	Behovstyrt varme	32
2.5.3	Behovstyrt ventilasjon (VAV)	32
2.5.4	Vannbesparende utstyr	32
3.	Metoder og verktøy	33
3.1	Numerisk metode - Therm 5.2.....	34
3.2	Termografering.....	37
3.3	Lufttetthetsmåling.....	38
3.4	Energisimulering - SIMIEN	41
3.5	VAP – Kostnadberegning.....	42
4.	Ås kvartal 5	43
4.1	Beskrivelse.....	43
4.2	Tegningsgrunnlag	45
4.3	Prosjekterte energiltak.....	46
4.4	Beregning og vurdering av bygningens tilstand	47
4.4.1	Bygningsfysikk - Lekkasjetall.....	47
4.4.2	U-verdi og normalisert kuldebroverdi - THERM.....	49
4.5	Fordeler ved et kombinasjonsbygg.....	56
4.5.1	Gulv mot grunn istedenfor kjeller	56
4.5.2	Tak over hele kontoret.....	56
4.5.3	Yttervegger rundt hele kontoret	57
4.5.4	Optimal plassering for kontoret.....	57
5.	Resultater.....	57
5.1	Termografering i bygningsfasen.....	57
5.2	U-verdi og normalisert kuldebroverdi	60
5.2.1	U-verdi konstruksjonsdeler -THERM.....	60
5.2.2	Normalisert kuldebroverdi	65
5.2.3	Optimalisering av energiltak.....	66
5.3	Lufttetthetsmåling.....	83
5.4	Energisimuleringer - SIMIEN	84

6.	Energieffektivisering av kontorlokalet.....	86
6.1	Energiltak	86
6.1.1	Tiltak 1 - Isolering.....	87
6.1.2	Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer.....	87
6.1.3	Tiltak 3 - Energiforsyning	88
6.1.4	Tiltak som leder til energikarakter A	88
6.2	Kostnadsberegning som følge av energiltak	88
6.2.1	Tiltak 1 - Isolering.....	88
6.2.2	Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer.....	89
6.2.3	Tiltak 3 - Energiforsyning	90
7.	Resultater for energiltak.....	90
7.1	Tiltak 1 - Isolering	90
7.1.1	Optimalisering av isolering	90
7.1.2	Energikarakter	92
7.2	Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer	93
7.3	Tiltak 3 - Energiforsyning	94
7.4	Tiltak 4 - Leder til energikarakter A.....	95
7.5	Energisimuleringer - SIMIEN	96
8.	Diskusjon.....	98
8.1	Metode og verktøy	98
8.1.1	Lufttetthetsmåling	98
8.1.2	Kostnadsberegning	99
8.1.3	SIMIEN	99
8.2	Resultater	100
8.2.1	U-verdi og normalisert kuldebroverdi.....	100
8.2.2	Optimalisering av energiltak.....	100
8.2.3	Termografering.....	101
8.2.4	Lufttetthetsmåling	101
8.3	Regelverk.....	102
8.4	Energisimulering - SIMIEN	102
8.4.1	Prosjektert energisimulering	102
8.4.2	Oppgavens energisimulering.....	103
8.4.3	Tester av Kombinasjonsbygninger.....	103

8.4.4	Energiltak	104
9.	Konklusjon	105
10.	Videre arbeid	106
11.	Referanser.....	107
11.	Vedlegg	109

Figurliste

Figur 1: Prosedyre for beregning i henhold til NS 3031 ⁴	21
Figur 2: Prinsippet for trykkmetoden ¹⁵	23
Figur 3: Bilde til venstre viser en liten lekkasje med turbulent strømning, mens bilde til høyre viser en stor lekkasje med laminær strømning	24
Figur 4: Trykktesting av bygning med samme trykkforskjell	25
Figur 5: En plantegning av et kombinasjonsbygg	27
Figur 6 Oversikt av befaringer for kontorlokalet	33
Figur 7: Flytskjema av metode for masteroppgaven	34
Figur 8: Termograferingskamera (FLIR InfraCam) som ble benyttet ³³	37
Figur 9: Minneapolis Blower Door i hovedinngang for kontorlokalet	38
Figur 10: Tetting av ventilasjon i kontorlokalet (bilde til venstre og midten skaper viften undertrykk, mens det skapes overtrykk på bildet til høyre)	39
Figur 11: Kontorlokalet med vifte og måleinstrumenter, rød og svart linje som viser grensen for måling og blå som skiller påbygg og eksisterende bygning (av Mats C. J. S. i Archicad)	41
Figur 12: To metoder å gjennomføre energiberegning (av Mats C. J. S.)	42
Figur 13: Kart og flyfoto med beskrivelse av Ås Kvartal 5 ³⁶	43
Figur 14: Tegninger av bygningen (av Mats C. J. S. i Archicad)	44
Figur 15: Plantegning av kontorlokalet ³⁸	45
Figur 16: Fasade mot sør ³⁸	46
Figur 17: Fasade mot vest ³⁸	46
Figur 18: Fasade mot nord ³⁸	46
Figur 19: Tegning av Ås kvartal 5, hvor rød er påbygg, blå er eksisterende og grønn er resterende bygning (tegnet i SketchUp av Mats C.J.S.)	47
Figur 20: Åpning i overgangen mellom eksisterende bygning og påbygget (bilde av Mats C.J.S.)	48
Figur 21: Overgangen mellom eksisterende og påbygget (bilde av Mats C.J.S.)	48
Figur 22: Åpning og gamle rør med lekkasje i eksisterende del (bilde av Mats C.J.S.)	49
Figur 23: Montering av vinduer i eksisterende del (bilde av Mats C.J.S.)	49
Figur 24: Snittegning av eksisterende vegg mot gulv ³⁸	50
Figur 25: Snittegning av eksisterende vegg mot etasjeskiller ³⁸	51
Figur 26: Snittegning av påbygd vegg mot gulv ³⁸	51
Figur 27: Snittegning av påbygd vegg mot tak ³⁸	52

Figur 28: Snittegning av påbygd søyle mot tak fra THERM	53
Figur 29: Snittegning av påbygd søyle mot gulv fra THERM	53
Figur 30: Snittegning av eksisterende drager mot vegg fra THERM.....	54
Figur 31: Snittegning av eksisterende hjørne fra THERM	54
Figur 32: Snittegning av eksisterende vegg ned i kontoret fra THERM.....	55
Figur 33: Snittegning av stålsøyle i påbygd vegg hentet fra Kuldebroatlasen ¹⁷	55
Figur 34: Snittegning av hjørne i påbygg hentet fra Kuldebroatlasen ¹⁷	56
Figur 35: Termografering i tidlig bygningsefase (t.v. vegg mot gulv, midten drager og t.h. vinduskarm).....	57
Figur 36: Kuldebroer der vegg møter etasjeskiller.....	58
Figur 37: Kuldebro i hjørnet og der gulv møter vegg	58
Figur 38: Termografi av overflate vegg i eksisterende del	58
Figur 39: Termografi av søyle møter drager i eksisterende bygning	59
Figur 40: Termografi av hjørne i eksisterende bygning	59
Figur 41: Kuldebro i vinduskarm i påbygd del	59
Figur 42: Temperaturforskjell i vegg mot gulv i eksisterende bygning	60
Figur 43: Temperaturforskjell i vegg mot etasjeskiller i eksisterende bygning.....	61
Figur 44: Temperaturforskjell i vegg mot gulv i påbygget del	62
Figur 45: Temperaturforskjell i vegg mot tak i påbygget del.....	62
Figur 46: Temperaturforskjell i søyle mot tak i påbygget del.....	63
Figur 47: Temperaturforskjell i søyle mot gulv i påbygget del.....	63
Figur 48: Temperaturforskjell vegg mot drager i eksisterende bygning	64
Figur 49: Temperaturforskjell i hjørne på eksisterende bygning	64
Figur 50: Temperaturforskjell for eksisterende vegg ned i bygning	65
Figur 51: Eksisterende vegg mot gulv med tiltak.....	67
Figur 52: Eksisterende vegg mot tak med tre isoleringstiltak	69
Figur 53: Påbygd vegg mot gulv med to isoleringstiltak	71
Figur 54: Påbygd vegg mot gulv med to isoleringstiltak	73
Figur 55: Påbygd søyle mot tak med et isoleringstiltak	75
Figur 56: Påbygd søyle mot gulv med to isoleringstiltak.....	76
Figur 57: Eksisterende vegg mot drager med tre isoleringstiltak.....	78
Figur 58: Eksisterende hjørne med et isoleringstiltak	80
Figur 59: Eksisterende vegg ned i kontoret med to isoleringstiltak	82
Figur 60: Graf med målinger av lekkasje ved ulike trykkforskjeller for kontorlokalet	83

Figur 61: Varmetapsbudsjett for kontorlokalet fra SIMIEN	86
Figur 62: Totalkostnad for isolering av bygning vist i VAP	89
Figur 63: Energimerket ved å benytte tiltak 1 - isolering	92
Figur 64: Energimerket ved å benytte tiltak 2 - tetting av luftlekkasjer	93
Figur 65: Energimerket ved å benytte tiltak 3 - varmpumpe og solfanger	94
Figur 66: Energimerking A ved å benytte flere ulike tiltak	95

Tabelliste

Tabell 1: Samlet netto energibehov i henhold til TEK 07 ¹⁰	14
Tabell 2: Energiltak i henhold til TEK 07 ¹⁰	15
Tabell 3: Minstekrav u-verdi og lekkasjetall i henhold til TEK 07 ¹⁰	15
Tabell 4: Samlet netto energibehov i henhold til TEK 10 ¹¹	16
Tabell 5: Energiltak i henhold til TEK 10 ¹¹	17
Tabell 6: Minstekrav u-verdi, lekkasjetall og varmetapstall i henhold til TEK 10 ¹¹	18
Tabell 7: Energimerkeskalaen ¹²	19
Tabell 8: Rangering av karakterer for oppvarming ¹²	20
Tabell 9: Valg av beregningsmetoder i henhold til NS 3031 ⁴	22
Tabell 10: Forventet usikkerhet for ulike beregningsmetoder ¹⁸	35
Tabell 11: Varmeovergangsmotstand iht. NS-EN ISO 6946 (Tabell 24) ²	36
Tabell 12: Varmeovergangsmotstand til uventilerte luftsjikt iht. NS-EN ISO 6946 ²	36
Tabell 13: Inndata i Tectite ved lufttetthetsmåling	40
Tabell 14: Bruttoarealer for bygningsdelene ³⁷	44
Tabell 15: Utrekning av normalisert kuldebroverdi	66
Tabell 16: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg mot gulv	68
Tabell 17: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg mot tak	70
Tabell 18: Energieffekt av tiltak for påbygget vegg mot gulv	72
Tabell 19: Energieffekt av tiltak for påbygget vegg mot tak	74
Tabell 20: Energieffekt av tiltak for søyle mot tak	75
Tabell 21: Energieffekt av tiltak for søyle mot gulv	77
Tabell 22: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg mot drager	79
Tabell 23: Energieffekt av tiltak for eksisterende hjørne	81
Tabell 24: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg ned i kontoret	83
Tabell 25: Gjennomsnittelig lekkasjetall fra målingene og et estimat på lekkasjestørrelsene. 84	
Tabell 26: Resultater fra energisimuleringer i SIMIEN	85

Tabell 27: Kostnad for tetting av luftlekkasjer.....	90
Tabell 28: Kostnad for varmpumpe- og solfangersystem	90
Tabell 29: U-verdi for konstruksjonsdeler beregnet i THERM	91
Tabell 30: Utregning av normalisert kuldebroverdi etter tiltak.....	91
Tabell 31: Kostnad for energikarakter A.....	96
Tabell 32: Resultater fra energisimulering av tiltak i SIMIEN	97

Definisjoner

Bruksareal:	BRA - måles etter NS 3940
Bruttoareal:	BTA - måles etter NS 3490
CAV-systemer:	er et ventilasjonssystem som opprettholder konstant luftmengde gjennom driftstiden for ventilasjonsanlegget. ¹
Driftstid:	tiden med normal personbelastning
Emisjonsverdi:	er et forholdstall for en materialflate mellom 0-1, og angir stråling flaten sender ut. ²
Kombinasjonsbygg:	er et bygg som består av to eller flere typer bygningskategorier.
Kuldebro:	er et punkt som har lavere varmemotstand enn konstruksjonen rundt. ³
Kuldebroyter:	er et sjikt varmeisolerende materiale som legges inn for å redusere virkningen av kuldebroen. ³
Kuldebroverdi:	angir verdi for varmtap per lengdeenhet av kuldebroen og per grad temperaturforskjell (W/mK). ³
Lekkasjetall:	antall luftskifter per time ved 50 Pa trykkforskjell (h ⁻¹). ⁴
Normalisert kuldebroverdi:	NKV - er det totale varmetapet for summen av samtlige kuldebroer, dividert på bruksarealet (W/(m ² K)). ³
SFP-faktor:	spesifikkviftekapasitet er forholdet mellom elektrisk effekt for å drive viften og luftmengden som blir flyttet. ¹
Varmegjennomgangskoeffisient/u-verdi:	er et mål på hvor lett varmen slippes gjennom en bygningsdel. ⁴
Varmekonduktivitet:	er varmeledningsevne λ (W/mK) til et material. ⁵

Varmemotstand:

er motstanden mot varmetransmisjon gjennom m^2 av et material R (m^2K/W).⁵

Varmeovergangsmotstand:

er motstanden for varmeoverføring ved en innvendig eller utvendig overflate.⁶

VAV-systemer:

er ventilasjonssystemer som varierer luftmengde i forhold til behov.¹

1. Problemstilling for oppgaven

1.1 Problemstilling

Oppgaven tar for seg oppfølging av prosjekterte energiltak i byggefasen. Den overordnede problemstillingen, er om prosjekterte energiltak samsvarer med det ferdigstilte prosjektet. Gjennom ulike typer simuleringsverktøy, termografi, måling av lufttetthet og oppfølging skal prosjektet analyseres i byggefasen. Deretter vurderes det om løsningene som er forutsatt ved energiberegningen er realistiske, eller om det er andre årsaker som skaper eventuelle avvik. Ved et avvik mellom prosjektert bygg fremlegges kostnadsberegnet tiltak.

”Samsvarer energiberegningene som er gjennomført på Veidekke nye distriktskontor med det realiserte prosjektet”

Oppgaven tar utgangspunkt i Veidekkes nye distriktskontor i Ås, med prosjekterende energiltak som tilsvarer energiklasse A.

1.2 Bakgrunn

Globalt står byggesektoren for 40 % av både energibruk, materialbruk og avfallsmengde.⁷ I Norge er denne andelen noe lavere. Det er et stort potensial for å senke den totale miljøbelastningen i bygningssektoren. Fokuset blir kun større og det satses mer på energisparing i Norges enn for ti år siden. Gjennom støtte til forskning utvikles nye forskrifter med formål å senke energibruket. Strengere krav i forskrifter vil føre til utvikling av produkter, materialer og utstyr. I tillegg vil måten det bygges måtte tilpasses utviklingen.⁷

Oppgaven har sin bakgrunn fra samtaler med veileder om valideringen av simuleringsverktøy, kvaliteten av utførsel i byggefasen og retningslinjer i forskriftene. Energimerking er basert på å legge inn den prosjekterte informasjonen for bygget. Noen steder kreves det at en forutsetter ulike data, som f.eks. lekkasjetall, normalisert kuldebroverdi osv. I enkelte tilfeller stemmer ikke forutsetningene overens med virkeligheten, noe som kan føre til en lavere energikarakter for bygget. Slike saker har ført og kan føre til søksmål.⁸ Andre årsaker til avvik kan handle om kvalitet eller gjennomføringsevne på prosjektet. Regelverket legger opp til at det skal være enkelt å energimerke boliger og bygninger. Er det for enkelt å energimerke, og kan en "utnytte" regelverket på noen måte? Dette sammen med at Veidekke holdt på med et prosjekt

de ønsket å teste, er bakgrunnen for oppgaven. Veidekke jobber aktivt med å utvikle sin kompetanse når det gjelder energieffektivisering av bygg.⁹ Det er dermed blitt en lærerik prosess for begge parter.

1.3 Avgrensinger

I denne oppgaven er fokusområdet å finne avvik for den prosjekterte energiberegningen i byggefasen til et prosjekt. Dette for å forstå at antakelser som blir gjort i en prosjekteringsfase ikke alltid stemmer med resultatet. Avvikene som oppstår er evaluert, og det mest kostnadseffektive tiltaket er implementert for å nå målet. Oppgavens omfang er begrenset ved at informasjonen som foreligger etter prosjekteringsfasen er utgangspunktet for oppgaven. Dette gjelder tegninger, tilbud, kontrakter osv. Endringer av prosjektet i tiden etter er ikke vurdert.

Verktøyene og metodene som er tatt i bruk, er godkjente redskaper som brukes av både forskere og bedrifter innen energisimulering. Programvarene baserer seg på gjeldene forskrifter. Metoden er testet på Ås kvartal 5, som ligger i sentrum av Ås. Bygget består av tre forskjellige bygningskategorier; kontor-, forretnings- og boligbygg. Oppgaven tar kun for seg kontorbygget.

Det er benyttet et kalkulasjonsverktøy utviklet av Veidekke som grunnlag for kostnadsberegningen av prosjektet. De priser som ikke finnes i kalkulasjonsverktøyet er hentet inn gjennom tilbud fra leverandøren eller antakelser basert på erfaringer.

2. Teori

2.1 Beregning av energiytelse

Denne delen av oppgaven beskriver ulike temaer en må ta hensyn til ved energisimuleringen. Temaene er en innføring i gjeldende forskrifter, standarder og energiltak for bygninger.

2.1.1 Krav til energieffektivitet – TEK 07

Forskrift om krav til byggverk, vil fra nå av bli omtalt som TEK 07. TEK 07 har som virkeområde og brukes til; *"gjennomføring og utfylling av bestemmelsene i plan- og bygningsloven av 14. juni 1985 nr. 77 og for gjennomføring av Norges forpliktelser etter EØS-avtalen for krav til byggverk og produkter til byggverk"*.¹⁰

Oppgaven tar i hovedsak for seg kapittel VIII om miljø og helse, hvor energibruk, indre-, yremiljø og drift, vedlikehold og renhold er temaer. Disse temaene inneholder forskrifter som skal sørge for forsvarlig bruk av energi, miljø og ressurser. Dette ved å fokusere på energibesparende materialer og produkter som forurensere mindre i prosjekteringen av bygningen.¹⁰

Samlet netto energibehov for forskjellige bygningskategorier i henhold til TEK 07, § 8-21 b, er samlet i **Tabell 1**. Disse bygningskategoriene skal ikke overstige rammekravene som er målt i kWh/m². For kontorbygg skal energibehovet ikke overstige 165 kWh/m². Ved kombinasjonsbygg gjelder de samme rammekravene for bygningskategorien med sine respektive arealer.¹⁰

Tabell 1: Samlet netto energibehov i henhold til TEK 07 ¹⁰

Samlet netto energibehov	
Bygningskategori	Rammekrav (§8-21 b) oppvarmet BRA år
Småhus (kWh/m ²)	125 + 1600/oppvarmet BRA
Boligblokk (kWh/m ²)	120
Barnehager (kWh/m ²)	150
Kontorbygg (kWh/m ²)	165
Skolebygg (kWh/m ²)	135
Universitet/høyskole (kWh/m ²)	180
Sykehus (kWh/m ²)	325
Sykehjem (kWh/m ²)	235
Hoteller (kWh/m ²)	240
Idrettsbygg (kWh/m ²)	185
Forretningsbygg (kWh/m ²)	235
Kulturbygg (kWh/m ²)	180
Lett industri, verksteder (kWh/m ²)	185

Energiltakene som skal tilfredstilles i TEK07, § 8-21 a, finnes i **Tabell 2**. Tabellen tar utgangspunkt i en boligblokk. Totalt glass-, vindus- og dørareal skal ikke overstige 20 % av bygningens oppvarmede BRA. U-verdiene for respektive bygningsdeler skal ikke overstige fastsatte grenseverdier. Maksimalkravet til normalisert kuldebroverdi er 0,06 W/m²K og gjelder øvrige bygg utenom småhus. Lekkasetallet skal ikke overstige 3,0 h⁻¹. Ventilasjonsanleggets spesifikke vifteeffekt skal være under 2,5 kW/m³s for bolig og 2/1 kW/m³s for næringsbygg (dag/natt). Varmegjenvinningen i ventilasjonsanlegget skal være bedre en 70 %. Det skal oppnås krav for termisk komfort uten bruk av lokalkjøling. For bygningskategorier hvor det kan skilles mellom dag, natt og helgdrift skal innetemperatur senkes til 19 °C på natten og 17 °C i helgen. Fravik fra energiltakene er tillatt så lenge kompensierende tiltak medfører at bygningens energibehov ikke øker.¹⁰

Tabell 2: Energiltak i henhold til TEK 07 ¹⁰

Energiltak	
Beskrivelse	Krav (§8-21 a)
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksareal (%)	20,0
U-verdi yttervegger (W/m ² K)	0,18
U-verdi tak (W/m ² K)	0,13
U-verdi glass/vinduer/dører (W/m ² K)	1,20
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,06
Lekkasjetall (Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) Luftveksling per time	3,00
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjennviner ventilasjon (%)	70
Spesifikk vifteeffekt - SFP (kW/m ³ /s)	2,50

Minstekrav som skal tilfredstilles i TEK 07, § 8-21 a, finnes i **Tabell 3**. Dette gjelder alle bygninger bortsett fra de med laftede yttervegger, da de har andre minstekrav.¹⁰

Tabell 3: Minstekrav u-verdi og lekkasjetall i henhold til TEK 07 ¹⁰

Beskrivelse	Minstekrav (§8-21 c)
U-verdi yttervegger (W/m ² K)	0,22
U-verdi tak (W/m ² K)	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører (W/m ² K)	1,60
Lekkasjetall (Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) Luftveksling per time	3,00

Energiforsyningen av bygninger skal utføres slik at en vesentlig del varmebehovet dekkes på andre måter enn av elektrisitet eller fossilebrensel. En vesentlig del av varmebehovet er ikke videre spesifisert i forskriften (§ 8-22), men det har blitt tolket som over 50 %.⁸ Dersom det er fastsatt tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegg ved kommunal vedtekt til plan- og bygningsloven (§ 66a), skal bygget utstyres med varmeanlegg slik at fjernvarme kan kobles til (§ 8-23).¹⁰

2.1.2 Krav til energieffektivitet – TEK 10

Forskrift om tekniske krav til byggverk, eller TEK 10 som det herfra vil bli kalt. TEK 10 har som formål "å sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi". Oppgaven tar i hovedsak for seg kapittel 14 som omhandler energi. TEK10 definerer eneboliger, to- til firemannsboliger, rekkehus og kjedehus som småhus. Norsk Standard NS3031 skal være utgangspunkt for beregning av energibehov og varmetapstall i et byggverk.¹¹

Bygninger igangsatt etter 1. juli 2010 skal bygges etter TEK 10. Prosjekter som er igangsatt tidligere enn denne datoen skal forholde seg til TEK 07 inntil 1. juli 2012. Det er altså kun TEK 10 som gjelder i dag, med unntak i kapittel 17.¹¹

Samlet netto energibehov for forskjellige bygningskategorier i henhold til TEK10, § 14-4(1), er samlet i **Tabell 4**. Disse bygningskategoriene skal ikke overstige energirammekravene som er målt i kWh/m². For kontorbygg skal energibehovet ikke overstige 150 kWh/m². Ved flerfunksjonsbygninger skal bygningen deles opp i soner etter bygningskategori som må oppfylle sine energirammer.¹¹

Tabell 4: Samlet netto energibehov i henhold til TEK 10¹¹

Samlet netto energibehov	Energirammer (§14-4 (1)) oppvarmet BRA år
Bygningskategori	
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² oppvarmet BRA (kWh/m ²)	120 + 1600/m ² oppvarmet BRA
Boligblokk (kWh/m ²)	115
Barnehage (kWh/m ²)	140
Kontorbygning (kWh/m ²)	150
Skolebygning (kWh/m ²)	120
Universitet/høyskole (kWh/m ²)	160
Sykehus (kWh/m ²)	300 (335)
Sykehjem (kWh/m ²)	215(250)
Hotell (kWh/m ²)	220
Idrettsbygning (kWh/m ²)	170
Forretningsbygning (kWh/m ²)	210
Kulturbygning (kWh/m ²)	165
Lett industri/verksteder (kWh/m ²)	175 (190)

Energiltakene som skal tilfredstilles i TEK 10, § 14-3(1), finnes i **Tabell 5**. Avvik fra disse kan finne sted kun dersom det totale netto energibehovet er mindre enn i energirammeene.

Tabellen tar utgangspunkt i en boligblokk. Totalt glass-, vindus- og dørareal skal ikke overstige 20 % av bygningens oppvarmede BRA. U-verdiene for respektive bygningsdeler skal ikke overstige fastsatte grenseverdier. Maksimalkravet til normalisert kuldebroverdi er $0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ og gjelder øvrige bygg utenom småhus. Lekkasjetallet skal det ikke overstige $1,5 \text{ h}^{-1}$. Ventilasjonsanleggets spesifikke vifteeffekt skal være under $2,5 \text{ kW/m}^3\text{s}$ for bolig og $2,0 \text{ kW/m}^3\text{s}$ for øvrige bygninger. Varmegjenvinningen i ventilasjonsanlegget skal være bedre enn 70 % for boliger og 80 % for øvrige bygninger. Det skal gjøres tiltak som utelukker bruk av lokalkjøling. For bygningstyper hvor det kan skilles mellom dag, natt og helgdrift skal innnetemperaturen senkes.¹¹

Fravik kan tillates for boligbygninger dersom energiltaket har sammenheng med transmisjonsvarmetapet eller infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetapet, men forutsatt at varmetallet for bygninger ikke øker. Det samme gjelder for øvrige bygninger, bortsett fra at energiltaket kun har sammenheng med transmisjonsvarmetapet.¹¹

Tabell 5: Energitiltak i henhold til TEK 10¹¹

Energitiltak	Krav (§14-3 (1))
Beskrivelse	
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksareal (%)	20
U-verdi yttervegger ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0,18
U-verdi tak ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0,13
U-verdi glass/vinduer/dører ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1,20
Normalisert kuldebroverdi ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0,06
Lekkasjetall (Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) Luftveksling per time	1,50
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjennviner ventilasjon (%)	70
Spesifikk vifteeffekt - SFP ($\text{kW/m}^3\text{s}$)	2,50

Minstekrav som skal tilfredstilles i TEK 10, § 14-5, finnes i **Tabell 6**. For bygninger med laftede yttervegger gjelder andre minstekrav. Kanaler, rør og utstyr med tilknytning til varme- og distribusjonssystemet i bygningen skal isoleres for å bevare varmen. Solfaktor for glass og vindu skal være mindre enn 0,15 på solutsatt fasade.¹¹

Tabell 6: Minstekrav u-verdi, lekkasjetall og varmetapstall i henhold til TEK 10¹¹

Beskrivelse	Minstekrav (§14-5)
U-verdi yttervegger (W/m ² K)	0,22
U-verdi tak (W/m ² K)	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører (W/m ² K)	1,60
Lekkasjetall (Lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) Luftveksling per time	3,00
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,24

Energiforsyningen av bygninger over 500 m² skal prosjekteres slik at minimum 60 % av netto varmebehov dekkes på andre måter enn av elektrisitet eller fossilt brensel. For bygninger som er mindre enn 500 m² skal 40 % dekkes av andre energikilder enn elektrisitet og fossilt brensel. Installasjon av oljekjele for fossilt brensel som grunnlast er ikke tillatt i henhold til. § 14-7(1). Bygninger skal utstyres med varmeanlegg dersom det er fastsatt tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegg ved kommunal vedtekt til plan- og bygningsloven, § 27-5.¹¹

2.1.3 NVEs Energimerkeordningen

Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg, eller energimerkeforskriften som den kalles, er hjemlet i energiloven og trådte i kraft 1. juli 2010. Hensikt var å sikre informasjon om tilstanden til boliger, bygninger og tekniske anlegg. Energimerkeforskriften med tilhørende forskrifter er utgangspunkt for energimerkesystemet. Forskriften plikter eier å legge frem energiattest ved nybygg, salg eller utleie. Yrkesbygg eller deler av yrkesbygg som totalt er større enn 1000 m² i bruttoareal, plikter å ha en energiattest i henhold til § 8. Ved bygningsdeler med ulike bygningskategori kreves energiattest for hver enkelt del. Unntakene som ikke er pliktet å ha energiattest er vernede bygninger, museums- og andre kulturhistoriskbygninger, eldre bygninger, driftsbygninger samt frittstående bygninger, boliger eller selvstendige enheter med bruttoareal under 50 m².^{12, 13}

Energimerkesystemet er en forenkling av NS 3031 for at gjennomsnittspersonen enkelt skal kunne energimerke boliger og bygninger. NS 3031 krever ulike parametere som kun eksperter har mulighet til å besvare. Det er derfor opprettet en database med typiske verdier for boliger som på en fleksibel måte kobler forenklet og detaljert data sammen. Dette kan for eksempel være at alder, stil og arealer danner grunnlaget for en database med like fellesnevner, og brukes som en attest for samme type bygninger. Attesten blir produsert og lagret, slik at den kan benyttes ved et senere tidspunkt.^{12, 13}

Energimerking består av energikarakter og oppvarmingskarakter. Energikarakteren er en beregning av levert energi ved normalt bruk for bolig og bygninger. Beregningen baserer seg på NS 3031. Når beregningen er gjennomført må en bruke energimerkeskalaen vist i **Tabell 7**, for å bestemme energikarakter. Energiskalaen er delt opp i forskjellige bygningskategorier. Kontorbygg må levere mindre energi enn 84 kWh/m² for å oppnå energikarakter A. For energikarakter C, må kontorer levere mindre enn 168 kWh/m² som er på nivå med TEK 07.¹²

13

Tabell 7: Energimerkeskalaen¹²

Bygningskategori	Levert energi pr m2 oppvarmet BRA (kWh/m2)						
	A	B	C	D	E	F	G
	Lavere eller lik	Lavere eller lik	Lavere eller lik	Lavere eller lik	Lavere eller lik	Lavere eller lik	
Småhus	79+1600/A	118+1600/A	158+1600/A	231+1600/A	305+1600/A	458+1600/A	Ingen grense
Leiligheter (boligblokker)	67+650/A	100+650/A	134+650/A	184+650/A	235+650/A	353+650/A	Ingen grense
Barnehager	90	135	180	228	276	414	Ingen grense
Kontorbygg	84	126	168	215	263	395	Ingen grense
Skolebygg	79	118	158	208	259	389	Ingen grense
Universitets- og høyskolebygg	95	143	191	240	289	434	Ingen grense
Sykehus	179	268	358	416	475	713	Ingen grense
Sykehjem	136	203	271	328	384	576	Ingen grense
Hoteller	135	202	269	321	373	560	Ingen grense
Idrettsbygg	109	164	218	272	325	488	Ingen grense
Forretningsbygg	129	194	258	309	360	540	Ingen grense
Kulturbygg	105	158	210	256	302	453	Ingen grense
Lett industri, verksteder	106	159	212	270	329	494	Ingen grense
			Basert på nivå for TEK 2007				

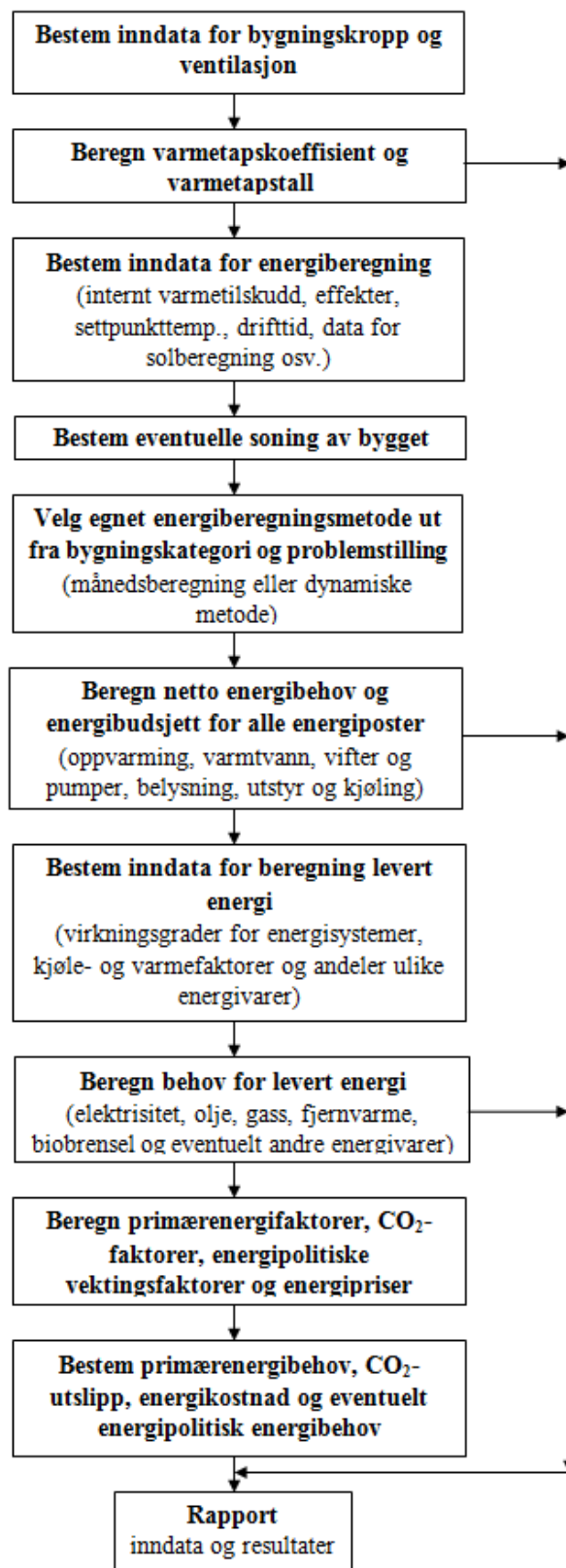
Oppvarmingskarakterer er en måte å rangere oppvarmingssystemet for boliger og bygninger på. Oppvarmingssystemet defineres som det installerte systemet for oppvarming av rom og tappevann i et byggverk. Rangering av energikarakter baserer seg på bruken av andre energivarer enn elektrisitet og fossilt brensel. På hver sin side av skalaen er grønn den høyeste og rød den laveste karakteren. Grønn oppvarmingskarakter tilsvarer en høy andel energivarer som ikke er elektrisitet eller fossilt brensel, mens rød kun inneholder fossilt brensel og elektrisitet. I **Tabell 8** er rangering av oppvarmingskarakterene vist. Boliger eller bygninger rangeres etter den totale mengden elektrisitet og fossilt brensel målt i prosent. Det vil si at om det kun benyttes 10 % fossilt brensel og elektrisitet, får en oppvarmingskarakter mørke grønn.^{12, 13}

Tabell 8: Rangering av karakter for oppvarming¹²

Oppvarmingskarakter				
100,0 %	82,5 %	65,0 %	47,5 %	30,0 %

2.1.4 NS 3031: 2007 Beregning av bygningers energiytelse

"NS 3031: 2007 Beregninger av bygningers energiytelse - Metode og data" er laget for at energiberegningen skal gjennomføres på en riktig måte, og kontrollere at energikravene i byggeforeskriftene er tilfredstilt. Store deler av energikravene som blir brukt finnes i TEK 07 og TEK 10. Standarden kan brukes som et redskap for å dokumentere, optimalisere, vurdere virkningen av energiltak og anslå fremtidige behov for energi. Regler hentes og oppdateres fra de europeiske standardene knyttet til bygningsdirektivet. Rekkefølgen på prosedyren for en energiberegning er vist i **Figur 1**. Prosedyren beskriver den nødvendige informasjonen som må beregnes og velges før rapporten er klar.⁴



Figur 1: Prosedyre for beregning i henhold til NS 3031 ⁴

Valg av beregningsmetode velges ut fra bygningskategori som vist i **Tabell 9**. Videre vurderes andre forhold som kan avgjøre beregningsmetoden. Utgangspunktet for beregningsmetoden som velges er at den er basert på nøyaktighet, detaljeringsgrad og tilgang på inndata. For bygninger med liten grad av dynamisk påvirkning, dvs. byggverk med normalt glassareal eller uten kjøling, bør månedsstasjonærberegningsmetode velges. Mens på bygninger med store glassareal og kjølesystemer bør det brukes en dynamisk beregningsmetode for å få det nøyaktig nok. For noen av de forskjellige bygningskategoriene er energiberegningsmetoden fastsatt. Dette gjelder for kontorbygninger som skal bruke en dynamisk beregningsmetode.⁴

Tabell 9: Valg av beregningsmetoder i henhold til NS 3031⁴

Bygningskategori	Energiberegning
Småhus	Månedsstasjonær eller dynamisk
Boligblokk	Månedsstasjonær eller dynamisk
Barnhage	Månedsstasjonær eller dynamisk
Kontorbygning	Dynamisk
Skolebygning	Månedsstasjonær eller dynamisk
Universitets- og høgskolebygning	Dynamisk
Sykehus	Dynamisk
Sykehjem	Månedsstasjonær eller dynamisk
Hotellbygning	Månedsstasjonær eller dynamisk
Idrettsbygning	Månedsstasjonær eller dynamisk
Forretningsbygning	Dynamisk
Kulturbygning	Månedsstasjonær eller dynamisk
Lett industribygning, verksted	Månedsstasjonær eller dynamisk

2.2 Verktøy

2.2.1 Termografering

Termografering brukes for å lokalisere kuldebroer, varmetap og luftlekkasjer i bygninger. Områder med lavere temperaturer vil vises som mørkere områder og motsatt. I tillegg bør håndflaten, røykindikator eller lufthastighetsmåler benyttes for å bekrefte og oppdage lekkasjer. Det skal unngås målinger med solinnstråling på fasade, da den tilfører varme som gjør det vanskelig å oppdage kuldebroer.

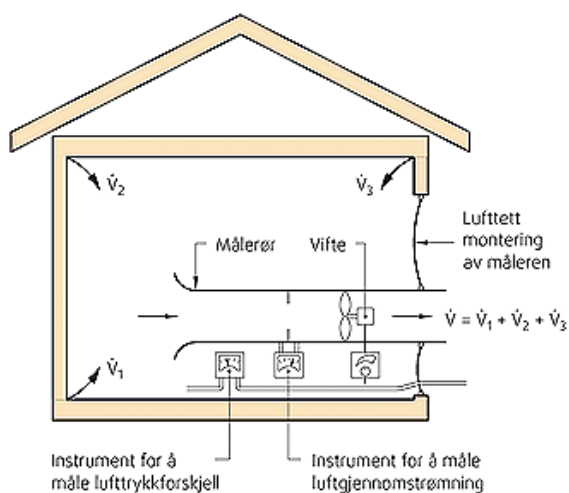
Gjennomføring av målingene skal foregå når forskjellen er stor mellom ute- og innetemperatur. Ved en forskjell på 5 °C kan luftlekkasjer lokaliseres. Det er viktig å ha forståelse for hvordan varmestråling opptrer i bygningen, materialers ulike emissivitet, kjennskap til utstyr og gjeldene standard NS-EN 13187.¹⁴

2.2.3 Lufttethetsmåling

En lufttethetsmåling benyttes for å bestemme bygningers lekkasjetall. Lekkasjetallet bestemmer hvor lufttett en bygning er. Metoden for målingene er basert på differansetrykkmetoden. For gjennomføring av måling henvises det til NS-EN 13829 (Bygningers termiske egenskaper - Bestemmelse av bygningers luftlekkasje - Differansetrykkmetode) som tar for seg grunnprinsippene for en lufttethetsmåling. Hensikten med å måle lekkasjetallet er at det har betydning for komfort, energibehov og vedlikehold av bygningen.¹⁵

En forutsetning for målingen er lite vindpåkjenning. Dette fordi vind påfører bygningen et overtrykk på lo side og et undertrykk på le side, som påvirker lekkasjetallet. Andre trykkforskjeller som oppstår er ved temperaturendringer, endring i ventilasjon og endringer i anblåsning.¹⁵

Prinsippet for måling av lufttethet er vist i **Figur 2**. En riktig dimensjonert vifte blåser luft ut eller inn for å skape en trykkforskjell mellom utsiden og innsiden av bygningen. Mengden luft som passerer viften, er den samme mengden som passerer gjennom lekkasjer i bygningen. Lekkasjetallet er lekkasjeluftmengde dividert på volumet til bygningen.¹⁵



Figur 2: Prinsippet for trykkmetoden¹⁵

Metoden for å bestemme lekkasjeluftmengden på er ved beregningen vist under.¹⁵

$$Q = C_L \times \Delta p^n$$

hvor:

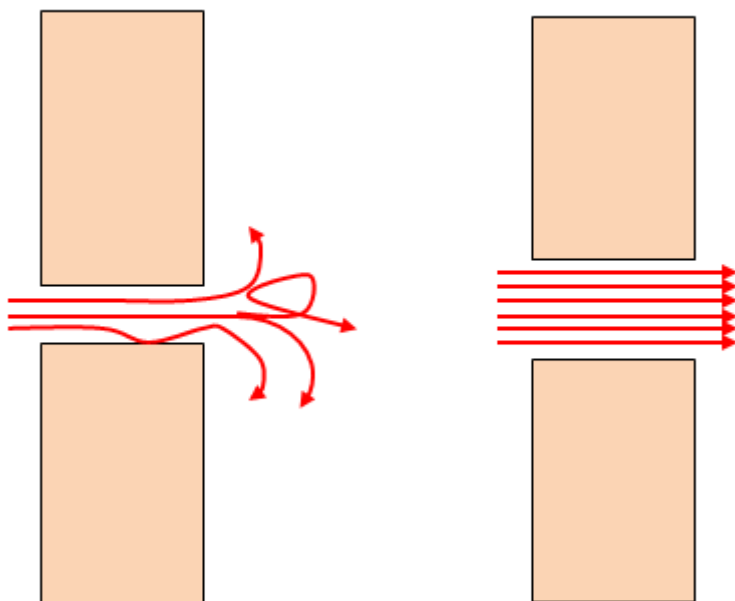
Q = lekkasjeluftmengde (m^3/h)

C_L = mengdeavhengig konstant

Δp = Trykkforskjell mellom ute og inne

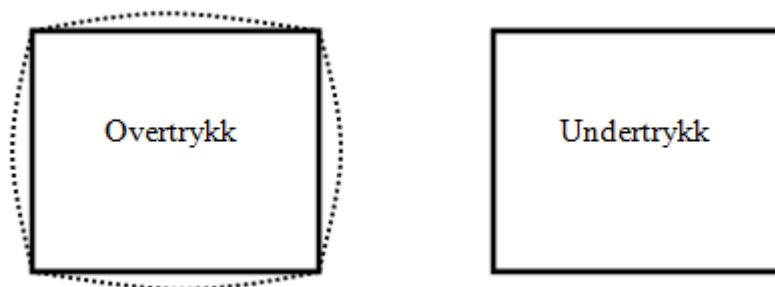
n = karakteravhengig eksponent

Verdien til eksponenten varierer kun mellom 0,5 og 1,0 for henholdsvis ren turbulent og ren laminær strøm. For lekkasjer som er veldig små vil eksponenten tilnærme seg 0,5, mens for større lekkasjer vil eksponenten tilnærme seg 1,0. **Figur 3** viser en turbulent og laminær strømning for lekkasjer med forskjellig størrelse. Luftlekkasjer i bygninger er en blanding av ulike typer strømninger, så vanligvis antas eksponenten å være omkring 0,7.¹⁵



Figur 3: Bilde til venstre viser en liten lekkasje med turbulent strømning, mens bilde til høyre viser en stor lekkasje med laminær strømning

Figur 4 viser effekten av trykktesting ved bruk av overtrykk og undertrykk på en bygning. Ved å benytte overtrykk vil lekkasjene utvide seg som følge av trykket. Dette medfører større lekkasjer som sørger for en større andel laminær luftstrøm, mens med undertrykk vil konstruksjonens lekkasjer være mindre å danne turbulente strømminger.



Figur 4: Trykktesting av bygning med samme trykkforskjell

2.2.3 Energisimulering

En energisimulering er en prosedyre som brukes for å energimerke boliger og bygninger. I dag tar flere aktører i bruk simuleringsverktøyer for å øke kunnskapen, presisjonen og kvaliteten på sitt produkt. Simuleringen baserer seg på innhentet informasjon fra det prosjekterte byggverket.

En simulering starter med å plassere bygningen i rett klimasone. Etter måling av klimaforholdene i lengre tid, er det opprettet en database som skal simulere klimapåkjennningene i området. Bygningskategori må velges, og har kalkulerede egenskaper og krav. Energiforsyningen i bolig eller bygning skal velges og fordeles på riktig måte. I følge NS 3031 skal en bygning deles opp i flere soner dersom den har forskjellig soltilskudd, varmetilskudd eller tekniske installasjonssystemer.⁴ Det er tillat å dele opp i fritt antall soner om det er ønskelig. Flere soner er anbefalt for vurdering av inneklime og dimensjonering av klimainstallasjoner. Bygningen skal deles i soner på grunnlag av retningen fra soltilskuddet (sør, sørøst, øst osv). Områder som ikke er utsatt for soltilskudd er egne soner.¹⁶

Infiltrasjon har med luftskifte i bygningen å gjøre. Lekkasjetallet kan enten antas, eller det kan gjennomføres en lufttetthetsmåling for å bestemme lekkasjetallet i bygningen. Skjerming av trær og andre bygninger har innvirkning på simuleringen. Egenskaper og mengde møbler har en varmekapasitet som må vurderes. Normalisert kuldebroverdi kan antas eller beregnes ved

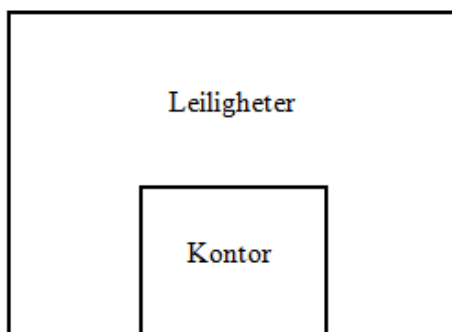
hjelp av kuldebroatlas utgitt av Sintef Byggforsk. Kuldebroatlas er en samling av en del aktuelle konstruksjoner med kuldebroer og kuldebroverdier.¹⁷ En annen måte å finne den normaliserte kuldebroverdien på er med et simuleringsverktøy.

THERM 5.2 er et simuleringsverktøy som gjør det mulig å bygge opp konstruksjonsdeler og gjennomføre simuleringer. Resultatene kan så brukes til å beregne den normaliserte kuldebroverdien ved bruk av Prosjektrapport 25.¹⁸ Dette er et samarbeidsprosjekt mellom store aktører og eksperter på området. Rapporten tar for seg beregning av kuldebroverdier og innvirkning på energibruk.

For yttervegger og innervegger fastsettes egenskaper som material, tilkobling, retning, åpning, vindus- og dør areal. Er det benyttet solavskjerming påføres dette. Vinduer og dører skal, i likhet med vegger, inneha riktige egenskaper og plassering.

Valg av ventilasjonsanlegg er enten et CAV- eller VAV-anlegg. Kapasiteten, effektiviteten og varmegjenvinningen til anlegget spiller en viktig rolle for energiforbruket. Internlast er med belysning, teknisk utstyr, tappevann og varmetilskudd fra personer. Energibruken av internlastene er veldig varierende for bygninger, så det er viktig at disse beregnes. En person avgir omlag 80 W. Multipliserer en det med antall personer i lokalet og dividerer på bruttoarealet, får en varmetilskuddet fra personene målt i W/m^2 . Ved kjøling eller annen oppvarming må dette fastsettes.

Energiberegning for kombinasjonsbygg gjennomføres på samme måte som for bygg med en bygningskategori. Det vil si at en tar for seg en bygningskategori av gangen, og vil da ende opp med to forskjellige rapporter. Selv om materialvalget og utførelsen er den samme, betyr det ikke at bygningsdelene får samme energikarakter. Dette fordi ulike plassering, veggareal mot utsiden og forskriftsmessige krav har en innvirkning på delene. **Figur 5** viser en kombinasjonsbygning hvor bygningskategoriene har ulike forutsetninger.



Figur 5: En plantegning av et kombinasjonsbygg

2.3 Energiforsyning

Det benyttes ulike typer energiforsyninger i kombinasjon for å tilfredsstille krav eller oppnå en energieffektiv bygning. Under er ulike energiforsyningssystem beskrevet. Det henvises til tabell B.10 i NS 3031 som inneholder systemvirkningsgraden for energiforsyningene. Systemvirkningsgraden definerer forholdet mellom produsert og tilført energi.

2.3.1 Elektrisitet

Elektrisitet benyttes til oppvarming av rom, ventilasjon og tappevann. Oppvarming av rom gjøres ved panelovner, varmelister, radiatorer, varmekabler og varmemefolie. En for-/ettervarmer sørger for ønsket temperatur i ventilasjonsanlegget. Ved større bygg brukes varmebatteri til oppvarming.¹⁹

2.3.2 Fossile brensel

Fossilt brensel regnes i byggbransjen som olje og gass. Ulike varmegivere som benyttes er gassovn, veggmonterte gassovner, gasspeis, gasskjeler eller oljekjel.¹⁹

2.3.3 Fjernvarme

I et fjernvarmeanlegg produseres energien på en varmesentral og transporteres deretter gjennom et lukket rørsystem til brukerne. Varmetapet til omgivelsen fra varmesentralen er omkring 5-15 %.¹⁹ Produksjonen av energi er stort sett baserer på spillvarme, biobrensel, avfallsforbrenning, varmepumper, elektrisitet og fyringsolje. Fjernvarmeanlegget kan kombineres med annen energiforsyning for bedre effekt.

I kommuner hvor det er tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegg, skal bolig eller bygning utstyres med utstyr slik at fjernvarme kan benyttes for ventilasjonsvarme, tappevann og oppvarming av rom.²⁰

2.3.4 Varmepumpe

En varmpumpe henter varme fra et lavere temperaturnivå til et høyere, ved tilførsel av elektrisitet. Det er hentet fra uteluft, avtrekksluft, fjell, jord, grunnvann, sjøvann, ferskvann og/eller avløpsvann.¹⁹ Energien som blir produsert kan varme opp forbruksvann, ventilasjonsluft eller brukes som kjøling. Videre kan varmpumpen kobles til fjernvarme- og fjernkjølingsanlegget.

Det er fire typer varmpumper som beskriver hvor varmen hentes fra og hvor den ender. Disse er luft til luft, vann til luft, luft til vann og vann til vann. Kvaliteten og kapasiteten er avhengig av type varmpumpeanlegg. Systemvirkningsgraden på varmpumpen er relativt høy. Det betyr at en får tilbake en større andel energi enn det legges inn. En varmpumpe kan benyttes året rundt, men virkningsgraden for varmpumper med luft til luft er nedsatt på vinterstid. En kan redusere oppvarmingen med 50 % til 80 % ved bruk av varmpumpe i forhold til fossilebrensel og elektrisitet.²¹

2.3.5 Solenergi

I Norge ligger solinnstrålingen mellom 700-1100 kWh/m². Det er store variasjoner mellom de ulike årstidene. Om sommer, vår og høst er det mulig å utnytte seg av solinnstrålingen til oppvarmingsformål.²² Systemvirkningsgraden er høy for energiforsyningssystemer som er basert på solinnstråling.⁴

Et solfangeranlegg som er dimensjonert riktig kan dekke opptil 60 % av varmebehovet.²² Årlig vil en solfanger levere mellom 300 - 450 kWh/m².¹⁹ Et solfangeranlegg absorberer strålingsenergien i solinnstrålingen. Absorbatoren er en lavt emitterende flate, ofte av metall malt svart som absorberer store deler av det synlige lyset. Den absorberte varmen transporteres videre til varmelagret. Væske eller luft brukes til å transportere varmen rundt i systemet.²²

Solceller omgjør solinnstrålingen til elektrisk energi for oppvarming og koblinger til oppvarmingssystemet. Solceller er enten laget av et halvledermaterial, vanligvis krystallisert silisium eller en type tynnfilmceller. For at den totale energikapasiteten skal bli størst mulig må solceller og solfangere være plassert riktig i forhold solen og innstrålingen.¹⁹

2.3.6 Biobrensel - pellets, ved og briketter

Biobrensel er alle typer trebrensler og avfallsprodukter fra landbruket. For varmesystemer er det briketter, ved og trepellet som er mest aktuelle. Briketter er tørket sagflis og annet avfall som er trykket sammen under høyt trykk. De kan nyttes i både fyringsanlegg og vanlig vedovner. Løvtrær og bartrær er hovedsakelig trevirke som brukes til ved. I følge NS 4414 skal fuktinnhold ikke overstige 20 %. Trepellets er treavfall og tømmer som er presset sammen under høyt trykk. Det kreves mye oppfølging og vedlikehold ved valg av biobrenselanlegg. Boligeier eller vaktmester må sørge for å etterfylle, fjerne aske og rengjøre ovnen.¹⁹

2.4 Bygningsmessige energiltak

Bygningsmessige tiltak innebærer utbedring av teknisk anlegg eller bygningens konstruksjon. Dette er tiltak som bør fokuseres på i prosjektfasen dersom kvalitet og kostnad skal bli som ønsket. Det er mange kombinasjoner av bygningsmessige tiltak med ulike egenskaper som må vurderes.

2.4.1 Varmeisolering

Isolering av bygninger fører til bedre komfort, energiforbruk og kostnader. Når en bygning skal isoleres gjelder både gulv, yttervegger og tak. De to sistnevnte er vanligvis de største årsakene til varmetap. Isolering av disse områdene vil derfor gjøre størst utslag på energieffektiviteten. Det er viktig at isolasjon som legges utføres på riktig måte for full effekt.²³

2.4.2 Energieffektivt ventilasjonsanlegg

Energibehovet til vifter i moderne yrkesbygg utgjør 15-20 % av bygningers totale energibehov. Ved valg av et ventilasjonsanlegg med god varmegjenvinningsgrad, lav SFP-faktor, gunstig utformet kanaler og stor aggregatkapasitet vil oppvarmingsbehovet bli mindre.

Hensikten med et ventilasjonsanlegg er at det skal bidra med et godt inneklima, fuktinnhold og være energieffektivt.^{24, 25}

2.4.3 Energieffektive vinduer

Innsetting av vinduer med en lav u-verdi er et bra energitiltak. Varmeisoleringssegenskaper til et vindu påvirkes av om det kan åpnes, størrelsen, antall glass og tykkelse på karmen. Det blir benyttet anerkjente metodene for testing av vinduer. Testen tar utgangspunkt i vinduer med en størrelse på 1,2 x 1,2 meter, slik at det for større vinduer kan forventes en lavere u-verdi. Energieffektive vinduer kan i dag komme helt ned til en u-verdi på 0,7 i følge Enova.^{26, 27}

2.4.4 Kuldebrobrytere

En kuldebrobryter plasseres i området hvor kuldebroer oppstår. Hensikten er å redusere eller fjerne virkningen av kuldebroen. Kuldebroer oppstår ofte i overganger mellom yttervegg og etasjeskiller. Grunnen til dette er at veggen ikke er isolert godt nok, og at etasjeskillet og vegg består av lavemitterende materialer som leder varmen ut gjennom veggen. Dette fører til økt varmetap. Som kuldebrobrytere benyttes ulike isolerende materialer og tykkelser basert på området og kuldebroens omfang.

2.4.5 Solskjerming

Solskjerming reduserer solinnstrålingen og sørger for en jevnere temperatur i bygningen. Ved å benytte behovsstyrte persiener kan bygningen spare energi, både i og utenfor driftstid. Hensikten med dette er å regulere temperaturen for å oppnå bedre komfort, uten å benytte seg av energi til kjøling. Det negative med et solskjermingssystem er at den i tider ikke slipper inn sollys.

2.4.6 Tetting av luftlekkasjer

Bygninger med mange luftlekkasjer vil ha et høyere energibruk og en redusert komfort. Luftlekkasjer oppstår på grunn av feil på materialer, utførelse, klimapåkjenning og slitasje. Tetting av luftlekkasjer er ofte den enkleste måten å energieffektivisere bygninger på, og ved å benytte nødvendig utstyr kan luftlekkasjer lokaliseres og tettes.

2.4.7 Sluser ved inngangen

Et bygningsmessig tiltak er å bygge sluser ved innganger av bygningen. Dette er spesielt nyttig i bygninger med høy trafikk ved inngangspartiet. Kontorer, butikker og kjøpesenter har ofte bygget sluser ved inngangen. Bygningen unngår da å slippe ute store mengder varme.

2.4.8 Energieffektive lys

Lys består av omlag 15 % energiforbruk i bygninger. Derfor er det et stort potensial i investering av energibesparende lys. Ved å benytte energieffektive lys (LED-pærer) kan en kutte energibruken for lys med 70-90 %.^{28, 29}

2.4.9 Plassering av bygning

Bygningens plassering har innvirkning på det totale energibehovet. Faktorer som mengde solinnstråling og vind påvirker ulike deler av bygningen. Dette kan utnyttes ved å plassere fasader i riktig retning for å spare energi.

2.4.10 Lavemitterende materialer

Lavemitterende materialer har god varmeledningsevne og varmekapasitet. Et typisk lavemitterende materialet er betong som lagrer varmen fra omgivelsen. Det negative med slike materialer er at det tar lang tid å varme de opp igjen. Varmetilførsel i kalde perioder er derfor nødvendig.

2.4.11 Vindskjerming

Bruk av vindskjerming har en direkte betydning for muligheten til å spare energi i en bygning. Økt vindpåkjenning vil føre til varmetap på grunn av nedkjølt fasade.²⁹

2.5 Behovstyrte energiltak

Tekniske installasjoner er integrert i bygningen og sørger for oppvarming, frisk luft, vann og belysning. Disse energikildene benyttes mye i løpet av hverdagen. Store mengder av denne energien forbrukes helt unødvendig, og hensikten med brukerstyrte energiltak er nettopp å begrense energiforbruket til det nødvendige.²⁹

2.5.1 Behovstyrt lys og tekniske utstyr

Som nevnt tidligere utgjør energibruken på lys i yrkesbygg omlag 15 %. Tekniske utstyr har ulike energieffekter som bør vurderes ved kjøp. Om disse er på utenom driftstiden har de et høyt energiforbruk. Tiltak er styringssystemer som sørger for å slå av lyset og tekniske utstyr utenom driftstid.^{28,29}

2.5.2 Behovstyrt varme

Tilførsel av varme forutsetter god temperaturkontroll i enkelte rom. Et oppvarmingssystem som tilfører en konstant temperatur kan skape dårlig komfort og inneklima. Dette fordi faktorer som årstider, vær og annet uforutsett har en innvirkning på bygningen. Behovsstyrt varme sørger for å holde en midlere temperatur i bygningen til en hver tid.²⁹

2.5.3 Behovstyrt ventilasjon (VAV)

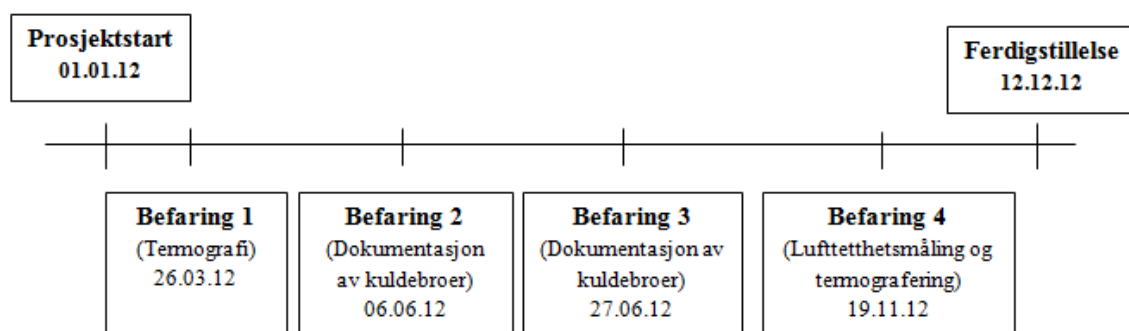
Ventilasjon som en kan reduseres utenom driftstiden, styre luft fra rom som er i bruk og redusere luften i rom som ikke er i bruk kalles behovsstyrt ventilasjon. Denne type ventilasjon krever imidlertid et styringssystem som sørger for å regulere luften. Et slikt tiltak vil påvirke både energibehovet til bygningen og inneklimaet.²⁹

2.5.4 Vannbesparende utstyr

Vannbesparende utstyr kan regulere og redusere vannmengden ved bruk av er strupeinnsatser, sparedusj og vannbesparende armaturer i håndvask. Et annet tiltak er å benytte forbrukt vann i toaletter.³⁰

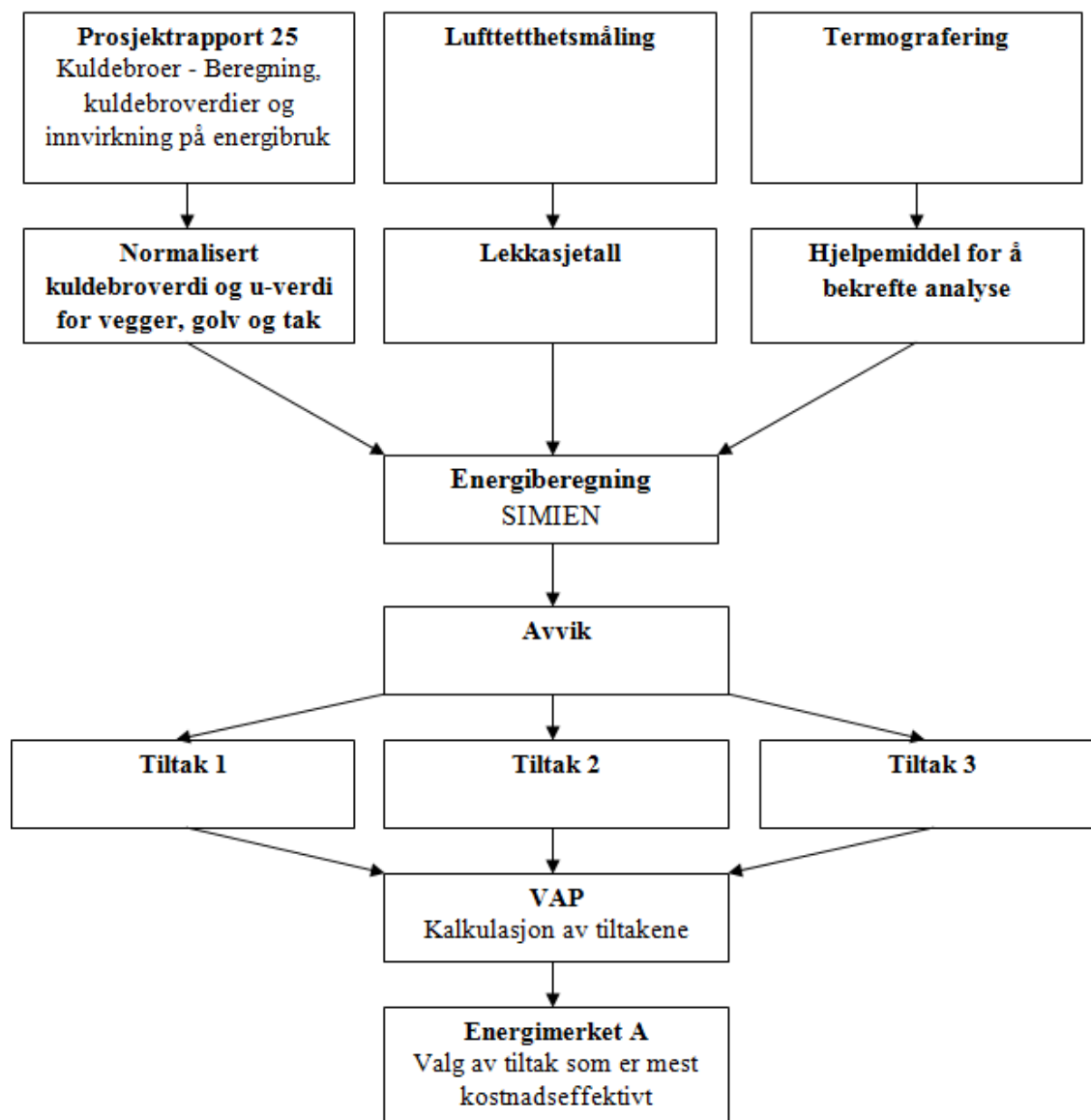
3. Metoder og verktøy

Oppgaven baseres på beregninger og ulike typer målinger som fastsetter nøyaktigere verdier enn forutsatt i SIMIEN. Dette skal gjøres ved bruk av simuleringsverktøy, beregninger og annet utstyr. Ved å benytte simuleringsverktøyet THERM kan konstruksjonsdelens u-verdi bestemmes. Før og etter simuleringene er det gjennomført befaringer med bruk av termograferingskamera for å bekrefte antatte kuldebroer i ulike konstruksjonsdeler. **Figur 6** viser en tidslinje med oversikt over befaringer som er blitt gjennomført i oppgaven.



Figur 6 Oversikt av befaringer for kontorlokalet

Fra verdier i THERM kan den normaliserte kuldebroverdien beregnes ved hjelp av Prosjektrapport 25.¹⁸ En lufttetthetsmåling er gjennomført for å bestemme lekkasjetallet i bygningen. Når verdier for målinger og beregninger er fastsatt settes disse inn i SIMEN, og det gjennomføres en energimerking. Dersom det oppstår et avvik mellom mål og resultat skal tiltak iverksettes, slik at mål oppnås. Ved bruk av beregningsverktøyet Veidekkes Anbud og Produksjonsoppfølgingsystem skal det mest kostnadseffektive tiltaket velges. I **Figur 7** vises et flytskjema av metoden for oppgaven.



Figur 7: Flytskjema av metode for masteroppgaven

Det presiseres at verdiene som metodene bygger på ikke kan defineres som virkelige, men gjennom stadig forbedring av simuleringsverktøy og beregningsmetoder vil modellene tilnærme seg virkeligheten.

3.1 Numerisk metode - Therm 5.2

Det er ulike måter å bestemme kuldebroverdier på. Uten bruk av laboratorium er numeriskberegning av kuldebroverdier en av de mest nøyaktige metodene for å bestemme kuldebroverdien på. Metoden går ut på at det gjøres en numeriskberegning av kuldebroverdiene med et to- eller tredimensjonalt varmeberegningsprogram. I **Tabell 10** vises

en oversikt over forventet usikkerhet ved bruk av ulike beregningsmetoder. Standarden NS-EN ISO 10211 inneholder metoder som bør benyttes ved beregning.¹⁸

Tabell 10: Forventet usikkerhet for ulike beregningsmetoder¹⁸

Metoder	Forventet usikkerhet for Ψ
Numerisk beregning	$\pm 5 \%$
Kuldebrotabeller	$\pm 20 \%$
Manuell beregning	$\pm 20 \%$
Grovesitimering/normalverdier	0 – 50 %

THERM 5.2 er et teknisk varmeberegningsprogram utviklet ved Berkeley. Programmet analyserer bygningselementers varmetransport todimensjonalt. Hensikten med programmet er å gi en realistisk fremstilling av konstruksjoner. THERM kan beregne både enkelte og kombinasjoner av fundamenter, vegger, dører, vinduer og tak. Dette gjør det enklere å vurdere et produkts energieffektivitet og lokale temperaturmønster.³¹

I oppgaven er det tatt i bruk en kombinasjon av numeriskberegning og Kuldebroatlas. Dette fordi konstruksjonsdeler i kontoret er identiske med deler i Kuldebroatlas. Kuldebroatlas inneholder ferdige tegninger, forklaring og verdier for forskjellige konstruksjonsdeler.

For numeriskberegning tas THERM 5.2 i bruk. Før varmeberegningsverktøyet kan benyttes må det bygges en database av materialer brukt i bygningen. For materialer må varmekonduktiviteten (λ) og emisjonsverdien (ϵ) fastsettes. Varmekonduktivitet i et materiale bestemmes av faktorer som struktur, densitet, temperatur og fuktinnhold i materialet. Emisjonsverdien for byggematerialer er mellom 0,85 og 0,95. Verdier for emisjonsverdi og varmekonduktiviteten er hentet fra Trehusboka (tabell 4.2.3 og 4.2.4)³² og Prosjektrapport 25 (tabell 4 fra SINTEF Byggforsk)¹⁸. Som rammebetingelse i oppgaven er emisjonsfaktoren satt lik 0,9 for alle materialer.^{18,32}

Videre må overgangsmotstanden for konstruksjonsdelene fastsettes. Overgangsmotstanden er bestemt av omgivelser, lufthastigheten rundt flaten, strålingsegenskapene og middeltemperatur. Utvendig varmegangsmotstand er alltid lavest på grunn av vind og solstråling. I **Tabell 11** vises metoden for fastsettelse av varmeovergangsmotstanden. Verdien bestemmes på grunnlag av overflaten som skal måles og varmestrømmens retning.

Tabell 11: Varmeovergangsmotstand iht. NS-EN ISO 6946 (Tabell 24) ²

Overflate	Varmestrømsretning		
	Oppover	Horisontalt ¹⁾	Nedover ²⁾
Innvendig (R_{si})	0,1	0,13	0,17
Utvendig (R_{se})	0,04	0,04	0,04

1) Horisontalt gjelder varmemetretningen ± 30 °C fra horisontalplanet
2) Brukes også på undersiden av golvkonstruksjoner mot uoppvarmet/kald kjeller og uventilert kryprom

Ytterveggen på kontoret er lektet med tegl på utsiden. Det dannes et luftsjikt i veggen som har en egen verdi for varmeovergangsmotstand (se **Tabell 12**). Verdien skal inkluderes i den totale varmeberregningen.

Tabell 12: Varmeovergangsmotstand til uventilerte luftsjikt iht. NS-EN ISO 6946 ²

Tykkelse på luftsjikt (mm)	Varmestrømsretning		
	Oppover	Horisontal ²⁾	Nedover
0	0	0	0
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

1) Mellomliggende verdier kan bestemmes ved hjelp av lineær interpolasjon
2) Varmestrømsretninger ± 30 ° fra horisontalplanet, f.eks. isolert skrått tak med takvinkel mindre eller lik 30°

Når dette er fastsatt kan de ulike bygningsdelene tegnes under fastsatte prosedyrer.

Prosedyrerne som skal følges i THERM er:

1. "Varmestrømmen igjennom hele konstruksjonsutsnittet, komplett med alle detaljer, beregnes først. Minst 1 meter av de konstruksjonene som møtes ved kuldebroen (for eksempel vegger og etasjeskiller) taes med i beregningen. Hvis det er naturlige symmetrigrenser benyttes disse isteden som beregningsgrense (eks. hvis etasjehøyden er 2,4 m er det naturlig at 1,2 m av veggen taes med)".³¹
2. "Varmestrømmene gjennom de tilsluttende konstruksjonene, trekkes fra hele konstruksjonens varmemetretning".³¹
3. "Den resulterende varmemetretningen deles på temperaturdifferansen over konstruksjonen".³¹

I varmeberegningsverktøyet settes det opp referanselinjer på overganger som skal måles. Overganger hvor det ikke er noen varmeoverføring merkes som adiabatisk. Ute- og innnetemperatur settes til $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. For parkeringskjeller og kjeller settes temperaturen til $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Simuleringen tar for seg konstruksjonsdeler hvor det normalt dannes kuldebroer. Først tegnes en konstruksjonsdel uten kuldebro. Deretter tegnes konstruksjonsdelen slik den er i henhold til bygningen. Ut fra informasjonen som har blitt simulert er det nå mulig å bestemme u-verdien for konstruksjonsdelen, varmestrømmen og den normaliserte kuldebroverdien. Videre kan ulike tiltak testes, og ved beregning kan det mest energieffektive tiltaket velges.

Verdiene som er opparbeidet i THERM og hentet fra kuldebroatlasen sammenkobles for å bestemme den normaliserte kuldebroverdien til kontoret. For beregningene som fører fram til verdier henvises det til formlene i vedlegg D.

3.2 Termografering

Ved hjelp av et termograferingskamera som vist i **Figur 8**, visualiseres overflatens temperatur og strålingsegenskapene som et fargespekter. Målingene er gjennomført fra innsiden av bygningen, fordi det er enklere å lokalisere kuldebroer og lekkasjer herfra. Det bør presiseres at fokuset ved termograferingen er rettet mot de eksterne luftlekkasjene. Det vil si lekkasjer og kuldebroer som er vendt mot utsiden. Interne lekkasjer og kuldebroer inne i bygningen er forholdsvis vanskelig å oppdage ved termografering på grunn av liten temperaturforskjell. Det ble tatt hensyn til temperatur, trykkforhold, solinnstråling og endringer i klimaforhold gjennom målingene av kontoret.



Figur 8: Termograferingskamera (FLIR InfraCam) som ble benyttet ³³

Forberedelser før termograferingen av kontoret innebar at vinduer og dører ble lukket. Inventar som sto i veien ble flyttet, slik at de ikke endret temperaturforholdene. Plantegninger og detaljtegninger ble analysert, hvor områder som var utsatte ble markert. Tegningene ble benyttet til å markere nye områder ved gjennomføringen av termograferingen. Ved start ble det tatt en rask gjennomgang med termograferingskamera for å få en oversikt av bygningen. Områder som ble oppdaget ble tolket og klassifisert for å finne mulige årsaker. Ut i fra dette kunne omfanget av lekkasjer bedømmes.

3.3 Lufttetthetsmåling

For klargjøring av lufttetthetsmålingen ble åpninger mot i utsiden som dører og vinduer lukket, mens innerdører ble holdt åpne. Ventilasjonsanlegget ble slått av for å tette igjen tilluftventiler, avtrekksventiler og kjøkkenventilatoren.

Utstyret som ble brukt til lufttetthetsmålingen er Minneapolis Blower Door som vist i **Figur 9**. Den består av en ramme med plastduk, målerør med vifte som har turtallsregulator, instrumenter for registrering av luftstrøm og data med software til å beregne trykkforskjellen.¹⁵



Figur 9: Minneapolis Blower Door i hovedinngang for kontorlokalet

Kapasiteten til viften avhenger av åpningen. Det finnes fem ulike ringer med ulik kapasitet som kan benyttes for å oppnå et nøyaktig resultat. Den totale kapasiteten for viften uten ringer er 4 850 cfm (cubic feet per minute).³⁴ Med formelen under kan en omformulere dette til kubikkmeter per time. Ved å dele viftekapasiteten på beregnet bruksarealet finner en det maksimale lekkasjetallet kontorlokalet kan ha for å oppnå trykkforskjellen programmet skal kjøre.

$$Q = 4\,850 \text{ cfm} \times (0,305\text{m})^3 \times 60 \text{ min} = 8\,256 \text{ m}^3/\text{h}$$

Området ble målt har et volum på 2 861 m³. Det er større enn volumet til kontorlokalet. Hovedgrunnen er at område som det ble prosjektert for i oppgaven, er mindre enn området som ble målt i lufttethetsmålingen. Dette fordi "isolering" av området ikke lot seg gjøre. Den maksimale verdien lekkasjetallet kan være for å oppnå ønsket trykkforskjell på 70 Pa er 2,89 h⁻¹. Selv om lekkasjetallet skulle være over denne verdien vil måleverktøyet gi resultater fra maksimalt oppnådd trykkforskjell.¹⁵

$$n_{50} = Q / V_{\text{Kontor}} = (8\,256 \text{ m}^3/\text{h}) / (2\,861 \text{ m}^3) = 2,89 \text{ h}^{-1}$$

For tetting av avtrekk- og tilluftventiler ble det benyttet plastikkposer og blå maskeringsteip som vist i **Figur 10**. Ved å benytte to ulike målingsmetoder som baserer seg på å skape et undertrykk og et overtrykk i kontoret, ble gjennomsnittsverdien av målingene utgangspunkt for resultatene.



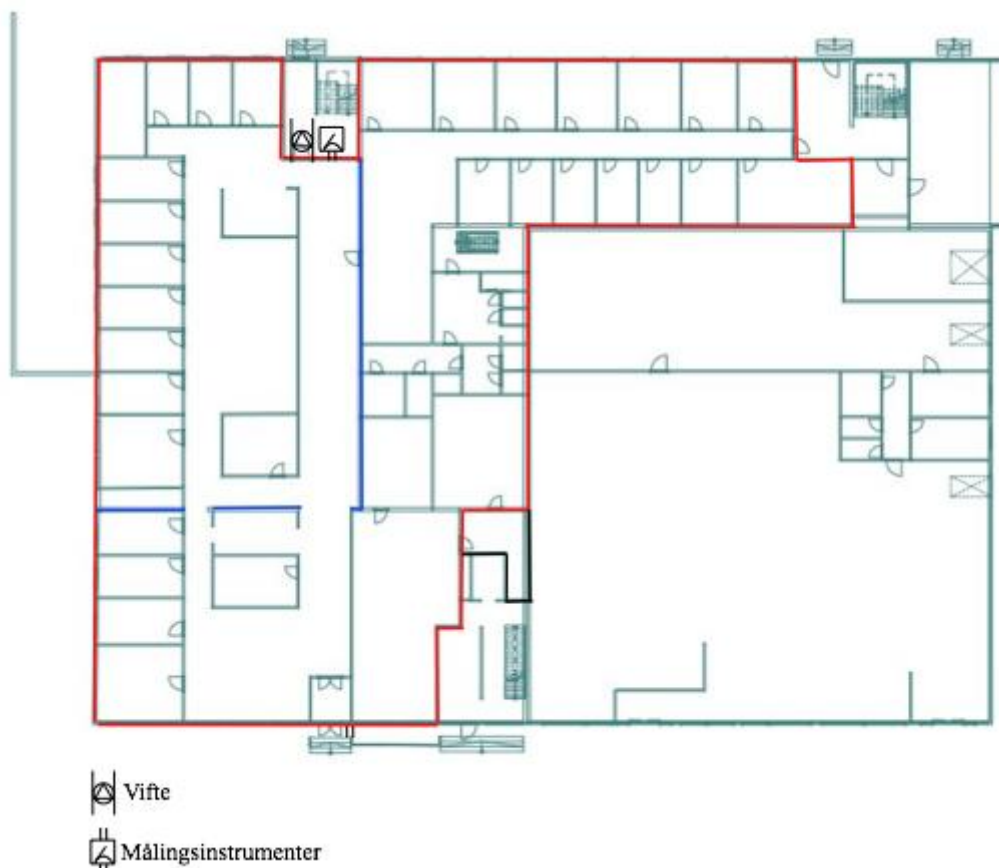
Figur 10: Tetting av ventilasjon i kontorlokalet (bilde til venstre og midten skaper viften undertrykk, mens det skapes overtrykk på bildet til høyre)

Et fastsatt program i Tectite software ble brukt for gjennomføringen av lufttetthetsmålingen. Informasjonen for simuleringen i Tecite er vist i **Tabell 13**. Dette programmet skaper først en trykkforskjell på 70 Pa mellom ute og inne, før den tar hundre målinger med 5 Pa intervaller helt ned til 25 Pa. Gjennomsnittet av de ulike målingene danner en lineær graf som er utgangspunkt for lekkasjetallet.

Tabell 13: Inndata i Tectite ved lufttetthetsmåling

Volum	2 861 m ³
Overflate areal	1 472 m ²
Golv areal	1 038 m ²
Temperatur (Ute)	4 °C
Temperatur (Inne)	20 °C
Vindklasse	Frisk bris (Kat. 5)
Bygningsplassering	Delvis utsatt

Området som ble målt er tegnet opp i **Figur 11**. Arealet som befinner seg innenfor rød og svart linje er det området som det ble gjennomført en lufttetthetsmåling på, mens det røde området er utgangspunktet for oppgaven. Området innenfor den svarte linjen skulle i utgangspunktet ikke være med på målingen, men siden det går åpne føringer mellom andre soner ble det inkludert. Den blå linjen indikerer skillet mellom eksisterende og påbygd del. Vifte og målingsinstrumenter er plassert ved nødutgang for kontorlokalet som vist under.



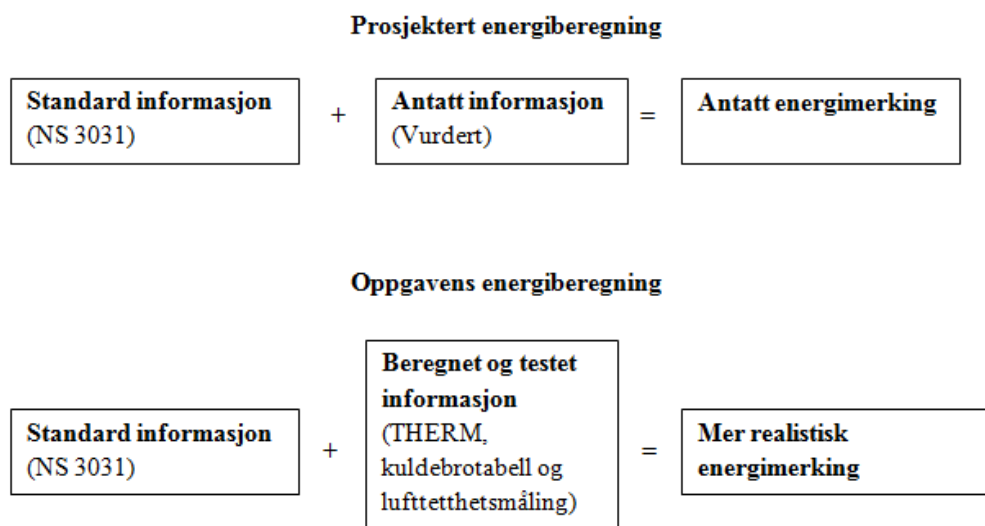
Figur 11: Kontorlokalet med vifte og måleinstrumenter, rød og svart linje som viser grensen for måling og blå som skiller påbygg og eksisterende bygning (av Mats C. J. S. i Archicad)

3.4 Energisimulering - SIMIEN

En energisimulering er en prosedyre som brukes for å energimerke boliger og bygninger. Simuleringen baserer seg på innhentet informasjon fra den prosjekterte bygningen. For energiberegningen er verktøyet SIMIEN utviklet. Dette er en teknisk programvare laget av ProgramByggerne ANS, og er basert på NS 3031: 2007 "Beregninger av bygningers energiytelse - Metode og data, og er godkjent for energimerking av NVE.¹⁶

Det gjennomføres en energisimulering hvor nye verdier fra tester og beregninger erstatter antatte verdier i simuleringsverktøyet. Resultater fra en slik energisimulering er mer realistisk i forhold til den virkelige bygningen. **Figur 12** viser de to metodene som er benyttet for energimerking av bygninger. I denne oppgaven tas det utgangspunkt i den prosjekterte simuleringen med mål om energikarakter A. Med simuleringsverktøyet skal den prosjekterte energiberegningen vurderes opp mot energiberegningen basert på beregninger og tester. Ved avvik fra mål skal tiltak iverksettes. Ulike energiltak kan så testes i simuleringsverktøyet for

å bestemme hvilket tiltak som skal iverksettes for å innfri målet. Disse tiltakene er vist i kapittel 6.1 om energitiltak.



Figur 12: To metoder å gjennomføre energiberegning (av Mats C. J. S.)

Kontoret er delt opp i flere soner slik at komfort og inneklima kan vurderes på best mulig måte. Forskrifter i TEK 10 setter krav til tilfredsstillende inneklima, komforten og energibruken i bygninger. Til dette kan årssimulering, sommersimulering eller vintersimulering i SIMIEN benyttes. Simuleringsverktøyet evaluerer prosjektet mot forskrifter i TEK 07 eller TEK 10.

3.5 VAP – Kostnadberegning

VAP (Veidekkes Anbud og Produksjonsoppfølgingssystem) er et hjelpeverktøy utviklet av Veidekke til prosjektstyring og kalkulasjon. Prosjekter fungerer som selvstendige enheter og rapporterer månedlig til økonomiavdelingen gjennom VAP. Kalkulering av prosjekter gjøres ved anbud, inndata i VAP og kalkulatørens tidligere erfaringer.³⁵

I denne oppgaven skal VAP benyttes dersom det oppstår avvik mellom prosjektert og virkelig energiberegning. Ved eventuelle avvik blir det iverksatt tiltak som sørger for at prosjektet når sitt mål om energikarakter A. Tiltaket som er mest kostnadseffektivt velges.³⁵

4. Ås kvartal 5

4.1 Beskrivelse

Ås Kvartal 5 er et prosjekt som bygges av Veidekke Entreprenør avdeling Follo/Indre Østfold. Prosjektet befinner seg i sentrum av Ås (se **Figur 13**), og innebærer å bygge et eget energieffektivt kontor. Prosjektets ambisjoner for kontorlokalet er energikarakter A. For forretninger og leiligheter følges gitte bygningsspesifikasjoner som tilfredsstiller forskriften. Bygningsperioden strekker seg fra januar til desember i 2012. Bygningen igangsettes etter 1.juli. 2010, slik at det er TEK 10 som gjelder.



Figur 13: Kart og flyfoto med beskrivelse av Ås Kvartal 5 ³⁶

Bygningen består av en eksisterende bygning, hvor det skal bygges på en kontordel, forretningsdel og leilighetsdel. Påbygget består av to deler, hvorav den ene delen består av en nedgravd parkeringskjeller med kontordel over. Over kontordelen er det bygget en takterrasse for leiligheter. Den andre delen består av et forretningslokale i første etasje, med 11 leiligheter og takterrasse i etasjene over. To av leilighetene bygges over den eksisterende bygningskroppen, slik at det er fem leiligheter som sammenstilles i fjerde etasje. Store deler av første etasje i den eksisterende bygningen er et kontorlokal, bortsett fra en mindre forretningsdel. Under er det en kjeller og over er det eksisterende leiligheter opp til tredje etasje.³⁷



Figur 14: Tegninger av bygningen (av Mats C. J. S. i Archicad)

I denne oppgaven vil kun kontordelen av bygningen bli vurdert. Deler av første etasje bygges om til kontorer som kobles sammen med de nye kontorene. Det nye kontoret utføres med bærekonstruksjon i stål og betong. Ytterveggene utføres som bindingsverksvegger med stålsøyler. Søyler i parkeringskjeller mot kontorlokalet er i betong. Hulldekkere er benyttet som etasjeskiller og tak. Taket er isolert med 300 mm isolasjon på oversiden av hulldekket, mens det for gulv er 100 mm isolasjon på undersiden av hulldekket. Overflater er gjennomført med beiset tegl, puss-systemer og beslag. Kontorbyggets eksisterende yttervegger er bygd opp av en betongvegg med 100 mm isolasjon på innsiden, og 100 mm etterisolert isolasjon på utsiden. Etasjeskillene er betongelementer med dragere for å ta bæring.³⁷

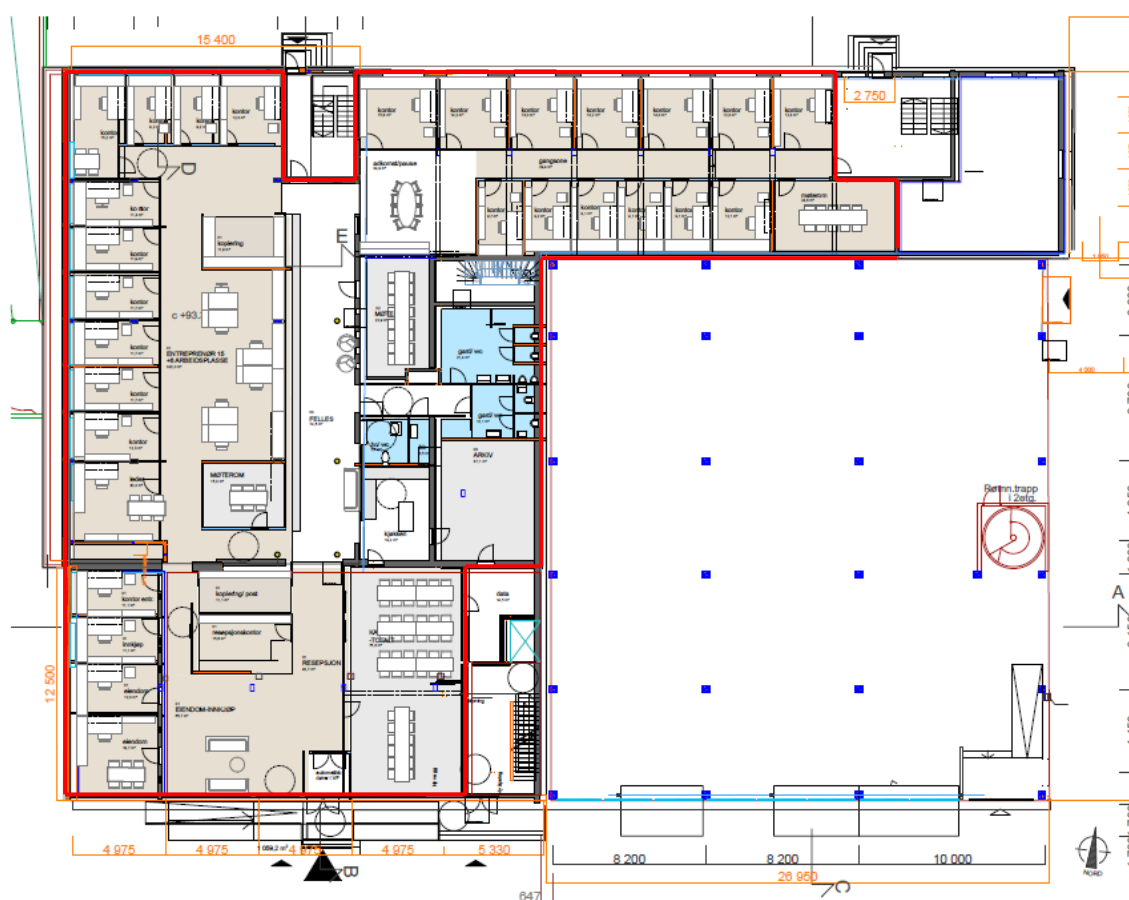
Tabell 14: Bruttoarealer for bygningsdelene ³⁷

Bygningsdeler	BRA (m ²)
Kontor - eksisterende	658
Kontor - påbygg	369
P-kjeller - påbygg	448
Forretningsbygg - påbygg	745
Leiligheter - eksisterende	1480
Leiligheter - påbygg	1064

I **Tabell 14** vises en oversikt over arealene til de forskjellige bygningsdelene. Forretningsdelen i eksisterende bygning, trapperom og heissjakter er ikke tatt med i beregningen. Det henvises til vedlegg A for komplett oversikt over arealberegninger for bygningen.

4.2 Tegningsgrunnlag

Oppgaven har tatt utgangspunkt i tegningene under med beskrivelse. Endringer som har blitt gjort i ettertid er ikke tatt hensyn til. **Figur 15** viser en plantegning over kontorlokalet. Den røde streken viser området oppgaven har som grunnlag for besvarelsen. Noen av trapperommene er ekskludert fordi de kun fungerer som rømningsveier for kontoret. Det vil si at hovedinngangen er den eneste medberegnete døren. Plantegningen viser at store deler kontorets "yttervegger" grenser inn mot forretningslokaler som er en oppvarmet sone.

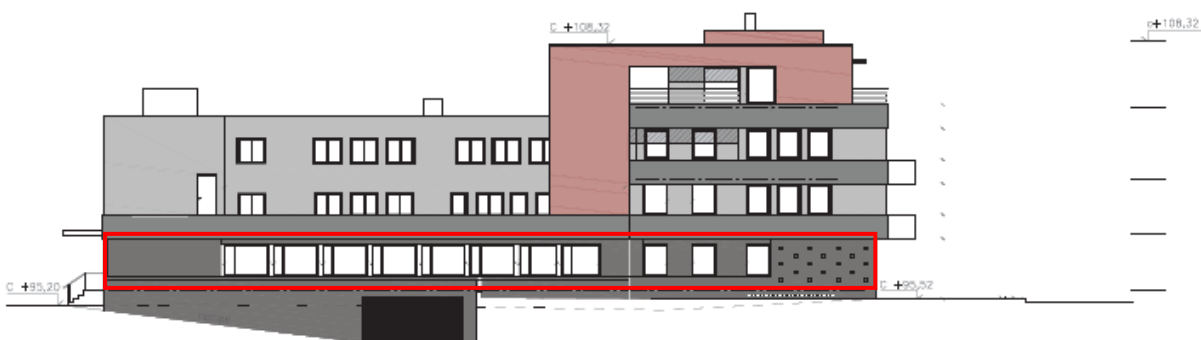


Figur 15: Plantegning av kontorlokalet ³⁸

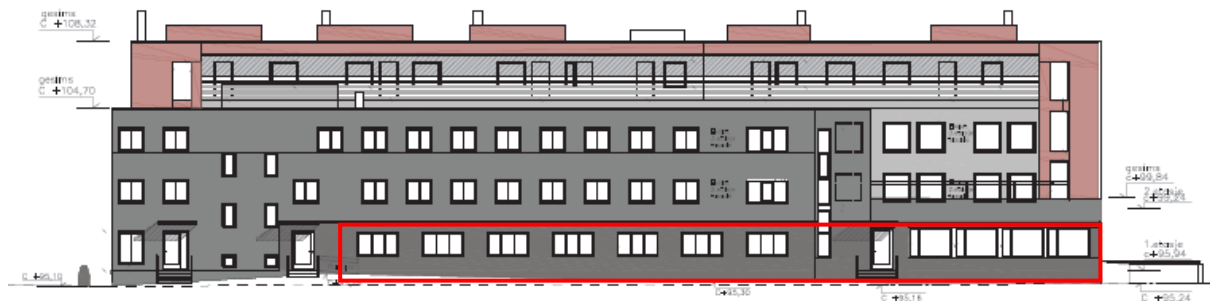
Fasadetegninger av bygningen er vist i **Figur 16**, **Figur 17** og **Figur 18**. Kontordelen er rammet inn i rødt i de ulike fasadetegningene. Store deler av ytterveggarealet er vendt mot nord og øst. Fasade sør har minst ytterveggareal, men et stort glassareal. Fasadetegningene viser at et stort areal av kontoret er koblet til parkeringskjeller, kjeller og leilighet.



Figur 16: Fasade mot sør³⁸



Figur 17: Fasade mot vest³⁸



Figur 18: Fasade mot nord³⁸

4.3 Prosjekterte energiltak

Prosjekterte energiltak er de energiltakene som er valgt for kontorlokalet. Tiltakene skal bidra med å nå målet om energikarakter A. Det legges Leca fasadeblokk systemer (125 mm inkl. 50 mm isolasjon) rundt grunnmur av eksisterende og påbygd del. Etterisolering utvendig av eksisterende vegger med 100 mm isolasjon. Det er lagt en kuldebrobyrter (50 mm isolasjon) hvor søyle møter tak. Innsatte energieffektive vinduer med lav u-verdi i hele kontordelen. Solmarkiser er montert på solutsatt fasade. Energieffektiv belysning (LED-

pærer) er satt inn og systemet er behovsstyrt. Hovedinngangen til kontoret er bygget som en sluse for at varme ikke skal gå tapt.

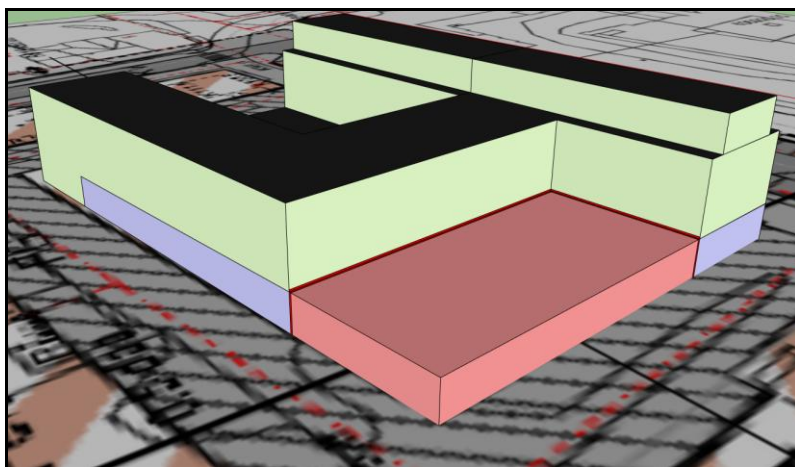
Energiforsyningen til kontoret er elektrisitet og fjernvarme. Bygningen er tilknytningspliktig til fjernvarmeanlegget ved kommunal vedtekt til plan- og bygningsloven, § 27-5.¹¹ Det er installert et ventilasjonsanlegg med en lav SFP-faktor og høy varmegjenvinningsgrad.

4.4 Beregning og vurdering av bygningens tilstand

Denne delen av oppgaven gir en oversikt av bygningens tilstand gjennom hele bygningsfasen. Det vil si hvilke forutsetninger bygningen har med tanke på oppbygning, ombygning, lekkasjer, kuldebroer og u-verdi. Ved bruk av simuleringstøytøy og andre hjelpemidler skal kontorets tilstand dokumenteres.

4.4.1 Bygningsfysikk - Lekkasje-tall

Den eksisterende delen ble for første gang ferdigstilt i 1967. Rehabiliteringsprosjekter har den ulempe at konstruksjon og materialer som har blitt benyttet ikke er tilstrekkelig dokumentert. En bør derfor få oversikt og kjennskap til eventuelle problemer vedrørende gjeldende bygninger. **Figur 19** viser den påbygde delen i fargen rød, og den eksisterende delen i fargen blå. Leiligheter og andre forretninger som ikke hører med i kontoret er markert med fargen grønn. Den røde streken mellom eksisterende del og påbygget representerer koblingen mellom de to sonene. Problemet med å koble eksisterende bygninger med påbygg er at det lett kan oppstå luftlekkasjer i åpningene. Spesielt siden det er en høydeforskjell mellom koblingen.



Figur 19: Tegning av Ås kvartal 5, hvor rød er påbygg, blå er eksisterende og grønn er resterende bygning (tegnet i SketchUp av Mats C.J.S.)

Figur 20 viser et problem med kobling mellom eksisterende del og påbygg. Bilde viser en åpning som ikke er tett ordentlig. Dersom slike feil ikke blir rettet tilstrekkelig opp kan det medføre økt luftlekkasje i bygningen.



Figur 20: Åpning i overgangen mellom eksisterende bygning og påbygget (bilde av Mats C.J.S.)

Figur 21 viser overgangen og åpningen mellom påbygget og eksisterende del. På bildet til venstre kan en se høydeforskjellen mellom de ulike delene, mens bilde til høyre viser snittet av koblingen i en gjennomgående åpning.



Figur 21: Overgangen mellom eksisterende og påbygget (bilde av Mats C.J.S.)

Figur 22 viser planlagte rørgjennomføringer og tetting eller fjerning av eldre rør. Bildene er i eksisterende bygning. For at lekkasje i bygningen skal minimeres må slike åpninger tettes tilstrekkelig igjen.



Figur 22: Åpning og gamle rør med lekkasje i eksisterende del (bilde av Mats C.J.S.)

Figur 23 viser et ferdig installert vindu i eksisterende bygning. Vinduet som er satt inn i kontoret er energieffektive. Det er viktig at innsetting av vinduer utføres på en korrekt måte, slik at varmetapet rundt vinduet blir minimalt. En korrekt måte vil si riktig mengde isolering rundt og plassering så en slipper lekkasjer.

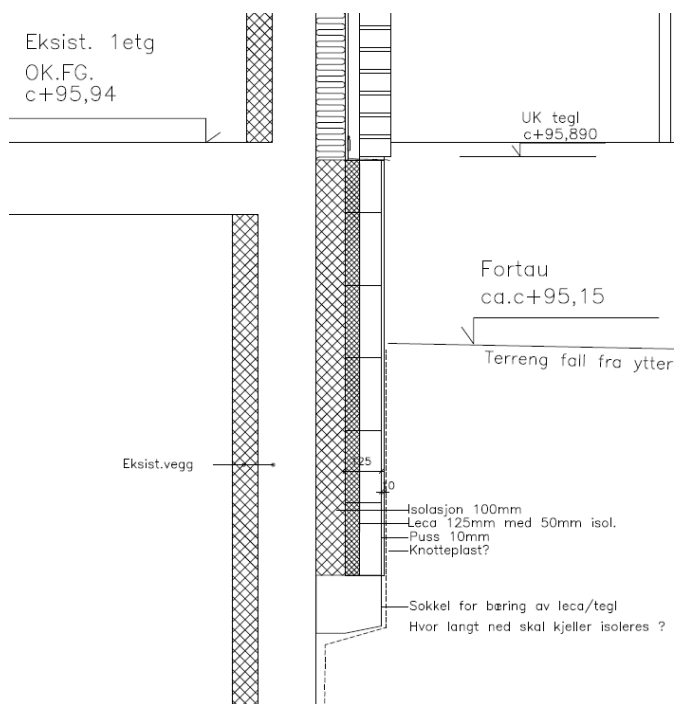


Figur 23: Montering av vinduer i eksisterende del (bilde av Mats C.J.S.)

4.4.2 U-verdi og normalisert kuldebroverdi - THERM

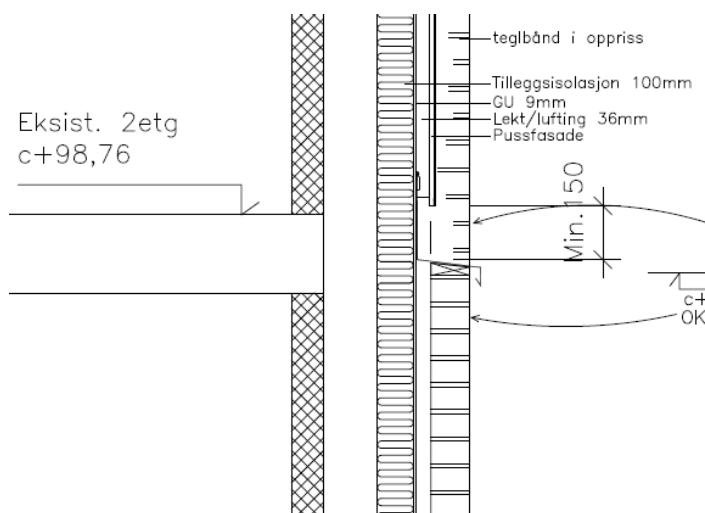
Simuleringsverktøyet THERM er benyttet for å beregne u-verdien til konstruksjonsdeler i kontorlokalet. De ulike delene tegnes opp i enten horisontale eller vertikale snitt før simuleringen settes i gang. Hensikten med simuleringen er å finne u-verdier til vegger, gulv og tak, som videre skal benyttes til å finne den normaliserte kuldebroverdien. Informasjonen som er simulert eller beregnet settes så inn i simuleringsverktøyet SIMIEN.

Konstruksjonen i **Figur 24** viser den eksisterende vegg mot gulv av bygningen. Veggene er bygget opp med gipsplate, 50 mm isolasjon, betongvegg, tilleggsisolasjon 100 mm, GU plater 9 mm (utvendig gipsplate som er vannavstøttende), lektet 36 mm og tegl overflate. Vegg mot kjeller består av betongvegg, tilleggsisolasjon og leca 125 mm med 50 mm isolasjon. På gulvet er det lagt en sponplate med parkett over.



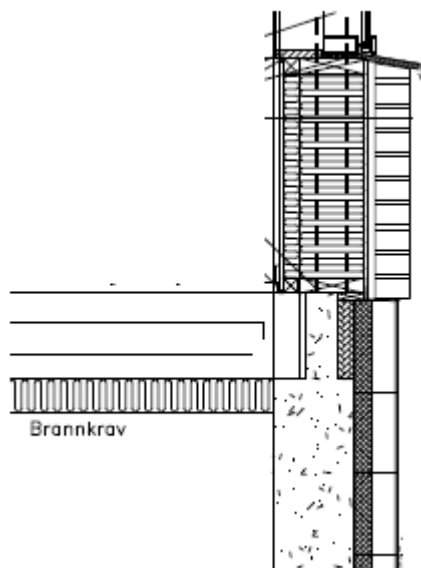
Figur 24: Snittegning av eksisterende vegg mot gulv ³⁸

I **Figur 25** vises konstruksjonen for eksisterende vegg mot etasjeskiller på nordside av bygningen. Veggene er bygget opp med gipsplate, 50 mm isolasjon, betongvegg, tilleggsisolasjon 100 mm, GU plater 9 mm, lektet 36 mm og tegl overflate. Himlingen består av et nedsenket himlingssystem med gipsplater. Etasjen over er gulvet lagt med sponplate med parkett.



Figur 25: Snittegning av eksisterende vegg mot etasjeskiller³⁸

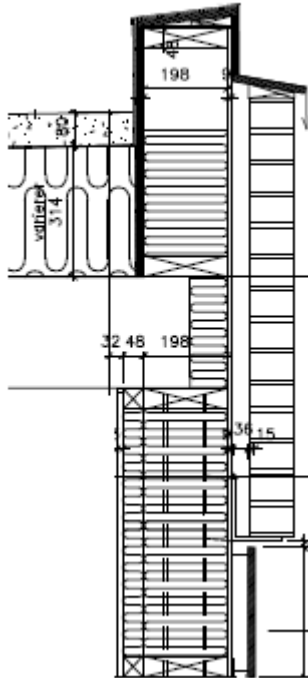
Konstruksjonen i **Figur 26** viser vegg mot gulvet i påbygget. Vegg utføres som bindingsverkvegger med stålsøyler for bæring. Oppbygningen av vegg er 13 mm gipsplate, 50 mm isolasjon, dampsperre, 200 mm isolasjon, GU plate 9 mm, lektet 36 mm ut og tegl overflate. Vegg mot parkeringskjeller består av betongvegg og Leca 125 mm med 50 mm isolasjon. Etasjeskillet er en 265 mm hulldekker med sponplate og parkett over, mens det er isolert 100 mm under etasjeskillet.



Figur 26: Snittegning av påbygd vegg mot gulv³⁸

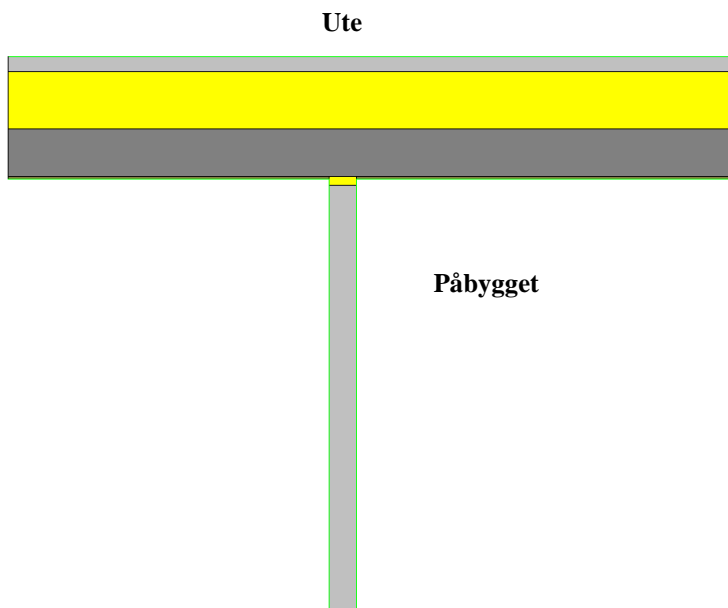
I **Figur 27** viser konstruksjonen for vegg mot tak i påbygget. Vegg er bygget opp med 13 mm gipsplate, 50 mm isolasjon, dampsperre, 200 mm isolasjon, GU plate 9 mm, lektet 36 mm

ut og tegl overflate. Taket består av 265 mm hulldekker, 314 mm isolasjon og 80 mm magerbetong på toppen. I kontoret er det et nedsenket himlingssystem med gipsplater.



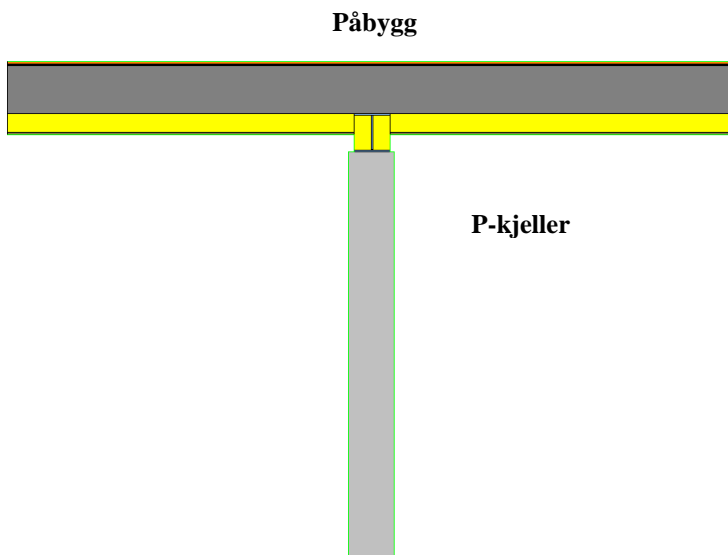
Figur 27: Snittegning av påbygd vegg mot tak ³⁸

Konstruksjonen i **Figur 28** viser søyler mot tak i påbygget. Det er totalt 11 betongsøyler som både er runde og rektangulære. Dimensjonen på de runde søylene er 300 mm og de rektangulære søylene er 250 x 400 mm. Det antas at begge typer søyler har samme u-verdi. Mellom taket og søylene er det benyttet en kuldebrobryter for å begrense varmetapet. Taket har samme oppbygning som nevnt tidligere.



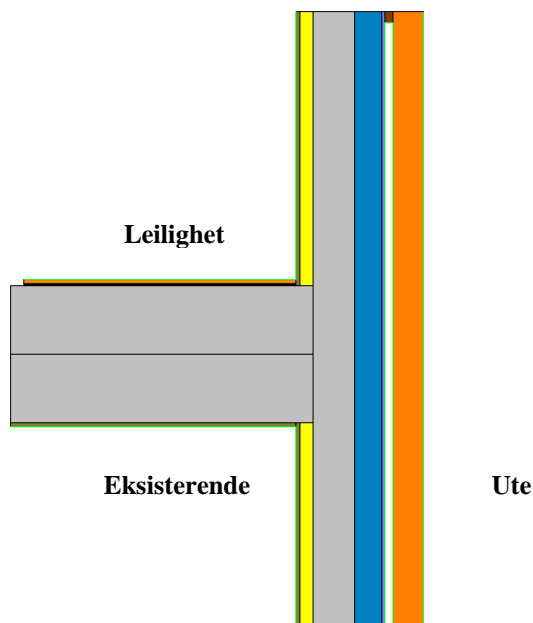
Figur 28: Snittegning av påbygd søyle mot tak fra THERM

I **Figur 29** er konstruksjonen for søyle mot gulv i påbygget skissert. Det er 12 rektangulære betongsøyler med dimensjon 250 x 400 mm. Over søylen ligger det en HEB 200 bjelke med isolasjon rundt. Gulvet har samme oppbygning som nevnt tidligere.



Figur 29: Snittegning av påbygd søyle mot gulv fra THERM

Konstruksjonen i **Figur 30** viser drageren mot vegg i eksisterende del. Det er totalt syv betongdragere med antatt dimensjon på 300 x 300 mm. Eksisterende vegg og etasjeskillet er oppbygd på samme måte som tidligere nevnt.



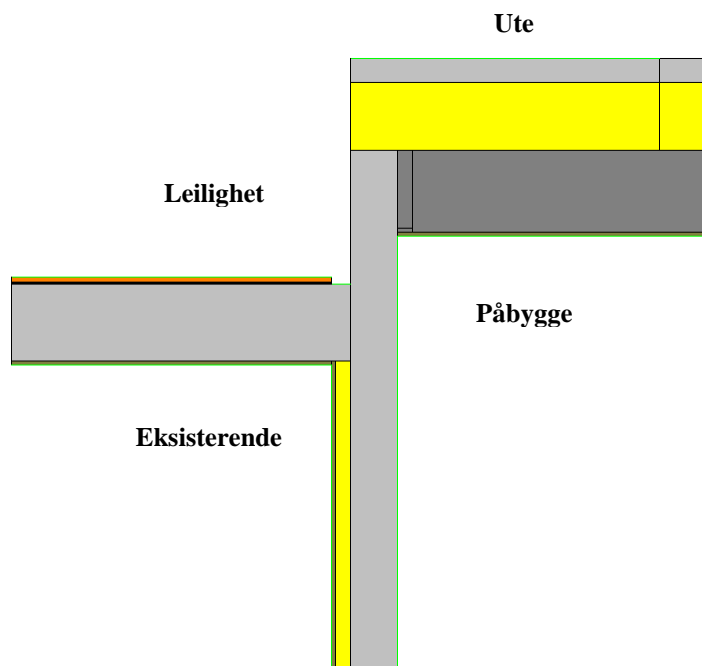
Figur 30: Snittegning av eksisterende drager mot vegg fra THERM

I **Figur 31** vises konstruksjonen for hjørne i eksisterende del sett ovenifra. Det er kun et slikt hjørne i kontoret. De møtende veggene har samme oppbygning som tidligere nevnt for eksisterende vegger.



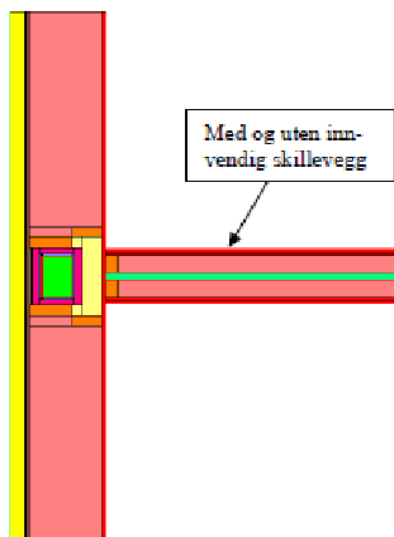
Figur 31: Snittegning av eksisterende hjørne fra THERM

Konstruksjonen i **Figur 32** viser eksisterende vegg som går ned mellom påbygd og eksisterende del. Over den eksisterende delen er det leiligheter. Mellom disse skiller kun et lag parkett, sponplate og et 300 mm betongelement med nedsenket himling. Veggene er isolert med 50 mm isolasjon mot påbygd del. Påbygd kontordel grenser mot taket med samme spesifikasjoner som tidligere. Veggene mot den eksisterende delen er ikke isolert.



Figur 32: Snittegning av eksisterende vegg ned i kontoret fra THERM

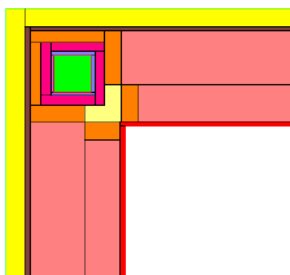
Konstruksjonen i **Figur 33** viser kuldebro for stålsøyler i påbygd vegg. Det er totalt syv stålsøyler i vegg som har en u-verdi på $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vegg er som tidligere beskrevet en bindingsverksvegg, og verdien gjelder både med og uten innvendige skillevegger koblet til.



Figur 33: Snittegning av stålsøyle i påbygd vegg hentet fra Kuldebroatlasen ¹⁷

I **Figur 34** vises konstruksjonen for hjørne i påbygd del sett ovenifra. Hjørnet er hentet fra Kuldebroatlasen. Det er kun ett slikt hjørne i kontorer. Møtende vegger har samme

oppbygning som tidligere nevnt for bindingsverksvegger, men det er en stålsøyle der veggene møtes. U-verdien til konstruksjonen er $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 34: Snittegning av hjørne i påbygg hentet fra Kuldebroatlasen ¹⁷

U-verdier som ikke er vist på tegningene ovenfor har blitt hentet fra Kuldebroatlasen. Dette gjelder vinduer mot ulike typer vegger.

4.5 Fordeler ved et kombinasjonsbygg

I dette kapittelet skal fordeler og ulemper med plassering av ulike bygningskategorier i forhold til hverandre vurderes. Som utgangspunkt for denne vurderingen er kontorlokalet benyttet som eksempel. Mengder yttervegg, tak og gulv i den oppgavens ferdigstilte energisimulering skal forandres. Dette for å anslå om endringene som blir foretatt har noen betydning for energimerkingen. Endringene er realistiske i forhold til hvordan den totale bygningen kunne vært utformet.

4.5.1 Gulv mot grunn istedenfor kjeller

Først er etasjeskillet som grenser mot parkeringskjeller og kjeller erstattet med gulv mot grunn. Det benyttes samme u-verdi som gulvet i garasjen har mot grunnen. Utenom det gjøres det ingen endringer. Tak arealet og himling mot leiligheter forblir den samme.

4.5.2 Tak over hele kontoret

Tak over hele kontoret vil si at arealet med himling beregnes som tak. Det som er tak fra før forblir tak, og denne u-verdien benyttes i simuleringen. Utenom er det ikke foretatt noen endringer fra den opprinnelige energimerkingen.

4.5.3 Yttervegger rundt hele kontoret

For kombinasjonsbygg grenser deler av bygningen mot andre bygningskategorier i planet. Vegger som grenser mot andre bygningskategorier regnes ikke som yttervegger. Det vil bli vurdert hvilke fordeler eller ulemper areal yttervegg medfører, gjennom at vegger som grenser mot andre bygningskategorier beregnes som yttervegger. Det vil bli satt på vinduet som er realistisk i forhold til bygningen.

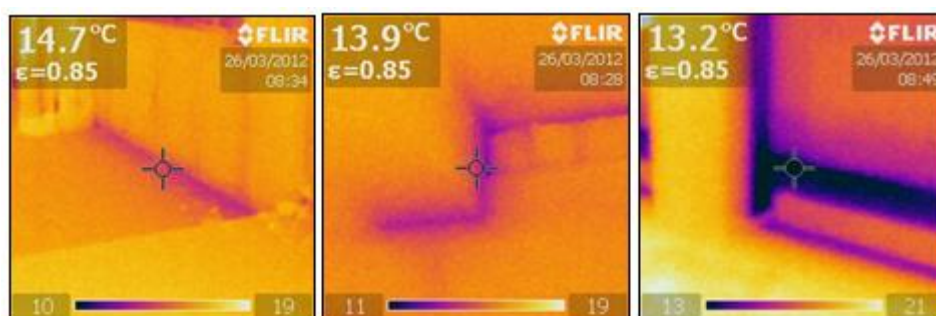
4.5.4 Optimal plassering for kontoret

I dette tilfellet grenser gulvet og taket til oppvarmede soner med samme temperatur. Den totale mengden yttervegger er den samme som forutsatt fra oppgavens energimerking.

5. Resultater

5.1 Termografering i bygningsfasen

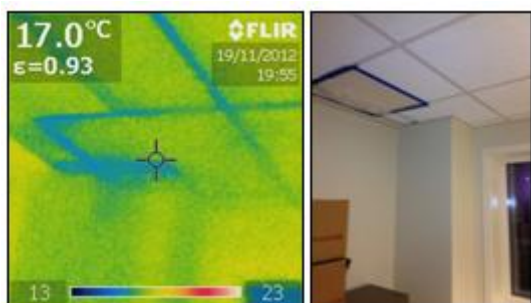
I denne oppgaven er det gjennomført termografering i ulike deler av bygningsfasen for å fastsette kuldebroer som benyttes i THERM. **Figur 35** viser termografering av eksisterende bygning i tidlig byggefase. Bildet til venstre viser overgangen mellom gulv og vegg, mens bildet i midten viser kuldebroen rundt drageren. En kan også observere en kuldebro mellom vegg mot etasjeskiller på bildet i midten. Bildet til høyre er tatt i hjørnet av et vindu. Det viser at vinduskarmen og området rundt er utsatt for varmetap.



Figur 35: Termografering i tidlig bygningsfase (t.v. vegg mot gulv, midten drager og t.h. vinduskarm)

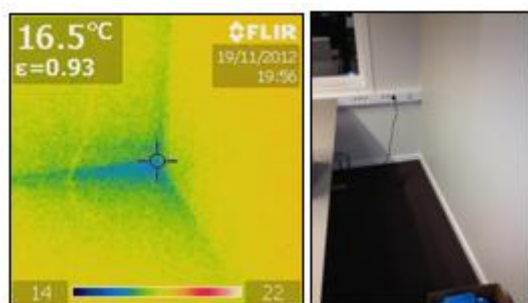
Under vises bilder fra termograferingen etter ferdigstillelse av kontoret. De samme områdene som ble vurdert i tidlig fase ble også analysert etter ferdigstillelse for å bekrefte eller avkrefte kuldebroer og mulige lekkasjer i bygningen. Termograferingen ble gjennomført mot

yttervegger i både påbygget og eksisterende del. **Figur 36** viser en kuldebro der vegg møter etasjeskiller i eksisterende del.



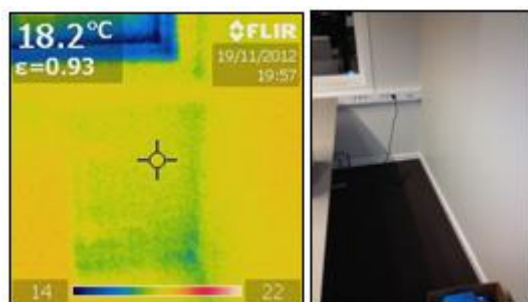
Figur 36: Kuldebroer der vegg møter etasjeskiller

Figur 37 viser en kuldebro i hjørnet til kontoret i eksisterende del av bygningen. Dette var tilfellet på flere kontorer i eksisterende del.



Figur 37: Kuldebro i hjørnet og der gulv møter vegg

Figur 38 viser overflaten av en vegg i eksisterende kontor. Vegg har et varmetap i forhold til omgivelsene som er størst langs kantene.



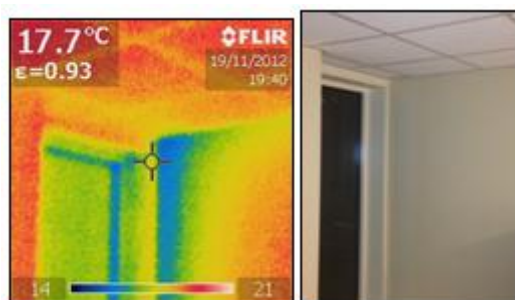
Figur 38: Termografi av overflate vegg i eksisterende del

Figur 39 viser kuldebroen langs en innvendig søyle som møter drager i eksisterende bygning. Dette problemet ble oppdaget flere steder i kontoret.



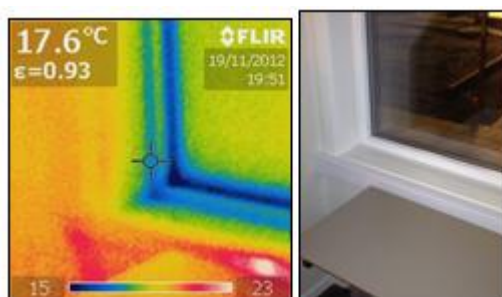
Figur 39: Termografi av søyle møter drager i eksisterende bygning

Figur 40 viser et stort varmetap i hjørne på eksisterende bygning.



Figur 40: Termografi av hjørne i eksisterende bygning

Figur 41 viser en vinduskarm i påbygd del av kontoret. Ved å sammenligne med termograferingen gjort i tidlig byggefase kan en se at problemet fremdeles er vedvarende etter ferdigstillelse.



Figur 41: Kuldebro i vinduskarm i påbygd del

Vurderingene som gjort danner grunnlaget for beregningen av den normaliserte kuldebroverdien.

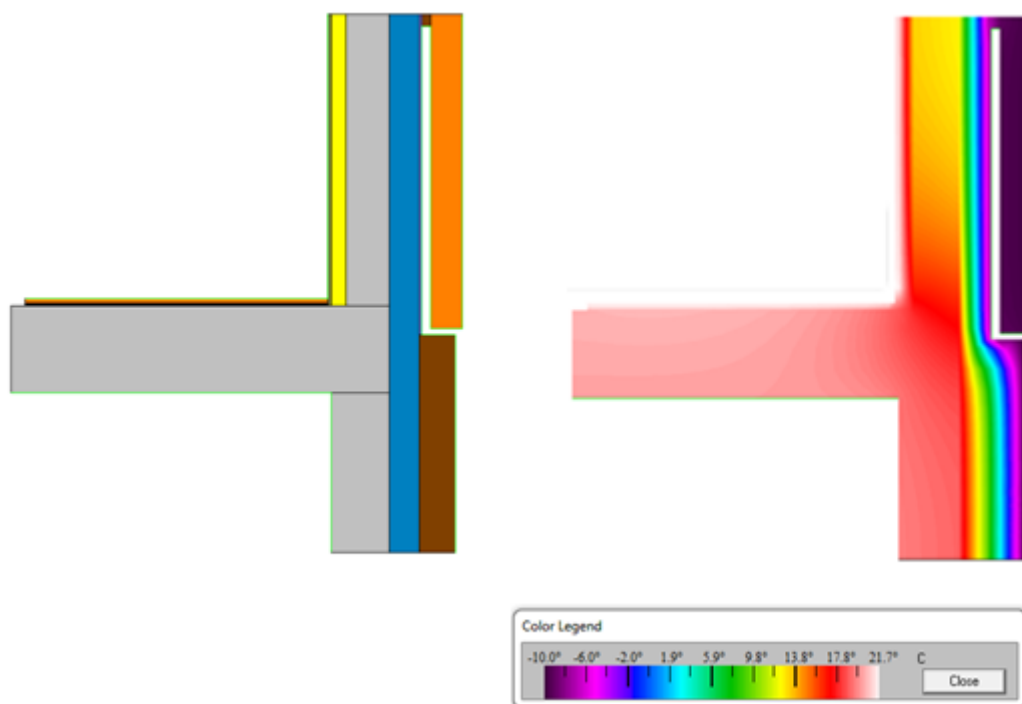
5.2 U-verdi og normalisert kuldebroverdi

Dette kapittelet inneholder resultater fra simuleringer av konstruksjonsdeler gjennomført i THERM med u-verdier, og en beregning av den normaliserte kuldebroverdien for kontoret.

5.2.1 U-verdi konstruksjonsdeler -THERM

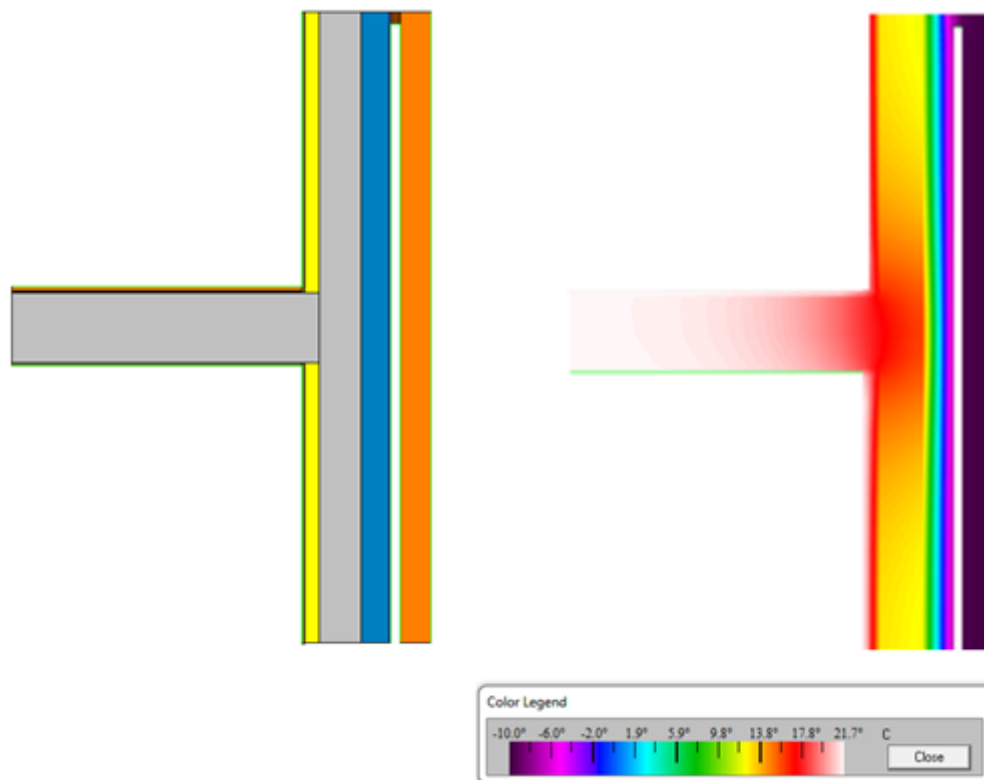
Simuleringen som er gjennomført i THERM viser først oppbygningen av konstruksjonsdelene, mens den etter simuleringen viser temperaturforskjeller i konstruksjonen ved bruk av ulike farger. Tegningene fra THERM viser hvordan temperaturen i konstruksjonen endrer seg. Et fargespekter viser hvilke temperaturer de forskjellige fargene representerer. Det er tatt utgangspunkt i en utendørstemperatur på $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, og innnetemperatur på $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. I kjeller og parkeringskjeller er temperaturen $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

I **Figur 42** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot gulv i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,266\text{ W/m}^2\text{K}$.



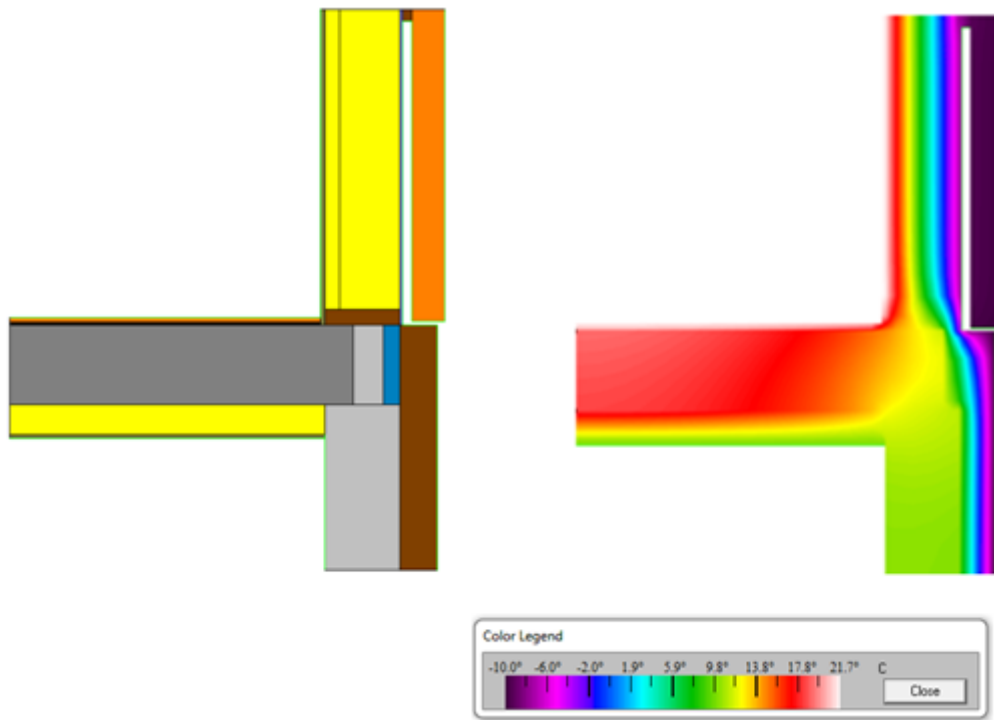
Figur 42: Temperaturforskjell i vegg mot gulv i eksisterende bygning

I **Figur 43** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,322 \text{ W/m}^2\text{K}$.



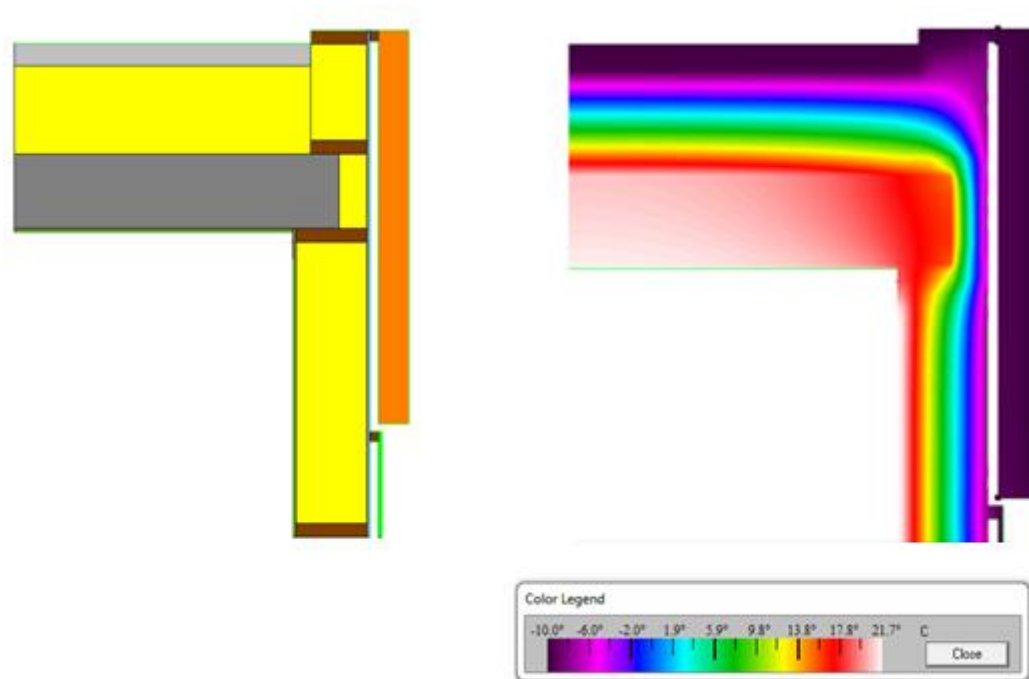
Figur 43: Temperaturforskjell i vegg mot etasjeskiller i eksisterende bygning

I **Figur 44** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot gulv i påbygget del. U-verdien til konstruksjonen er $0,305 \text{ W/m}^2\text{K}$.



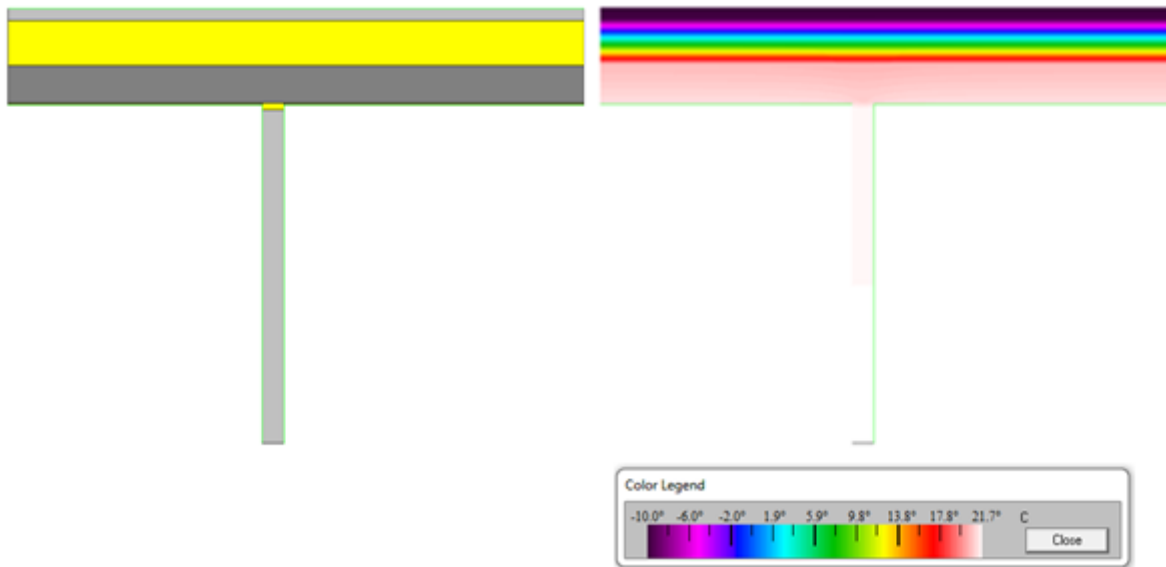
Figur 44: Temperaturforskjell i vegg mot gulv i påbygget del

I **Figur 45** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,206 \text{ W/m}^2\text{K}$.



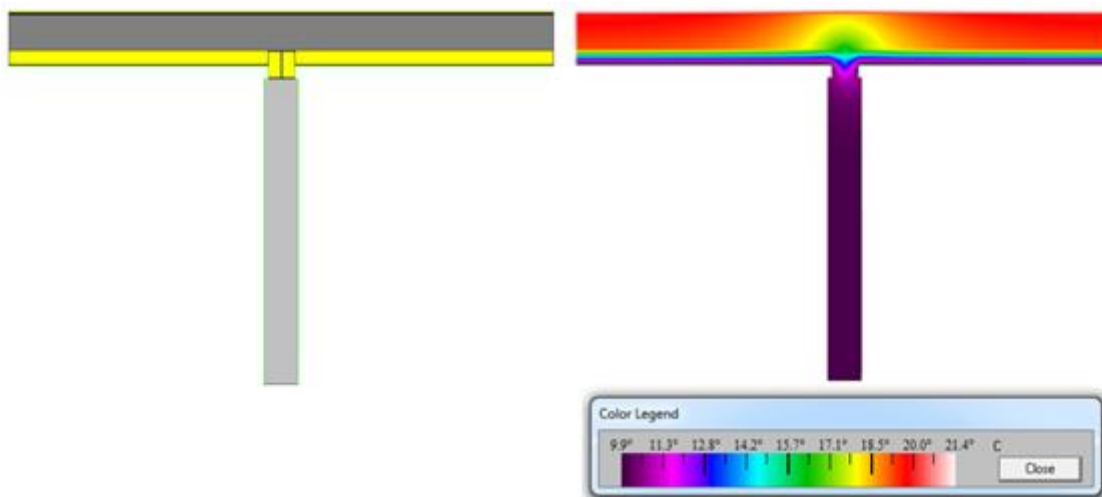
Figur 45: Temperaturforskjell i vegg mot tak i påbygget del

I **Figur 46** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,116 \text{ W/m}^2\text{K}$.



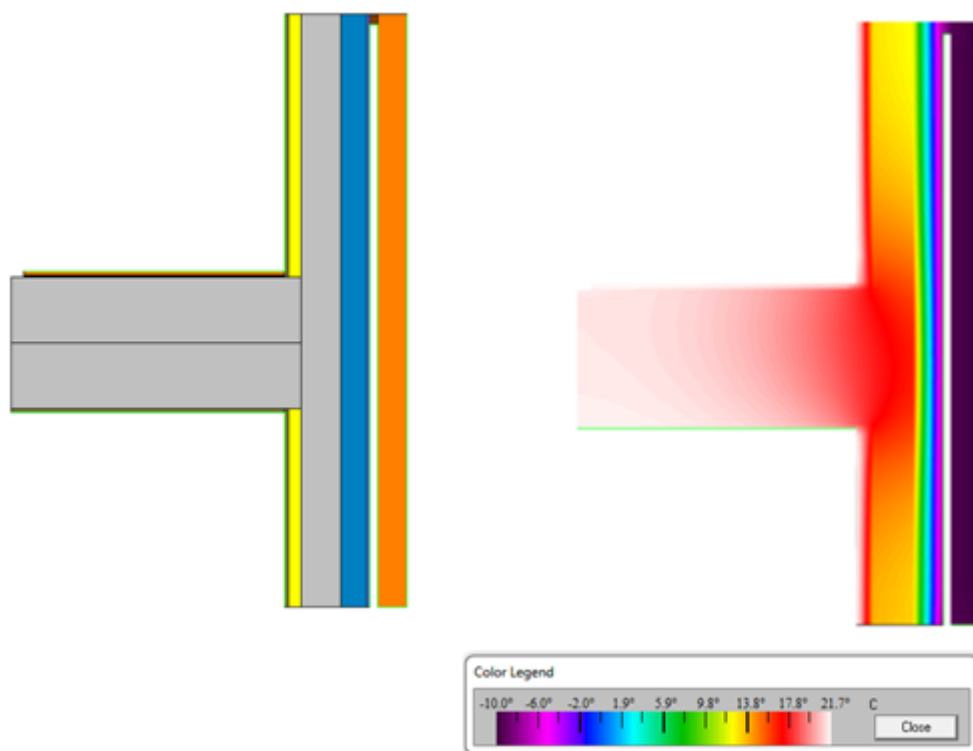
Figur 46: Temperaturforskjell i søyle mot tak i påbygget del

I **Figur 47** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,341 \text{ W/m}^2\text{K}$.



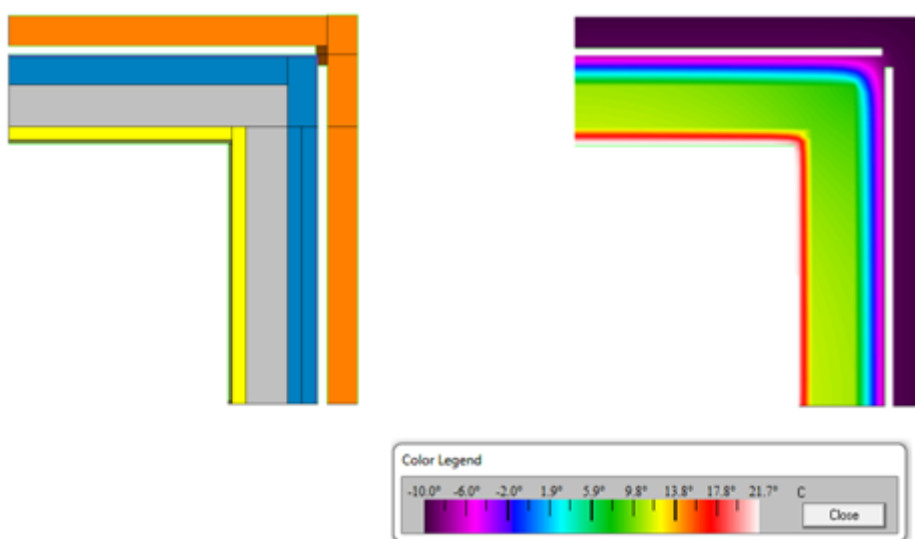
Figur 47: Temperaturforskjell i søyle mot gulv i påbygget del

I **Figur 48** vises temperaturrene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,422 \text{ W/m}^2\text{K}$.



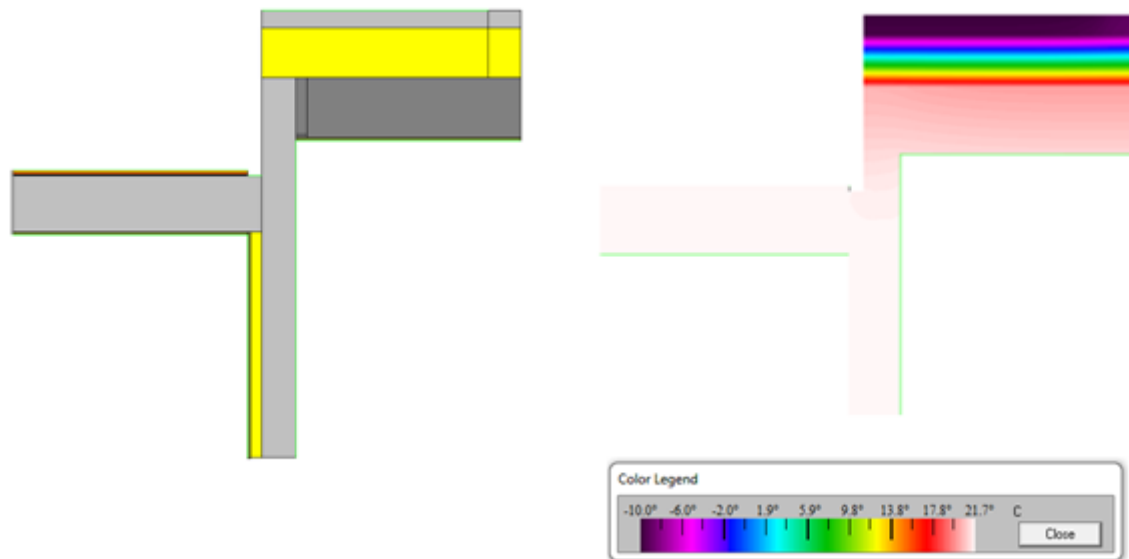
Figur 48: Temperaturforskjell vegg mot drager i eksisterende bygning

I **Figur 49** vises temperaturrene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,247 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 49: Temperaturforskjell i hjørne på eksisterende bygning

I **Figur 50** vises temperaturene i konstruksjonen for vegg mot tak i eksisterende bygning. U-verdien til konstruksjonen er $0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 50: Temperaturforskjell for eksisterende vegg ned i bygning

5.2.2 Normalisert kuldebroverdi

I **Tabell 15** vises den normaliserte kuldebroverdien. Tabellen er delt opp i to deler. Den ene delen baseres på simuleringer som er utført i THERM, mens den andre delen viser verdier hentet fra Kuldebroatlasen. Inndata som lengde, bredde og u-verdi for konstruksjonsdelene er satt inn. I tillegg er differansen mellom konstruksjonens u-verdi med og uten kuldebro fastsatt. Temperaturforskjellen mellom referansepunktene innvendig og utvendig er målt. Ut fra disse målingene fastsettes kuldebroverdien, varmestrøm i kuldebroen, totalt varmestrøm i kuldebroen og varmetapt kuldebroverdi. Total varmetapt kuldebroverdi for kuldebroene dividert på bruksareal er lik den normaliserte kuldebroverdien. For beregning av den normaliserte kuldebroverdien benyttes formlene i vedlegg D. Den normaliserte kuldebroverdien for kontoret er $0,028 \text{ W/m}^2\text{K}$.

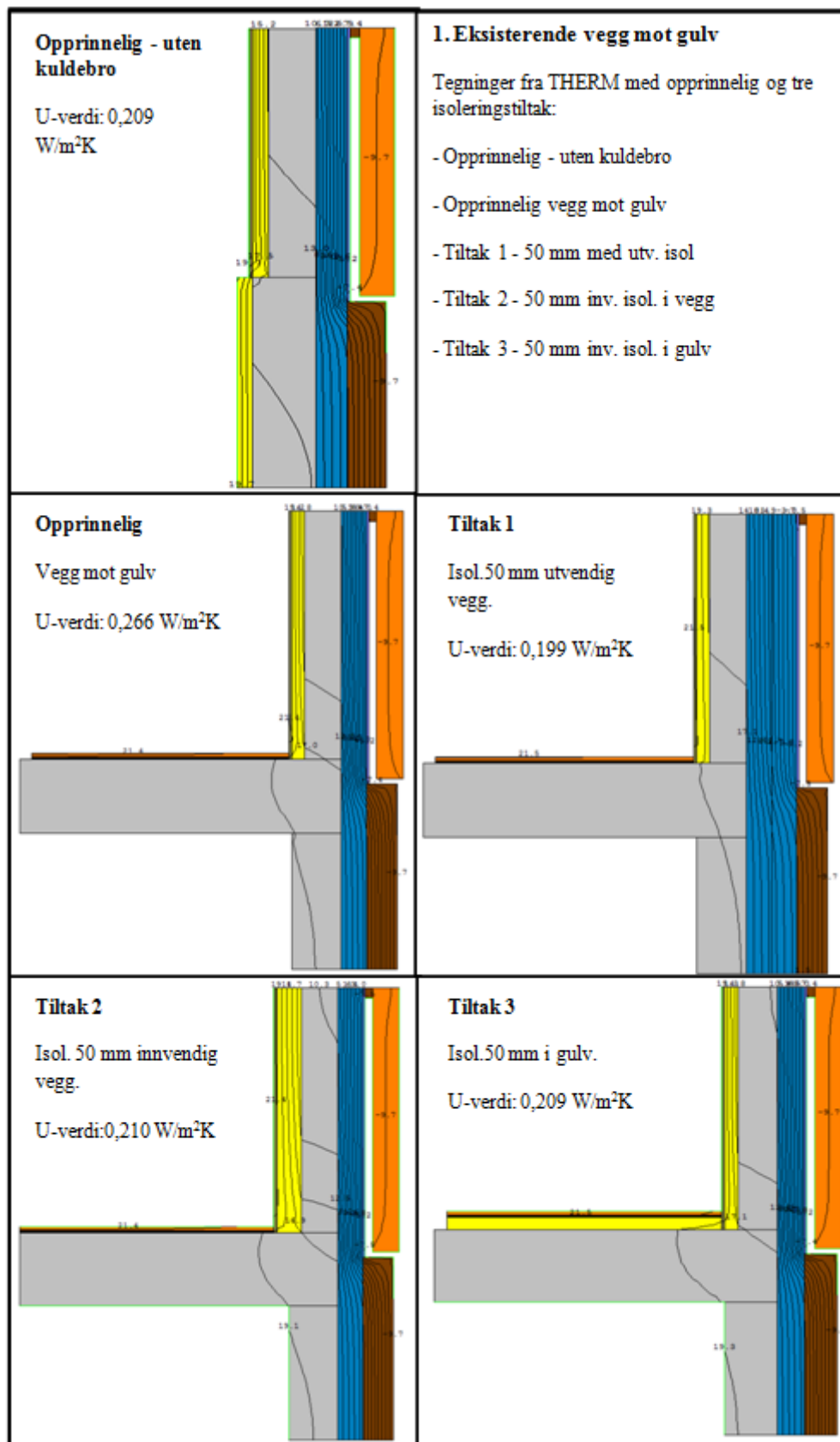
Tabell 15: Utregning av normalisert kuldebroverdi

Kontorlokalet	Lengde	Bredde	U-Verdi	U - U ₀	ΔT	Kuldebroverdi	Varmestrøm i kuldebro	Total varmestrøm	Varmetapt kuldebroverdi
-kuldebroer	(m)	(m)	U (W/m ² K)		°C	Ψ (W/mK)	Φ (W/m)	Φ (W/m)	(W/K)
Therm									
1. Eks. - Vegg mot gulv	58,2	1	0,266	0,057	32	0,06	1,79	8,51	3,26
2. Eks. - Vegg mot tak	58,2	1	0,322	0,112	32	0,11	3,55	10,30	6,46
3. Påbygg - Vegg mot gulv	37,1	1	0,305	0,104	32	0,11	3,39	9,76	3,93
4. Påbygg - Vegg mot tak	37,1	2	0,206	0,065	32	0,13	4,10	13,18	4,75
5. Påbygg - Søyle mot tak	4,4	3,9	0,116	0,004	32	0,02	0,54	14,48	0,07
6. Påbygg - Søyle mot gulv	4,8	4	0,341	0,059	12	0,24	2,86	16,37	1,14
7. Eks. - Vegg mot drager	2,1	0,7	0,422	0,213	32	0,16	5,02	9,45	0,33
8. Eks. - Hjørne	2,7	1,7	0,247	0,036	32	0,06	1,98	13,44	0,17
9. Eks. - Vegg ned i bygning	20,1	2	0,197	0,076	32	0,15	4,93	12,61	3,10
Kuldebroatlas									
10. Stålsøyer i vegg (Påbygg)	21	-	-	-	32	0,03	0,96	-	0,63
11. Hjørne (Påbygg)	3	-	-	-	32	0,05	1,60	-	0,15
12. Vindu /vegg (Nytt)	90	-	-	-	32	0,02	0,64	-	1,80
13. Vindu /vegg (Eks)	49	-	-	-	32	0,02	0,64	-	0,98
14. Vindu /vegg (Eks)	58,1	-	-	-	32	0,02	0,64	-	1,16
15. Vindu /vegg (Eks)	16,8	-	-	-	32	0,02	0,64	-	0,34
Totalt varmetap									28,269
BRA									1027
NKV									0,028

5.2.3 Optimalisering av energiltak

I dette kapittelet er kuldebroene i bygningen utgangspunktet for de forskjellige isoleringstiltakene som er iverksatt. Tiltakene er simulert i THERM, og resultatene er sammenlignet med konstruksjonens utgangspunkt og de andre tiltakene. Resultatet fra simuleringene i THERM er vist med sorte streker som indikerer temperaturendringer i konstruksjonen.

Figur 51 viser en oversikt av simuleringer for eksisterende vegg mot gulv. Gjennomførte simuleringer er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er tre ulike tiltak simulert. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 51: Eksisterende vegg mot gulv med tiltak

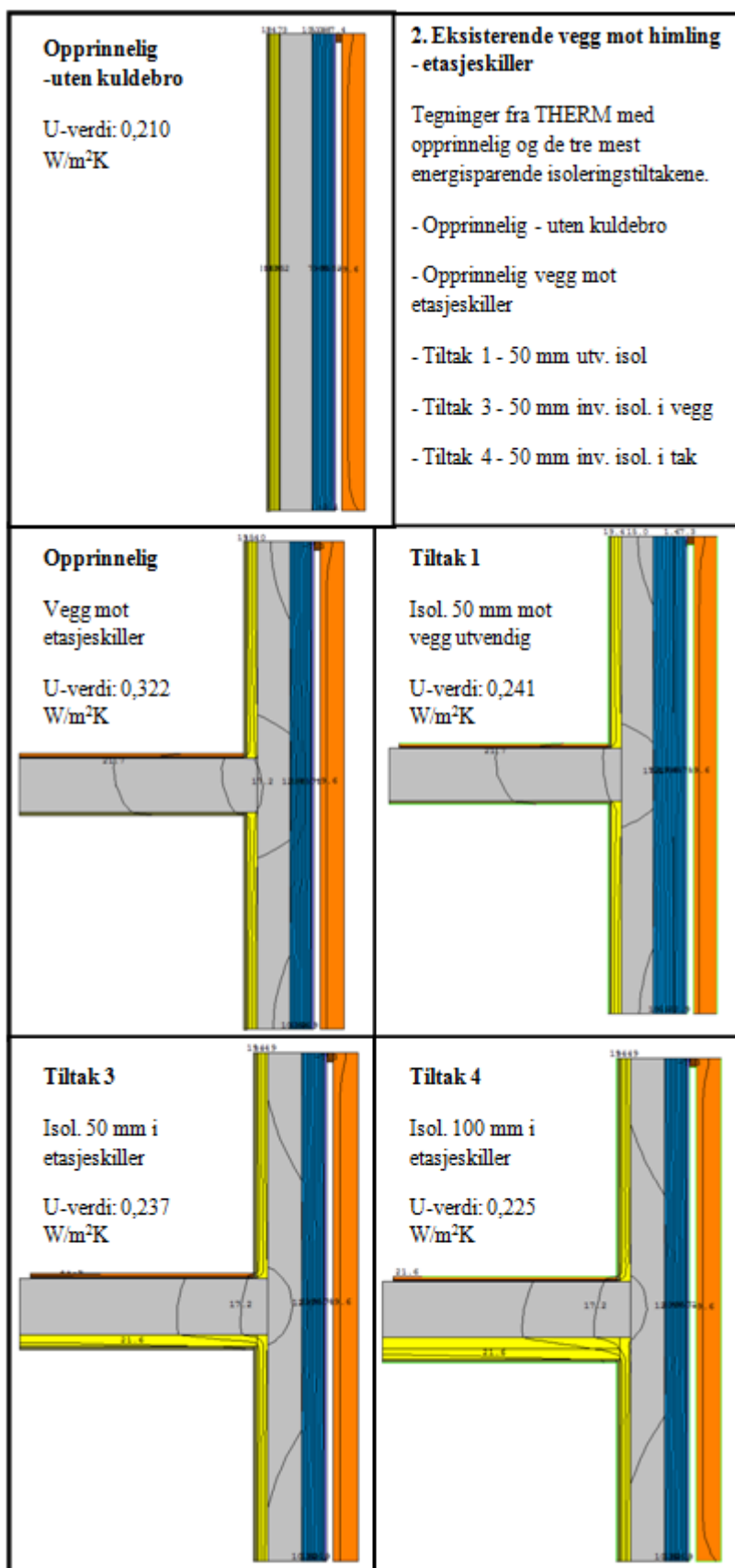
I **Tabell 16** vises en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført. Verdiene er benyttet for å beslutte tiltakene som er mest energieffektive. Dette er gjort ved å sammenligne den totale varmemstrømmen for tiltakene med den opprinnelige konstruksjonen. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmemstrøm ved bruk av tre ulike tiltak.

Tabell 16: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg mot gulv

	U _e -Verdi U _e (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	U - U _e	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmemstrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Vegg uten kuldebro (U _e)	0,209	-	-	32	58,2	1,0	-	-	6,522	-
Vegg mot Nord	0,209	0,266	0,057	32	58,2	1,0	0,056	1,791	8,313	0,001
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	0,209	0,199	-0,010	32	58,2	1,0	-0,010	-0,313	6,209	0,000
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	0,209	0,210	0,001	32	58,2	0,9	0,001	0,036	6,224	0,000
Tiltak 3 (50mm gulv Iso)	0,209	0,209	0,000	32	58,2	0,9	0,000	0,003	6,191	0,000

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	75 %	25 %
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	75 %	25 %
Tiltak 3 (50mm gulv Iso)	74 %	26 %

Figur 52 viser en oversikt av simuleringer for eksisterende vegg mot tak. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er tre tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 52: Eksisterende vegg mot tak med tre isoleringstiltak

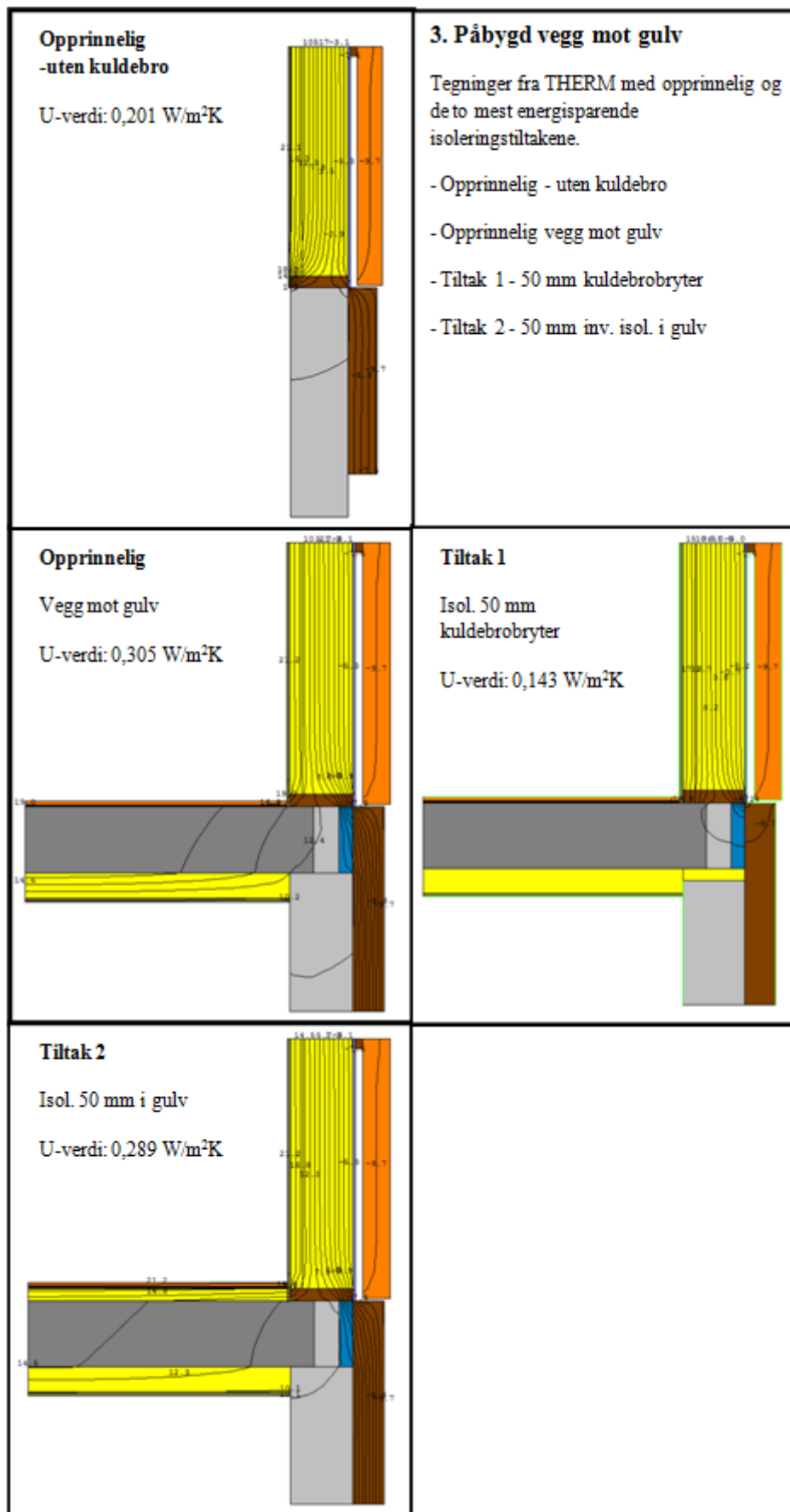
I **Tabell 17** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for eksisterende vegg mot tak. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av fire ulike tiltak.

Tabell 17: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg mot tak

	U _e -Verdi U _e (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	ΔT U - U _e °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)	
Vegg mot Nord	0,210	-	-	32	58,2	2,3	-	-	15,112	-
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	0,210	0,322	0,112	32	58,2	1,0	0,111	3,541	10,178	0,002
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	0,210	0,241	0,032	32	58,2	1,0	0,031	0,998	7,621	0,001
Tiltak 3 (50mm tak Iso)	0,210	0,295	0,085	32	58,2	1,0	0,084	2,685	9,308	0,001
Tiltak 4 (100mm tak Iso)	0,210	0,237	0,028	32	58,2	0,9	0,026	0,831	7,118	0,000
Vegg mot Nord	0,210	0,225	0,016	32	58,2	0,9	0,014	0,446	6,398	0,000

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	75 %	25 %
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	91 %	9 %
Tiltak 3 (50mm tak Iso)	70 %	30 %
Tiltak 4 (100mm tak Iso)	63 %	37 %

Figur 53 viser en oversikt av simuleringer for påbygget vegg mot gulv. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er to tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 53: Påbygd vegg mot gulv med to isoleringstiltak

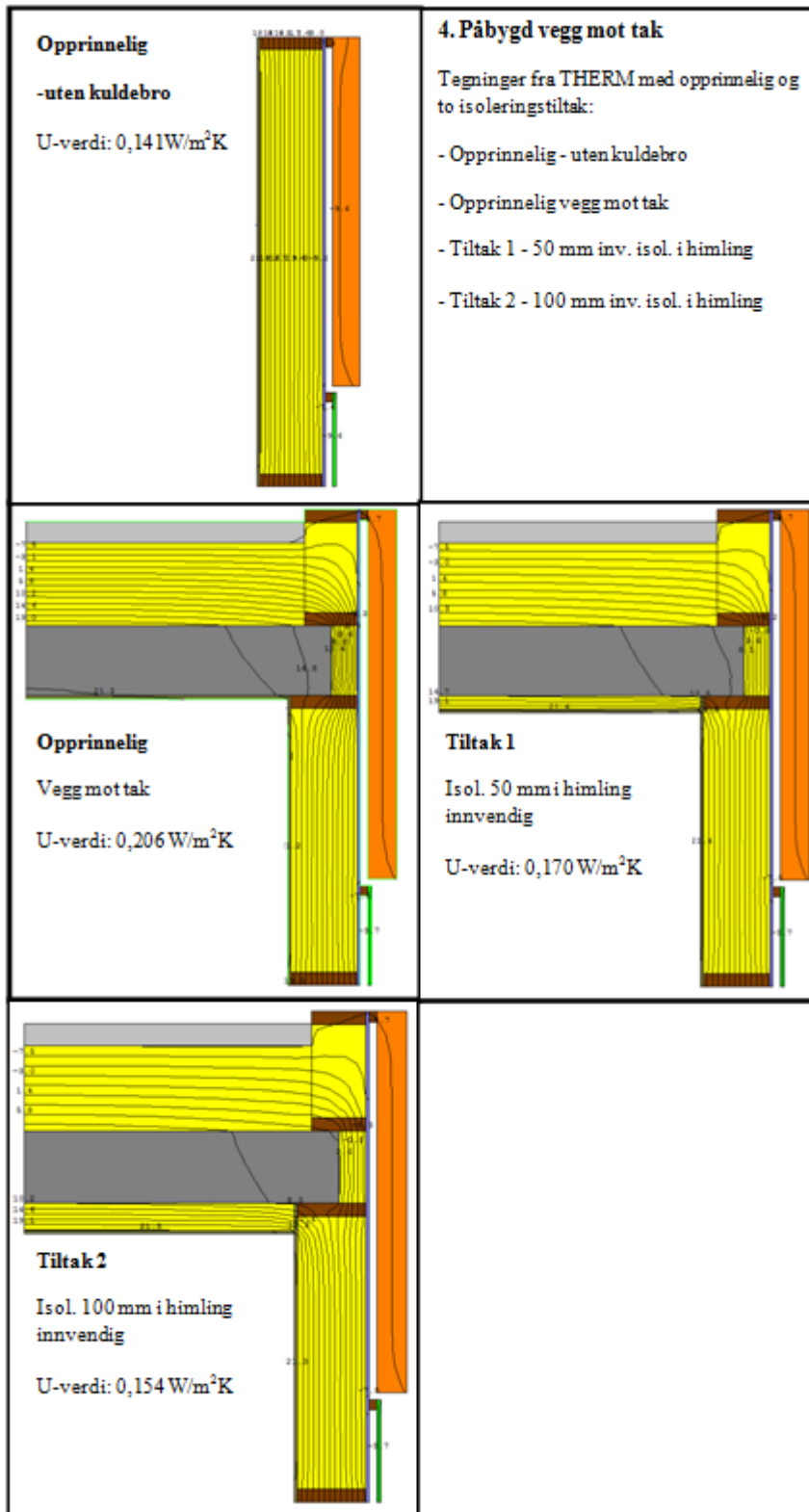
I **Tabell 18** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for eksisterende vegg mot tak. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av to ulike tiltak.

Tabell 18: Energieffekt av tiltak for påbygget vegg mot gulv

	U _e -Verdi U _e (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	U - U _e	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Vegg uten kuldebro(U_e)	0,201	-	-	32	37,1	1,0	-	-	6,602	-
Vegg mot Nord	0,201	0,305	0,104	32	37,1	1,0	0,106	3,405	10,007	0,003
Tiltak 1 (50mm kuldebrobry.)	0,201	0,143	-0,058	32	37,1	1,0	-0,060	-1,906	4,696	-0,002
Tiltak 2 (50mm gulv Iso)	0,201	0,289	0,088	32	37,1	1,0	0,090	2,895	9,498	0,002

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm kuldebrobry.)	47 %	53 %
Tiltak 2 (50mm gulv Iso)	95 %	5 %

Figur 54 viser en oversikt av simuleringer for påbygget vegg mot tak. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er to tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 54: Påbygd vegg mot gulv med to isoleringstiltak

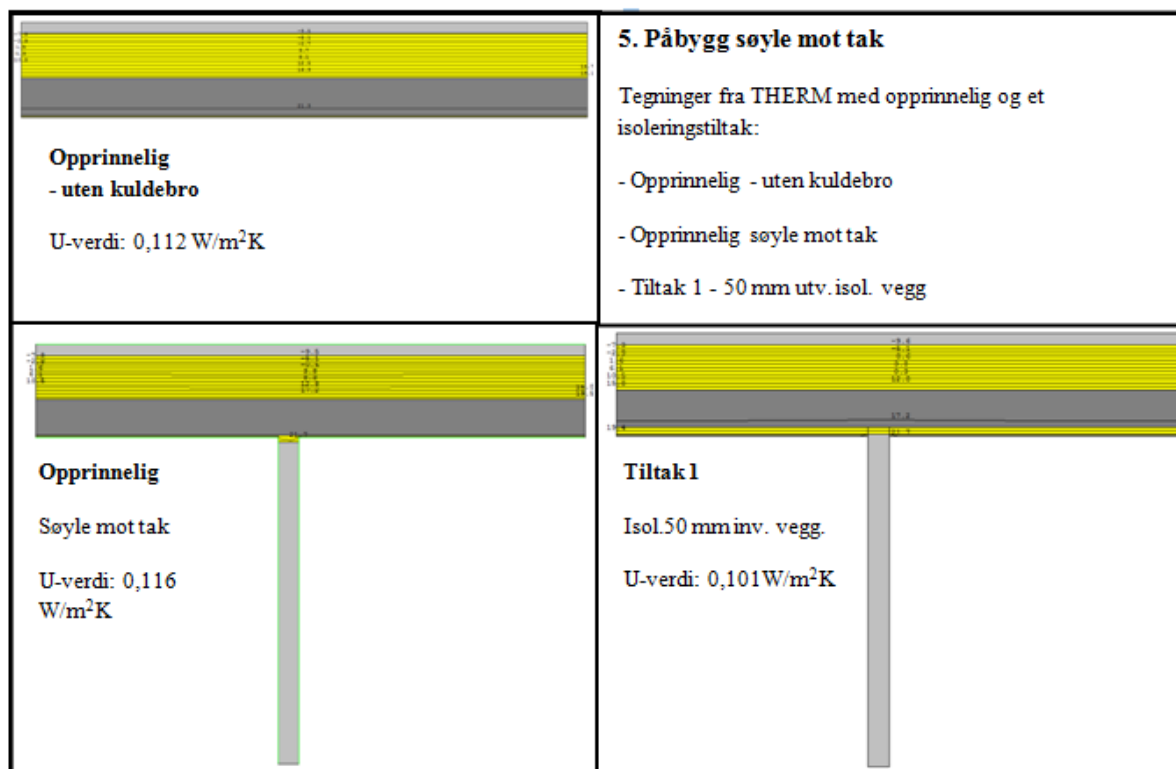
I **Tabell 19** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for påbygget vegg mot tak. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av to ulike tiltak.

Tabell 19: Energieffekt av tiltak for påbygget vegg mot tak

	U _e -Verdi U _e (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	U - U _e	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Vegg uten kuldebro(U _e)	0,141	-	-	32	37,1	1,8	-	-	8,161	-
Vegg mot Nord	0,141	0,206	0,065	32	37,1	2,0	0,128	4,093	13,019	0,003
Tiltak 1 (50mm inv. tak Iso)	0,141	0,170	0,029	32	37,1	2,0	0,058	1,865	11,017	0,002
Tiltak 2 (100mm inv. tak Iso)	0,141	0,154	0,012	32	37,1	2,0	0,024	0,771	9,696	0,001

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm inv. tak Iso)	85 %	15 %
Tiltak 2 (100mm inv. tak Iso)	74 %	26 %

Figur 55 viser en oversikt av simuleringer for påbygget vegg mot tak. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er et tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 55: Påbygd søyle mot tak med et isoleringstiltak

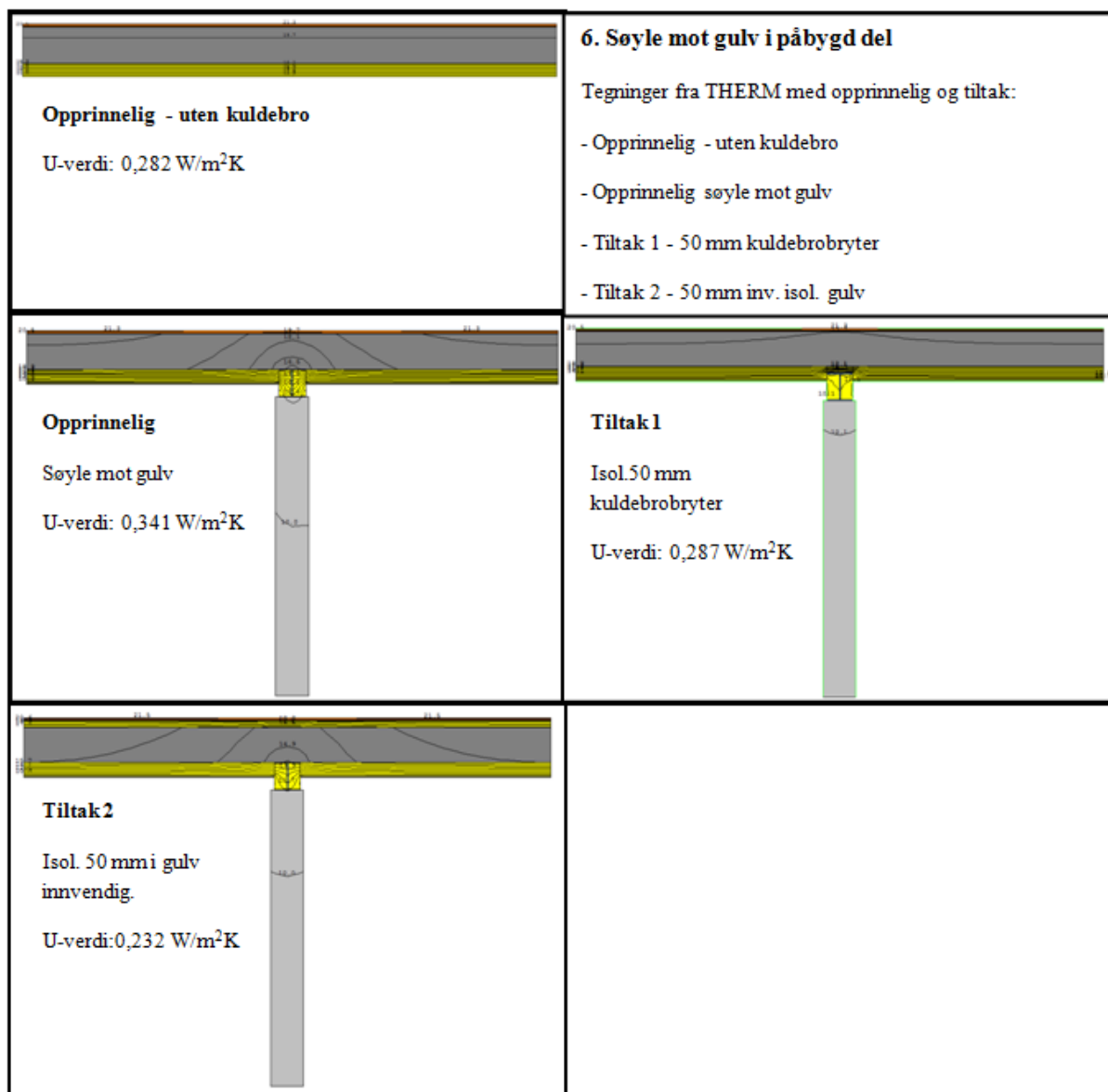
I **Tabell 20** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for søyle mot tak i påbygd del. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrom ved bruk av et tiltak.

Tabell 20: Energieffekt av tiltak for søyle mot tak

	U _c -Verdi U _c (W/m²K)	U-Verdi U (W/m²K)	U - U _c	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrom i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrom Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m²K)
Dekke uten kuldebro(U _c)	0,112	-	-	32	4,4	4,0	-	-	14,349	-
Søyle mot tak	0,112	0,116	0,004	32	4,4	3,9	0,017	0,530	14,340	0,004
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	0,112	0,101	-0,011	32	4,4	3,9	-0,042	-1,343	12,468	-0,010

Caser	Varmestrom i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	96 %	4 %

Figur 56 viser en oversikt av simuleringer for påbygget vegg mot gulv. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er to tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 56: Påbygd søyle mot gulv med to isoleringstiltak

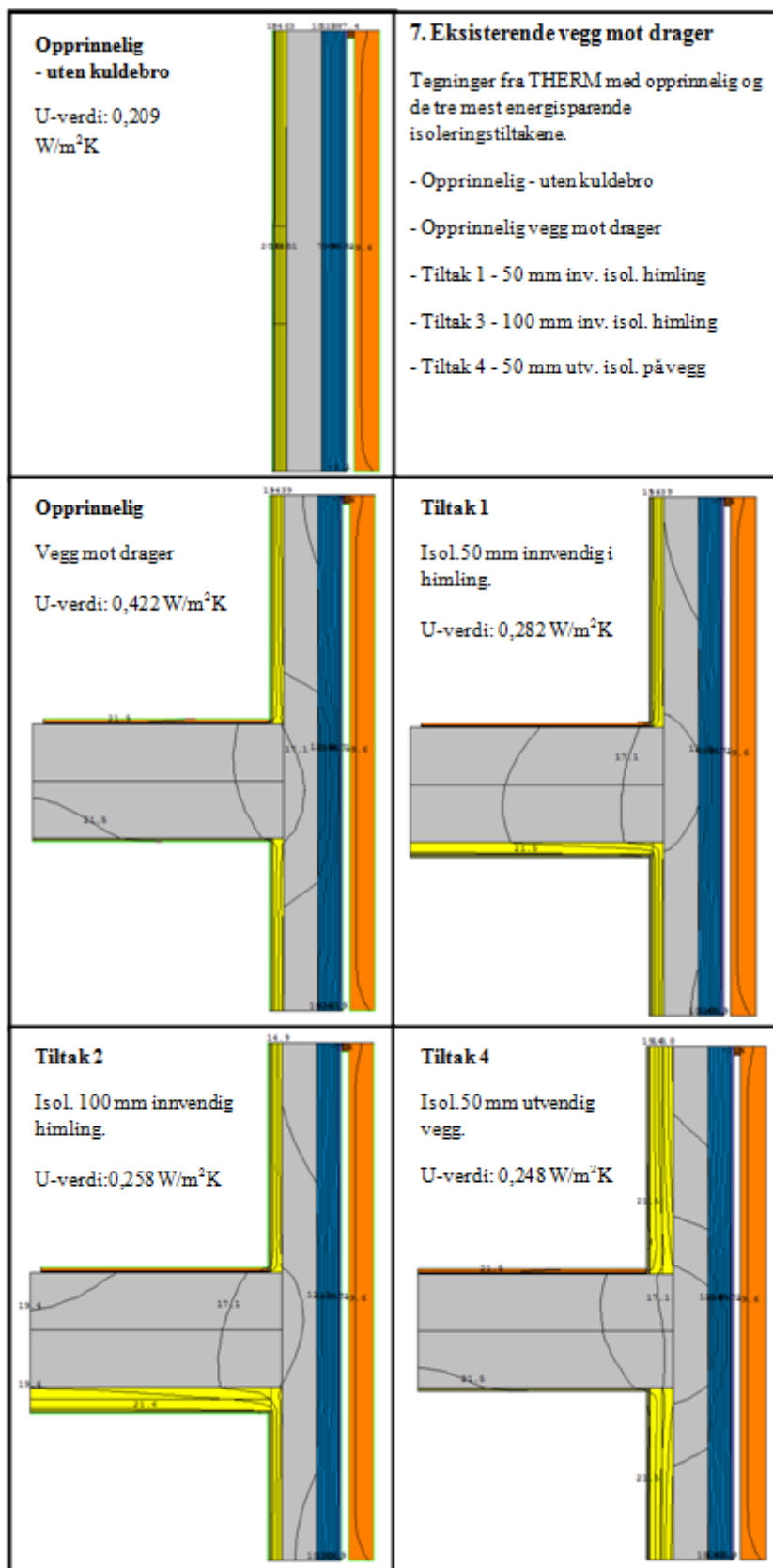
I **Tabell 21** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for søyle mot gulv i påbygd del. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av to ulike tiltak.

Tabell 21: Energieffekt av tiltak for søyle mot gulv

	U ₁ -Verdi U ₁ (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	U - U ₁	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Dekke uten kuldebro(U ₁)	0,282	-	-	12	4,8	4,0	-	-	13,522	-
Søyle motgulv	0,282	0,341	0,059	12	4,8	4,0	0,238	2,851	16,373	0,050
Tiltak 1 (50mm Kuldebrobry.)	0,282	0,287	0,005	12	4,8	4,0	0,019	0,230	13,752	0,004
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	0,282	0,232	-0,050	12	4,8	4,0	-0,200	-2,395	11,126	-0,042
Tiltak 3 (100mm utv. Iso)	0,282	0,170	-0,112	12	4,8	4,0	-0,447	-5,362	8,160	-0,093

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm Kuldebrobry.)	84 %	16 %
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	68 %	32 %
Tiltak 3 (100mm utv. Iso)	50 %	50 %

Figur 57 viser en oversikt av simuleringer for eksisterende vegg mot drager. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er tre tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 57: Eksisterende vegg mot drager med tre isoleringstiltak

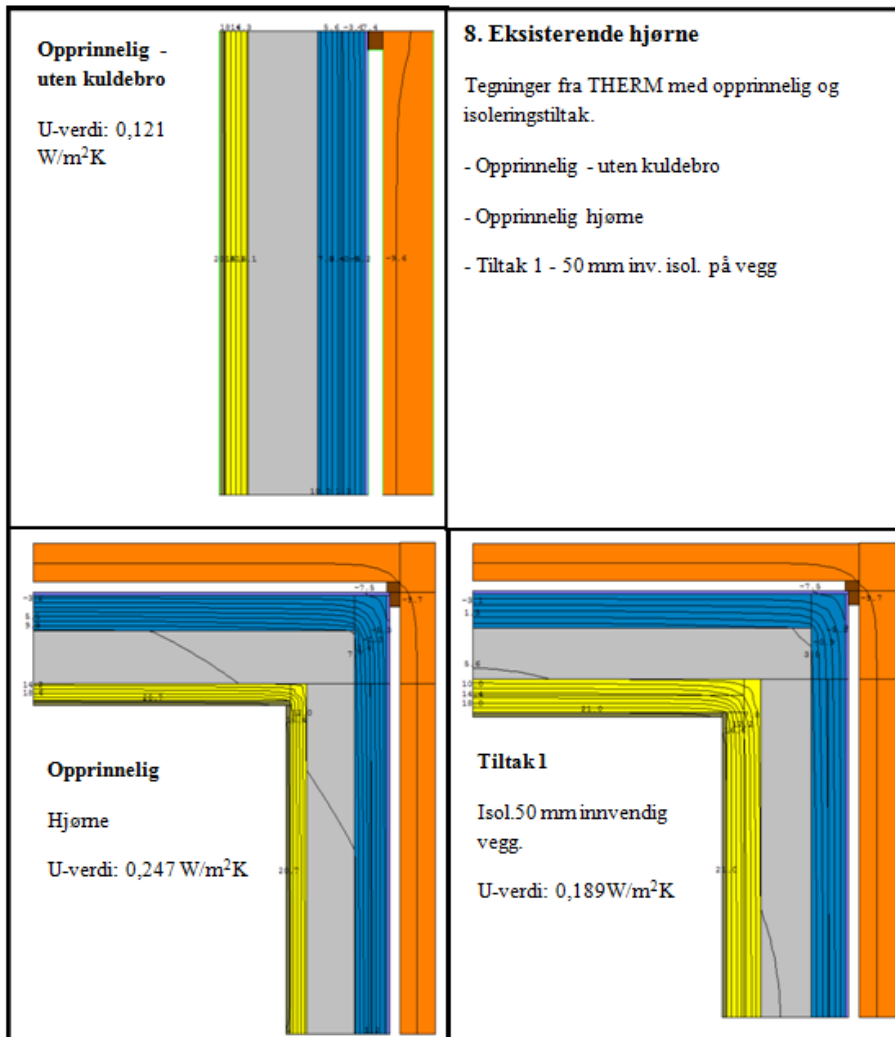
I **Tabell 22** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for søyle mot gulv i påbygd del. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av to ulike tiltak.

Tabell 22: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg mot drager

	U _s -Verdi U _s (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	U - U _s	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Dekke uten kuldebro(U _s)	0,209	-	-	32	2,1	2,2	-	-	14,948	-
Søyle mot gulv	0,209	0,422	0,213	32	2,1	0,7	0,157	5,030	9,960	0,075
Tiltak 1 (50mm tak inv. Iso)	0,209	0,282	0,073	32	2,1	0,7	0,050	1,607	6,202	0,024
Tiltak 2 (100mm tak inv. Iso)	0,209	0,258	0,049	32	2,1	0,6	0,031	1,007	5,267	0,015
Tiltak 3 (50mm vegg inv. Iso)	0,209	0,407	0,198	32	2,1	0,7	0,146	4,677	9,606	0,070
Tiltak 4 (50mm utv. Iso)	0,209	0,248	0,039	32	2,1	0,7	0,029	0,922	5,851	0,014

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm utv. Iso)	75 %	25 %
Tiltak 2 (50mm inv. Iso)	91 %	9 %
Tiltak 3 (50mm tak Iso)	70 %	30 %
Tiltak 4 (100mm tak Iso)	63 %	37 %

Figur 58 viser en oversikt av simuleringer for eksisterende hjørne. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er et tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 58: Eksisterende hjørne med et isoleringstiltak

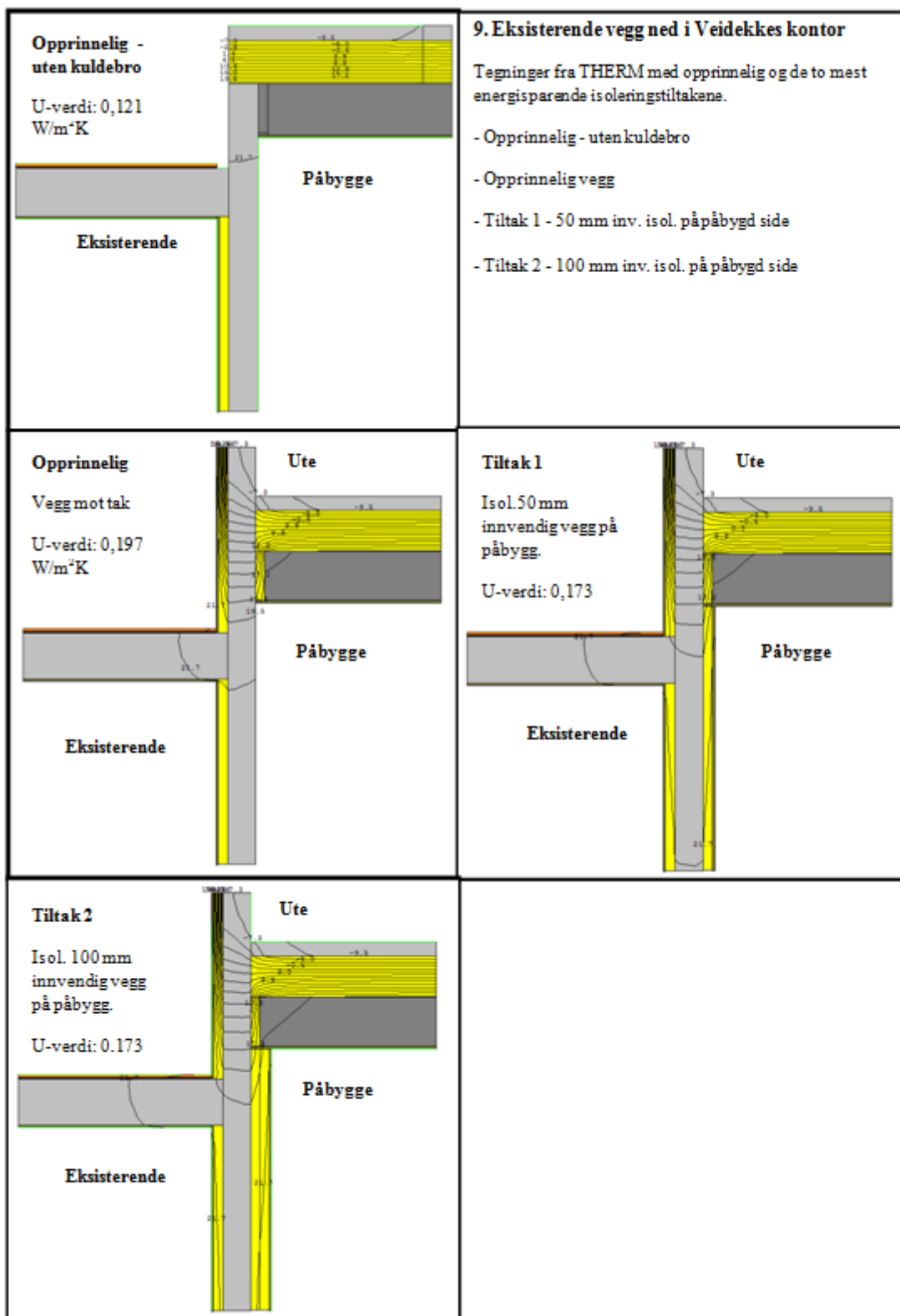
I **Tabell 23** er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for eksisterende hjørne. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av et tiltak.

Tabell 23: Energieffekt av tiltak for eksisterende hjørne

	U _e -Verdi U _e (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Vegg uten kuldebro(U _e)	0,211	-	-	32	2,7	1,0	-	-	6,594
Hjørne	0,211	0,247	0,036	32	2,7	1,7	0,062	1,980	13,547
Tiltak 1 (50mm inv. Iso)	0,211	0,189	-0,022	32	2,7	1,6	-0,036	-1,143	9,817

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm inv. Iso)	72 %	28 %

Figur 59 viser en oversikt av simuleringer for eksisterende vegg ned i kontoret. Simuleringer som er gjennomført er den opprinnelige konstruksjonen med og uten kuldebro. Videre er et tiltak for konstruksjonen vist. Informasjonen om simuleringene er beskrevet under.



Figur 59: Eksisterende vegg ned i kontoret med to isoleringstiltak

Tabell 24 er en oversikt av verdiene fra simuleringene som er gjennomført for eksisterende vegg ned i kontoret. Tabellen under viser en prosentvis reduksjon i varmestrøm ved bruk av to ulike tiltak.

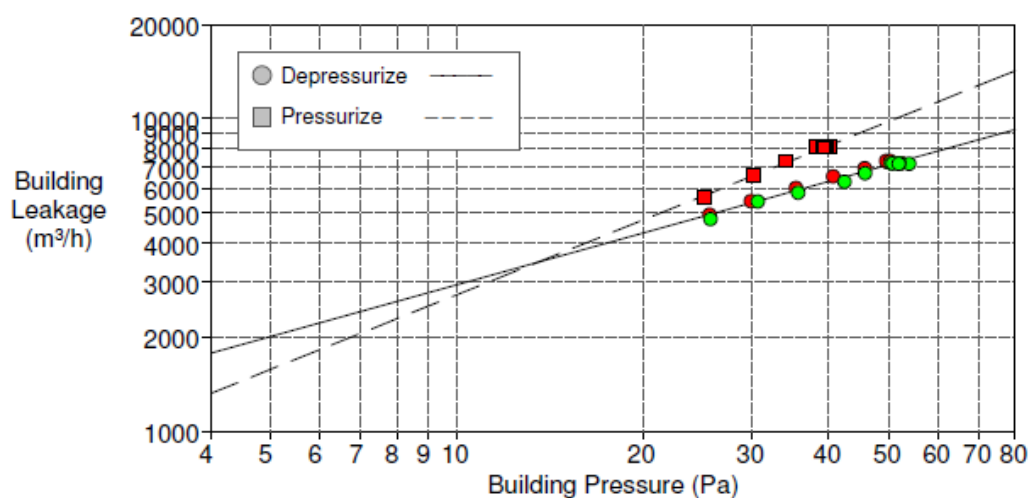
Tabell 24: Energieffekt av tiltak for eksisterende vegg ned i kontoret

	U _e -Verdi U _e (W/m ² K)	U-Verdi U (W/m ² K)	ΔT °C	Lengde l (m)	Bredde b (m)	Kulde- broverdi Ψ (W/mK)	Varmestrøm i kuldebro Φ (W/m)	Total varmestrøm Φ (W/m)	Normalisert kuldebroverdi Ψ (W/m ² K)
Vegg uten kuldebro(U _e)	0,141	-	-	32	37,1	1,8	-	8,161	-
Vegg	0,141	0,206	0,065	32	37,1	2,0	0,128	4,093	13,019
Tiltak 1 (50mm inv. Iso)	0,141	0,170	0,029	32	37,1	2,0	0,058	1,865	11,017
Tiltak 2 (100mm inv. Iso)	0,141	0,154	0,012	32	37,1	2,0	0,024	0,771	9,696

Caser	Varmestrøm i prosent	Prosent spart
Konstruksjon med kuldebro	100 %	
Tiltak 1 (50mm inv. Iso)	85 %	15 %
Tiltak 2 (100mm inv. Iso)	83 %	17 %

5.3 Lufttetthetsmåling

Dette kapittelet inneholder resultater fra lufttetthetsmålingen for kontorlokalet. **Figur 60** viser en graf av målingene som er utgangspunktet for lekkasjetallet. Grafen representerer målinger som er basert på metoder beskrevet i kapittel 3.3 om lufttetthetsmåling.



Figur 60: Graf med målinger av lekkasje ved ulike trykkforskjeller for kontorlokalet

Programvaren Tectite estimerer to lineære grafer basert på målinger med undertrykk og overtrykk. Punkter markert med sirkler i grafen tilsvarer målinger hvor det er benyttet undertrykk i lufttetthetsmålingen, mens det er brukt overtrykk på punkter markert med firkanter. Det er gjennomført to målinger med undertrykk, og kun en måling med overtrykk. Den horisontale linjen representerer trykkforskjellen viften oppnår mellom utsiden og innsiden oppgitt i Pascal. Den vertikale linjen representerer bygningens lekkasjer målt i antall kubikkmeter luft som passerer lekkasjene per time (m^3/h).

Tabell 25 viser en oversikt av resultater for lekkasjetallet og eksponenten. Gjennomsnittet av målingene med undertrykk og overtrykk er det virkelige lekkasjetallet. Som nevnt tidligere er eksponenten et forholdstall mellom 0,5-1 som beskriver størrelsene på lekkasjene i kontoret. Det er innlagt en varians på verdiene for eksponenten. For flere verdier fra lufttetthetsmålingen henvises det til vedlegg G.

Tabell 25: Gjennomsnittelig lekkasjetall fra målingene og et estimat på lekkasjestørrelsene

Testresultater ved 50 Pa	Undertrykk	Overtrykk	Gjennomsnitt
n50: Lekkasjetall (1/h)	2,49	3,43	2,96
Eksponent (n)	0,55 (+/- 0,024)	0,793 (+/- 0,040)	

5.4 Energisimuleringer - SIMIEN

Tabell 26 viser en oversikt av verdier og resultater fra energisimuleringer som er gjennomført i SIMEN. Det første resultatet er fra den prosjekterte energisimulering som oppnår energikarakter A med energibruk 83 kWh/m^2 . Den andre energisimulering er selve oppgaven som inkluderer testing og beregninger. Oppgaven har energikarakter B med et energibruk på 126 kWh/m^2 . De resterende resultatene er basert på tester fra kapittel 4.5 om fordeler ved kombinasjonsbygninger. Som tabellen viser er det store forskjeller på energibruken på oppgaven og de ulike testene for sonekoblinger i et kombinasjonsbygg.

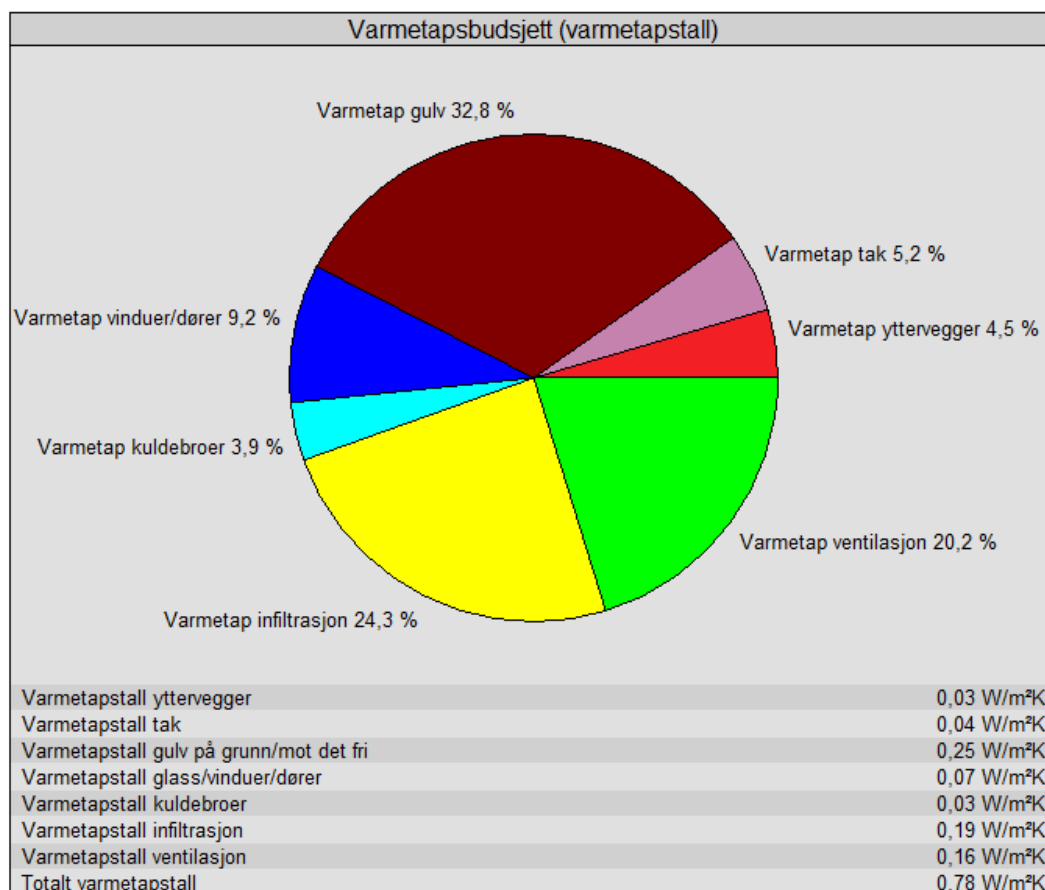
Tabell 26: Resultater fra energisimuleringer i SIMIEN

	Veidekke Prosjekttert	Oppgaven Prosjekttert	Test Gulv mot grunn	Test Tak	Test Yttervegger	Test Optimalt
Energikarakter	A	B	B	C	C	B
Beregnet levert energi						
Energibruk normalisert klima (kWh/m ²)	83	126	106	135	128	95
Energibruk lokalt klima (kWh/m ²)	83	126	106	135	128	95
Forventet energi						
Elektrisitet (kWh)	80 722	81 172	81 614	81 634	82 669	82 181
Fjernvarme (kWh)	5 330	48 098	27 046	57 220	49 262	15 623
Totalt energibruk (kWh)	86 052	129 270	108 661	138 854	131 931	97 804
Beskrivelse						
Areal yttervegg (m ²)	175	174	174	174	266	174
Areal tak (m ²)	377	378	378	1027	378	0
Areal gulv (m ²)	0	1027	1027	1027	1027	0
Areal vinduer og ytterdører (m ²)	100	97	97	97	172	97
Oppvarmet bruksareal (BRA) (m ²)	1038	1027	1027	1027	1027	1027
Oppvarmet luftvolum (m ³)	2900	2835	2835	2835	2835	2835
U-verdi yttervegger (W/(m ² K))	0,19	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
U-verdi tak (W/(m ² K))	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,00
U-verdi gulv (W/(m ² K))	0,00	0,25	0,07	0,25	0,25	0,00
U-verdi vinduer og ytterdører (W/(m ² K))	0,75	0,75	0,75	0,75	0,72	0,75
Areal vinduer og dører delt på bruksareal (%)	9,70	9,50	9,50	9,50	16,70	9,50
Normalisert kuldebroverdi (W/(m ² K))	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Normalisert varmekapasitet (Wh/(m ² K))	96,0	50,0	50,0	50,0	55,0	119,0
Lekkasjetall (n50) (1/h)	0,30	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96
Temperaturvirkningsgr. Varmegjennvinning (%)	88,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
Dokumentasjon						
Estimert virkningsgrad gjennvinner justert for frostsikring (%)	88,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
Spesifikk vitteeffekt (SFP) (kW/m ³ /s)	1,28	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Luftmengde i driftstiden (m ³ /hm ²)	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Luftmengde utenfor driftstiden (m ³ /hm ²)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg	1,54	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Installert effekt romoppv. og varmebatt. (W/m ²)	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
Settpunkttemperatur for romoppvarming (°C)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Systemeffektfaktor kjøling	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Settpunkttemperatur for romkjøling (°C)	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Installert effekt romkjøling. og kjølebatt. (W/m ²)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming (kW/(l/s))	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling(kW/(l/s))	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri (kW/(l/s))	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri (kW/(l/s))	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Dokumentasjon						
Driftstid kjøling (timer)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Driftstid belysning (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Driftstid utstyr (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Oppholdstid personer (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Effektbehov belysning i driftstiden (W/m ²)	6,40	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Varmetilskudd belysning i driftstiden (W/m ²)	6,40	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Effektbehov utstyr i driftstiden (W/m ²)	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Varmetilskudd utstyr i driftstiden (W/m ²)	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Effektbehov varmtvann i driftstiden (W/m ²)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden (W/m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Varmetilskudd belysning i driftstiden (W/m ²)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Total solfaktor for vindu og solskjerming	0,22	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

6. Energieffektivisering av kontorlokalet

6.1 Energiltak

Hensikten med energiltakene er å bestemme tiltak som kan gjøres for at kontoret skal oppnå sitt mål om energiklasse A. Valg av energiltak er basert på gjennomførbarhet og kostnader i prosjekteringsfasen. Energiltakene velges ved prøving og feiling av ulike typer simuleringer i SIMIEN. Simuleringen som er tatt i bruk er en årssimulering. Den gir en oversikt over varmebudsjettet og et årlig energibudsjett for kontoret. **Figur 61** viser varmetapet til de forskjellige bygningskomponentene. Som figuren tydelig viser er det største varmetapet gjennom gulv, infiltrasjon og ventilasjon. Energiltakene som er valgt er basert på informasjonen hentet fra varmetapsbudsjettet. Enkelte tiltak er sammenslått for å oppnå bedre resultat. Eksempler på dette kan være en kombinasjon av forskjellige typer energiforsyning.



Figur 61: Varmetapsbudsjett for kontorlokalet fra SIMIEN

Videre er tiltakene simulert ved å benytte energimerkingen i SIMIEN. De tiltakene som i størst grad bidrar med energieffektiviseringen er valgt. Siden kontoret har prosjektert med en

rekke energitiltak for å nå energimerking A, er disse utelukket (henvises til kapittel 4.3 - Prosjekterte energitiltak). Energitiltakene som følger er bruk av isolering og kuldebrobryter, tetting av luftlekkasjer og annen energiforsyning.

6.1.1 Tiltak 1 - Isolering

Dette tiltaket består av å isolere utsatte områder som har størst potensial for å redusere den normaliserte kuldebroverdien og varmetapet i bygningen. Dette velges på bakgrunn av arbeidet som ble gjennomført i kapittel 5.2.3 om optimalisering av energitiltak. Som følge av isoleringen vil deler av konstruksjonen oppnå en lavere u-verdi. Tiltaket innebærer både bruk av isolasjon og kuldebrobryter som velges på bakgrunn av varmetapet de ulike konstruksjonsdelene totalt medfører. Dette beregnes ved hjelp av formler for utregning av normaliserte kuldebroverdi som nevnt tidligere. Tiltakene som er definert under tiltak 1 er:

- 50 mm isolasjon i yttervegg på eksisterende bygning
- 50 mm kuldebrobryter i vegg mot gulv for påbygg
- 50 mm isolasjon i gulv under hulldekket
- 50 mm kuldebrobryter i søyle mot gulv for påbygg
- 50 mm isolasjon i innervegg på påbygget side (eksisterende vegg ned i bygningen)

6.1.2 Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer

Tiltaket er basert på å lokalisere og tette lekkasjer i kontoret. Dette gjøres enkelt ved etterjustering, etterisolering eller montering av tettlist, fuger og teip. Det presiseres at tiltaket kun påvirker lekkasjetallet i simuleringen. For å finne lekkasjene trengs utstyret som er beskrevet i kapittelet om termografering og lufttetthetsmåling (henvises til kapittel 3.2 Termografering og 3.3 Lufttetthetsmåling). Lekkasjetallet og størrelsen på lekkasjen bestemmes ved gjennomføring av en lufttetthetsmåling. Tiltaket må være realistisk i forhold til det målte lekkasjetallet som er vist i kapittel 5.2 om lufttetthetsmålinger. Resultatet av lekkasjetallet er på $2,96 \text{ h}^{-1}$. Tiltak 2 defineres på denne måten:

- Lekkasjetallet settes til $1,5 \text{ h}^{-1}$ som er et krav i henhold til energitiltakene i TEK 10

6.1.3 Tiltak 3 - Energiforsyning

Tiltaket baserer seg på simuleringer av ulike typer energiforsyning i kontoret. Energiforsyninger med en virkningsgrad over én bidrar med å senke det totale energibehovet ved at de tilfører mer energi enn de bruker. Slike energiforsyningsanlegg er varmepumper, solceller og solfangere. Det er ikke tatt hensyn til plassering og støy fra anleggene i denne oppgaven. Tiltak 3 defineres som:

- En kombinasjon av et solfangeranlegg og varmepumper skal benyttes som energiforsyning (varmepumpe med luft til vann kombineres med solfangeranlegget)

6.1.4 Tiltak som leder til energikarakter A

Dersom tiltakene beskrevet over ikke oppnår målet om energikarakter A, vil realistiske energitiltak iverksettes frem til målet er nådd. Videre skal en kostnadsberegning utføres av de tiltakene som er benyttet.

6.2 Kostnadsberegning som følge av energitiltak

Beregning av kostnader for de ulike tiltakene er basert på erfaring, anbud fra leverandører og prislister i VAP. Kostnadene for ulike typer materialer, produkter og tjenester varierer, avhengig av produsent.

6.2.1 Tiltak 1 - Isolering

Kostnaden for tiltaket med isolering er kr 108 649 som vist i **Figur 62**. Yttervegg og gulv under hulldekket er isolert med 100 mm isolasjon fra før. Festemidler og timespris for håndverkeren er allerede innkalkulert i beregningen for dette tiltaket. Det vil si at timespris for håndverkeren, festemidler og andre materialer er inkludert, og trenger derfor ikke å benyttes i beregningen. Den eneste forskjellen er at det påføres en egenkostnad for 50 mm isolasjon og øker timeantallet for håndverkeren.

Kode	Selvkostkalkyle	Omr	BD	Fag	Fri	Std.-kode	Timek	Mengde	Enh	Kost/Enh	Totalkost
	Selvkostkalkyle										108 649
23	Yttervegger										14 768
12.24.025	Eksisterende vegq	04	23	12					1 RS	14 767,80	14 768
001	50 mm isolasjon	Fmgd:		Fbr:	226,5	12			226,5 m2	65,20	14 768
24	Innervegger										23 324
12.24.025	Vegg eksisterende ned i bygning (isoleres på den nye siden)	04	24	12					1 RS	23 324,04	23 324
001	13 mm gips	Fmgd:		Fbr:	60,3	12			60,3 m2	128,60	7 755
001	50 mm isolasjon og 50 mm spikerslag	Fmgd:		Fbr:	60,3	12			60,3 m2	133,20	8 032
001	Innendigevegger av gips sparkles	Fmgd:		Fbr:	60,3	21			60,3 m2	125,00	7 538
25	Dekker										70 557
05.25.035	Plan 1 - Kuldebryter	04	25	05					1 RS	3 596,40	3 596
001	50 mm kuldebryter i vegg mot golv	Fmgd:		Fbr:	1	05			1 RS	1 998,00	1 998
05.25.036	50 mm kuldebryter i søyle (Mellom HEA200)	Fmgd:		Fbr:	1	05			1 RS	1 598,40	1 598
05.25.035	Plan 1 - Golv	04	25	05					1 RS	66 960,40	66 960
001	50 mm isolasjon i golv under huldekket	Fmgd:		Fbr:	1027	12			1 027 m2	65,20	66 960

Figur 62: Totalkostnad for isolering av bygning vist i VAP

6.2.2 Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer

Kostnader for tette luftlekkasjer kommer an på mengdene og størrelsene på lekkasjene. Gjennom en lufttetthetsmåling estimeres disse verdiene i et software. Tetting av luftlekkasjer er et energitiltak som kan være enkelt og billig å gjøre i ettertid, ved at lekkasjene lokaliseres og tettes. For å oppnå et godt lekkasjetall i bygningsfasen må en ha fokus på detaljer. Det gjelder fra personen som har ansvaret for kvalitetsstyring i prosjektet til håndverkerne som utfører arbeidet. Personen med ansvar for kvaliteten må hele tiden etterkontrollere at jobben er utført som avtalt. Kurs i utførelser av for eksempel teiping er et tiltak som kan bidra til å senke lekkasjetallet.

Det ønskede lekkasjetallet må være realistisk i forhold til det målte lekkasjetallet. Dette energitiltaket er valgt å kostnadsberegne i ettertid fordi det er vanskelig å estimere den totale kostnaden i bygningsfasen. Resultatene i kapittel 5.3 om lufttetthetsmåling med lekkasjetall og eksponenter er grunnlag for kostnadsberegningen. Beregningen tar for seg kostnadene for materiell og arbeidet for å tette lekkasjene.

Tabell 27: Kostnad for tetting av luftlekkasjer

Energiltak	Total kostnad (NOK)
Testing av luftlekkasjer	15 000
Tetting av luftlekkasjer	87 100
Totalt lufttetting	102 100

Den totale kostnaden på kr 102 100 i **Tabell 27** er kun en antakelse for kontoret. Kostnadene for punktet om tetting av luftlekkasjer, inkluderer tetting i overgangen mot utside av vegg mot gulv, vegg mot tak og rundt karm i vinduer. Ved å addere antall løpemeter materialer med timearbeidet for arbeidet er resultatet kalkulert. Som nevnt innledningsvis i dette kapittelet kan prisen på dette være svært varierende.

6.2.3 Tiltak 3 - Energiforsyning

En kombinasjon av et solfangeranlegg og varmepumpe varierer i kostnad avhengig av produsenten. Resultatet er hentet fra et lignende prosjekt med like forutsetning. Kostnaden for et kompelett varmepumpe- og solfangersystem som skal dekke et næringsbygg på 1 027 m², er på omlag kr 210 000 ferdig installert.³⁹

Tabell 28: Kostnad for varmepumpe- og solfangersystem

Energiltak	Total kostnad (NOK)
Varmepumpe- og solfangersystem	210 000

7. Resultater for energiltak

7.1 Tiltak 1 - Isolering

Et tiltak med isolering påvirker flere ulike faktorer i en energisimulering. Resultatene for tiltaket vises ved beregning av nye u-verdi for konstruksjonsdelene, der isolasjon benyttes. I tillegg er den normaliserte kuldebroverdien justert som følge av tiltakene.

7.1.1 Optimalisering av isolering

Tabell 29 viser den beregnede u-verdier for konstruksjonsdeler etter tiltaket med isolering.

Tabell 29: U-verdi for konstruksjonsdeler beregnet i THERM

Konstruksjonsdeler	U-verdi (W/m ² K)
Eks. - Vegger	0,14
Påbygg - Vegger	0,14
Påbygg - Tak	0,11
Gulv	0,16

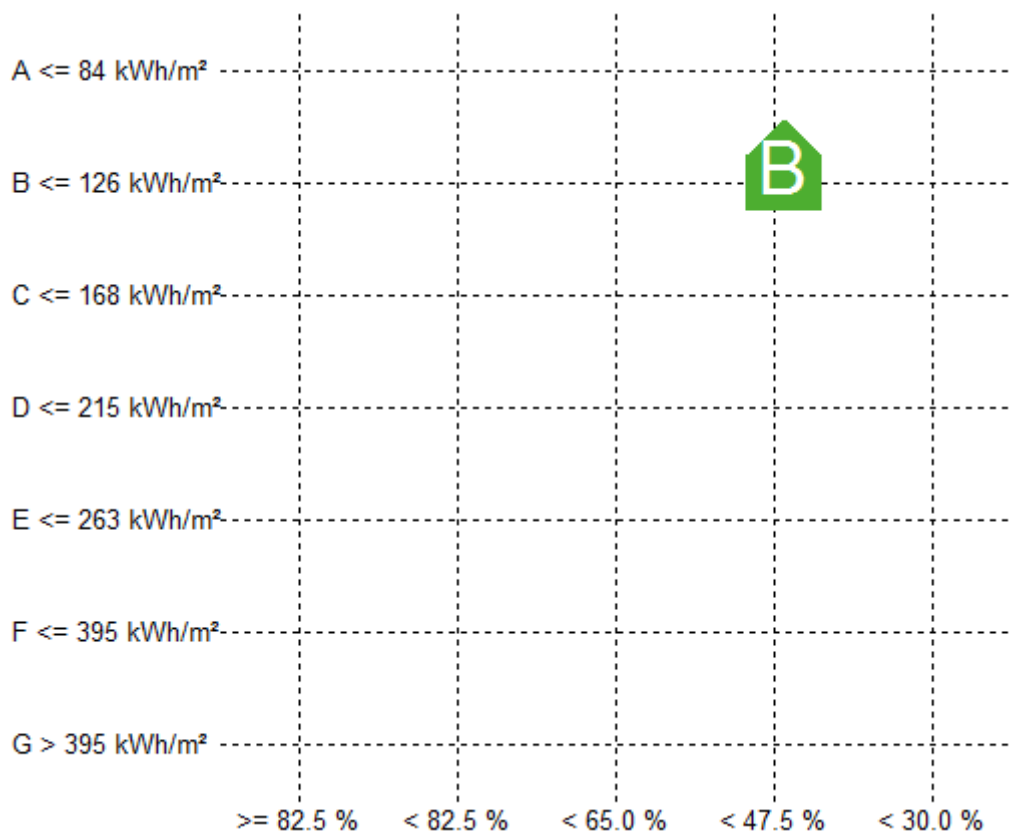
Tabell 30 viser en ny beregning av den normaliserte kuldebroverdien etter tiltaket med isolering. Der tiltakene ikke er benyttet eller har noen påvirkning brukes samme verdier som tidligere for å beregne det totale varmetapet. Grunnen til at noen kuldebroverdier er satt lik null, er at tiltaket gir konstruksjonen en bedre u-verdi enn den opprinnelige konstruksjonen uten kuldebro. En kan si at kuldebroen elimineres fra beregningen.

Tabell 30: Utregning av normalisert kuldebroverdi etter tiltak

Kontorlokalet - kuldebroer	Tiltak 50 mm isolasjonstykkelse	Kuldebroverdi Ψ (W/mK)	Varmetapt kuldebroverdi (W/K)
Therm			
1. Eks. - Vegg mot gulv	Utvendig vegg isolasjon (eksisterende)	0	0,00
2. Eks. - Vegg mot tak	Utvendig vegg isolasjon (eksisterende)	0	0,00
3. Påbygg - Vegg mot gulv	Kuldebroyter (Optimalt)	0	0,00
4. Påbygg - Vegg mot tak	Gulv isolasjon (under huldekket)	0,058	2,15
5. Påbygg - Søyale mot tak	-		0,08
6. Påbygg - Søyale mot gulv	Kuldebroyter (0,4x0,25m)	0,015	0,07
7. Eks. - Vegg mot drager	Utvendig vegg isolasjon (eksisterende)	0,050	0,11
8. Eks. - Hjørne	-		0,17
9. Eks. - Vegg ned i bygning	Invendig vegg isolasjon (Ny side)	0,104	2,09
Kuldebroatlas			
10. Stålsøyler i vegg (Påbygg)	-		0,63
11. Hjørne (Påbygg)	-		0,15
12. Vindu/vegg (Nytt)	-		1,80
13. Vindu/vegg (Eks)	-		0,98
14. Vindu/vegg (Eks)	-		1,16
Totalt varmetap			9,72
BRA			1027
NKV			0,009

7.1.2 Energikarakter

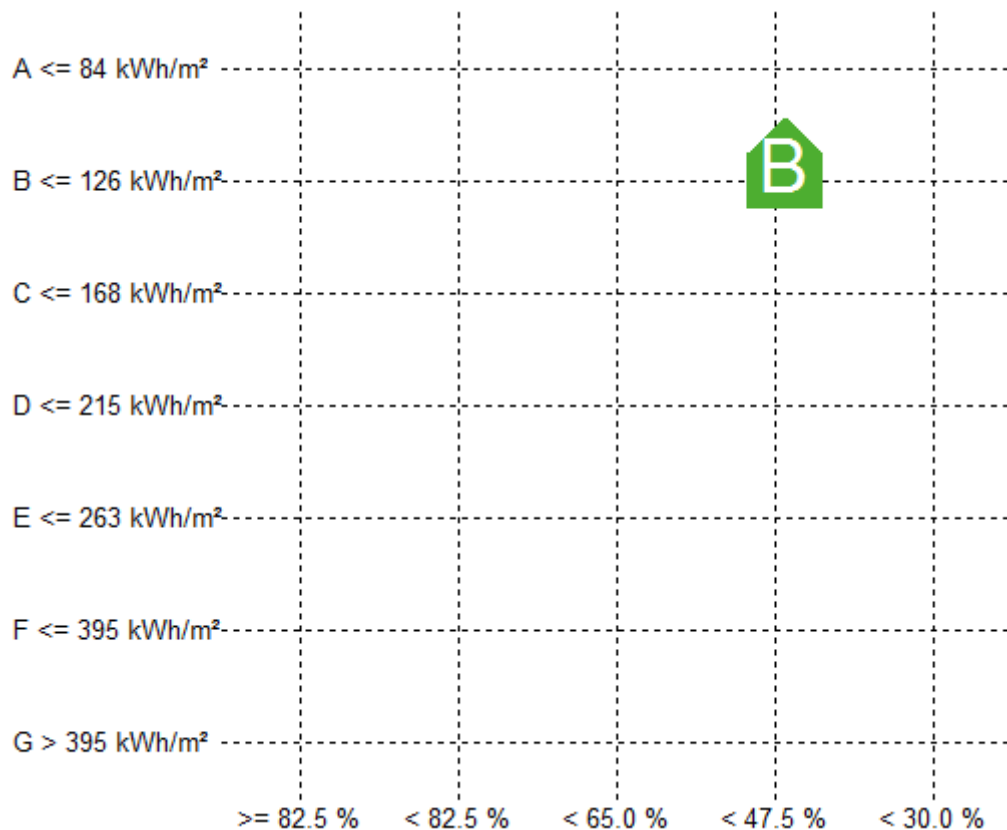
Energimerking med tiltak av isolering gir en energibruk på 112 kWh/m^2 . Dette tilsvarer energikarakter B som vist i **Figur 63**.



Figur 63: Energimerket ved å benytte tiltak 1 - isolering

7.2 Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer

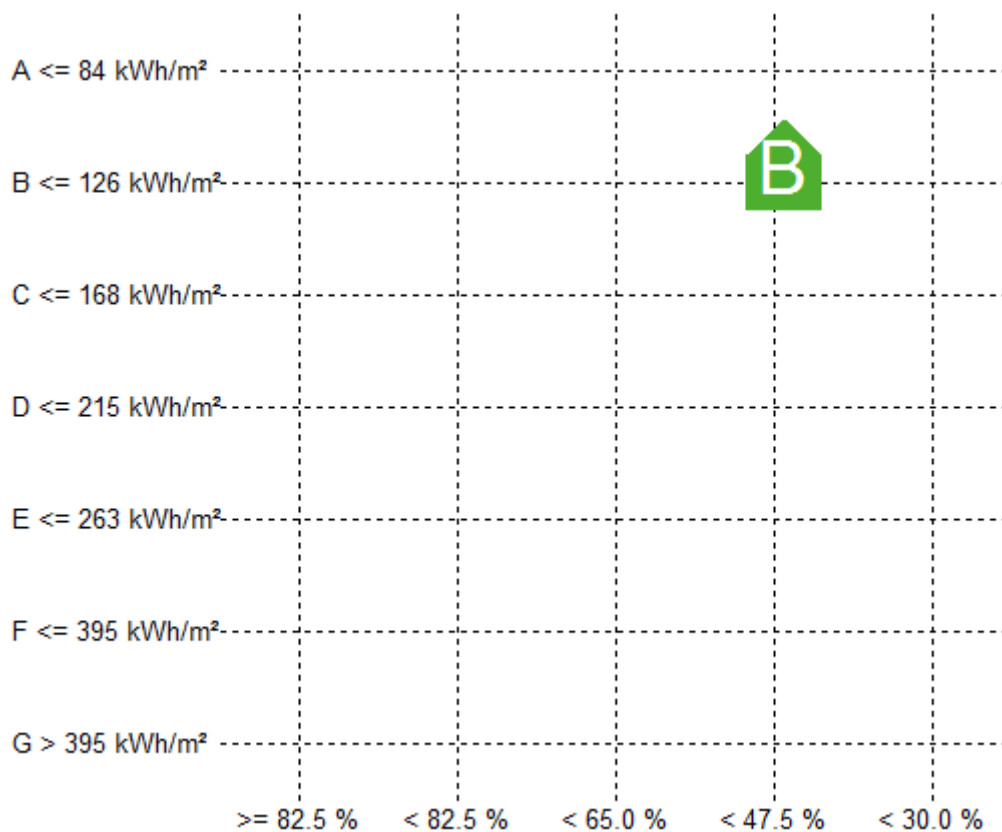
Energimerking med tiltak av isolering gir en energibruk på 116 kWh/m². Dette tilsvarer energikarakter B som vist i **Figur 64**.



Figur 64: Energimerket ved å benytte tiltak 2 - tetting av luftlekkasjer

7.3 Tiltak 3 - Energiforsyning

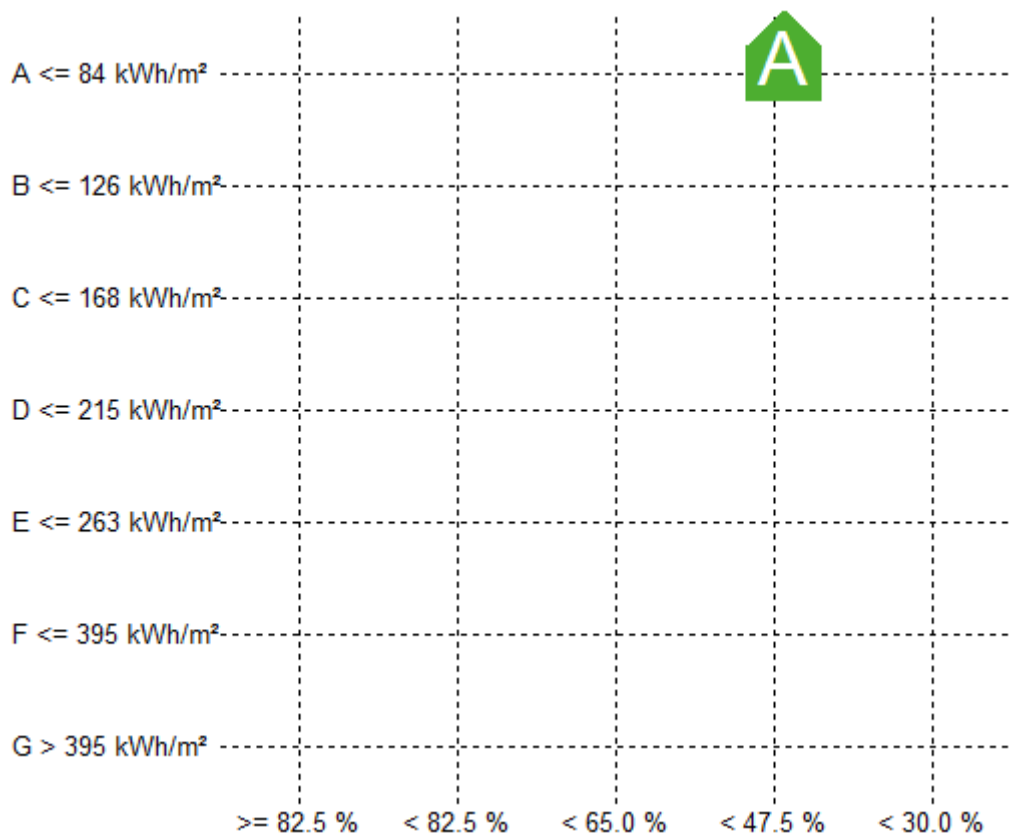
Energimerking med tiltak av varmepumpe og solfanger gir en energibruk på 94 kWh/m². Dette tilsvarer energikarakter B som vist i **Figur 65**.



Figur 65: Energimerket ved å benytte tiltak 3 - varmepumpe og solfanger

7.4 Tiltak 4 - Leder til energikarakter A

For å oppnå energikarakter A benyttes tiltak 1, tiltak 2 og tiltak 3 som er beskrevet over. I tillegg er ventilasjonsanlegget byttet fra et CAV-anlegg til et VAV-anlegg. Dette fører til en energibruk på 84 kWh/m^2 som vist i **Figur 66**.



Figur 66: Energimerking A ved å benytte flere ulike tiltak

En kostnadsberegning av energiltakene er vist i **Tabell 31**. De samme kostnadene som nevnt benyttes i denne beregningen. Tilleggskostnaden for endring av ventilasjonsanlegg er beregnet som 300 kr/m^2 . Dette er inkludert kostnaden for montering og tilleggsprodukter i forhold til et CAV-anlegg. Den totale kostnaden for å nå energikarakter A er kr 720 749.

Tabell 31: Kostnad for energikarakter A

Energiltak	Total kostnad (NOK)
Tiltak 1 - Isolering	108 649
Tiltak 2 - Tetting av luftlekkasjer	102 100
Tiltak 3 - Varmepumpe- og solfangersystem	210 000
Tilleggs kostnad for VAV-anlegg	300 000
Totalt kostnad	720 749

7.5 Energisimuleringer - SIMIEN

I **Tabell 32** vises en oversikt av verdier for prosjekterte og oppgavens prosjekterte energisimulering i forhold til energiltakene. Energiltaket med energiforsyning sørger for den laveste energibruken av tre forutsatte tiltakene. Det siste tiltaket (Tiltak 4) viser verdier for oppnåelse av energikarakter A. Selv om tiltak 4 er en kombinasjon av alle tiltakene over med et VAV-anlegg, viser tabellen at det fortsatt har et høyere energiforbruk enn den prosjekterte energisimulering.

Tabell 32: Resultater fra energisimulering av tiltak i SIMIEN

	Veidekke Prosjekttert	Oppgave Prosjekttert	Tiltak 1 Isolering	Tiltak 2 Tetting	Tiltak 3 Energiforsyning	Tiltak 4 Energikarakter A
Energikarakter	A	B	B	B	B	A
Beregnet levert energi						
Energibruk normalisert klima (kWh/m ²)	83	126	112	116	94	84
Energibruk lokalt klima (kWh/m ²)	83	126	112	116	94	84
Forventet energi						
Elektrisitet (kWh)	80 722	81 172	81 839	81 567	96 157	86 606
Fjernvarme (kWh)	5 330	48 098	32 990	37 769		
Totalt energibruk (kWh)	86 052	129 270	114 829	119 336	96 157	86 606
Beskrivelse						
Areal yttervegg (m ²)	175	174	174	174	174	174
Areal tak (m ²)	377	378	378	378	378	378
Areal gulv (m ²)	0	1027	1027	1027	1027	1027
Areal vinduer og ytterdører (m ²)	100	97	97	97	97	97
Oppvarmet bruksareal (BRA) (m ²)	1038	1027	1027	1027	1027	1027
Oppvarmet luftvolum (m ³)	2900	2835	2835	2835	2835	2835
U-verdi yttervegger (W/(m ² K))	0,19	0,21	0,14	0,21	0,21	0,14
U-verdi tak (W/(m ² K))	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
U-verdi gulv (W/(m ² K))	0,00	0,25	0,15	0,25	0,25	0,15
U-verdi vinduer og ytterdører (W/(m ² K))	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Areal vinduer og dører delt på bruksareal (%)	9,70	9,50	9,50	9,50	9,50	9,50
Normalisert kuldebroverdi (W/(m ² K))	0,06	0,03	0,01	0,03	0,03	0,01
Normalisert varmekapasitet (Wh/(m ² K))	96,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Lekkasjetall (n50) (1/h)	0,30	2,96	2,96	1,50	2,96	1,50
Temperaturvirkningsgr. Varmegjenvinning (%)	88,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
Dokumentasjon						
Estimert virkningsgrad gjennvinner justert for frostsikring (%)	88,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
Spesifikk vifteeffekt (SFP) (kW/m ³ /s)	1,28	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Luftmengde i driftstiden (m ³ /hm ²)	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0	10,0
Luftmengde utenfor driftstiden (m ³ /hm ²)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg	1,54	0,88	0,88	0,88	2,90	3,11
Installert effekt romoppv. og varmebatt. (W/m ²)	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	50,0
Settpunkttemperatur for romoppvarming (°C)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Systemeffektfaktor kjøling	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Settpunkttemperatur for romkjøling (°C)	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
Installert effekt romkjøling. og kjølebatt. (W/m ²)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	30,0
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming (kW/(l/s))	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling (kW/(l/s))	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri (kW/(l/s))	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri (kW/(l/s))	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Dokumentasjon						
Driftstid kjøling (timer)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Driftstid ventilasjon (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Driftstid belysning (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Driftstid utstyr (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Oppholdstid personer (timer)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
Effektbehov belysning i driftstiden (W/m ²)	6,40	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Varmetilskudd belysning i driftstiden (W/m ²)	6,40	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Effektbehov utstyr i driftstiden (W/m ²)	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Varmetilskudd utstyr i driftstiden (W/m ²)	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Effektbehov varmtvann i driftstiden (W/m ²)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden (W/m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Varmetilskudd belysning i driftstiden (W/m ²)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Total solfaktor for vindu og solskjerming	0,22	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

8. Diskusjon

I dette kapitlet vurderes energiltak, bygningsteknisk forutsetninger, regelverk, resultater, metoder og verktøy for kontorlokalet. Resultater som har betydning for oppgavens problemstilling er diskutert.

8.1 Metode og verktøy

8.1.1 Lufttetthetsmåling

Metodens måleusikkerhet er hovedsakelig påvirket av vind. Lufttetthetsmålingen for kontorlokalet ble gjennomført under ustabile vindforhold, noe som medførte at verktøyet som ble benyttet slet lenge med stabiliteten for å kunne gi holdbare resultater. Ved å flytte viften fra hovedinngangen til en av nødutgangene på andre siden av bygningen, ble stabile og solide resultater oppnådd. Målemetoden har en usikkerhetsmargin mindre enn $\pm 15\%$ når det er vindstille ifølge NS-EN 13829. Ved økende vind kan usikkerhetsmarginen nå $\pm 40\%$.⁴⁰

For tetting av ventilasjonsanlegget ble det benyttet maskeringsteip og plastikkposer rundt ventilene. Prosedyren som vanligvis brukes går ut på å rulle plastfolie rundt filteret i ventilasjonsanlegget. Valg av metode er en faktor som påvirker resultatet for lufttetthetsmålingen. Siden målingen ble gjennomført med både overtrykk og undertrykk vil metoden for tetting ha en fordel og ulempe avhengig hvilke målingstype som benyttes. Dette er fordi volumet blir mindre ved tetting rundt ventiler istedenfor i filteret. Det gjennomsnittlige resultatet ved å tette ventilene ved undertrykk og overtrykk jevner på den måten ut fordeler og ulemper.

I tillegg ble viftens kapasitet for å kjøre angitt programvaren Tectite beregnet. Lekkasjetallet viste seg å være høyere enn kapasiteten til programmet. Dette ble oppdaget ved at viften ikke klarte å oppnå en trykkforskjell på 70 Pa. Det var ikke før ved 55 Pa den klarte å gi resultater. Selv om viften ikke hadde tilstrekkelig kapasitet viser resultatene fra **Figur 60** en lineær graf med stabile verdier. Viftens kapasitet til å kjøre programmet påvirker dermed ikke verdien av lekkasjetallet i stor grad, siden en trykkforskjell på 50 Pa oppnås, og det samtidig dannes en lineær graf for målingen.

8.1.2 Kostnadsberegning

Informasjonen som ble innhentet til kostnadsberegning av de ulike energitiltakene er veldig varierende, ved at det for enkelte tiltak finnes få opplysninger å relatere til prosjektet som oppgaven tar for seg. Ettersom kostnadene for hvert tiltak avhenger av flere ulike faktorer ble beregningene kun antatt på bakgrunn av informasjonen hentet fra VAP, tilbud fra leverandører og erfaringer. Hensikten med kostnadsberegningen i oppgaven var å anslå en kostnad for avviket mellom mål og resultat av energimerkingen. Dette for å få en bredere forståelse av avviket, og hvilken kostnad det ville være å nå målet. Når det er snakk om energieffektivisering kan det være en fordel å legge frem de økonomiske konsekvensene av tiltakene for å demonstrere de forbedrede/økte verdiene etter at tiltak er iverksatt.

8.1.3 SIMIEN

For simuleringen i SIMIEN er verdien hentet fra standardinnstillinger, den forutsatte simuleringen, leverandører og målinger som er gjennomført. De verdiene som ikke var å oppdrive for oppgavens simulering ble enten antatt eller så ble det benyttet verdier fra lignede prosjekter. Innstillinger hvor dette ble gjennomført har liten innvirkning på simuleringen, men det er fortsatt en feilkilde. Det samme gjelder innstillinger hvor det er tvil om hvilke innstillinger som best beskriver prosjektet. SIMIEN er lite forklarende på enkelte områder når det står mellom valg av verdier. Simuleringen kan vurderes i forhold til verktøy som ligger inne og muligheten for å forenkle og forbedre metoden. Veiledning og verdier spesielt tilpasset for ulike bygningskategorier, som for eksempel rehabiliteringsprosjekter, bør vurderes.

Dagens metoder og standarder for energisimulering er en forenklet utgave som krever erfaring og forståelse av både bygningsfysiske- og tekniske detaljer. Ved en energisimulering er det naturligvis ønskelig med en størst mulig tilnærming mellom energisimuleringen og det virkelige resultatet. Programvaren SIMIEN har begrenset materialdata og mulighet for tilpasninger av bygninger. Dette er et problem ved energisimuleringen som kan forårsake avvik. En kombinasjon av THERM og SIMIEN vil derimot kunne gi en mer nøyaktig u-verdi og normalisert kuldebroverdi. THERM er en enkel programvare, men er tungvindt for brukeren. En mer brukervennlig versjon som hadde vært tilgjengelig i SIMIEN kunne forbedret energisimuleringen.

8.2 Resultater

8.2.1 U-verdi og normalisert kuldebroverdi

Som vist i oversikten av simuleringene i **Tabell 32**, er u-verdiene for konstruksjonsdelene høyere i den forutsatte beregningen enn i oppgavens simulering. Den forutsatte beregningen benyttet lignende eller antatte u-verdier for konstruksjonsdeler, mens i oppgaven ble hver konstruksjonsdel beregnet i THERM. Dette er sannsynligvis en av årsakene til avviket mellom den forutsatte og oppgavens energisimulering.

Når det gjelder den normaliserte kuldebroverdien er den mindre enn antatt. En av grunnene til dette kan være at det er færre kuldebroer i bygningen. Siden det er et kombinasjonsbygg er store arealer koblet sammen med soner som har lik temperatur. I tillegg er det mindre ytterveggareal, takareal og færre hjørner som sørger for et mindre varmetap i forhold til bruksarealet. Derfor er det ingen overraskelse at den normaliserte kuldebroverdien er lavere enn antatt. En slik opplysning burde det vært opplyst om i simuleringsprogrammet SIMIEN.

For beregning av den normaliserte kuldebroverdien er en numerisk beregningsmetode benyttet. Denne måten å beregne kuldebroer på har en usikkerhetsmargin på 5 % som vist i Tabell 10, og må vurderes når den totale energisimuleringen legges frem.

8.2.2 Optimalisering av energiltak

Optimalisering ble benyttet ved å isolere ulike steder på den opprinnelige konstruksjonen for å se hva som ga best effekt. Programmet som ble benyttet var THERM. Fokuset under optimaliseringen var å legge så lite isolasjon som mulig, men med størst effekt med tanke på å redusert varmetapet. Som vist i kapittel 5.2.3 om optimalisering av energiltak, er det ofte tykkelsen på isolasjonen som minker u-verdien i konstruksjonsdelen. En må da sammenligne de reduserte prosentvise effektene av varmetap for de ulike tiltakene. Dersom forholdet mellom kostnad og reduksjon av varmetap er mer lønnsomt enn for de andre tiltakene bør det velges. Det kan sies at det ikke alltid er lønnsomt å isolere konstruksjonsdeler, spesielt der en får lite igjen for det energimessig. Programvaren THERM er en god måte å vurdere hvor mye isolasjon en bør benytte i konstruksjoner. For eksisterende bygning hvor etterisolering er tema, er dette spesielt aktuelt for å nå et optimalt resultat.

Det er alltid ønskelig å fjerne en kuldebro, slik at den normaliserte kuldebroverdien for konstruksjonen blir lik null. I enkelte tilfeller kan effekten av en kuldebrobryter være bedre enn selve konstruksjonen uten kuldebro. Det vil si at kuldebrobryteren er optimal og gir fra seg varme. Som vist i oppgavene etter iverksatte tiltak, oppnår enkelte konstruksjonsdeler dette, og sørger for en lavere normalisert kuldebroverdi.

8.2.3 Termografering

Det er en tydelig sammenheng mellom termograferingen av kuldebroer og konstruksjonene benyttet i THERM. Som nevnt tidligere ble termograferingen kun benyttet på områder som vender mot utsiden. Dette fordi temperaturforskjellen i disse områdene gjorde det mulig å observere kuldebroer. Hvorvidt andre kuldebroer burde blitt vurdert med tanke på den lave normaliserte kuldebroverdien kan diskuteres, men siden over halvparten av arealet grenser mot soner med samme temperatur er dette en sannsynlig årsak.

8.2.4 Lufttetthetsmåling

Resultatet for lufttetthetsmålingen viste et lekkasjetall på $2,96 \text{ h}^{-1}$. Energiltak som gjelder for kontorbygninger er, i følge TEK 10, et lekkasjetall på mindre enn $1,5 \text{ h}^{-1}$. Dette kan fravikes dersom kontoret oppfyller kravet om energirammen på 150 kWh/m^2 . Siden dette er tilfellet for oppgavens simulering trenger kun minstekravet på $3,0 \text{ h}^{-1}$ å være oppfylt. En av årsakene til at lekkasjetallet ble $2,96 \text{ h}^{-1}$, kan være at kontoret består av en eksisterende og en påbygd del. Videre er det vanskelig å spekulere i bakgrunn for et lekkasjetall uten andre verdier. Det må derfor benyttes flere parametre i vurderingen av lekkasjetallet. Eksponenten som er beskrevet i kapittel 2.2.3 om lufttetthetsmåling er en parameter som kan benyttes for vurdering av lekkasjetallet.

Resultatene av lufttetthetsmålingen viser at eksponenten er 0,55 ved undertrykk og 0,793 ved overtrykk. Hovedårsaken til denne differansen, er at ved overtrykk i kontorlokalet blir bygningskroppen presset utover. Dette sørger for at lekkasjene blir større som videre fører til en større laminær luftstrømning. Ved undertrykk vil bygningskroppen bli presset innover, noe som fører til at lekkasjene blir mindre og skaper en større andel turbulent luftstrømning. En vurdering av eksponenten viser at kontoret har forholdsvis små luftlekkasjer. Det kan tolkes som en jevn utførsel over hele kontoret. Dersom det er en stor andel laminær luftstrøm bør

dette utbedres ved første mulighet. Det positive med dette er at ved tetting av lekkasjer kan det redusere lekkasjetallet.

8.3 Regelverk

Energisimulering for en kombinasjonsbygning har det samme utgangspunktet som for en bygning med kun en bygningskategori. I SIMIEN er det en rekke valgmuligheter for å bestemme den normaliserte kuldebroverdien for de ulike konstruksjonene. Disse verdiene tar ikke hensyn til kombinasjonsbygninger som har færre kuldebroer. Dette kan være en årsak til avvik mellom energisimuleringen og virkeligheten. Siden lekkasjetallet, den normaliserte kuldebroverdien og u-verdien krever ressurser for å bestemmes, kan en stille spørsmål om disse verdiene bør beregnes med egne faktorer for energisimulering der verdiene ikke er bestemt. I dag er det ikke annet enn et minstekrav som gjelder i forskriften. Det er ingen standard eller forskrift som setter krav til maksimale grenseverdier for ulike typer bygningskategorier. Det ville vært mer fornuftig å bruke grenseverdier som er realistiske og som tilsvarer lignede bygninger, enn å benytte seg av krav en ønsker å oppnå.

8.4 Energisimulering - SIMIEN

I dette kapittel skal energisimuleringer drøftes med hensyn på oppnådde energikarakter. Det blir diskutert relevante avvik mellom simuleringene som er gjennomført.

8.4.1 Prosjektert energisimulering

Den prosjekterte energisimuleringen oppnår energikarakter A, med et energiforbruk på 83 kWh/m². De store avvikene i forhold til oppgavens simulering er at lekkasjetallet er lavere. Det samme gjelder u-verdien for ulike konstruksjonsdeler. Metoden for kobling mellom gulv og kjeller i den prosjekterte energisimuleringen er ulik fra den som er benyttet i oppgaven. I den prosjekterte energisimuleringen defineres parkeringskjelleren og kjelleren som 15 grader om sommeren og 5 grader om vinteren. Et resultat av denne måten å gjennomføre koblingen på gir en u-verdi for gulvet lik null. Årsaken beskrevet over er sannsynligvis den utløsende faktoren som skiller den prosjekterte og oppgavens energisimulering, og gjør at resultatene i oppgaven peker mot energikarakter B og ikke A, som prosjektert.

8.4.2 Oppgavens energisimulering

I oppgaven er tidligere simuleringer, informasjon fra leverandører, beregninger og målinger benyttet for gjennomføringen av energisimuleringen. De utførte beregninger gir et energiforbruk på 126 kWh/m^2 , som tilsvarer energikarakter B. Dette energiforbruket ligger på nedre grenseverdi for energikarakter B for kontorbygninger, slik at kontoret "vipper" mellom energikarakter B og C. I oppgaven er det valgt å koble til sonen for ventilert ikke oppvarmet parkeringskjeller og kjeller. Dette er en standard innstilling som kan velges i SIMIEN, i motsetning til for den prosjekterte energisimuleringen som valgte å definere sonen på egenhånd. Det er vanskelig å vurdere verdier som defineres på en slik måte, fordi en ikke har tilstrekkelig informasjon. Om en kunne målt temperaturen i kjeller og parkeringskjeller gjennom året ville verdiene kunne relateres nærmere til virkeligheten.

U-verdiene som er funnet er høyere enn de som er benyttet for lignede konstruksjoner i SIMIEN. Den beregnede normalisert kuldebroverdien viste seg å være mindre enn for prosjektert energisimulering. Årsaken kan være at et mindre areal ikke er kalkulert for og forårsaker dermed en høyere normalisert kuldebroverdi.

Settes de to simuleringene opp mot hverandre er det stor likhet mellom dem. Det som derfor er overraskende er at de to energisimuleringene, som er utført på samme kontor, ga svært ulike resultater. Den prosjekterte energisimuleringen har oppnådd energikarakter A, mens oppgaven så vidt ligger innenfor energikarakter B. En bør diskutere måten en slik energisimulering gjennomføres på, samtidig som veiledning og informasjonen rundt programvarene må økes. Bare tenk på alle simuleringene som er gjennomført, hvor enkelte verdier kan skape store forskjeller for energisimuleringen.

8.4.3 Tester av Kombinasjonsbygninger

Ut fra resultatene vist i **Tabell 26** kan kombinasjonsbygg dra fordel av nærliggende soner. I kontorets tilfelle viste effekten seg å være størst i områder hvor det var koblinger mot soner som befinner seg over eller under. Effekten for kun yttervegger mot utsiden hadde ikke noen stor innvirkning på energibruken. Det stilles samme krav til energisimulering for kombinasjonsbygninger, enda de drar fordel av andre soner de grenser til. Det betyr at enkelte bygningskategorier kan bruke mindre ressurser for å oppnå energikarakter A. Det kan diskuteres om dette er urettferdig med tanke på kostnader og tiltak som må benyttes.

8.4.4 Energiltak

De tre energiltakene ble fastsatt på bakgrunn av oppgavens årssimulering. Energiltakene bestod av isolering, tetting av lekkasjer og bruk av en annen type energiforsyning. Disse energiltakene skulle i utgangspunktet dekke avviket mellom den prosjekterte og oppgavens energisimulering. Da dette viste seg å være vanskeligere enn først antatt, måtte det iverksettes et fjerde tiltak, som bestod av de tre nevnte energiltakene samt en endring av ventilasjonsanlegget for å nå målet. Dette viser at energiltak med fokus på kun et område ikke holder om en "normal" utformet bygning skal oppnå energikarakter A. Det må fokuseres på flere energiltak innen ulike områder om energikarakter A skal oppnås.

Energiltaket som gikk ut på å bytte energiforsyning var den mest energieffektive løsningen, men hadde i tillegg den største kostnaden. Tetting av lekkasjer i bygningen som resulterte i en reduksjon av lekkasjetallet fra 2,96 h⁻¹ til 1,5 h⁻¹, var det minst energieffektive. En kan diskutere hvor realistisk tiltaket er i forhold til virkeligheten med tanke på kostnaden. Hovedgrunnen til at lekkasjetallet ikke er satt mer ned er med tanke på hva som er oppnåelig i ettertid, samtidig som at informasjonen som ble funnet var vanskelig å relatere til kontoret. Det ville sikkert vært mulig å oppnå en bedre tetthet og sette lekkasjetallet ytterligere ned om det benyttes ressurser. Energiltaket med isolering kan justeres for å skape optimale løsninger. Dette bør i hovedsak gjøres i prosjekteringsfasen for at det skal ha full effekt. Listen over energiltakene i kapittel 2.3, 2.4 og 2.5 kan bidra med å forbedre energikarakteren, men hvor mye endringen utgjør avhenger av tiltaket og ressursene som benyttes.

9. Konklusjon

I denne oppgaven er bruk av lufttetthetsmåling, termografering og energioptimaliseringer av bygningsdeler benyttet for kontorlokalet på Ås Kvartal 5. En oppsummering av oppgavens energisimuleringer er at målet om energikarakter A ikke er oppnådd. Forventet energibruk for kontoret er på 126 kWh/m^2 som tilsvarer energikarakter B.

En vurdering av energisimuleringen viser potensialet for energieffektivisering ved isolering, eliminere kuldebroer, tetting av luftlekkasjer og optimalisere energiforsyningen. Siden målet om energikarakter ikke er nådd, ble tre energiltak iverksatt innen hver kategori. Ingen av tiltakene oppnådde målet, så et fjerde tiltak ble benyttet. Dette tiltaket er basert på å bruke energieffektive og realistiske løsninger til målet er oppfylt.

For å nå målet om energikarakter A er følgende tiltak valgt ved vurdering av energieffektivitet og kostnadsvurdering (tiltak 4):

- 50 mm isolasjon i yttervegg på eksisterende bygning
- 50 mm kuldebryter i vegg mot gulv for påbygg
- 50 mm isolasjon i gulv under hulldekket
- 50 mm kuldebryter i søyle mot gulv for påbygg
- 50 mm isolasjon i innervegg på påbygget side (eksisterende vegg ned i bygningen)
- Lekkasetallet settes til $1,5 \text{ h}^{-1}$ som er et krav i henhold til energiltakene i TEK 10
- En kombinasjon av et solfangeranlegg og varmepumper skal benyttes som energiforsyning (varmepumpe med luft til vann kombineres med solfangeranlegget)
- Endring av ventilasjonsanlegget fra et CAV-anlegg til et VAV-anlegg.

Resultatet ble en energibruk på 84 kWh/m^2 som tilsvarer energikarakter A. Tiltak fire er det eneste tiltaket som når energikarakter A, og er derfor det mest kostnadseffektive tiltaket. Den totale kostnaden for å oppnå energikarakter A er kr 720 749.

10. Videre arbeid

Oppgaven har vurdert ulike energitiltak som kan redusere det totale energibehovet til kontoret. Et videre arbeid vil være å måle det virkelige energibehovet til kontoret over et år for så å sammenligne med verdier simulert i oppgaven. Dette resultatet kan bidra til andre energitiltak, kostnadsberegninger og analyserer enn valgt i oppgaven.

Et annet område som er interessant og utforske er kombinasjonsbygg. Dette med at enkelte bygningskategorier har en fordel eller ulempe på grunn av kobling eller plassering i en bygning. Det at enkelte bygningskategorier ikke behøver å bruke ressurser på energieffektive vinduer, ekstra isolasjon osv. I tillegg oppnår de samme eller bedre energikarakter. Bør slike bygningskategorier ha samme mulighet for oppnåelse av energikarakter A? Er dette gjennomtenkt i forskrifter og standarder som ligger til grunn?

Det blir stadig mer fokus på energieffektivisering av bygninger. Tiltak skal bidra med å gjøre hverdagen bedre og mindre kostbar. Et interessant spørsmål å stille seg, er om hvilke konsekvenser og påvirkninger de ulike energitiltak har for komfort og trivsel. Dette kan besvares på mange måter. Enten ved en analyse i SIMIEN som viser antall prosent misfornøyde i en sone eller ved å benytte en spørreundersøkelse.

11. Referanser

1. SINTEF Byggforsk. (2005). 552.323 Behovsstyrt ventilasjon.
2. SINTEF Byggforsk. (1998). 471.008 *Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946*.
3. SINTEF Byggforsk. (2008). 471.015 Kuldebroer. Konsekvenser og dokumentasjon av energibruk.
4. Norsk Standard. (2007). *NS 3031 - Beregning av bygningers energiytelse Metode og Data*.
5. SINTEF Byggforsk. (2003). 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer.
6. SINTEF Byggforsk. (1999). 471.111 Beregningsmetode for å unngå kondens eller muggvekst på innvendige overflater.
7. Marton, I. (2008). *Byggsektorens miljøutfordringer*. Tilgjengelig fra: <http://www.byggemiljo.no/category.php/category/Byggsektorens%20milj%F8utfordringer/?categoryID=374>.
8. Aurlien, T. (2012). *Veiledning samtale*.
9. Veidekke. *Energieffektive bygg*: Veidekke. Tilgjengelig fra: <http://www.veidekke.no/spisskompetanse/energi-miljo/energieffektive-losninger/article60877.ece>.
10. Kommunal- og regionaldepartementet og Miljøverndepartementet. (2007 (Revidert)). *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk*. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/for/sf/kr/xr-19970122-0033.html#map015>.
11. Kommunal- og regionaldepartementet. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html#map032>.
12. Norges vassdrags- og energidirektorat. (2009). *Om energiattest*. Tilgjengelig fra: <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-Bygg/Energimerking-av-bygg/Om-energiattesten/>.
13. Norges vassdrags- og energidirektorat. (2010). *Forskrift om energimerking av bygninger og energivurdering av tekniske anlegg (energimerkeforskrift)*. Tilgjengelig fra: http://www.nve.no/Global/Forskrifter/Samlet_forskrift29062010.pdf?epslanguage=no.
14. SINTEF Byggforsk. (2001). 720.032 Termografering av bygninger.
15. SINTEF Byggforsk. (2012). 720.035 Måling av bygningers luftlekkasje. Trykkmetoden.
16. Programbyggerne - SIMIEN. (2011). *Soning av bygning*. Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/bruk>.
17. SINTEF Byggforsk. *Kuldebroatlas*. Tilgjengelig fra: <http://bks.byggforsk.no/Tools.aspx?sectionId=2&portalMenuId=56&toolMenuId=63&toolType=5>.
18. Arild Gustavsen, J. V. T., Peter Blom, Arvid Dalehaug, Tormod Aurlien, Steinar Grynning og Sivert Uvsløkk. (2008). *Kuldebroer - Beregning, Kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*.
19. Stene, S. E. A.-J. (2008). *Oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard*.
20. SINTEF Byggforsk. (2011). 471.018 Generelle energikrav til bygninger. krav til energieffektivitet ved energitiltak.
21. SINTEF Byggforsk. (2009). 552.403 Varmepumper i bygninger. Funksjonsbeskrivelse.
22. SINTEF Byggforsk. (2011). 552.455 Vannbasert solfangere.
23. Enova. (2012). *Hjelp til å kjøpe isolasjon*.

24. SINTEF Byggforsk. (2000). 552.335 Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg.
25. SINTEF Bygg og Miljø. (2003). *Nye forskrifter til bygningers energibehov*. Tilgjengelig fra:
<http://www.energimerking.no/Global/energimerking/Dokumenter/Rapport%20energirammer.pdf>.
26. SINTEF Byggforsk. (2000). 533.102 Vinduer. Typer og funksjoner.
27. Enova. (2012). Hjelp til deg som skal kjøpe energieffektive vinduer.
28. Energiråd innlandet. *Energieffektiv belysning i yrkesbygg*. Tilgjengelig fra:
<http://www.energirad-innlandet.no/bygninger/energieffektivisering-i-yrkesbygg/belysning>.
29. SINTEF Byggforsk. (1999). 222.220 Planlegging av boliger med lavt energibehov.
30. Byggemiljø. (2008). *Vannbesparende utstyr*. Tilgjengelig fra:
<http://www.byggemiljo.no/article.php?articleID=617&categoryID=303>.
31. THERM. (2012). Tilgjengelig fra: <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>.
32. Trond Ramstad & Knut Ivar Edvardsen. (2010). Trehushåndboka.
33. Bilde - FLIR InfraCam. *Termograferingskamera*. Tilgjengelig fra:
http://www.wavecomrentals.com.au/product_info.php?products_id=126.
34. The Energy Conservatory. (2012). *Minneapolis Blower Door - Operation Manual for Model 3 and Model 4 Systems*. Tilgjengelig fra:
http://www.energyconservatory.com/sites/default/files/documents/mod_3-4_dg700_-_new_flow_rings_-_cr_-_tpt_-_no_fr_switch_manual_ce_0.pdf.
35. Veidekkes Intranet. VAP.
36. Gulesider. *Kart og flyfoto*. Tilgjengelig fra: <http://kart.gulesider.no/>.
37. Veidekke. (2012). Teknisk beskrivelse Ås Kvartal 5.
38. Veidekke database. (2012). Plantegning og detaljtegninger.
39. Glenn Paulseth, P. Veidekke.
40. standard, N. (2010). Bygningers termiske egenskaper - Bestemmelse av bygningers luftlekkasje - Differansetrykkmetode.
41. SINTEF Byggforsk. (1999). 471.016 Kuldebroer. Metoder for å bestemme kuldebroverdi.

11. Vedlegg

Vedlegg A - Soneinndeling for kontorlokalet

Vedlegg B - Fasadetegninger med markerte vinduer og dører

Vedlegg C - Vindu- og dørskjema

Vedlegg D - Formler for beregning av normalisert kuldebroverdi

Vedlegg E - Internlaster i SIMIEN

Vedlegg F - Plantegning

Vedlegg G - Resultater fra lufttetthetsmåling

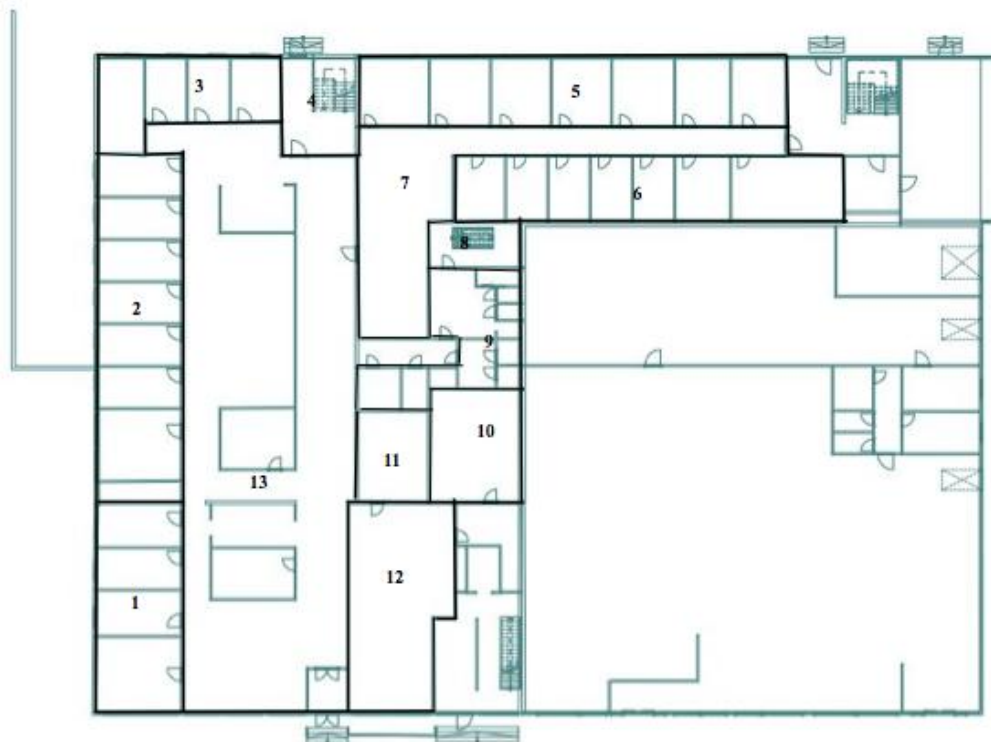
Vedlegg H - Energisimuleringer i SIMIEN

Vedlegg A - Soneinndeling for kontorlokalet

Areal for soner

Navn	Areal (m ²)	Høyde (m)	Volum (m ³)	Koblet til sone
Eks - Vest - Kontor	55,93	2,62	146,54	2,13
Ny - Vest - Kontor	100,7	3	302,10	1,3,13
Ny - Nord - Kontor	46	3	138,00	2,4,13
Eks - Nord - Kontor	95,27	2,62	249,61	4,7
Eks - forretning -Kontor	86,76	2,62	227,31	7,8
Eks - inni - Gang	92,23	2,62	241,64	4,5,6,8,9,13
Eks - forretning - Trapp 2	15,04	2,62	39,40	6,7,9
Eks - forretning - Toaletter	46,25	2,62	121,18	7,8,10,11,13
Eks - forretning - Lager	36,88	2,62	96,63	9,11,12
Eks - inni - Kjøkken	21,4	2,62	56,07	9,10,12,13
Eks - inni - Kantine	68,05	2,62	178,29	10,11,13
Eks/Ny - Sør - Fellesareal	362,76	2,62/3	1038,45	1,2,3,4,7,9,11,12
	1027,27		2835,21	

Tegning av sondeinndeling



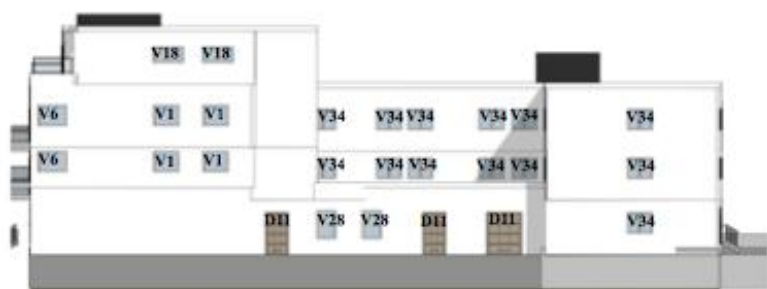
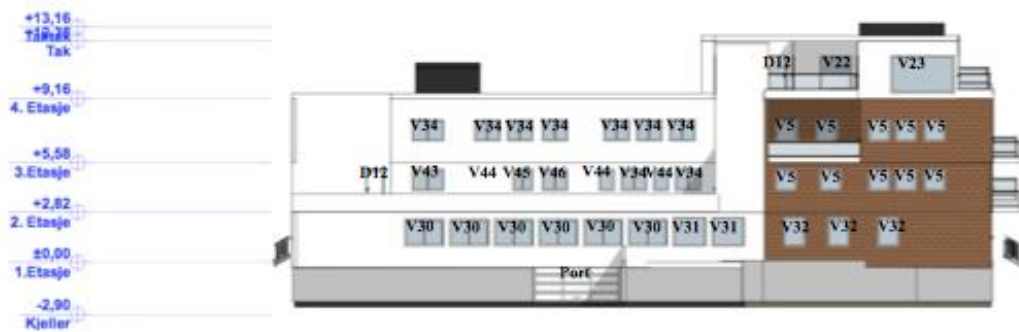
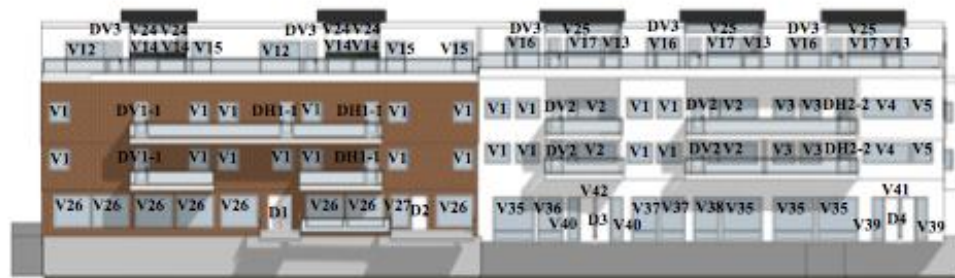
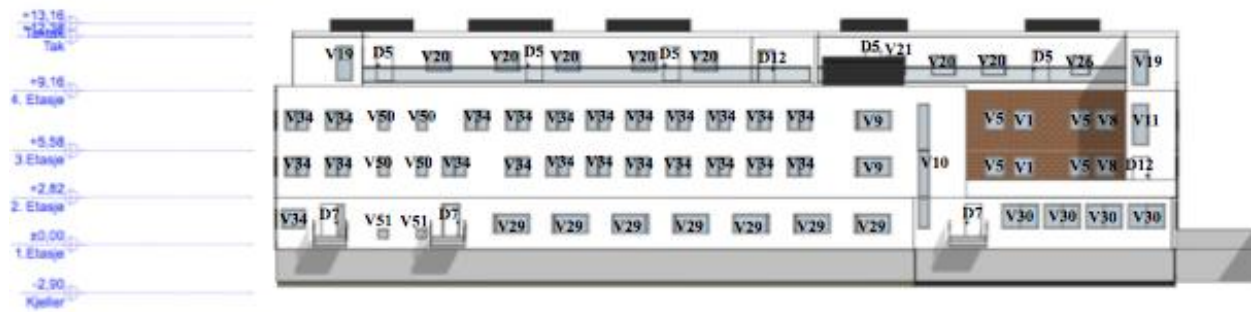
Koblinger mellom soner

Nr	Nr	Bredde (mm)	Høyde (m)	Areal (m ²)
1	2	4904	2,62	12,85
1	13	11976	2,62	31,38
2	1	4904	2,62	12,85
2	3	4904	3	14,71
2	13	20572	3	61,72
3	2	2775	3	8,33
3	4	3794	3	11,38
3	13	9671	3	29,01
4	3	3794	3	11,38
4	5	4011	2,62	10,51
4	7	1716	2,62	4,50
4	13	6489	3	19,47
5	4	4011	2,62	10,51
5	7	24812	2,62	65,01
6	7	23306	2,62	61,06
6	8	5417	2,62	14,19
7	4	1716	2,62	4,50
7	5	24812	2,62	65,01
7	6	23306	2,62	61,06
7	8	2723	2,62	7,13
7	9	3902	2,62	10,22
7	13	10804	2,62	28,31
8	6	5417	2,62	14,19
8	7	2723	2,62	7,13
8	9	5416	2,62	14,19
9	7	3902	2,62	10,22
9	8	5416	2,62	14,19
9	10	6733	2,62	17,64
9	11	3689	2,62	9,67
9	13	8991	2,62	23,56
10	9	6733	2,62	17,64
10	11	5147	2,62	13,49
10	12	1448	2,62	3,79
11	9	3689	2,62	9,67
11	10	5147	2,62	13,49
11	12	3695	2,62	9,68
11	13	5139	2,62	13,46
12	10	1448	2,62	3,79
12	11	3695	2,62	9,68
12	13	12518	2,62	32,80
13	1	11976	2,62	31,38
13	2	20572	3	61,72
13	3	9671	3	29,01
13	4	6489	3	19,47
13	7	10804	2,62	28,31
13	9	8991	2,62	23,56
13	11	5139	2,62	13,46
13	12	12518	2,62	32,80

Areal - yttervegg mot utsiden

Nr	Bredde (mm)	Høyde (m)	Areal (m ²)
1	4930	2,62	12,92
1	12231	2,62	32,05
2	20654	3	61,96
3	5647	3	16,94
3	10901	3	32,70
4	4504	3	13,51
5	25227	3	75,68
12	5060	2,62	13,26
13	9868	2,62	25,85
14	6782	2,62	17,77
15	5600	2,62	14,67
15	9344	2,62	24,48
15	836	2,62	2,19
16	5227	2,62	13,69

Vedlegg B - Fasadetegninger med vinduer og dører



Vedlegg C - Vindu- og dørskjema

Vindu	Mrk	U-verdi (W/m²K)	Bredde (mm)	Høyde (mm)	Areal per enhet (m²)	Total antall	Total areal
135	V25	1,35	1098	488	0,54	3	1,61
140	V25	1,35	4288	488	2,09	3	6,28
145	V26	0,67	2188	1888	4,13	8	33,05
150	V27	1,17	1088	1888	2,05	1	2,05
155	V28	1,18	1088	1588	1,73	2	3,46
160	V29	0,81	2188	1188	2,60	7	18,20
165	V30	0,73	2228	1588	3,54	10	35,38
170	V31	0,75	1888	1588	3,00	2	6,00
175	V32	0,74	1188	1588	1,89	3	5,66

Dør	Mrk	U-verdi (W/m²K)	Bredde (mm)	Høyde (mm)	Areal per enhet (m²)	Total antall	Total areal
-	D1	-	1800	2290	4,12	1	4,12

Vedlegg D - Formler for beregning av normalisert kuldebroverdi

U-verdi: ⁴¹

$$U = 1 / R$$

Formel varmestrøm: ⁴¹

$$\Phi = U_0 \times A \times \Delta\theta + \Psi \times L \times \Delta\theta$$

Kuldebroverdi: ⁴¹

$$\Psi = \Phi / (\Delta\theta \times L) - U_0 \times b$$

Omformet varmestrøm: ⁴¹

$$\Phi = U_0 \times \Delta\theta + \Psi \times L \times \Delta\theta = U \times A \times \Delta\theta$$

Setter inn omformet varmestrøm: ⁴¹

$$\Psi = (U - U_0) \times (A / L) = (U - U_0) \times b$$

hvor:

Ψ er kuldebroverdi for konstruksjonsdelen ((W/mK))

Φ er varmestrøm gjennom en konstruksjonsdel med kuldebro(W/m)

$\Delta\theta$ er temperaturforskjellen mellom målepunktene (vist som ΔT i oppgaven) (°C)

R er varmemotstand for et felt ((m²K)/W)

U er konstruksjonsdel U-verdi (m²K)

U_0 er konstruksjonsdel U-verdi uten kuldebro (m²K)

A er areal for et felt (m²)

L er konstruksjonsdelens lengde (m)

b er konstruksjonsdelens bredde (m)

Normalisert kuldebroverdi: ³

$$\Psi'' = (\sum \Psi_k \times L_k + \sum X_j) / A_{fl}$$

hvor:

Ψ_k er kuldebroverdi (lineær varmegjennomgangskoeffisient) (W/(mK))

L_k er lengde på linær kuldebro k (m)

X_j er kuldebroverdi for tredimensjonale kuldebroer (W/K)

A_{fl} er bruksareal som er oppvarmet (m^2)

Vedlegg E - Internlaster i SIMIEN

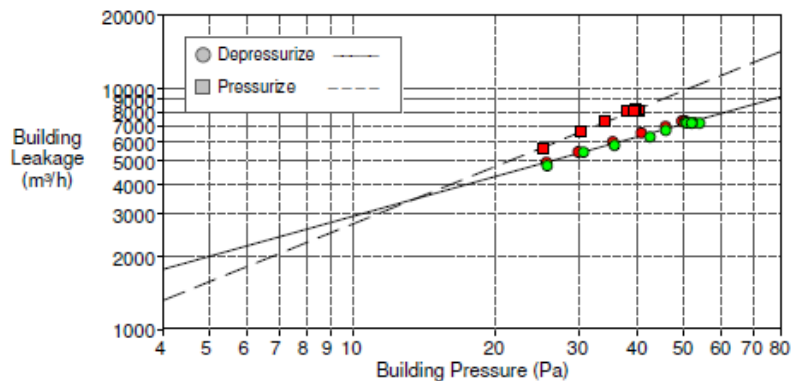
	Antall	Kapasitet	Total kapasitet	Areal	Gjennomsnitt
	(Stk/RS)	W	W	m²	varmetilskudd
					W/m²
Belysning	-	6573	6573	1027	6,4
Teknisk utstyr	-	12430	11297	1027	11,0
Tappevann	-	-	9890	-	0,8
Varmetilskudd personer	30	80	2400	1027	2,34

Vedlegg G - Resultater fra lufttethetsmåling

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 19/11/2012	Technician: M. STRAND / D. KRANIOTIS
Test File: mat_veidekke_3	
Customer: VEIDEKKE	Building Address: ÅS KVARTALET 5
	ÅS, NORWAY (AKERSHUS)
ÅS, NORWAY (AKERSHUS)	
Phone:	
Fax:	

	Depressurization	Pressurization	Average
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	7128 (+/- 0.6 %)	9807 (+/- 1.3 %)	8467
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.49	3.43	2.96
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	6.87	9.45	8.16
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	4.84	6.66	5.75
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	3284.0 (+/- 3.7 %)	3053.6 (+/- 5.3 %)	3168.8
cm ² /m ² Surface Area	2.23	2.07	2.15
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	1914.3 (+/- 5.9 %)	1424.1 (+/- 8.9 %)	1669.2
cm ² /m ² Surface Area	1.30	0.97	1.13
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	809.2 (+/- 9.3 %)	440.5 (+/- 14.4 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	829.9 (+/- 9.3 %)	440.5 (+/- 14.4 %)	
Exponent (n)	0.550 (+/- 0.024)	0.793 (+/- 0.040)	
Correlation Coefficient	0.98287	0.99004	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:			
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	20 °C	Volume:	2861 m ³
Outside Temperature:	4 °C	Surface Area:	1472 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	1038 m ²
Wind Class:	5 Fresh Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2012
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 19/11/2012 Test File: mat_veidekke_3

Comments

Data Points: Depressurization:

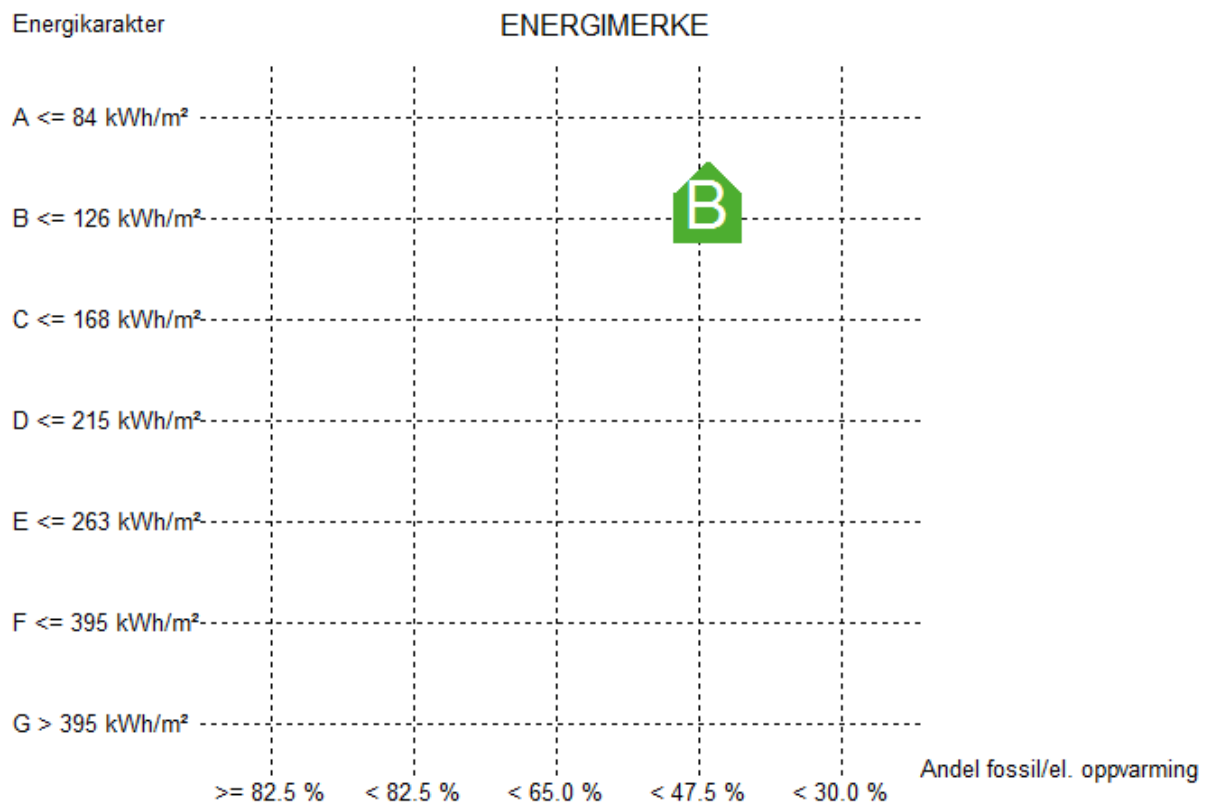
Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-1.9	n/a				
-53.7	114.7	7427	7202	-1.6	Open
-53.3	114.2	7412	7187	-1.3	Open
-51.0	117.4	7511	7283	2.6	Open
-50.8	118.8	7555	7326	3.3	Open
-51.6	118.6	7549	7320	2.4	Open
-47.0	106.5	7166	6948	2.4	Open
-41.9	94.1	6748	6543	2.9	Open
-36.7	78.8	6192	6004	1.9	Open
-31.2	64.6	5623	5453	1.5	Open
-26.9	52.5	5087	4933	-0.1	Open
-0.7	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):	p01- = -2.4	p01+ = 0.5	p02- = -2.1	p02+ = 1.5	
-2.0	n/a				
-55.5	114.0	7404	7179	-3.4	Open
-52.0	114.7	7429	7203	0.5	Open
-53.5	115.0	7436	7210	-1.0	Open
-52.3	114.2	7411	7186	-0.0	Open
-53.4	113.8	7398	7174	-1.4	Open
-47.3	98.7	6906	6696	-1.4	Open
-44.0	86.6	6480	6284	-3.5	Open
-37.2	73.3	5978	5796	-2.1	Open
-32.2	64.4	5613	5443	-0.1	Open
-27.3	49.3	4931	4781	-3.3	Open
-1.1	n/a				
Test 2 Baseline (Pa):	p01- = -2.3	p01+ = 1.2	p02- = -1.5	p02+ = 0.5	

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-0.9	n/a				
36.9	130.0	7891	8115	3.2	Open
39.1	128.6	7850	8073	-1.7	Open
39.1	130.2	7898	8123	-1.1	Open
38.6	130.5	7906	8131	-0.0	Open
38.0	129.7	7882	8107	0.8	Open
38.3	131.3	7930	8156	0.8	Open
38.2	128.9	7861	8084	0.2	Open
33.0	104.8	7109	7312	1.5	Open
29.2	84.8	6416	6599	0.7	Open
24.1	60.6	5452	5607	-1.1	Open
-1.2	n/a				
Test 1 Baseline (Pa):	p01- = -1.9	p01+ = 1.5	p02- = -1.8	p02+ = 0.5	

Vedlegg H - Energisimulering i SIMIEN

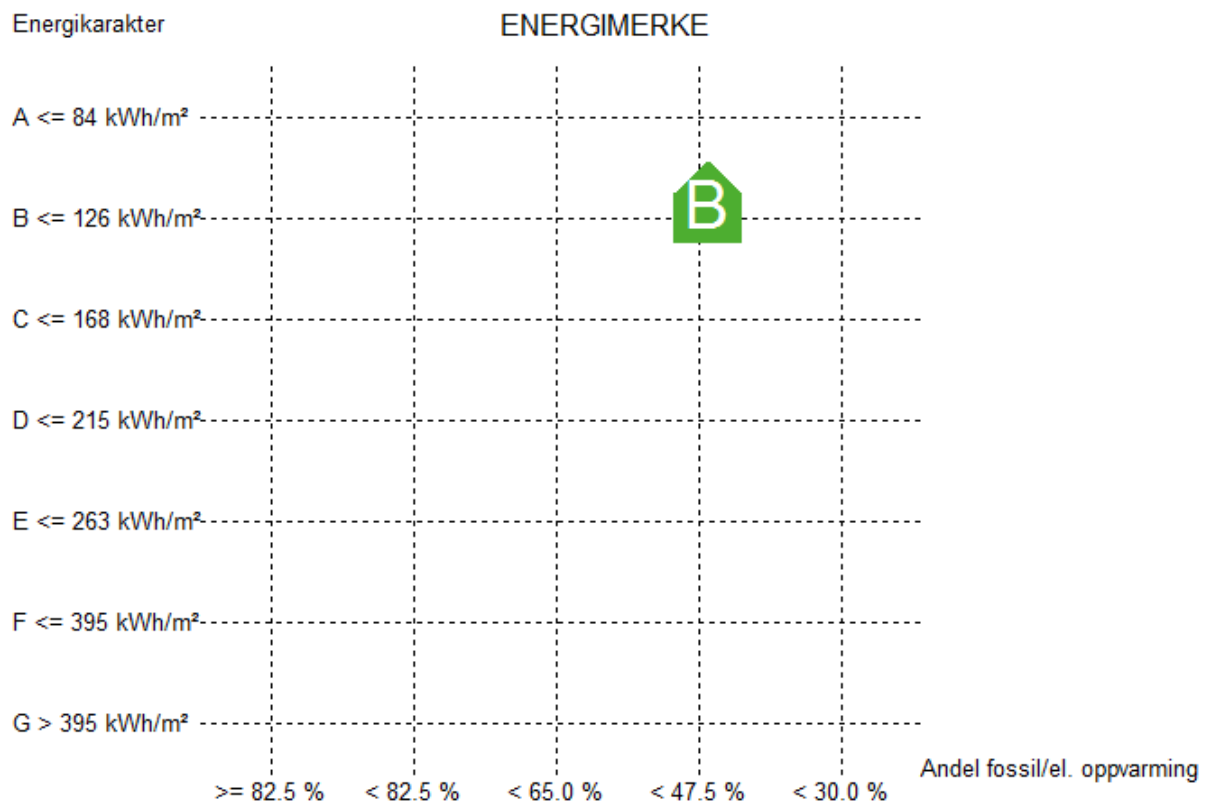
Oppgavens energisimulering



Beregnet levert energi normalisert klima: 126 kWh/m²
Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 30.0 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	126 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	126 kWh/m ²

Gulv mot grunn istedenfor kjeller



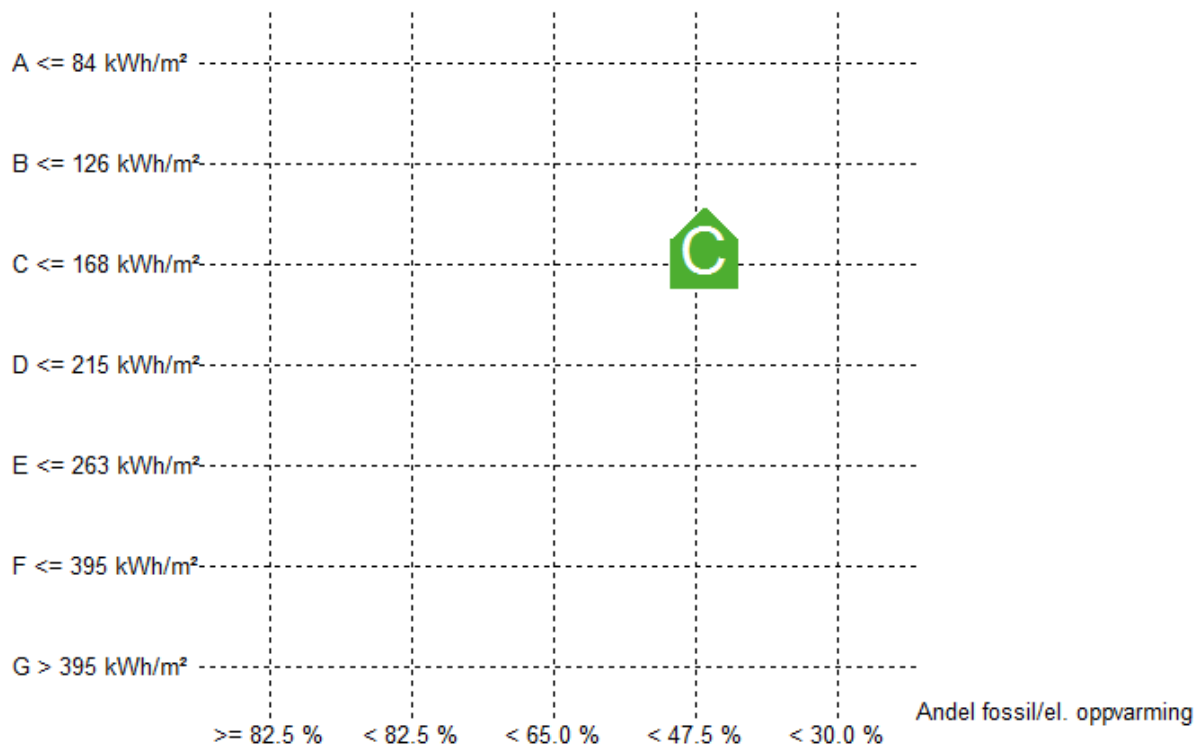
Beregnet levert energi normalisert klima: 106 kWh/m²
Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 30.0 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	106 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	106 kWh/m ²

Tak over hele kontoret

Energikarakter

ENERGIMERKE

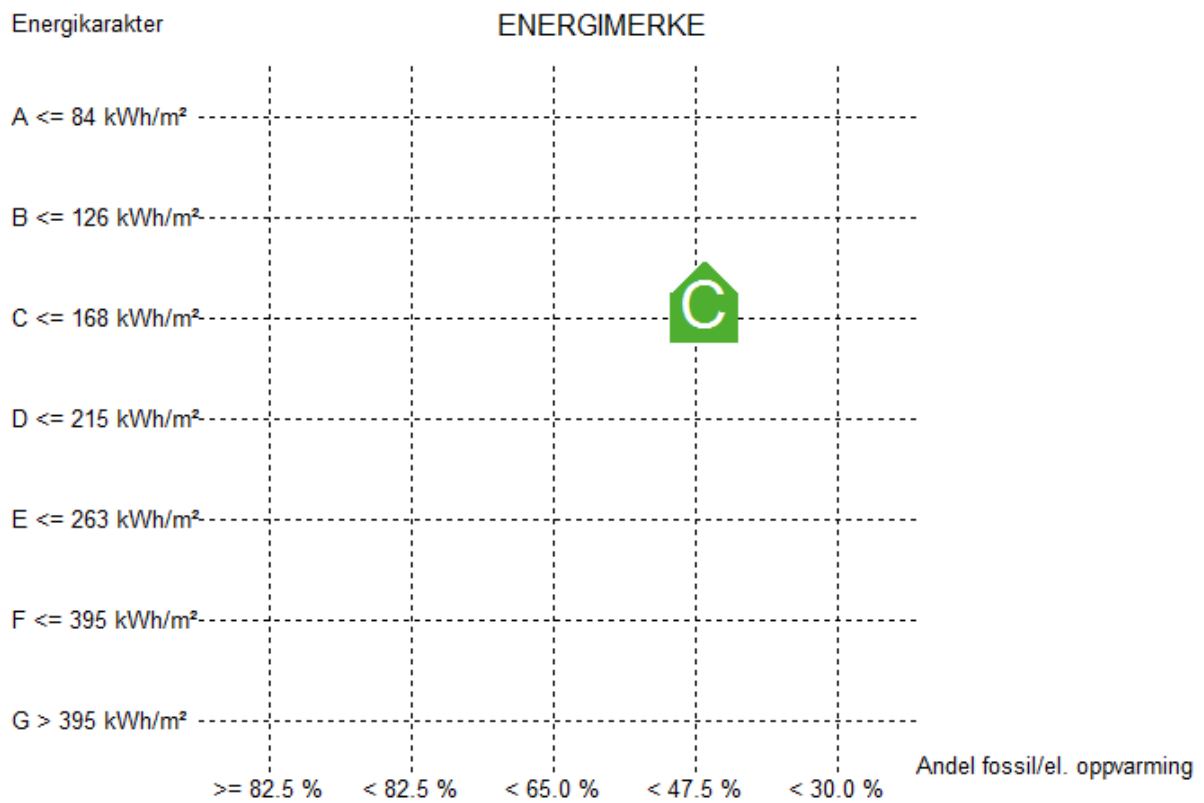


Beregnet levert energi normalisert klima: 135 kWh/m²

Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 30.0 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	135 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	135 kWh/m ²

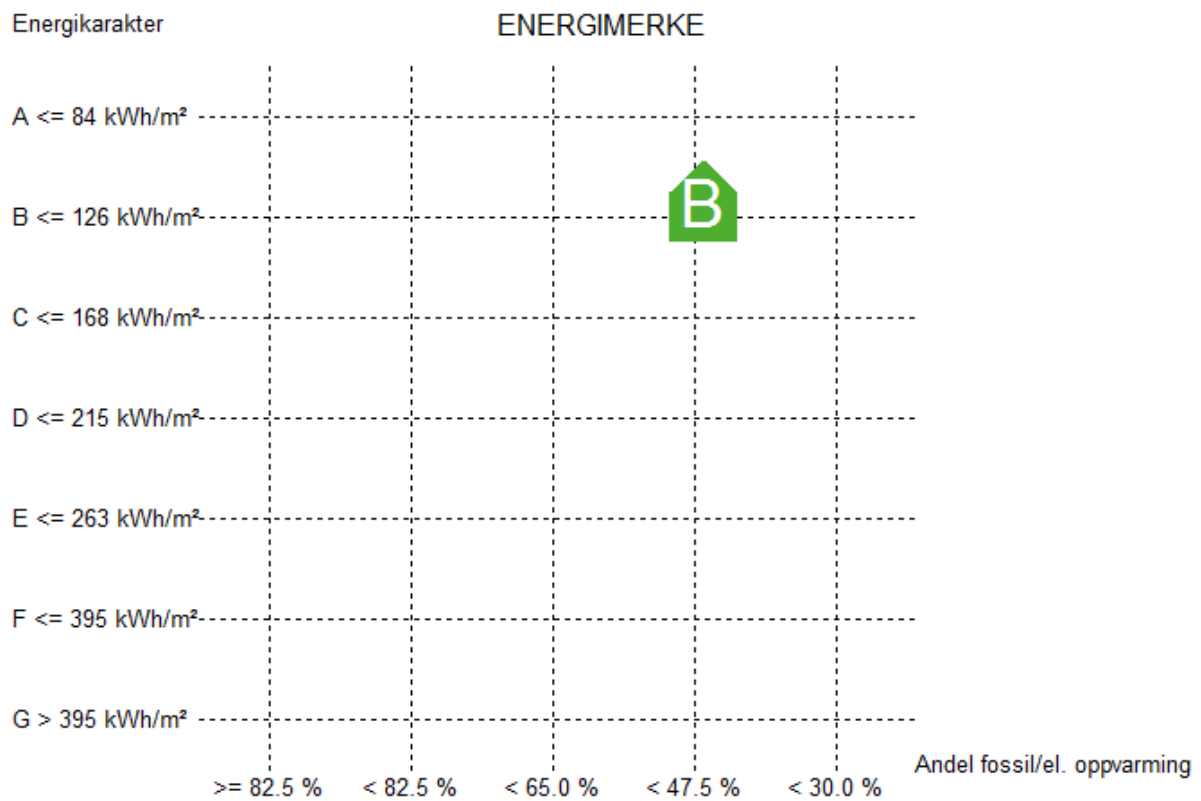
Yttervegger rundt hele kontoret



Beregnet levert energi normalisert klima: 128 kWh/m²
Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 30.0 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	128 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	128 kWh/m ²

Optimal plassering for kontoret



Beregnet levert energi normalisert klima: 95 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 30.0 %

Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	95 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	95 kWh/m ²

