

TREDIMENSJONAL ANALYSE AV KULDEBROER I BÆRESYS-
TEMET TIL ST. OLAV VIDEREGÅENDE SKOLE I SARPSBORG

THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF THERMAL BRIDGES IN
THE SUPPORT STRUCTURE OF ST. OLAV VIDEREGÅENDE
SKOLE IN SARPSBORG

HARALD HALSNE

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITTENSKAP
Institutt for matematiskerealfag og teknologi
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2013



Forord

Denne rapporten inngår som avsluttende oppgave i masterprogrammet Byggeteknikk og Arkitektur ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) på Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB).

Oppgaven tar for seg beregning av tredimensjonale så vel som lineære kuldebroer i bæresystemet til St. Olav Videregående skole i Sarpsborg. Jeg har blitt kjent med oppgaven fra veileder Dr. Ing. Thomas K. Thiis, representant fra UMB i VRI-prosjektgruppen som har bidratt til å evaluere skolens tilstand. Jeg har også fått god hjelp og nyttige tips fra Tormod Aurlien og Dimitrios Kraniotis ved IMT under arbeidet.

En svært stor del av tiden med oppgaven har gått med å finne ut, og å lage fremgangsmåten for løsning av tredimensjonale kuldebroer ved hjelp av ANSYS, og som er presentert i vedlegg C. Dette er et verktøy med lite dokumentasjon i norsk sammenheng når det gjelder å analysere kuldebroer, og oppgaven kan også ses på som en studie i hvordan dette kan løses. Jeg forsøkte i utgangspunktet å modellere og simulere med betingelser så likt virkeligheten jeg klarte, med blant annet transiente simuleringer. Dette ble imidlertid forenklet i løpet av arbeidet med oppgaven, da det ble problematisk med disse analysene å komme til en konkret konklusjon som følger krav i gjeldende standarder.

Oppgaven har vært utfordrende da det har vært mye prøving og feiling. Samtidig har det vært interessant å løse siden det tar tak i et tema som jeg ikke kunne veldig mye om fra før av, men som jeg har lært meg underveis i arbeidet.

Harald Halsne

15. mai 2013

Sammendrag

Oppgaven tar utgangspunkt i vurdering av St. Olav videregående skole sin tekniske stand. Bygningen har et bæresystem der svært mye betong trenger gjennom byggets fasader og fortsetter ut i svalgang. Dette bæresystemet transporterer mye varme ut av bygningen og skaper kalde overflater innvendig. Ved en eventuell rehabilitering av bygningen vil det være vesentlig å beholde bærekonstruksjonen, og mulige løsninger for dette diskuteres.

Bygningens varmetap gjennom bæresystemet er studert gjennom termografering og simuleringer i ANSYS og resultatene av dette har blitt diskutert. Samlet gir disse en kuldebroverdi på 304,36 W/K. Dette gir et totalt bidrag til normalisert kuldebroverdi på 0,034 W/m²K, som er lavere enn forventet. Bygningens store bruksareal og generelle varmetap gjennom dårlig isolerte fasader bidrar til at dette tallet ikke er høyere.

Ved oppgradering av veggene til TEK 10 standard, vil kuldebroverdiene stige siden det generelle transmisjonstapet som kuldebroene måles opp mot synker. Dette kan likevel anbefales siden det vil gi et bedre termisk klima inne og et lavere totalt energitap for bygningen. Dersom etasjeskiller isoleres i tillegg vil kuldebroverdiene bli lavere, men dette fører likevel til kaldere overflater innvendig.

Utvendig isolering av kuldebroene er en vanskelig oppgave på grunn av svalgangen som går rundt bygningen. Bygging av ny fasade utenfor svalgang vil være en løsning for bygningen, da det nærmest kan eliminere kuldebroene man har i dag.

Abstract

This report analyse technical aspects of St. Olav videregående skole. The building have a support structure with a lot of concrete that goes straight through the exterior walls and supports an outer hallway. This support structure transports a lot of heat out of the building and makes walls on the inside colder. In the event of rehabilitation of the building, the support structure will remain, and this report discusses a few solutions to these problems.

The heat loss of the thermal bridges is documented by thermal images, and simulated with ANSYS. The results are discussed. The thermal bridges that has been analysed, have a total value of 304,36 W/K. These results give a contribution to the normalised thermal bridge value of 0,034 W/m²K. This is less than expected. The building have a great heat loss in general, and a big area relative to the exterior walls, which contribute to this value.

If the exterior walls are upgraded to TEK 10 standards, the thermal bridges will have a greater value. This will anyway provide a better thermal climate inside and a lower total energy loss for the building. Exterior insulation of the thermal bridges is a difficult task because of the hallway that goes around the building. Construction of new facade outside this hallway will be a solution for the building, as it can almost eliminate thermal bridges we have today.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
Abstract.....	2
Innholdsfortegnelse.....	3
Figuroversikt.....	5
Tabelloversikt.....	5
Definisjoner og nøkkelbegreper.....	6
1 Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	7
1.2 Målet med oppgaven.....	8
1.3 Avgrensninger.....	8
2 Teori.....	9
2.1 Hva er en kuldebro.....	9
2.2 Normalisert kuldebro.....	11
2.3 Numerisk beregning av kuldebroer med ANSYS.....	12
2.4 Metoder for å utbedre kuldebroene.....	14
2.4.1 Etterisolering.....	14
2.4.2 Dobbeltfasade.....	15
2.5 Termografering.....	16
3 Metode.....	18
3.1 Befaring.....	18
3.2 Termografering.....	18
3.3 Simulering.....	18
3.4 Forutsetninger.....	19
3.4.1 Konstruksjon.....	19
3.4.2 Grensebetingelser.....	21
3.4.3 Materialdata.....	23
3.4.4 Bruksareal.....	23

3.4.5 Valg av størrelse på mesh	23
3.4.6 Valg av kuldebroer for beregning.....	24
3.5 Kjente usikkerhetsmomenter	24
3.5.1 Bakgrunnsstråling.....	24
3.5.2 Overgangstall	24
3.5.3 Materialdata	24
3.5.4 Modeller.....	25
4 Resultater.....	26
4.1 Resultater fra termografering	26
4.2 Resultater og kuldebrobudsjett.....	29
4.3 Utregning av totalt bidrag til normalisert kuldebroverdi	29
4.4 Resultater fra simulering av tiltakspakke 1-3	29
Tiltak 1	29
Tiltak 2	30
Tiltak 3	30
5 Diskusjon.....	31
5.1 Kuldebroenes rolle i dag.....	31
5.2 Aktuelle tiltak for å redusere kuldebroene.....	32
5.3 Videre arbeid.....	32
8 Konklusjon	33
Referanser	34
10 Vedlegg	35

Figuroversikt

Figur 1 St. Olav V.G.S. (foto: Architectopia)	8
Figur 2 Folkets Hus i Trondheim, under rehabilitering i 2010. (foto: LINK arkitektur AS)	16
Figur 3 Bæresystem for 1. og 2. etasje.....	20
Figur 4 Dekkeelementer sett fra undersiden, rom 176	20
Figur 5 Doble betongdragere gjennom klasserom 147	21
Figur 6 Enkel betongdrager gjennom rom 224.....	21
Figur 7 Termografi av betongsøyle, østfasade, rom 145.....	28

Tabelloversikt

Tabell 1 Maksimalt tillatt normalisert kuldebroverdi	12
Tabell 2 Krav til U-verdier fra Byggeforskrift 1969 og TEK 10.....	15
Tabell 3 Liste over overgangstall brukt i beregningene. Hentet fra SINTEF Byggforsk byggdetaljblad 720.015.....	22
Tabell 4 Liste over materialdata brukt i modellene	23
Tabell 5 Utregning av BRA.....	23
Tabell 6 Kuldebrobudsjett	29
Tabell 7 Kuldebrobudsjett, tiltakspakke 1	29
Tabell 8 Kuldebrobudsjett, tiltakspakke 2.....	30
Tabell 9 Kuldebrobudsjett, tiltakspakke 3.....	30

Definisjoner og nøkkelbegreper

Kuldebro

En kuldebro er et område i en konstruksjon der varmegjennomgangen er forskjellig i fra resten av konstruksjonen.

Lineær kuldebro

En kuldebro som kan uttrykkes langsgående horisontalt eller vertikalt.

Punktkuldebro, eller tredimensjonal kuldebro

En kuldebro som ikke kan regnes lineært, men som har omsluttende konstruksjon på alle sider.

Kuldebroverdi, eller varmegjennomgangskoeffisient

En verdi for å uttrykke omfanget av en kuldebro. Måles i W/mK for lineære kuldebroer og W/K for punktkuldebroer.

Kuldebroyter

En konstruksjonsdel som er laget for å isolere noe av effekten fra en kuldebro.

BRA

Brutto bruksareal. Det oppvarmede arealet av en bygning som avgrenses ved innsiden av byggets yttervegger.

Emissivitet

Et legemets evne til å stråle energi. Betegnes med symbolet e , som måles fra 0 til 1 i forhold til den energien et **svart legeme** ($e=1$) ville strålt ved samme temperatur.

Transmisjon

Transmisjon betyr overføring og i denne oppgaven menes det termisk overføring av varme gjennom en konstruksjonsdel.

TEK

Byggeteknisk forskrift. Lovfestede forskrifter på hvordan det skal bygges i Norge. Er utstedt av Kommunal og regionaldepartementet. Siste versjon kom i 2010 og forkortes til TEK 10.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

VRI er et nasjonalt program som i første omgang skal vare i 10 år (2007-2016) i regi av Forskningsrådet. Det overordnede målet for VRI er å fremme innovasjon, kunnskapsutvikling og verdiskaping gjennom regional samhandling og en forsterket FoU-innsats i og for regionene. Programmet skal ivareta både regionale prioriteringer, behov og fortrinn og nasjonale strategier for FoU og innovasjon. (Østfold Fylkeskommune, 2012)

Prosjektet har tre innsatsområder: (Østfold Fylkeskommune, 2012)

1. *Teknologi og energi - grønne løsninger i smarte byer*
2. *Helse- og omsorgsteknologi og serviceinnovasjon*
3. *Energieffektiv rehabilitering av bygg*

Som del av et VRI prosjekt valgte i 2012 en gruppe representanter fra byggenæringen i Østfold og forskningsmiljøet på Ås mellom fire nominerte bygg eid av Østfold Fylkeskommune, som ønskes å rehabiliteres til et fremtidsrettet nivå, med vekt på energi- og miljøbelastninger. (Aurlien, 2012)

Byggene ble prioritert i følgende rekkefølge:

1. St. Olav videregående skole
2. Askim videregående skole
3. Glemmen videregående skole
4. Skjeberg folkehøyskole

St. Olav Videregående skole ble prioritert øverst på bakgrunn av: (Aurlien, 2012)

- *Bygget har kompakt planløsning men er samtidig stort, som gjør at en god energi-karakter overkommelig.*
- *Ventilasjon og dagslys ser ut til å være relativt velfungerende, om enn etter gamle løsninger som har store forbedringspotensialer*
- *Det er stor grunn til å forvente en god del luftlekkasje gjennom dagens fasader.*
- *Bygget har en planlagt utvidelse som kan representere en ressurs*
- *Bygget har tak og sydvendt fasade som er en forutsetning i forhold til solenergi (PV)*
- ***Bæresystemet gir veggkonstruksjoner som har tydelige store kuldebroer. Disse ser ut til å være vanskelige å løse og det gjør bygget spennende å rehabilitere.***

1.2 Målet med oppgaven

Denne oppgaven er skrevet for å belyse bæresystemet sine kuldebroers rolle for ved hovedbygget på St. Olav videregående skole. Nåværende situasjon i bygget gjøres rede for og dokumenteres med hjelp av termografering. Dette sammenlignes med teoretiske simuleringer i ANSYS Mechanical, basert på tegningsgrunnlag og befaring. I løpet av oppgaven vil det bli gitt svar på følgende spørsmål rundt dette hovedbygget:

Hvor stort er varmetapet gjennom bæresystemets kuldebroer i dag?

Hvordan vil kuldebroene i bygget påvirkes av etterisolering?

Hvilke tiltak utover etterisolering kan gjøres for å minske kuldebroene i bygget?



Figur 1 St. Olav V.G.S. (foto: Architectopia)

1.3 Avgrensninger

Kuldebroene som beregnes er de i bærekonstruksjonen for første og andre etasje. Dette gjelder de 56 DT-elementene i bygningens øst og vestfasader og kuldebroene gjennom de 16 store bærebjolkene som stikker ut i bygningens syd og nord fasader.

Etter råd fra veileder Thomas Thiis er det kun modellert opp en generell kuldebro av hver type, hvor de kalkulererte kuldebroverdiene multipliseres opp med antall tilsvarende kuldebroer.

2 Teori

2.1 Hva er en kuldebro

Man kan definere en kuldebro på flere måter. I denne oppgaven er definisjonen fra SINTEF Byggforsk i prosjektrapport 25 brukt.

En kuldebro er en del av omsluttende konstruksjon der den ellers ensartede varmemotstanden endres betydelig av en eller flere av punktene nedenfor:

- *Hel eller delvis gjennomtrengning av den omsluttende konstruksjonen av materialer med høyere konduktivitet*
- *En endring av konstruksjonens tykkelse*
- *En forskjell mellom innvendig og utvendig areal, som ved overganger mellom vegg/gulv/tak*

(Gustavsen et.al., 2008, s. 9)

Dette vil si at en kuldebro er et område i en konstruksjon der varmegjennomgangen er forskjellig i fra resten av konstruksjonen. Dette kan være som følge av annen materialbruk eller forandret geometri på konstruksjonen. En kuldebro kan medføre økt varmetap i bygget, samt redusere byggets brukskomfort. Der det er store kuldebroer vil det også være økt fare for fuktproblemer og svekkede materialer på grunn av temperaturforskjellene.

En kuldebro regnes som varmetapet et spesifikt konstruksjonselement i forhold til varmetapet i den generelle konstruksjonen.

Kuldebroer må settes i en kuldebroverdi. Denne angis med symbolene Ψ for lineære kuldebroer, målt i W/mK, eller X for tredimensjonale kuldebroer (punktkuldebroer), målt i W/K.

Kuldebroverdien representerer en varmegjennomgangskoeffisient som viser hvor varmetapet øker over kuldebroen per grad temperaturdifferanse mellom inneluft og uteluft.

Lineære kuldebroverdier skal multipliseres med lengden av kuldebroen for å finne den totale varmetapet. For en etasjeskiller må man dermed multiplisere Ψ -verdien med den innvendige omkretsen av bygget, mens for et hjørne må Ψ -verdien multipliseres med høyden fra gulv opp til takkonstruksjonen. For tredimensjonale kuldebroer, forårsaket av for eksempel en gjennomgående bjelke eller søyle, er X-verdien varmegjennomgangskoeffisienten til hele den aktuelle detaljen. Hvilke lengdemål som brukes i beregning av lineære kuldebroverdier er fastslått i NS 3031:2010.

Kuldebroverdiene skal beregnes etter NS 3031 og NS-EN ISO 10211 ut fra formelen som er vist under.

$$H_D = \sum_i U_i * A_i + \sum_j \Psi_j * l_j + \sum_k X_k \text{ [W/K]} \quad (1)$$

Hvor

H_D er lik den totale varmestrømmen gjennom konstruksjonen per grad temperaturforskjell

$\Sigma (U_i * A_i)$ er U-verdien til omsluttende konstruksjon, multiplisert med arealet

$\Sigma (\Psi_j * l_j)$ er summen av alle lineære kuldebroer

ΣX_k er summen av alle punktkuldebroer

Geometri spiller en viktig rolle på hvordan kuldebroene oppfattes. I henhold til NS 3031 skal arealene kuldebroene regnes etter være de innvendige. Dette vil ikke ha stor betydning for en kuldebro gjennom en etasjeskiller, men ved for eksempel et vanlig hjørne vil de innvendige målene alltid være mindre enn de utvendige. Den totale varmestrømmen H_D vil ofte bli større enn summen av $U * A$, slik at det vil eksistere en kuldebro. Dette kaller man en geometrisk kuldebro, og det er viktig å vite om at noe av bidraget til kuldebroer i blant annet hjørner kommer fra geometrien.

Kuldebroverdiene Ψ og X kan finnes og dokumenteres på ulike måter, og de forskjellige metodene har ulik grad av usikkerhet. Tallene nedenfor er hentet fra SINTEF Byggforsks Prosjektrapport 25 (Gustavsen et al., 2008) viser forventet usikkerhet ved bruk av de ulike beregningsmetodene.

Numerisk beregning $\pm 5 \%$

Kuldebrotabeller $\pm 20 \%$

Manuell beregning $\pm 20 \%$

Grovestimering/normalverdier 0 – 50 %

Følgende fremgangsmåte for numeriske beregningsprogrammer er anbefalt i Prosjektrapport 25 (Gustavsen, et al., 2008), og følges i dette prosjektet:

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).
2. Varmestrømmene gjennom de tilsluttende konstruksjonene, trekkes fra hele konstruksjonens varmestrøm.
3. Den resulterende varmestrømmen deles på temperaturredifferansen over konstruksjonen.

I tillegg må man for en tredimensjonal kuldebro trekke fra de eventuelle lineære kuldebroene (NS-EN ISO 10211).

Uttrykt i en likning blir dette for en tredimensjonal kuldebro (NS-EN ISO 10211):

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i * A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \Psi_j * l_j \text{ [W/K]} \quad (2)$$

Hvor

L_{3D} er den tredimensjonale varmekoplingskoeffisienten oppnådd med en tredimensjonal beregning av konstruksjonen.

$U_i * A_i$ er U-verdien til omsluttet konstruksjonen multiplisert med arealet.

$\Psi_j * l_j$ er de lineære kuldebroene multiplisert med lengden, regnet ut etter likningen nedenfor.

For en todimensjonal kuldebro blir likningen (NS-EN ISO 10211):

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i * l_i \text{ [W/mK]} \quad (3)$$

Hvor

L_{2D} er den todimensjonale varmekoplingskoeffisienten oppnådd med en lineær beregning av konstruksjonen.

$U_i * l_i$ er U-verdien til konstruksjonene som er tilsluttet kuldebroen multiplisert med av konstruksjonen.

I følge NS 3031 er arealene og lengdene man skal trekke fra i ligning (2) og (3) de innvendige. Der det kun er en type konstruksjon som omslutter kuldebroen skal hele det innvendige arealet, inkludert kuldebroen regnes med. Dersom det er forskjellige U-verdier på de omsluttende konstruksjonene skal man ifølge NS 3031 måle hver konstruksjon for seg inn mot midten av kuldebroen.

2.2 Normalisert kuldebro

I TEK 10 er det satt krav til den samlede effekten av kuldebroer i et bygg. Denne effekten kalles normalisert kuldebroverdi (NKV eller Ψ'') og viser kuldebroenes effekt i forhold til oppvarmet bruksareal. NKV regnes ut etter følgende formel (NS-EN ISO 10211):

$$\Psi'' = \frac{\sum_k \Psi_k \cdot l_k + \sum_j \chi_j}{A_{fl}} \quad \left(\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \right) \quad (4)$$

Hvor:

Ψ_k er lineær kuldebroverdi (W/(mK))

l_k er lengden på lineær kuldebro (m)

A_n er oppvarmet del av bruksareal (BRA).

X_j er kuldebroverdi for tredimensjonale kuldebroer, (W/K)

Kravet til NKV i henhold til TEK 10 vises i tabellen nedenfor.

Tabell 1 Maksimalt tillatt normalisert kuldebroverdi

Type hus	Maksimalt tillatt NKV
Småhus	0,03 W/m ² K
Øvrige bygninger	0,06 W/m ² K

Dette er ikke et absolutt krav, siden det kan omgås ved energiltaksmetoden i TEK 10. Dette vil si at et bygg innfrir TEK 10 med en høyere normalisert kuldebroverdi enn i tabellen over, så lenge man ikke øker det totale varmetapstallet til bygget. For eksempel kan kravet til normalisert kuldebroverdi lettes på hvis man har ekstra isolasjon i taket eller vinduer med lavere U-verdi.

En annen måte å omgå kravet til NKV, er gjennom energirammemetoden i TEK 10. Denne tar for seg byggets netto totale oppvarmingsbehov i forhold til størrelsen på oppvarmet bruksareal.

I tillegg til energiltaksmetoden og energirammemetoden må et bygg ifølge TEK 10 følge kravene gitt i som omhandler U-verdier for yttervegg, tak, gulv, vinduer og dører samt lekkasjetall. Dette betyr at det er relativt enkelt å oppfylle kravene om NKV fra TEK 10 ved å sørge for et lavere varmetap andre steder.

NS3031 gir en tabell over standardverdier for normalisert kuldebro i bygninger med forskjellig type bærekonstruksjon. Det eksempelet som er nærmest St. Olav V.G.S, er verdien for en bygning med bæresystem i betong, med 5 cm kuldebrobryter og 20 cm isolasjon. Tabellen gir da en standardverdi på 0,12 W/m²K. Dette er en høyere normalisert kuldebroverdi enn tillatt innenfor TEK 10, og må kompenseres ved hjelp av noen av metodene beskrevet ovenfor.

2.3 Numerisk beregning av kuldebroer med ANSYS

I følge Prosjektrapport 25 (Gustavsen et al., 2008) er numerisk beregning den måten å finne kuldebroverdier mest nøyaktig på. Dette gjøres ved bruk av et Finite Element Metode program regner ut en datamodell basert på de virkelige konstruksjonene.

I NS 3031 og NS-EN ISO 10211 forklares det nøye hva som skal tas med i disse modellene og hvilke avstander som skal benyttes. Hvilken metode man bruker har stor innvirkning på hva resultatene blir, og derfor er det viktig å følge disse standardene.

ANSYS Mechanical 14.5 Academic brukes i denne oppgaven for å simulere kuldebroene tredimensjonalt. ANSYS Mechanical er en serie med verktøy for å regne på ulike typer problemstillinger, deriblant styrkeberegninger, CFD-analyser og temperaturberegninger (ANSYS Inc, 2013).

ANSYS har verktøy for to typer termiske analyser (ANSYS Inc, 2005):

1. *Steady-state thermal analysis* beregner temperaturfordelingen og andre termiske verdier under statiske omgivelser. En slik analyse kan bruke når varmelagringseffekter som varierer over tid kan ignoreres.
2. *Transient thermal analysis* beregner temperaturfordelingen og andre termiske verdier under forhold som varierer over en tidsperiode.

Begge metodene gir for øvrig mulighet for å bruke materialegenskaper som forandrer seg over forskjellige temperaturer.

Dette gir to forskjellige metoder numerisk analyse innen beregning av kuldebroer. Den ene metoden hvor man regner kuldebroene med fast konveksjon henholdsvis utendørs og innendørs. Denne analysen tar ikke hensyn til forandringer i at varmen som er lagret i konstruksjonselementene forandrer seg over tid. Denne metoden er vanlig og brukes blant annet ved hjelp av programvaren Therm i SINTEFs Prosjektrapport 25 (Gustavsén, et al., 2008).

Den transiente analysen gir mulighet for å definere ulik konveksjon over tid med både overgangstall og temperaturer som kan variere. Dette gjør at analysen blir mer realistisk, siden modellen kan utsettes for flere av de samme påvirkningene som i virkeligheten. Varme som lagres i konstruksjonselementene vil da også spille en viktig rolle på hvordan temperaturene blir. Ulempen med denne analysen er at den krever mer beregninger fra datamaskinen, og resultatene den gir er mer omfattende å analysere hvis man skal estimere en kuldebroverdi.

I tillegg til den termiske analysen, kan man også simulere luftstrømningene som påvirker modellen, ved hjelp av ANSYS CFD eller Fluent. Dette gjør at konveksjonen mellom luft og konstruksjonselementer blir mer realistisk enn ved de to ovenstående metodene. Dette krever imidlertid en mer avansert modell hvor både varmekilder og ventilasjon tas med.

Programvaren ANSYS Mechanical benytter Finite Element Metode (FEM) for sine beregninger. Hvert konstruksjonselement deles opp i et visst antall elementer. Hvert element gis en node i hvert tilkoblingspunkt mot et annet element, og alt dette utgjør til sammen et nett (mesh). Hvor mange elementer det deles inn i, og hvor hensiktsmessig dette gjøres, avgjør hvor nøyaktige utregningene blir.

Hver node gis et visst antall ukjente frihetsgrader, ut ifra hva som skal beregnes, og hvor mye som er kjent fra før av. I vanlig konstruksjonsberegning har en node ofte 6 frihetsgrader; tre for forskyvning i henholdsvis x, y og z-retning, og tre noder for rotasjon rundt egen akse i hver av de tre samme retningene. Ved termiske beregninger kan en frihetsgrad være en temperatur.

Ved beregning gis hver node i hele modellen en matrise basert på antall frihetsgrader som må regnes ut. Alle disse matrisene settes sammen til en global matrise som gir oss svarene på alle de ukjente. FEM-metode kan derfor svært store ressurser for utregning, ut ifra hvor stort mesh man bruker. I hjørner, overganger, forbindelser og hvor det er store forandringer i konstruksjonselementene, vil det være hensiktsmessig å dele inn i mindre elementer, enn større flater der forandringer ikke blir like store. I tillegg til inndelingen i mesh, kan programvaren også interpolere resultatene mellom hver node, slik at svaret blir mer nøyaktig.

Programvaren regner seg deretter gjennom hvert punkt man har delt opp konstruksjonen i. For konduktiv varmetransport er grunnlikningen Fourier's Lov for varmeledning:

$$Q = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) [\text{W}] \quad (5)$$

Hvor

Q er overført varme

k er termisk konduktivitet i W/mK

A er areal på flaten varmen transporteres over

dT er temperaturforskjellen over arealet

For konveksjon er grunnlikningen Newtons avkjølingslov:

$$Q = hA(T - T_e) [\text{W}] \quad (6)$$

Hvor

Q er overført varme

h er konveksjonskoeffisienten i W/m²K

A er arealet til flaten

T er temperaturen på flaten

T_e er temperaturen på omgivelsene

2.4 Metoder for å utbedre kuldebroene

2.4.1 Etterisolering

Det er tre ulike måter å etterisolere en bygning; innvendig og utvendig isolering, samt innblåsing av isolasjon i hulrom. (Gustavsen, et al., 2008)

Ved innvendig etterisolering bevares det arkitektoniske uttrykket på bygningen. Kuldebroer som går tvers gjennom ytterveggene vil ikke reduseres stort, men det totale transmisjonstapet vil forbedres. Det vil også kunne bli behageligere å være i bygningen hvis man isolerer de kalde overflatene, men enkelte overflater kan også bli kaldere med innvendig isolering. Dette kommer av at man flytter den termiske overgangen fra kald til varm innover i fasaden. Dette kan videre føre til økt fare for fuktskader inne i veggene.

Utvendig isolering gir som regel det beste resultatet (Gustavsen, et al., 2008). Dette er også mest effektivt for å redusere faren for mugg og råteskader, siden materialene innenfor for isolasjonen blir varmere og dermed også tørrere. Man kan også til en viss grad bruke bygningen under arbeidsperioden. I mange tilfeller vil det være vanskelig å isolere kuldebroer utvendig uten å endre på det arkitektoniske uttrykket.

Innblåsing av isolasjonsmateriale i hulrom hjelper lite på kuldebroer. Det totale transmisjonstapet vil likevel forbedres. (Gustavsen, et al., 2008)

Ved etterisolering av en eldre bygning vil det være naturlig å ta utgangspunkt i å nå krav som tilfredsstillende nåværende forskriftskrav gitt i TEK 10. Som nevnt er det et krav at maks tillatt normalisert kuldebroverdi er 0,06 W/m²K. Andre aktuelle verdier angitt som TEK 10 stiller krav til er gitt i tabellen nedenfor.

Tabell 2 Krav til U-verdier fra Byggeforskrift 1969 og TEK 10

U-verdi	Byggeforskrift 1969 [W/m ² K]	TEK 10 [W/m ² K]
Tak	0,23	0,13
Gulv	0,30	0,15
Yttervegger	0,45 (inkl. vinduer)	0,18
Vinduer	Inkludert i krav for vegg	1,2

2.4.2 Dobbelthfasade

En annen måte å utbedre kuldebroer i eksisterende bygninger er ved å bygge dobbelthfasade. Det vil si at man bygger en ny fasade utenpå den gamle. Med dette kan de eksisterende kuldebroene omtrent elimineres helt. Dette er lite utbredt i Norge, og fram til 2010 var det kun gjort i noen få tilfeller i Norge (Matthias & Wigenstad, 2010).

I 2010 ble det bygget dobbelthfasade utenpå AØF Kongressenter i Trondheim, også kalt Folkets Hus. I samarbeid med SINTEF Byggforsk ble det gjort et omfattende studie av hvordan denne løsningen påvirker bygget med hensyn til energibruk, romtemperatur, kondens og termisk komfort (Matthias & Wigenstad, 2010). Den utenpåliggende fasaden vil skape en termisk buffer for fasaden og redusere oppvarmingsbehovet og støynivået i bygningen. Med et ventilasjonssystem som bruker avansert styring av luften mellom fasadene vil man kunne få gunstige forhold i alle årstider. Man vil kunne redusere både oppvarmingsbehovet og kjølebehovet. Renovering av de andre delene av bygget kan

gjøres langt mindre omfattende. Man kan utnytte solenergi til oppvarming av ventilasjonsluft. Man kan også i større grad kunne bruke naturlig ventilasjon ved å åpne vinduer, siden denne luften kan være oppvarmet av solenergi. (Matthias & Wigenstad, 2010)

Det er også en rekke utfordringer med denne typen rehabilitering, spesielt med tanke på brann, røykutvikling, og kondens. (Matthias & Wigenstad, 2010)



Figur 2 Folkets Hus i Trondheim, under rehabilitering i 2010. (foto: LINK arkitektur AS)

2.5 Termografering

Termografering vil si å ta et bilde med et spesielt apparat som oppfatter varmestråling. Det er en effektiv måte å måle overflatetemperaturer, og mulighet til å oppdage kuldebroer i konstruksjoner. Kuldebroene vil oppdages ved kalde områder på innsiden av veggen, eller varme områder på utsiden av veggen.

Termografiapparatet som brukt er et FLIR InfraCAM SD. Det bruker en mikrobolometer som detektor. Sensoren består av 120x120 piksler som hver kan oppfatte temperaturer mellom -10° C til 350° C. På objekter bredere enn 100mm er det effektiv på en avstand opp til 9 m. (FLIR Systems, 2008)

Den forenklete generelle måleformelen apparatet bruker er (FLIR Systems, 2008):

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon\tau} U_{atm}$$

Hvor

U_{obj} er beregnet kamerautgangsspenning for en temperatur på et svart legeme dvs. en spenning som kan direkte regnes om til en sann objekttemperatur.

U_{tot} er målt kamerautgangsspenning for virkelig tilfelle.

U_{refl} er teoretisk kamerautgangsspenning til en reflektert omgivelsestemperatur for et svart legeme i henhold til kalibrering.

U_{atm} er teoretisk kamerautgangsspenning til en reflektert atmosfærisk temperatur for et svart legeme i henhold til kalibrering.

τ er transmisjonen til atmosfæren

ϵ er objektets emisjon

Andre verdier som påvirker apparatets beregning:

- Relativ fuktighet
- Objektavstand
- Reflektert omgivelsestemperatur
- Temperaturen til atmosfæren

På FLIR InfraCAM SD er det kun objektets emisjon og reflektert omgivelsestemperatur som bruker må stille inn selv. Resten av variablene bestemmer apparatet selv verdier for.

Emisjonen settes til 0,95 for betong (FLIR Systems, 2008). Siden mange av detaljene rundt betongelementene som er termografert er av andre materialer, vil den gitte temperaturen fra termografiene mer unøyaktige hvor det ikke er betong.

Reflektert omgivelsestemperatur angis i henhold til manualen for termografiapparatet: foran den aktuelle bygningsdelen krølles et stykke aluminiumsfolie sammen og brettes ut igjen over et stykke papp. Dette termograferes med en angitt emisjon på 1,00, og det er den reflekterte temperaturen apparatet gir her som brukes på de øvrige termografiene av samme bygningsdel (FLIR Systems, 2008).

3 Metode

I oppgaven vurderes varmetapet i de største kuldebroene i bærekonstruksjonen. Varmetapet har blitt undersøkt ved hjelp av befaring, termografering og studier av byggetegninger.

Termografering er en viktig del av analysen fordi det er den eneste metoden som viser den faktiske situasjonen i bygget. Det er vanskelig å si noe spesifikt om kuldebroverdier ved å bare tolke termografier. Det er også mange usikkerhetsmomenter ved å termografere tilknyttet blant annet vær, og selve utførelsen av termograferingen.

Simuleringer i ANSYS har vært brukt for å fastslå spesifikke verdier for byggets varmetap. Dette programmet gir mulighet til å gjøre avanserte simuleringer av kuldebroene på svært realistiske modeller.

3.1 Befaring

Det ble i løpet av vinteren 2013 gjort tre befaringer av bygningen. Dette ble gjort for å undersøke hvilke kuldebroer som er nødvendige å beregnes, for å kontrollere usikkerheter ved tegningsgrunnlaget, og for å termografere. Befaring av bygget ble gjort den 17. januar 2013, 13. februar 2013 og 19.-20.mars 2013.

3.2 Termografering

Termografering ble foretatt den 19.-20. mars 2013. Dette gjøres for å påvise kuldebroene. Dette er en god måte å bevise at kuldebroene faktisk eksisterer. Det er også et viktig hjelpemiddel i å prioritere hvilke kuldebroer som er mest kritiske.

Termograferingen har ikke fulgt alle krav i henhold til NS-EN 13187:1998. Derfor må resultatene kun ses på som anslag for overflatetemperaturer, og det vil ikke være mulig å trekke en konklusjon kun basert på disse.

Termograferingen ble foretatt med et FLIR InfraCAM SD. Dette er et lettfattelig termografiapparat som det kun reflekterte omgivelsestemperatur og objektets emisjon som bruker må stille inn selv.

Det er bæresystemet som primært er blitt termografert. Spesielt er det lagt vekt på rommene med mye problemer med temperaturer, rom 146, 160, 224 og 231.

3.3 Simulering

For utregning av kuldebroverdi simuleres 10 modeller av kuldebroene i henhold til metode beskrevet i vedlegg C. Deretter regnes resultatene om til kuldebroverdier ved følgende ligninger.

ANSYS gir resultatet som total transmisjon Q ved en gitt temperaturdifferanse. Dette settes lik varmekoplingskoeffisienten L_{3D} :

$$L_{3D} = \frac{Q_{ANSYS}}{\Delta T} \text{ [W/K]} \quad (6)$$

Dette settes inn i likning (2) og blir den generelle likningen for de tredimensjonale resultatene:

$$\chi = \frac{Q_{ANSYS}}{\Delta T} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i * A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \Psi_j * l_j \text{ [W/K]} \quad (7)$$

For lineære kuldebroer blir det tilsvarende, og må multipliseres med 1 meter som er referanselengden på en lineær kuldebro:

$$L_{2D} = \frac{Q_{ANSYS}}{\Delta T * 1 \text{ m}} \text{ [W/K]} \quad (8)$$

Dette settes inn i likning (3) og blir den generelle likningen for de lineære resultatene:

$$\psi = \frac{Q_{ANSYS}}{\Delta T * 1 \text{ m}} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i * l_i \text{ [W/mK]} \quad (9)$$

Deretter brukes same metode for simulering av tre alternative tiltak for etterisolering av bygningen

1. Etterisolering tilsvarende TEK 10 standard i vegger og vinduer. 200 mm isolasjon rundt bæresøyler.
2. Etterisolering tilsvarende TEK 10 standard i vegger og vinduer. 200 mm isolasjon rundt bæresøyler, samt 5 cm ekstra isolasjon i gulv over etasjeskiller.
3. Etterisolering tilsvarende TEK 10 standard i vegger og vinduer. 200 mm isolasjon rundt bæresøyler, samt 5 cm ekstra isolasjon i gulv og tak ved etasjeskiller.

3.4 Forutsetninger

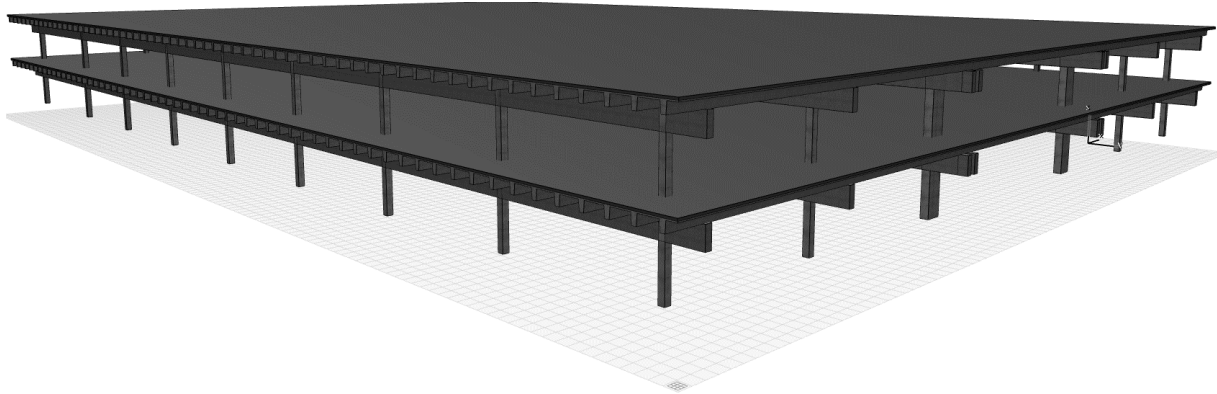
3.4.1 Konstruksjon

St. Olav Videregående skole ble tegnet av arkitekter Thor Andersen, Aksel Fronth og Leif Lindgren. Det stod ferdigbygget 1978 etter forskriftskrav fra Byggeforskrift 1969. 3. etasje ble bygget på i 2003. Nedenfor følger en beskrivelse av bæresystemet for 1. og 2. etasje og andre konstruksjonsdeler aktuelle for kuldebroberegningen.

3.4.1.1 Bæresystem

Bærekonstruksjonen består av bærende søyler og dragere som et gitter. Betongdragere på 300x900 mm opplagt på bærende søyler som ligger i ett med fasaden. Søyler isolert med 20 mm isopor.

Dragere som ligger i ett med fasaden isolert med 50 mm isopor. Dragere fortsetter gjennom fasaden og bærer svalgang. 20 mm neoprenelager i overgang søyler/dragere.



Figur 3 Bæresystem for 1. og 2. etasje

Over betongdragerne, dekkeelementer DT størrelse 2400 x h480 x t80 mm, med 50-90 mm armert påstøp over. DT-elementene fortsetter gjennom fasaden og bærer svalgang. I 2. etasje tilsvarende, men DT-elementer i størrelse 2400 x h400 x t50.

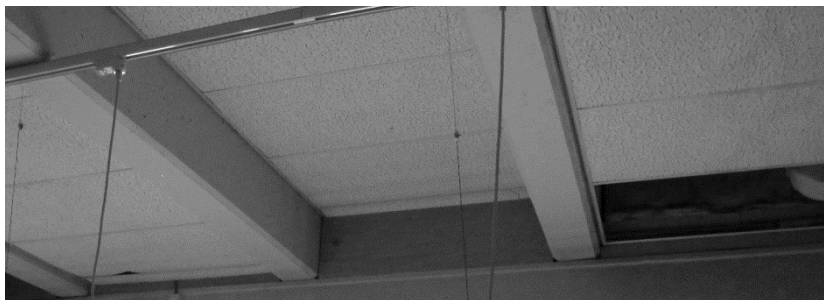
3.4.1.2 Yttervegger

Yttervegger under vinduer i 1. etasje er utført med 150 mm lettklinkerblokker og 150 mm betong. Over vinduer i 1. og 2. etasje 100 mm bindingsverk med isolasjon, plast, rupanel og gips på innsiden, papp og utlektet supereternit på utsiden. I 2. etasje er denne typen vegg også under vinduer. Noen områder på nord og sydfasade har vegg med 150 mm porebetong og 150 mm betong. Etterisolert med ca. 400 mm over himling langs fasade i nord og sydfasade.

Over vinduer på syd og vestfasade, 300 mm betongdrager med pålimt 50 mm isolasjon. Mellom stegene i DT-elementer er 200 mm lettklinkerblokker isolert med 100 mm mineralull (kontrollert ved befaring).

3.4.1.3 Himling

I rommene langs øst og vestfasade ligger himling nedsenket til å gå i kant med bunnen av annethvert DT-element. I nord og sydfasade er himlingen senket til i overkant av drager der hvor drageren ligger dobbelt, og midt på betongdrager der hvor drageren er enkel.



Figur 4 Dekkeelementer sett fra undersiden, rom 176



Figur 5 Doble betongdragere gjennom klasserom 147



Figur 6 Enkel betongdrager gjennom rom 224

3.4.1.4 Tak

Tak over 2. etasje består av Rockwool Hardrock underlagsplate og 50 mm Rockwool Hardrock takplate, med 120mm Rockwool takfall 1:60 imellom. I følge tegningsgrunnlaget er dette rundt 120 mm mot midten av bygningen og 240 mm ved raft.

3.4.1.5 Oppvarming

Under vinduer yttervegger i 1. og 2. etasje er det induksjonsapparater med energi fra fjernvarmeanlegg. Disse styres av termostat satt til 21 grader. Blir slått på kl 06.30 og av kl 17.00 når bygningen er i bruk. Under samtaler med brukere av bygningen har det kommet frem at klasserommene i nordre del av bygget er de mest ubehagelige å bruke. Det føles veldig kaldt her, spesielt om morgenen vinterstid. I noen rom brukes ekstra oljefylte ovner om vinteren. Likevel har elever enkelte dager sittet med tepper over seg i morgentimene.

3.4.2 Grensebetingelser

Overgangshallene har mye å si for en korrekt utregning. Induksjonsvarmeapparatene under vinduene langs hele fasaden gjør at disse blir svært vanskelige å bestemme. Etter en prat med veileder Tormod

Aurlien ble det bestemt å bruke de anbefalte tallene fra SINTEF Byggforsk byggedetaljblad 720.015. Øvre del av rom defineres derfor i denne oppgaven for veggen over varmeapparatene som er 880 mm fra gulv, samt veggen bak disse varmeapparatene.

Tabell 3 Liste over overgangstall brukt i beregningene. Hentet fra SINTEF Byggforsk byggedetaljblad 720.015

Flate	Varmeovergangsmo tstand R_s [(m²K)/W]	Overgangstall a_s [W/(m²K)]
Utvendig vertikale flater	0,04	25,00
Utvendig horisontale flater	0,04	25,00
Utvendige flater bak utlektet panel	0,13	7,69
Innvendige vertikale flate ved beregning av U-verdi	0,13	7,69
Innvendige vertikale flater, øvre del av rom	0,25	4,00
Innvendige vertikale flater, nedre del av rom	0,35	2,86
Innvendige flater, skjermet del	0,50	2,00
Innvendige horisontale flater, oppover	0,10	10,00
Innvendige horisontale flater, nedover	0,17	5,88

Temperaturer er satt i henhold til forslag fra Prosjektrapport 25 (Gustavsen, et al., 2008) som er 0 ° C ute og 20 ° C inne. Innetemperaturene vil i virkeligheten være annerledes over forskjellige områder på veggen. Dette blir ikke tatt hensyn til i beregningene.

3.4.3 Materialdata

Tabell 4 Liste over materialdata brukt i modellene

Materiale	Densitet [kg/m³]	Termisk konduktivitet λ [W/mK]	Spesifikk varmekapasitet [J/kgK]
Lettklinkerblokker	770 ²	0,23 ¹	900 ²
Porebetong	400 ²	0,13 ⁶	780 ²
Isolasjon EPS	50 ⁴	0,037 ⁴	1450 ⁴
Betong	2200 ⁴	1,65 ⁴	1000 ⁴
Armert betong	2300 ⁴	2,30 ¹	1000 ⁴
Mineralull	50 ⁴	0,04	1030 ⁴
Rockwool	50	0,036 ³	1030 ⁴
Hardrock underlagsplate	50	0,036 ³	1030 ⁴
Hardrock takplate	50	0,036 ³	1030 ⁴

1 (Gustavsen, et al., 2008)

2 Sintef Byggforsk detaljblad 571.201 Murverk. Materialer, typer og egenskaper

3 (Rockwool, 2013)

4 NS-EN ISO 10456:2007 Byggematerialer og -produkter - Hygrotermiske egenskaper - Tabulerte dimensjonerende verdier og prosedyrer for bestemmelse av deklarete og praktiske termiske verdier

6 Sintef Byggforsk detaljblad 472.051 Kuldebroverdier for tilslutninger mellom bygningsdeler. Grunnlag for beregninger

3.4.4 Bruksareal

Brutto bruksareal er beregnet ut i fra innerveggene til oppvarmet del av bygget i henhold til det gjeldende tegningsgrunnlaget for bygget.

Tabell 5 Utregning av BRA

Etasje	Bruksareal [m²]
Kjeller	1578
1. etg.	3230
2. etg.	3230
3. etg.	875
Sum bygning	8913

3.4.5 Valg av størrelse på mesh

I denne oppgaven er simuleringene gjort på ANSYS Mechanical 14.5 Academic. Dette er en versjon som har begrensinger når det gjelder blant annet antall noder, elementer og frihetsgrader. Derfor er det gjennom hele oppgaven overlatt til programvaren å definere størrelsen på meshet, slik at dette ikke overstiger det høyeste tillatte antallet. Størrelsen på mesh er stilt inn på *medium* og deretter er mesh generert av ANSYS.

3.4.6 Valg av kuldebroer for beregning

I følge problemstillingen skal de store kuldebroene i bærekonstruksjonen beregnes. Følgende modeller settes opp og generaliserer alle de store kuldebroene i bærekonstruksjonen for bygningen.

1. Etasjeskiller 1.-2. etasje, øst og vest
2. Etasjeskiller 2.-3. etasje, øst og vest
3. Kuldebro gjennom doble betongdrager, inkludert bærende søyle
4. Kuldebro gjennom enkel betongdrager, inkludert bærende søyle
5. Etasjeskiller 1.-2. etasje, nord og syd, midten av bygget
6. Etasjeskiller 2.-3. etasje, nord og syd, midten av bygget
7. Etasjeskiller 1.-2. etasje nord og syd, mot hjørnet av bygget
8. Etasjeskiller 2.-3. etasje nord og syd, mot hjørnet av bygget
9. Kuldebro hjørne 1. etasje
10. Kuldebro hjørne 2. etasje

De omsluttende bygningsdelene er svært relevante for den tredimensjonale effekten av kuldebroene. For å tilnærme en mest mulig en tilnærming av korrekt løsning på oppgaven defineres valgte modellene ytterligere. Dette beskrives i vedlegg A.

Ut ifra termograferingsbildene og befaringene er det ikke observert vesentlige lavere temperatur ved søylene som ligger i øst og vestfasade på bygningen. Snarere tvert imot ser disse ut til å være bedre isolert enn den generelle konstruksjonen. Derfor ses disse bort i fra i beregningene.

3.5 Kjente usikkerhetsmomenter

3.5.1 Bakgrunnsstråling

Det er ikke tatt hensyn til strålevarme i noen av beregningene.

3.5.2 Overgangstall

Det er brukt standardiserte overgangstall fra byggdetaljblad, og ikke regnet ut nøyaktige overgangstall for bygget. Dette gir større usikkerhet på varmeovergangen i bygningen hvor det er mye varm luft i bevegelse på grunn av induksjonsvarmeapparater.

3.5.3 Materialdata

Materialdata er hentet fra tabeller, og ingen materialer har blitt analysert for å finne de nøyaktige dataene for denne bygningen.

3.5.4 Modeller

Programvaren som under arbeidet har vært tilgjengelig er ANSYS Mechanical 14.5 Academic. Dette er en utdanningsversjon. Den har begrensinger på hvor store modeller det er lov å bruke, og hvor nøyaktige beregningene blir.

Det vil være usikkerheter i modellene som er laget, fordi de eksisterende tegningene av bygget ikke er helt komplette. Innvendige vegger som går fra yttervegg og inn i rommet er tatt bort i simuleringene. Noen av disse ligger direkte inntil noen av kuldebroene og kan påvirke disse. Murpuss, tapet, gulvbelegg, maling og neoprenelager i overganger er tatt bort fra modellene for å forenkle simuleringene.

4 Resultater

4.1 Resultater fra termografering

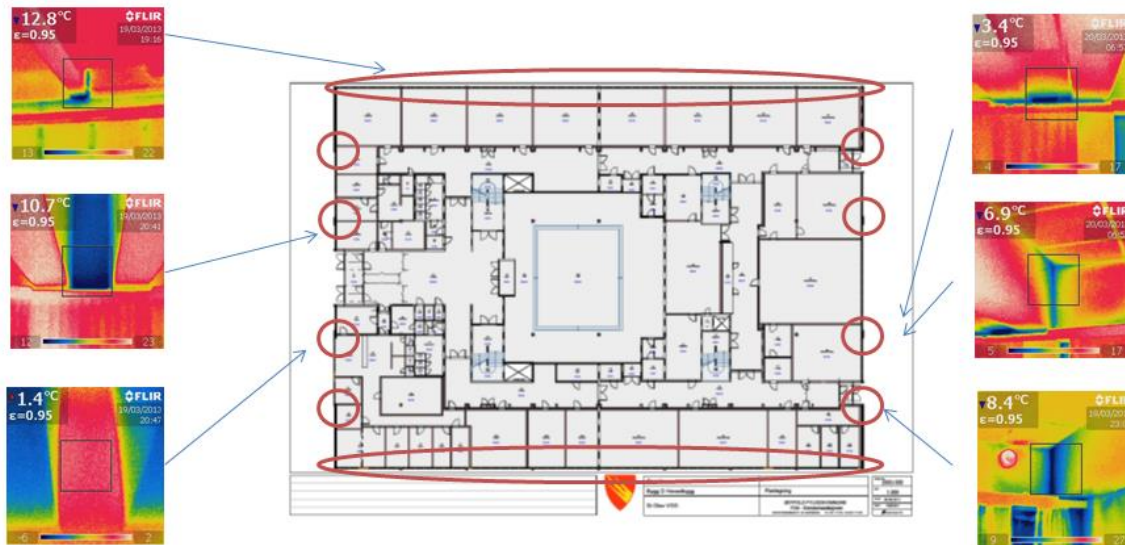


Figure 1 Kartlegging av kuldebroer

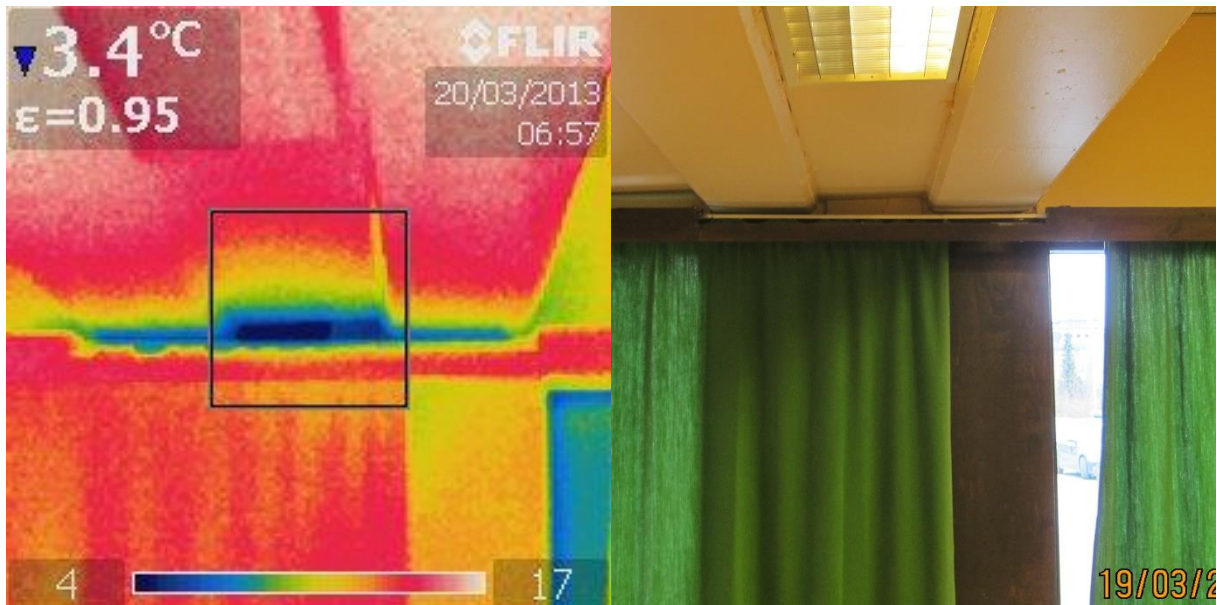


Figure 2 Termografi av doble betongdragere

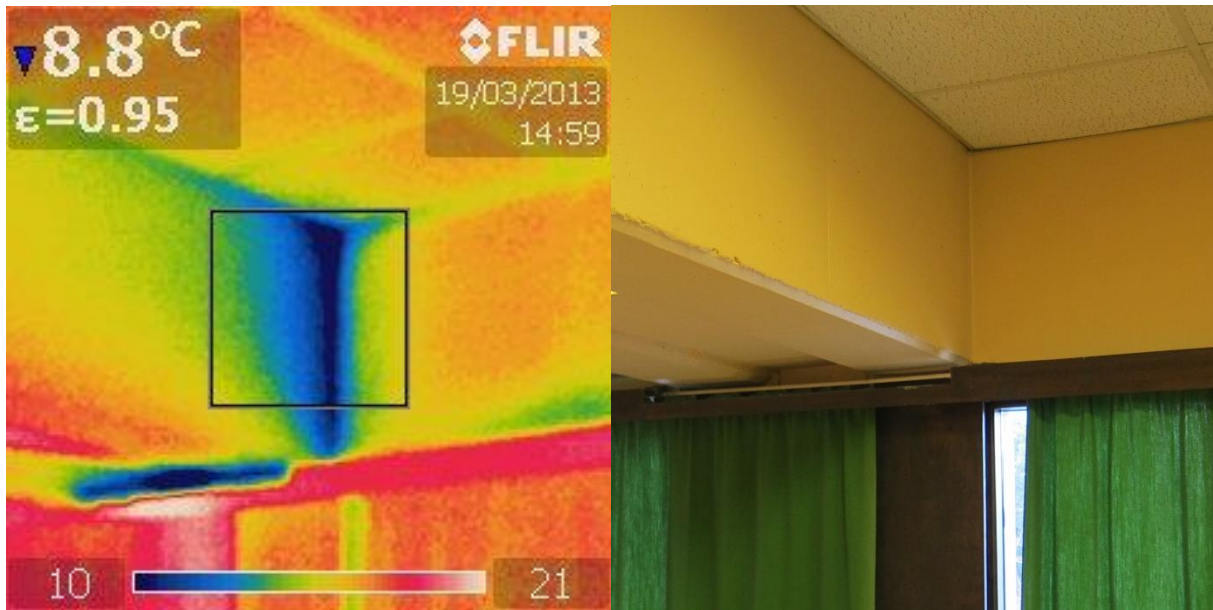


Figure 3 Termografi av doble betongdragere

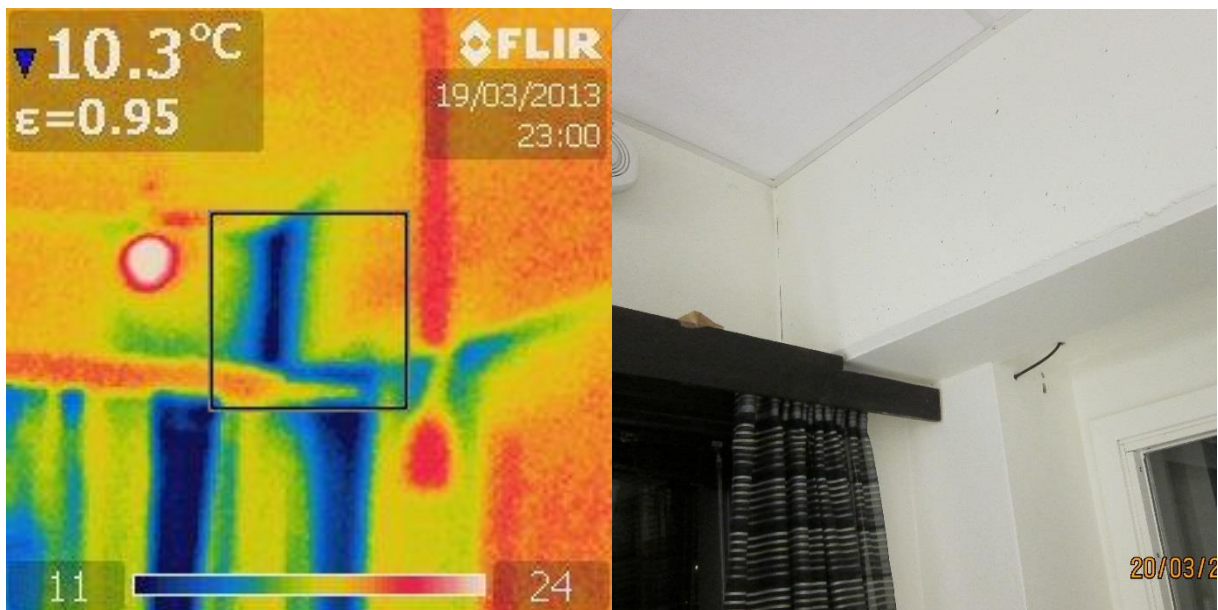


Figure 4 Termografi av enkle betongdragere

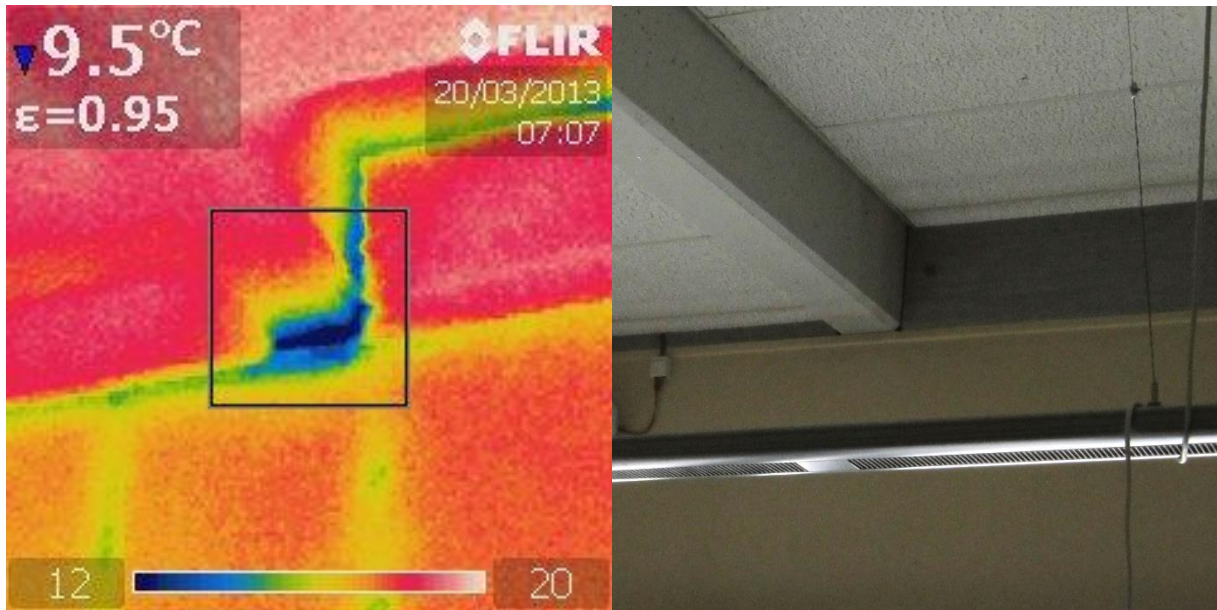
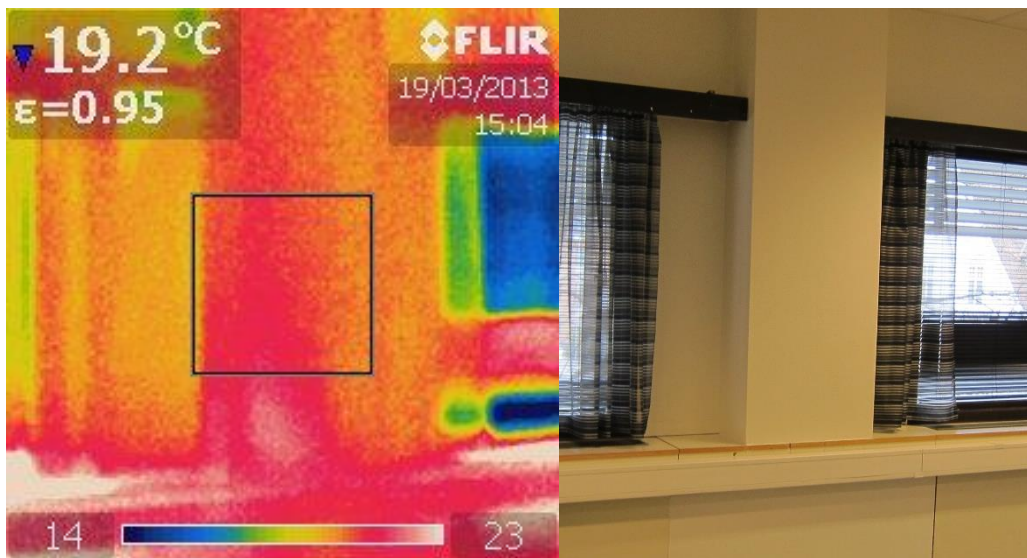


Figure 5 Termografi i dekkeelement



Figur 7 Termografi av betongsøyle, østfasade, rom 145

4.2 Resultater og kuldebrobudsjet

Resultater fra ANSYS finnes i vedlegg A. Likning (7) og (9) gir:

Tabell 6 Kuldebrobudsjet

Modell	Kuldebroverdi	Antall, lengde	Samlet kuldebroverdi $\Sigma (X) + \Sigma (\Psi^*)$
1	2,065 W/K	56	115,62 W/K
2	1,142 W/K	56	63,93 W/K
3	4,116 W/K	8	32,93 W/K
4	1,400 W/K	8	11,20 W/K
5	0,571 W/mK	62,4 m	35,62 W/K
6	0,232 W/mK	62,4 m	14,50 W/K
7	0,460 W/mK	31,2 m	14,36 W/K
8	0,355 W/mK	31,2 m	11,08 W/K
9	1,160 W/K	4	4,64 W/K
10	0,116 W/K	4	0,46 W/K
Total			304,36 W/K

4.3 Utrekning av totalt bidrag til normalisert kuldebroverdi

Likning (4) gir

$$\Psi'' = 304,36 \text{ W/K} / 8913 \text{ m}^2 = \underline{\underline{0,034 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

4.4 Resultater fra simulering av tiltakspakke 1-3

Resultater fra ANSYS finnes i vedlegg A. Likning (7) og (9) gir følgende:

Tiltak 1

Tabell 7 Kuldebrobudsjet, tiltakspakke 1

Modell	Kuldebroverdi	Antall, lengde	Samlet kuldebroverdi $\Sigma (X) + \Sigma (\Psi^*)$
1	2,575 W/K	56	144,175 W/K
2	1,373 W/K	56	74,081 W/K
3	2,651 W/K	8	21,207 W/K
4	1,326 W/K	8	10,605 W/K
5	0,935 W/mK	62,4 m	58,328 W/K
6	0,217 W/mK	62,4 m	13,525 W/K
7	0,974 W/mK	31,2 m	30,404 W/K
8	0,175 W/mK	31,2 m	5,463 W/K
9	0,616 W/K	4	2,822 W/K
10	0,122 W/K	4	0,488 W/K
Total			363.590 W/K

Tiltak 2

Tabell 8 Kuldebrobudsjett, tiltakspakke 2

Modell	Kuldebroverdi	Antall, lengde	Samlet kuldebroverdi $\Sigma (X) + \Sigma (\Psi^*)$
1	1,966 W/K	56	110,097 W/K
2	1,373 W/K	56	74,081 W/K
3	2,651 W/K	8	21,207 W/K
4	1,326 W/K	8	10,605 W/K
5	0,749 W/mK	62,4 m	46,763 W/K
6	0,217 W/mK	62,4 m	13,525 W/K
7	0,446 W/mK	31,2 m	11,084 W/K
8	0,175 W/mK	31,2 m	13,525 W/K
9	0,731 W/K	4	0,869 W/K
10	0,122 W/K	4	0,488 W/K
Total			301,866 W/K

Tiltak 3

Tabell 9 Kuldebrobudsjett, tiltakspakke 3

Modell	Kuldebroverdi	Antall, lengde	Samlet kuldebroverdi $\Sigma (X) + \Sigma (\Psi^*)$
1	1,806 W/K	56	101,128 W/K
2	1,373 W/K	56	74,081 W/K
3	2,651 W/K	8	21,207 W/K
4	1,326 W/K	8	10,605 W/K
5	0,610 W/mK	62,4 m	38,086 W/K
6	0,217 W/mK	62,4 m	13,525 W/K
7	0,441 W/mK	31,2 m	13,943 W/K
8	0,175 W/mK	31,2 m	13,525 W/K
9	0,544 W/K	4	2,176 W/K
10	0,122 W/K	4	0,488 W/K
Total			292,233 W/K

5 Diskusjon

Alle resultatene har feilkilder på grunn av forenklinger i modellene. Det er forventet en usikkerhet som finnes i alle numeriske kuldebroeregninger på 5% (Gustavsen, et al., 2008). Det kan knyttes usikkerhet til overgangsmotstander, forenklete modeller og materialdata.

5.1 Kuldebroenes rolle i dag

Som vist i kapittel 4 står kuldebroer i bæresystemet mye varmetap fra hovedbygget til St. Olav videregående skole. 304,36 W/K er det sammenlagte bidraget kuldebroene gir til bygningens varmetap.

Utregningene av normalisert kuldebroverdi for bygningen gir bare bidraget fra de antatt største kuldebroene i bæresystemet for 1. og 2. etasje. Likning (4) viser at man skal ta med samtlige kuldebroer i denne utregningen og det inkluderer kuldebroer rundt vinduer, dører, inngangspartier, overgang grunn til vegg, samt eventuelle kuldebroer i 3. etasje og kjeller. Den totale verdien for NKV forventes derfor å være høyere enn 0,034 W/m²K.

Tabellverdi for forventet normalisert kuldebroverdi fra NS3031 i en bygning med bæresystem i betong, 20 cm isolasjon og 5 cm kuldebrobryter er 0,12 W/m²K. St. Olav V.G.S. har ikke kuldebrobrytere, men gjennomgående betongdragere og dekkeelementer. Dette gjør at en skulle forventet en større NKV enn 0,12 W/m²K. Skolen har derimot langt mindre isolasjon i veggene enn foreslått i noen av tabellverdiene. Dette gjør at det generelle varmetapet til bygningen er høyt, og kuldebroverdiene som defineres i forhold til dette blir lave. Skolen er også bygget slik at det har et stort innvendig areal i forhold til størrelsen på fasadene. Dette gjør at bygningens normaliserte kuldebroverdi vil være lavere enn en tilsvarende bygning med større fasadeflate.

Selv om mye av varmetapet til bygningen skjer gjennom kuldebroer i bæresystemet, er det generelle varmetapet til fasadene større. Bygningen er bygget etter Byggforskrift 1969, der en samlet U-verdi for vegger, vinduer og dører skal være minst 0,45 W/m²K. I følge beregnede U-verdier for bygningen er det bare et fåtall av fasadeoverflatene som overholder dette kravet. Det vil være naturlig å forbedre det generelle varmetapet til bygningen ved en rehabilitering.

I tillegg til varmetapet skaper kuldebroene et dårligere termisk inneklima på grunn av stråling fra de kalde vegger. Dette gjelder spesielt de rommene som betongdragerne går gjennom på nordsiden av bygningen hvor bygningen også får lite varme fra solen. Dette motvirkes til en viss grad fra induksjonsvarmeapparatene langs veggene, men likevel er mange av veggens overflatetemperaturer svært lave. Kuldebroene er tydelige på termografiene. Overflatetemperaturene innvendig er klart lavere på og rundt detaljene som er termografert. De fleste observerte kuldebroers overflatetemperaturer på innsiden ligger på rundt 10°C, når det er 21°C i rommet.

5.2 Aktuelle tiltak for å redusere kuldebroene

Beregningene tar utgangspunkt i rehabilitering av fasaden der både vegger og vinduer skiftes ut og oppgraderes til TEK 10 standard. Simuleringene viser at kuldebroverdiene vil stige dersom veggene oppgraderes til TEK 10 standard. Dette skyldes at transmisjonstapet gjennom fasaden blir lavere, slik at en større andel av det totale transmisjonstapet vil gå gjennom bæresystemet. Tiltakene med å isolere bæresøylene i fasaden senker kuldebroverdiene der søylene befinner seg, men dette er likevel ikke nok til å minske det totale transmisjonstapet til kuldebroene.

Dersom etasjeskilleren isoleres i tillegg til veggene vil kuldebroverdiene bli lavere. Dette kommer av at nå er deler av selve kuldebroen isolert, og transmisjonstapet gjennom disse er redusert. Dette fører imidlertid til lavere temperaturer i gulv og tak enn uten ekstra isolering på grunn av at den termiske overgangen fra varmt til kaldt trekkes innover i bygget.

Utvendig isolering er ikke betraktet i denne oppgaven, da det ikke ses på som et aktuelt alternativ. Svalgangen som går rundt hele bygningen, og som hviler på både dekkeelementene og betongdragerne står i veien og vil bli svært vanskelig å isolere. Derfor kan det vurderes andre måter å isolere kuldebroene fra utsiden: flytting av fasaden til utenfor svalgang, eller bygging av dobbeltfasade utenfor svalgang.

Bæresystemet i bygningen gjør at det er få bærevegger, men bygningen hviler på søyler og dragere. En rekke med søyler i ett med fasaden i dag er alt som trenger å stå igjen ved en eventuell flytting av fasade. De fleste av disse søylene går i ett med innervegg i nåværende planløsning, og vil derfor nødvendigvis ikke være i veien dersom fasaden flyttes på. De søylene som ikke går i ett med en innervegg vil imidlertid bli en utfordring med denne løsningen.

Flytting av fasade til utenfor svalgang er også et av de anbefalte tiltakene for bygningen i Norconsults tekniske vurdering. Dette anbefales i tillegg til en omfattende reovering hvor hele bygget strippes ned til bare bæresystemet. Alternativ løsning vil være rivning siden kostnadene for totalrehabilitering ikke nødvendigvis blir lavere enn for et nybygg (Norconsult 2013).

5.3 Videre arbeid

For enda mer nøyaktighet i kuldebroberegningene er det mulig å ta i bruk transient CFD-analyse der blant annet varmestrømmer i luften og varmelagring i konstruksjonselementer tas hensyn til. Det vil også være aktuelt å beregne kuldebroverdier for hele bygningen, inkludert kuldebroer i sammenheng med vinduer, dører, inngangspartier, kjeller og 3. etasje.

Deretter vil videre arbeid være å utarbeide et totalt energibudsjett for hele bygningen, inkludert alle transmisjonstap og lekkasjetall. Her vil det komme fram nettopp hvor mye varme som går tapt, inkludert til bidraget fra kuldebroene.

8 Konklusjon

Oppgaven tar utgangspunkt i vurdering av St. Olav videregående skole sin tekniske stand. Bygningen har et bæresystem der svært mye betong trenger gjennom byggets fasader og fortsetter ut i svalgang. Dette bæresystemet transporterer mye varme ut av bygningen og skaper kalde overflater innvendig. Ved en eventuell rehabilitering av bygningen kan det være vesentlig å beholde bærekonstruksjonen, og mulige løsninger for dette diskuteres.

Bygningens varmetap gjennom bæresystemet er studert gjennom termografering og simuleringer i ANSYS og resultatene av dette har blitt diskutert. Samlet gir disse kuldebroene et varmetap på 304,36 W/K. Dette gir et totalt bidrag til normalisert kuldebroverdi på 0,034 W/m²K, som er lavere enn forventet. Bygningens store areal og generelle varmetap gjennom dårlig isolerte fasader bidrar til at dette tallet ikke er høyere.

Ved etterisolering innvendig vil kuldebroverdiene stige siden den generelle transmisjonen som kuldebroene måles opp mot, synker. Dette er likevel å anbefale siden det vil gi et bedre termisk klima inne og et lavere totalt energitap for bygningen. Utvendig isolering av kuldebroene er en vanskelig oppgave på grunn av svalgangen som går rundt bygningen. Bygging av ny fasade utenpå svalgang, eller bygging av dobbeltfasade vil være en god løsning for bygningen, da det nærmest kan eliminere kuldebroene man har i dag, i tillegg til å løse enkelte andre utfordringer slik bygningen står i dag.

ANSYS Mechanical er et glimrende verktøy for numerisk beregning av kuldebroer. Det at man kan bruke modeller fra kjent CAD-programvare til å gjøre simuleringene på gjør dette til et unikt verktøy i forhold til annen programvare der man må bygge modellene på en annerledes måte. ANSYS gir også store muligheter for utvidete analyser med dynamiske omgivelser.

Referanser

- ANSYS Inc. (2005). *ANSYS Thermal Analysis Guide*.
- ANSYS Inc. (2013). *ANSYS 14.5 Capabilities Brochure*.
- Aurlien, T. (2012). *Utvelgelse av energi rehabiliteringsprosjekt i Østfold*.
- FLIR Systems. (2008). *User manual, FLIR InfraCam SD*.
- Gustavsen, A., Thue, J., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S., et al. (2008).
Prosjektrapport 25 Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk.
Byggforsk.
- Hallereau, S. (2012, 10 01). FLIR microbolometer ISC0601B and the i7 thermal imaging camera.
MEMStrends, pp. 1-2.
- Hilderson, W. (2011). *Therm 6.3 validation according to EN ISO 10211:2007*.
- Kommunal- og arbeidsdepartementet. (1969). *Byggeforskrift 1969*.
- Kommunal- og regionaldepartementet. (2010). *Byggteknisk forskrift (TEK 10)*.
- Matthias, H., & Wigenstad, T. (2010). *Prosjektrapport 57 2010 Evaluering av bruk av dobbel fasade som konsept ved oppgradering av eksisterende fasade*. Trondheim: SINTEF Byggforsk.
- Norconsult. (2013). *St. Olav videregående skole - Teknisk vurdering av bygningsmassen*.
- Rockwool. (2013). *Produktdatablad Hardrock Takplate*.
- Rockwool. (2013). *Produktdatablad Hardrock Underlagsplate*.
- Standard Norge. (2007). *NS-EN ISO 10211:2007 Kuldebroer i bygningskonstruksjoner – Varmestrømmer og overflatetemperaturer – Detaljerte beregninger*.
- Standard Norge. (2010). *NS 3031:2010 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data*.
- Standard Norge. (n.d.). *NS-EN ISO 6946:2007 Bygningskomponenter og -elementer – Varmemotstand og varmegjennomgang – Beregningsmetode*.
- Østfold Fylkeskommune. (2012, 03 13). *Østfold Fylkeskommune*. Retrieved from Om VRI:
http://www.ostfold-f.kommune.no/modules/module_123/proxy.asp?D=2&C=426&I=22115&m=

10 Vedlegg

- A. Modeller brukt i ANSYS med resultater
- B. Valg av U-verdier
- C. Fremgangsmåte ved simulering av kuldebroer i ANSYS Mechanical 14.5 Academic
- D. Situasjonsplan 1:5000, Østfold fylkeskommune
- E. Plantegninger 1:500, Østfold Fylkeskommune
- F. Snittegninger, 1:500, Østfold Fylkeskommune
- G. Fasadetegninger 1:500 Østfold Fylkeskommune

Vedlegg A: Modeller brukt i ANSYS med resultater

Modell 1, etasjeskiller 1.-2. etasje Ø-V

Kuldebro

DT-element b2400, h480, t8

90 mm armert påstøp

200 mm lettklinkerblokk, isolert med 100 mm mineralull mellom stegene i DT-element.

$Q_{ANSYS} = 102,06 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 3,084 \text{ m}^2$

$U_1 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$

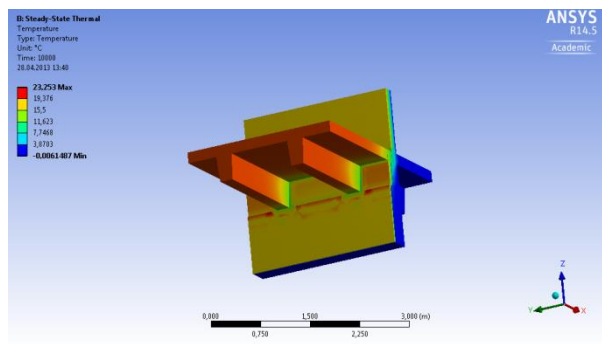
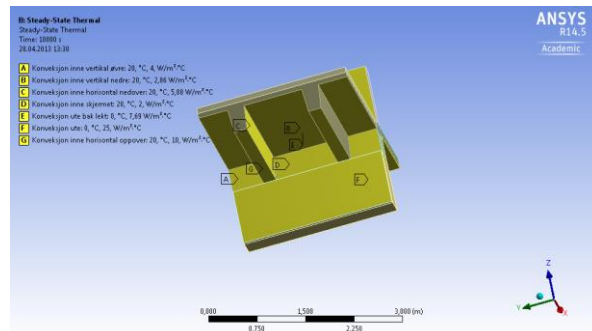
Vegg, isolert betongdrager

$A_2 = 2,844 \text{ m}^2$

$U_2 = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$X_1 = (102,06 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,084 \text{ m}^2) - (0,605 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,844 \text{ m}^2) = \underline{\underline{2,065 \text{ W} / \text{K}}}$$



Modell 1, tiltak 1

Simulert data

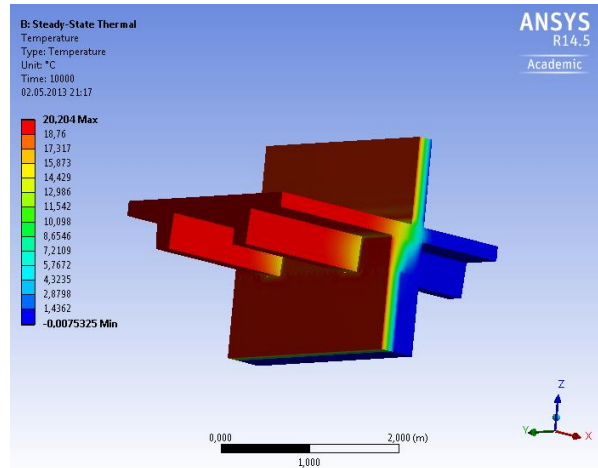
$Q_{ANSYS} = 72,832 \text{ W}$
 $\Delta T = 20^\circ \text{ C}$

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 3,084 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vegg, isolert betongdrager

$A_2 = 2,844 \text{ m}^2$
 $U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$



Likning (7) gir:

$$X_{11} = (72,832 \text{ W} / 20^\circ \text{ C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,084 \text{ m}^2) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,844 \text{ m}^2) = \underline{2,575 \text{ W/K}}$$

Modell 1, tiltak 2

Simulert data

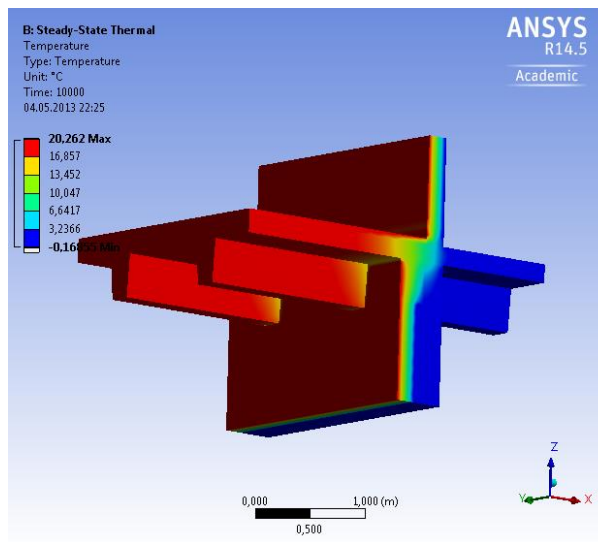
$Q_{ANSYS} = 60,661 \text{ W}$
 $\Delta T = 20^\circ \text{ C}$

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 3,084 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vegg, isolert betongdrager

$A_2 = 2,844 \text{ m}^2$
 $U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$



Likning (7) gir:

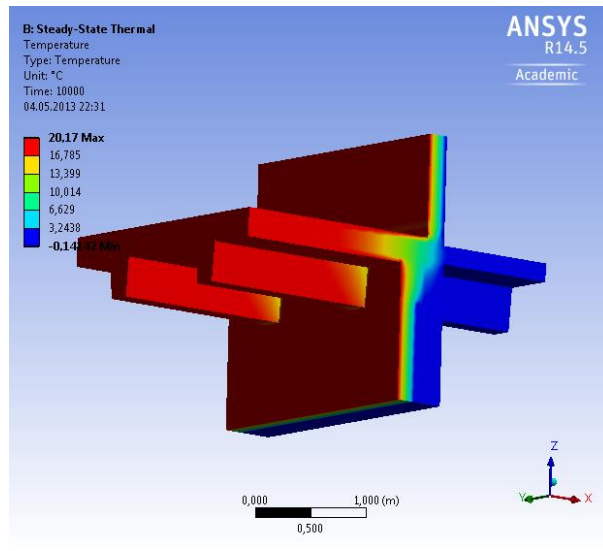
$$X_{12} = (60,661 \text{ W} / 20^\circ \text{ C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,084 \text{ m}^2) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,844 \text{ m}^2) = \underline{1,966 \text{ W/K}}$$

Modell 1, tiltak 3

Simulert data	Vegg, bindingsverk	Vegg, isolert betongdrager
$Q_{ANSYS} = 57,458 \text{ W}$ $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$A_1 = 3,084 \text{ m}^2$ $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$A_2 = 2,844 \text{ m}^2$ $U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$X_{13} = (57,458 \text{ W} / 20 \text{ K}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,084 \text{ m}^2) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,844 \text{ m}^2) = \underline{1,806 \text{ W/K}}$$



Modell 2, etasjeskiller 2.-3. etasje Ø-V

Kuldebro

DT-element b2400, h400, t5

90 mm armert påstøp

200 mm lettklinkerblokk, isolert med 100 mm mineralull mellom stegene i DT-element.

$Q_{\text{ANSYS}} = 64,129 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Tak

$A_1 = 2,400 \text{ m}^2$

$U_1 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$

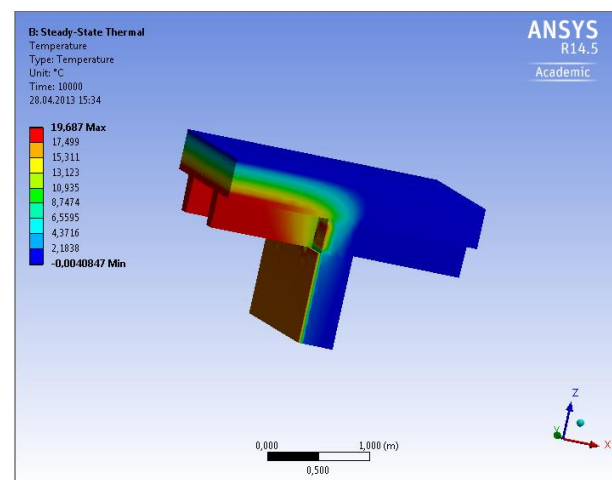
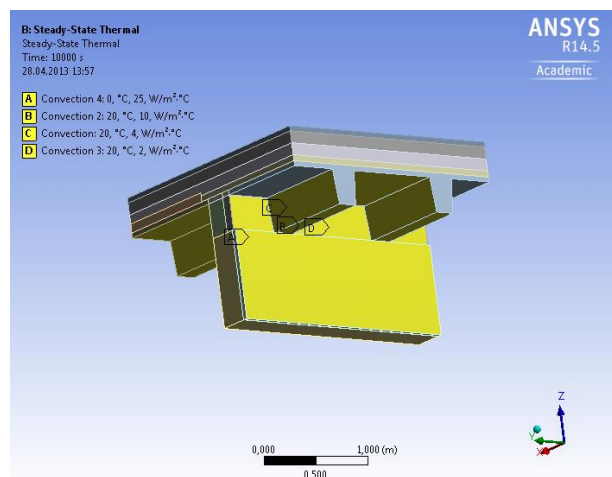
Vegg, isolert betongdrager

$A_2 = 3,000 \text{ m}^2$

$U_2 = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$X_2 = (64,129 \text{ W} / 20^\circ \text{C}) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,400 \text{ m}^2) - (0,605 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,000 \text{ m}^2) = \underline{\underline{1,142 \text{ W/K}}}$$

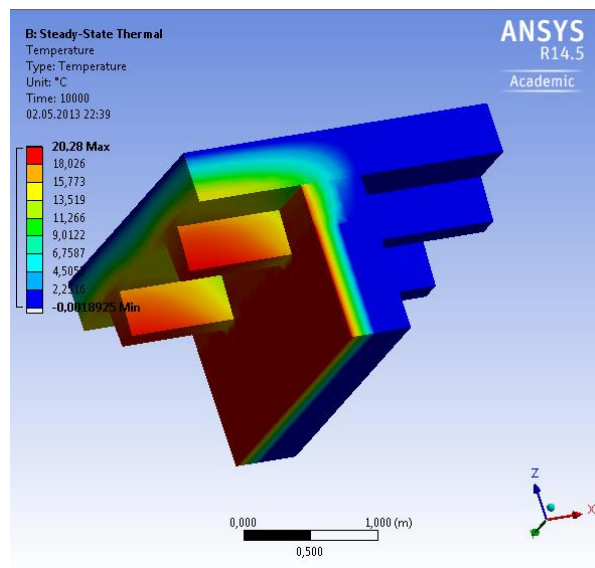


Modell 2, tiltak 1,2 og 3

$Q_{ANSYS} = 42,231 \text{ W}$ $\Delta T = 20 \text{ }^\circ \text{C}$	Tak $A_1 = 1,92 \text{ m}^2$ $U_1 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$	Vegg, isolert betongdrager $A_2 = 3,000 \text{ m}^2$ $U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$
---	---	--

Likning (7) gir:

$$X_{21} = (42,231 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ \text{C}) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,920 \text{ m}^2) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,000 \text{ m}^2) = \underline{1,373 \text{ W/K}}$$



Modell 3, doble betongdragere

Kuldebro

Søyle 900 x 300 mm i armert betong i ett ved vegg

2 stk. 300 x 900 mm dragere i armert betong

20 mm isolasjon innvendig på søyle, bortsett fra området mellom dragere

$$Q_{\text{ANSYS}} = 325,541 \text{ W}$$

$$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Omsluttende konstruksjon

Vegg under vindu

$$A_1 = 2,552 \text{ m}^2$$

$$U_1 = 1,095 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vindusrekke

$$A_2 = 2,660 \text{ m}^2$$

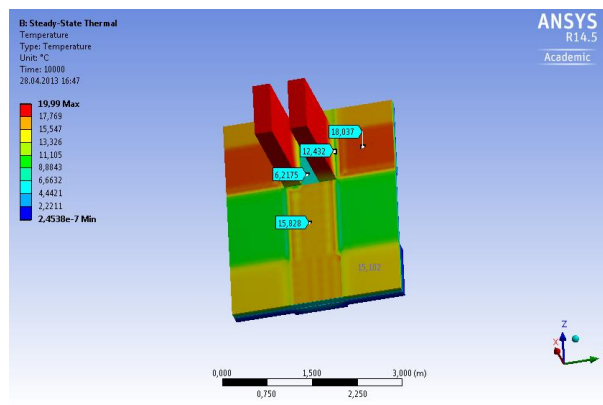
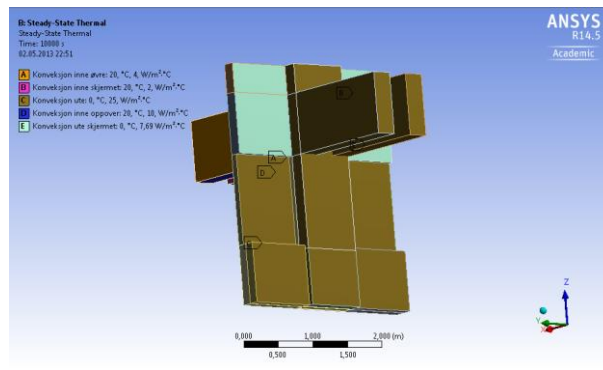
$$U_2 = 2,71 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vegg, bindingsverk

$$A_3 = 5,054 \text{ m}^2$$

$$U_3 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$X_3 = (325,541 \text{ W} / 20^\circ\text{C}) - (1,095 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,552 \text{ m}^2) - (2,71 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,660 \text{ m}^2) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 5,054 \text{ m}^2) = \underline{4,116 \text{ W/K}}$$



Modell 3, tiltak 1,2 og 3

Kuldebro

Søyle 900 x 300 mm i armert betong i ett ved vegg

2 stk. 300 x 900 mm dragere i armert betong

200 mm isolasjon innvendig rundt søyle

$Q_{ANSYS} = 144,238 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ \text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegger

$A_1 = 7,606 \text{ m}^2$

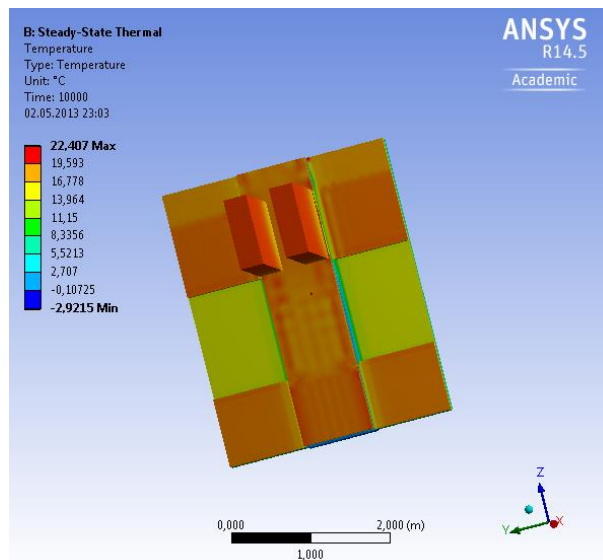
$U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vindusrekke

$A_2 = 2,660 \text{ m}^2$

$U_2 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$X_{31} = (144,238 \text{ W} / 20^\circ \text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 7,606 \text{ m}^2) - (1,2 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,660 \text{ m}^2) = \underline{\underline{2,651 \text{ W} / \text{K}}}$$



Modell 4, enkel betongdrager

Kuldebro

Søyle 300 x 300 mm i armert betong i ett ved vegg

Drager 300 x 900 mm i armert betong

20 mm isolasjon innvendig på søyle

$Q_{\text{ANSYS}} = 205,280 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegg under vindu

$A_1 = 1,012 \text{ m}^2$

$U_1 = 1,095 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vindusrekke

$A_2 = 1,530 \text{ m}^2$

$U_2 = 2,71 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vegg, bindingsverk

$A_3 = 1,587 \text{ m}^2$

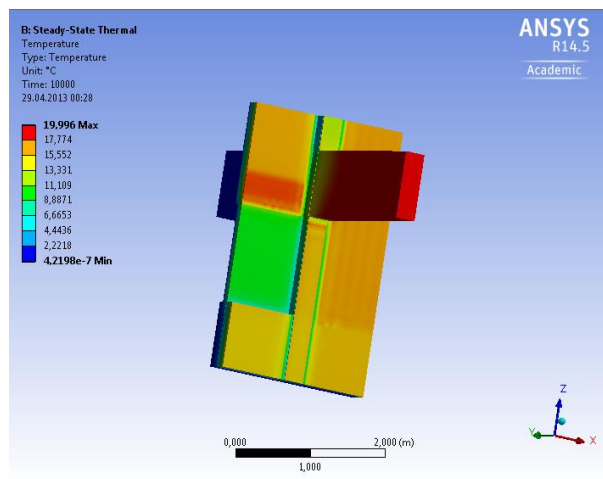
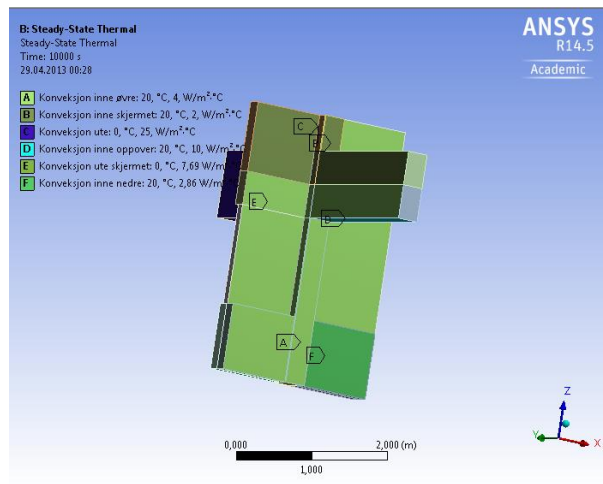
$U_3 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vegg porebetong

$A_4 = 4,128 \text{ m}^2$

$U_4 = 0,707 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$X_4 = (205,280 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (1,095 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,012 \text{ m}^2) - (2,71 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,530 \text{ m}^2) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,587 \text{ m}^2) - (0,707 \text{ W/m}^2\text{K} * 4,128 \text{ m}^2) = \underline{1,400 \text{ W/K}}$$



Modell 4, tiltak 1,2 og 3

Simulert data

Søyle 300 x 300 mm i armert betong i ett ved
vegg

Drager 300 x 900 mm i armert betong

200 mm isolasjon innvendig rundt søyle

$Q_{ANSYS} = 87,440 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegger

$A_2 = 6,727 \text{ m}^2$

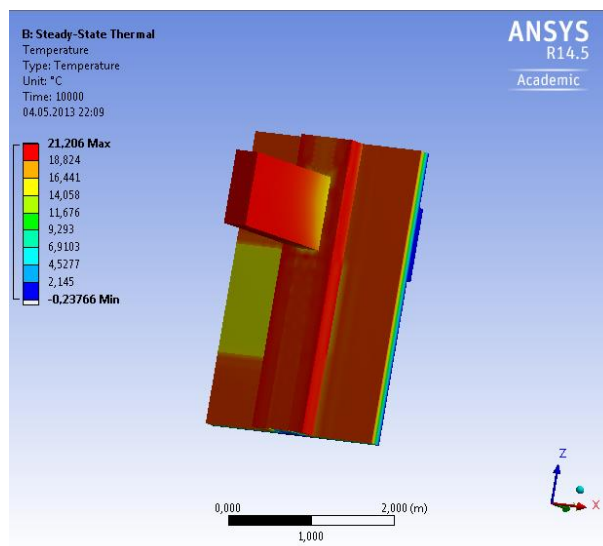
$U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vindusrekke

$A_2 = 1,530 \text{ m}^2$

$U_2 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$X_{41} = (87,440 \text{ W} / 20^\circ \text{C}) - (6,727 \text{ W/m}^2\text{K} * 0,18 \text{ m}^2) - (1,2 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,530 \text{ m}^2) = \underline{1,326 \text{ W/K}}$$



Modell 5, etasjeskiller 1./ 2. etasje

Simulert data

DT-element b2400, h480, t8

90 mm armert påstøp

Isolasjon mellom ytterste steg i DT-element

og vegg

$Q_{\text{ANSYS}} = 29,950 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

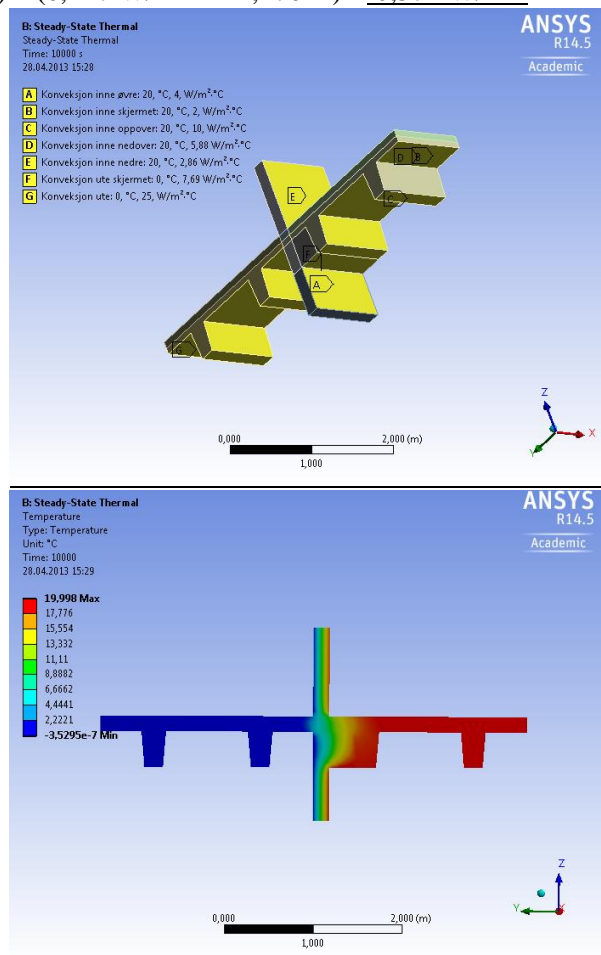
Vegg bindingsverk

$U_1 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$

$L_1 = 2,170 \text{ m}^2$

Likning (8) gir:

$$\Psi_5 = (29,950 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,170 \text{ m}) = \underline{0,571 \text{ W/mK}}$$



Modell 5, tiltak 1

Simulert data

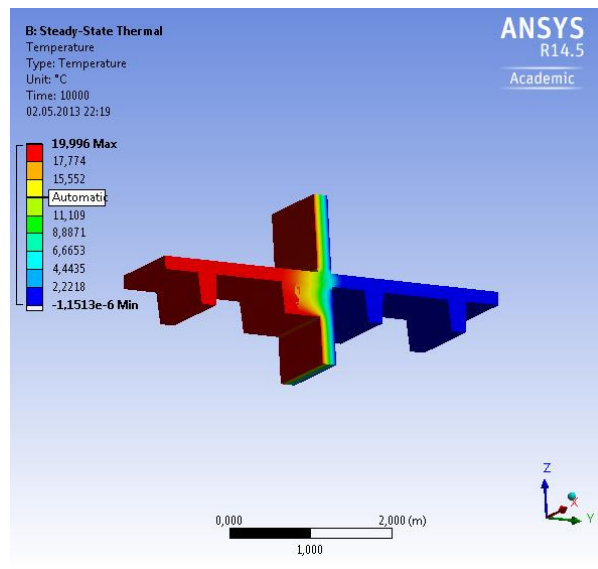
$Q_{ANSYS} = 26,507 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 2,170 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{51} = (26,507 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,170 \text{ m}^2) = \underline{0,935 \text{ W/mK}}$$



Modell 5, tiltak 2

Simulert data

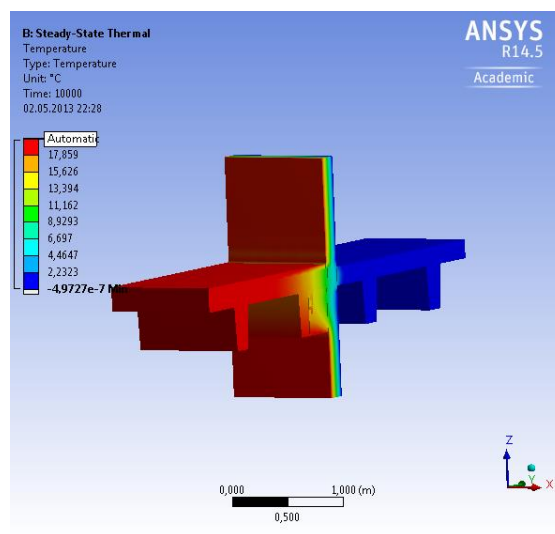
$Q_{ANSYS} = 22,800 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 2,170 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{52} = (22,800 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,17 \text{ m}^2) = \underline{0,749 \text{ W/mK}}$$



Modell 5, tiltak 3

Simulert data

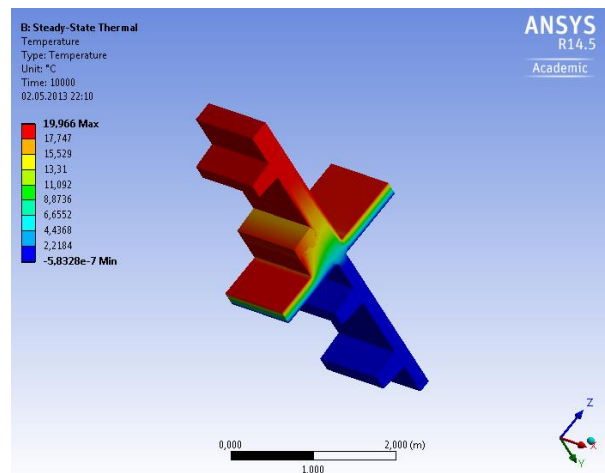
$Q_{\text{ANSYS}} = 20,019 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 2,17 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{53} = (20,019 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,170 \text{ m}^2) = \underline{0,610 \text{ W} / \text{K}}$$



Modell 6, etasjeskiller 2.-3. Etasje N-S

Simulert data

$$Q_{\text{ANSYS}} = 17,803 \text{ W}$$

$$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Omsluttende konstruksjon

Tak

$$U_1 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_1 = 2,228 \text{ m}^2$$

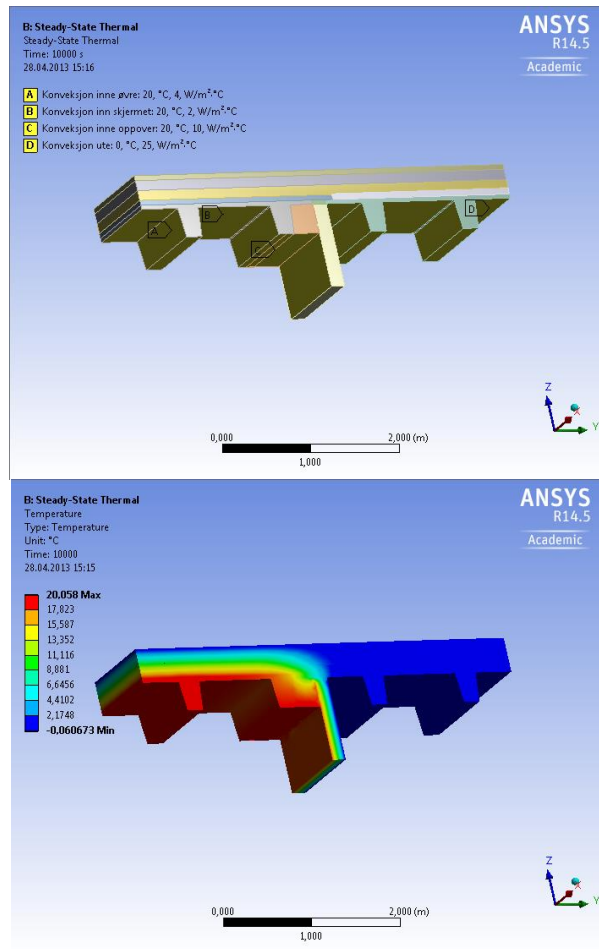
Vegg bindingsverk

$$U_2 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_2 = 1,170 \text{ m}^2$$

Likning (8) gir:

$$\Psi_6 = (17,803 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,228 \text{ m}) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,000 \text{ m}) = \underline{0,232 \text{ W/mK}}$$



Modell 6, tiltak 1, 2 og 3

Simulert data

$Q_{\text{ANSYS}} = 12,552 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ \text{C}$

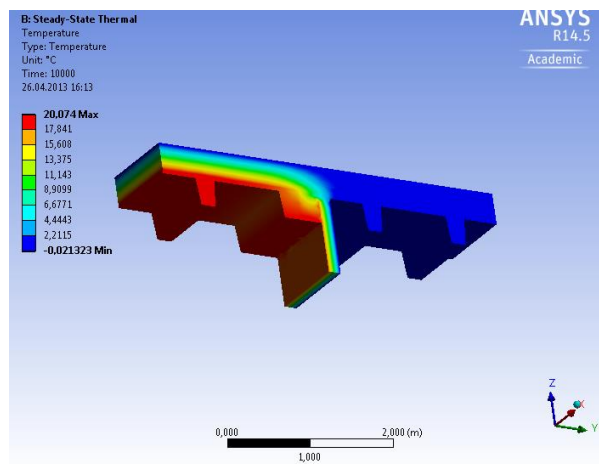
Omsluttende konstruksjon

Tak
 $U_1 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $A_1 = 2,228 \text{ m}^2$

Vegg bindingsverk
 $U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $A_2 = 1,170 \text{ m}^2$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{61} = (12,552 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ \text{C}) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,228 \text{ m}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,170 \text{ m}^2) = \underline{\underline{0,217 \text{ W/mK}}}$$



Modell 7, etasjeskiller 2, 1.-2 etasje N-S

Simulert data

DT-element b2400, h480, t8

90 mm armert påstøp

200 mm isolasjon mellom ytterste steg i DT-element og vegg

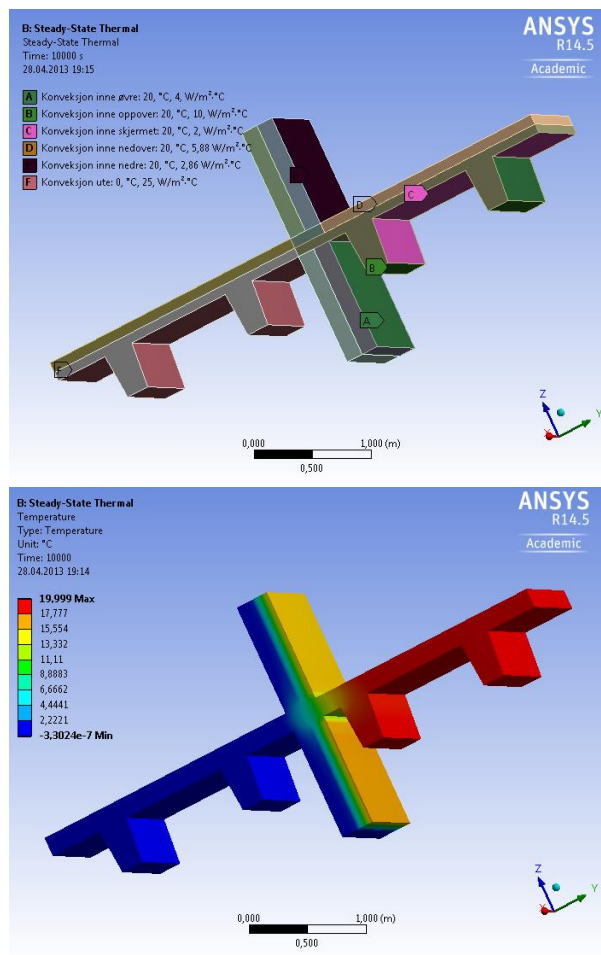
$Q_{ANSYS} = 39,886 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegg porebetong
 $U_1 = 0,707 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $L_1 = 2,170 \text{ m}^2$

Likning (8) gir:

$$\Psi_7 = (39,886 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,707 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,170 \text{ m}) = \underline{0,460 \text{ W/mK}}$$



Modell 7, tiltak 1

Simulert data

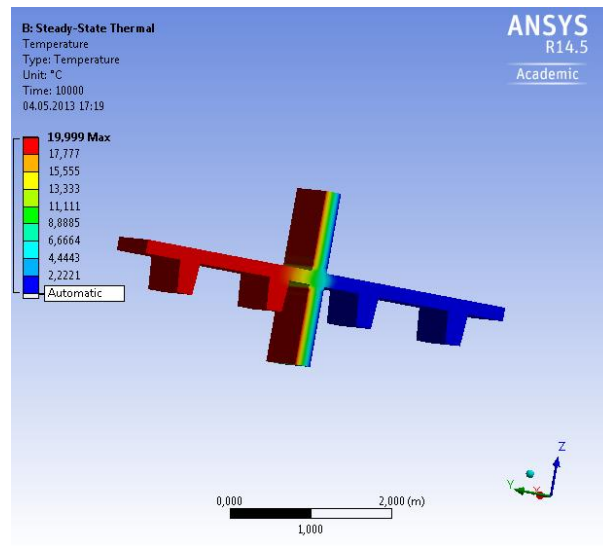
$Q_{\text{ANSYS}} = 27,302 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vegg

$A_1 = 2,170 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{71} = (27,302 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,170 \text{ m}^2) = \underline{0,974 \text{ W/mK}}$$



Modell 7, tiltak 2

Simulert data

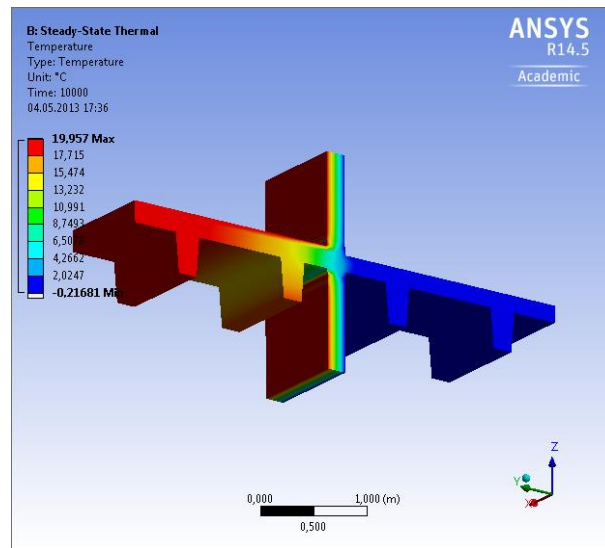
$Q_{ANSYS} = 16,750 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vegg

$A_1 = 2,170 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{72} = (16,625 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,17 \text{ m}^2) = \underline{0,446 \text{ W/mK}}$$



Modell 7, tiltak 3

Simulert data

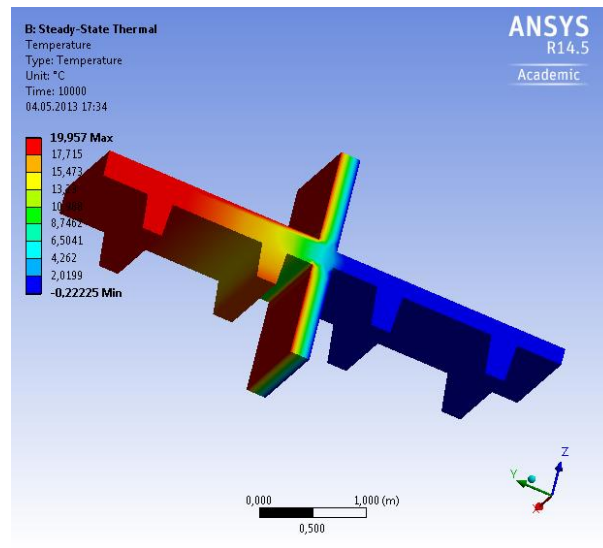
$Q_{ANSYS} = 16,625 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Vegg

$A_1 = 2,170 \text{ m}^2$
 $U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

$$\Psi_{73} = (16,625 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,17 \text{ m}^2) = \underline{0,441 \text{ W/mK}}$$



Modell 8, etasjeskiller 2, 2.-3.etasje N-S

Simulert data

$$Q_{\text{ANSYS}} = 26,237 \text{ W}$$

$$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Omsluttende konstruksjon

Tak

$$U_1 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_1 = 2,400 \text{ m}^2$$

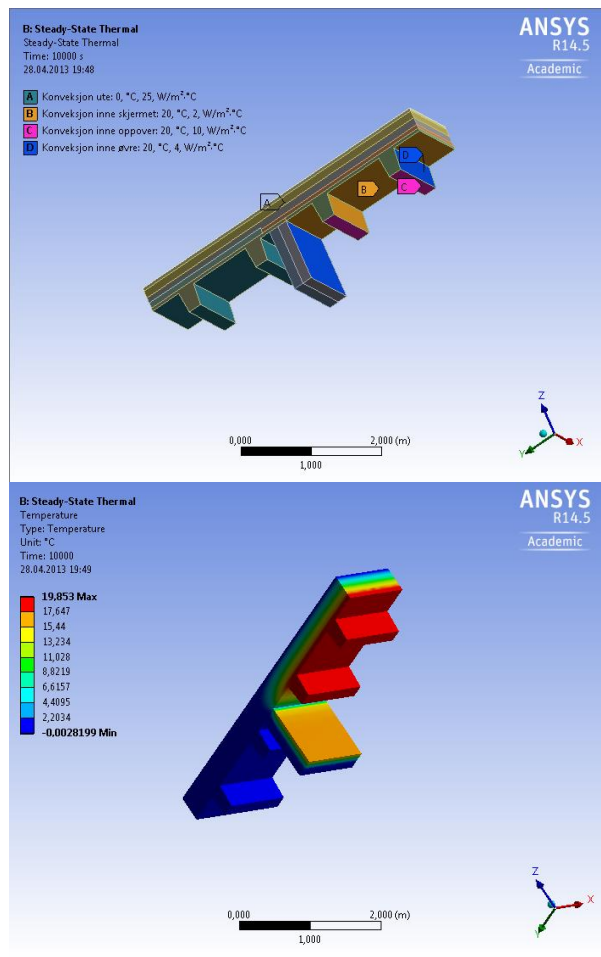
Vegg porebetong

$$U_2 = 0,707 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A_2 = 1,000 \text{ m}^2$$

Likning (8) gir:

$$\Psi_8 = (26,237 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,400 \text{ m}) - (0,707 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,000 \text{ m}) = \underline{0,355 \text{ W/mK}}$$



Modell 8, tiltak 1, 2 og 3

Simulert data

$Q_{ANSYS} = 12,094 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

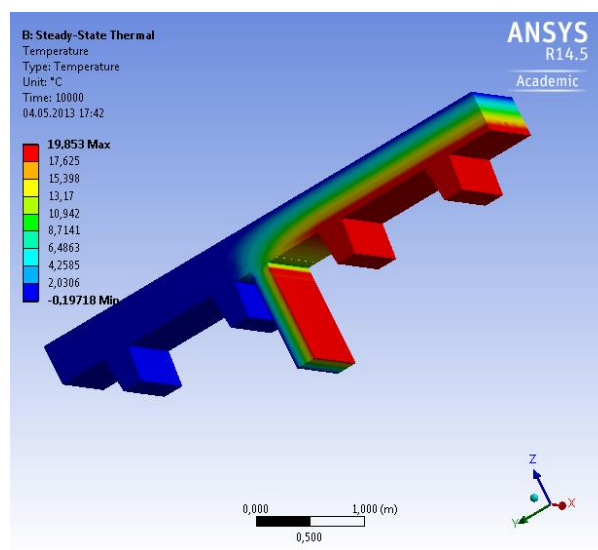
Omsluttende konstruksjon

Tak
 $U_1 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $A_1 = 2,400 \text{ m}^2$

Vegg bindingsverk
 $U_2 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $A_2 = 1,000 \text{ m}^2$

Likning (7) gir:

$$\Psi_8 = (12,094 \text{ W} / 20^\circ\text{C}) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,400 \text{ m}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 1,000 \text{ m}^2) = \underline{\underline{0,175 \text{ W/mK}}}$$



Modell 9, hjørne 1. etasje

Kuldebro

DT-elementer b2400, h480, t8

90 mm armert påstøp

200 mm lettklinkerblokk, isolert med 100 mm mineralull mellom stegene i DT-element.

300x900 mm armert betongdrager

300x300 mm armert betongsøyle

$Q_{\text{ANSYS}} = 419,859 \text{ W}$

$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegg, bindingsverk

$A_1 = 3,084 \text{ m}^2$

$U_1 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vegg, isolert betongdrager

$A_2 = 2,844 \text{ m}^2$

$U_2 = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vegg porebetong

$U_3 = 0,707 \text{ W/m}^2\text{K}$

$A_3 = 4,680 \text{ m}^2$

Vegg under vindu

$A_4 = 2,112 \text{ m}^2$

$U_4 = 1,095 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vindusrekke

$A_5 = 3,192 \text{ m}^2$

$U_5 = 2,71 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

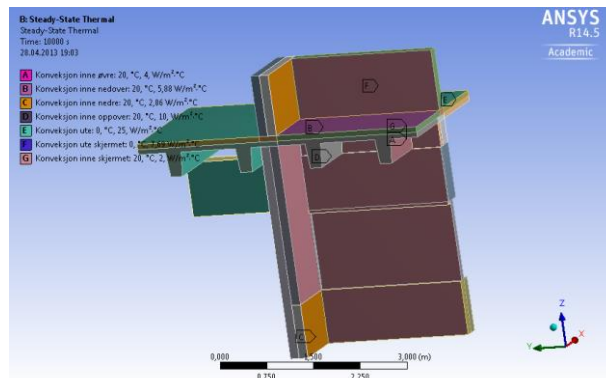
$$X = (419,859 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,084 \text{ m}^2) - (0,605 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,844 \text{ m}^2) - (0,707 \text{ W/m}^2\text{K} * 4,680 \text{ m}^2) - (1,095 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,112 \text{ m}^2) - (2,71 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,192 \text{ m}^2) = 3,684 \text{ W/K}$$

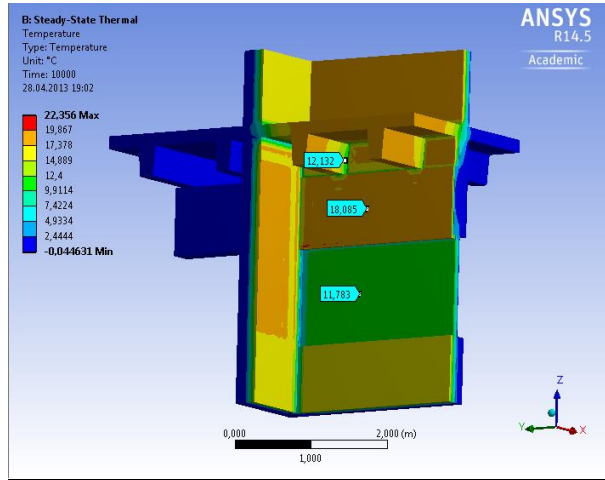
Her må bidraget fra de andre kjente kuldebroene trekkes fra slik at ikke noe av varmetapet telles flere ganger.

$$X_1 = 2,065 \text{ W/K}$$

$$\Psi_7 = 0,460 \text{ W/mK}$$

$$X_9 = 3,684 \text{ W/K} - 2,065 \text{ W/K} - (0,460 \text{ W/mK} * 1\text{m}) = \underline{1,160 \text{ W/K}}$$





Modell 9, tiltak 1

Simulert data	Vegger	Vindusrekke
$Q_{\text{ANSYS}} = 205,732 \text{ W}$	$A_1 = 12,720 \text{ m}^2$	$A_2 = 3,192 \text{ m}^2$
$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	$U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_2 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

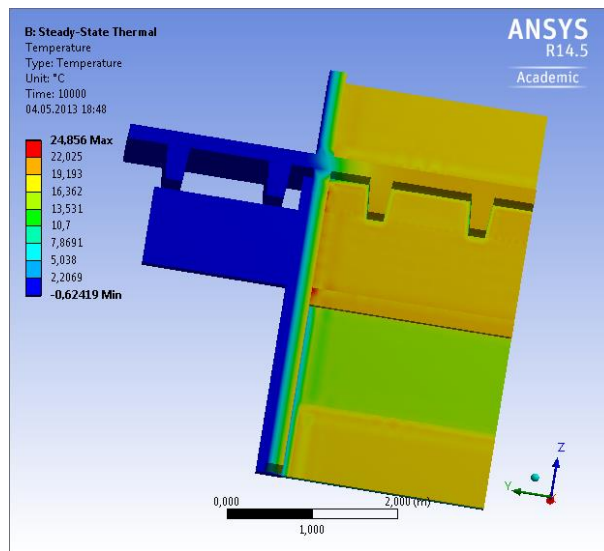
$$X = (205,732 \text{ W} / 20^\circ \text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 12,720 \text{ m}^2) - (1,2 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,192 \text{ m}^2) = 4,165 \text{ W/K}$$

Her må bidraget fra de andre kjente kuldebroene trekkes fra slik at ikke noe av varmetapet telles flere ganger.

$$X_{11} = 2,575 \text{ W/K}$$

$$\Psi_{71} = 0,974 \text{ W/mK}$$

$$X_{91} = 4,165 \text{ W/K} - 2,575 \text{ W/K} - (0,974 \text{ W/mK} * 1 \text{ m}) = \underline{0,616 \text{ W/K}}$$



Modell 9, tiltak 2

Simulert data	Vegger	Vindusrekke
$Q_{\text{ANSYS}} = 185,260 \text{ W}$	$A_1 = 12,720 \text{ m}^2$	$A_2 = 3,192 \text{ m}^2$
$\Delta T = 20^\circ \text{ C}$	$U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_2 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

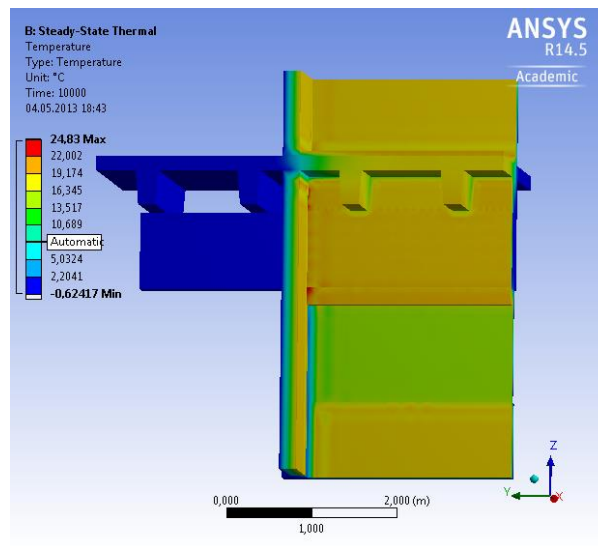
$$X = (185,260 \text{ W} / 20^\circ \text{ C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 12,720 \text{ m}^2) - (1,2 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,192 \text{ m}^2) = \underline{3,143 \text{ W/K}}$$

Her må bidraget fra de andre kjente kuldebroene trekkes fra slik at ikke noe av varmetapet telles flere ganger.

$$X_{12} = 1,966 \text{ W/K}$$

$$\Psi_{72} = 0,446 \text{ W/mK}$$

$$X_{92} = 3,143 \text{ W/K} - 1,966 \text{ W/K} - (0,446 \text{ W/mK} * 1 \text{ m}) = \underline{0,731 \text{ W/K}}$$



Modell 9, tiltak 3

Simulert data	Vegg, bindingsverk	Vindusrekke
$Q_{\text{ANSYS}} = 178,210 \text{ W}$	$A_1 = 12,720 \text{ m}^2$	$A_2 = 3,192 \text{ m}^2$
$\Delta T = 20 \text{ }^\circ \text{C}$	$U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_2 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

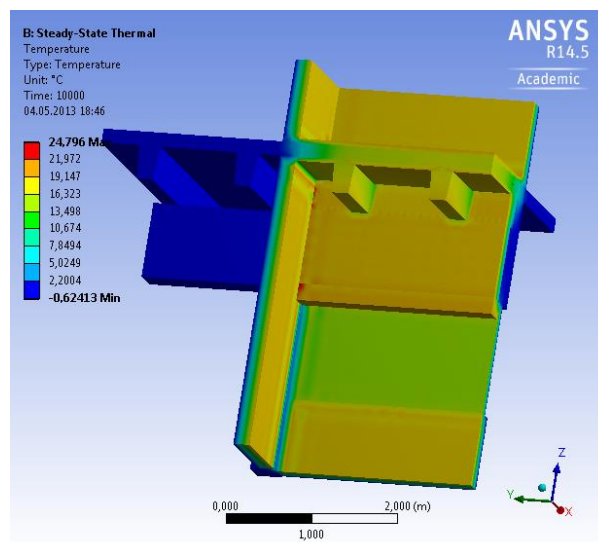
$$X = (178,210 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ \text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 12,720 \text{ m}^2) - (1,2 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,192 \text{ m}^2) = 2,790 \text{ W/K}$$

Her må bidraget fra de andre kjente kuldebroene trekkes fra slik at ikke noe av varmetapet telles flere ganger.

$$X_{13} = 1,806 \text{ W/K}$$

$$\Psi_{73} = 0,441 \text{ W/mK}$$

$$X_{93} = 2,790 \text{ W/K} - 1,966 \text{ W/K} - (0,441 \text{ W/mK} * 1\text{m}) = \underline{0,544 \text{ W/K}}$$



Modell 10, hjørne 2. etasje

Kuldebro	Omsluttende konstruksjon
DT-elementer b2400, h480, t8	Vegg, bindingsverk $A_1 = 2,112 \text{ m}^2$ $U_1 = 0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$
90 mm armert påstøp	
200 mm lettklinkerblokk, isolert med 100 mm mineralull mellom stegene i DT-element.	Vegg, isolert betongdrager $A_2 = 2,844 \text{ m}^2$ $U_2 = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$
300x900 mm armert betongdrager	Vegg porebetong $U_3 = 0,707 \text{ W/m}^2\text{K}$
300x300 mm armert betongsøyle	$A_3 = 3,465 \text{ m}^2$
$Q_{\text{ANSYS}} = 278,291 \text{ W}$	Tak $A_4 = 2,400 \text{ m}^2$ $U_4 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$
$\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	Vindusrekke $A_5 = 3,192 \text{ m}^2$ $U_5 = 2,71 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

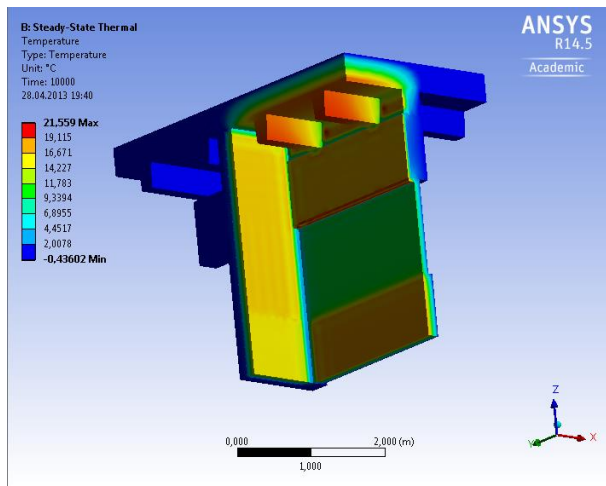
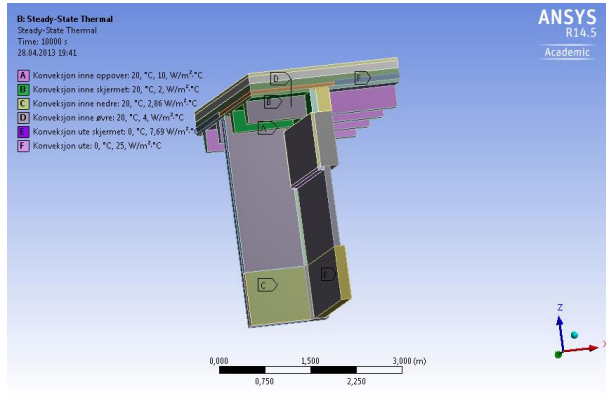
$$X = (278,291 \text{ W} / 20 \text{ }^\circ\text{C}) - (0,427 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,112 \text{ m}^2) - (0,605 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,844 \text{ m}^2) - (0,707 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,465 \text{ m}^2) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,400 \text{ m}^2) - (2,71 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,192 \text{ m}^2) = 1,664 \text{ W/K}$$

Her må bidraget fra de andre kjente kuldebroene trekkes fra slik at ikke noe av varmetapet telles flere ganger.

$$X_2 = 1,142 \text{ W/K}$$

$$\Psi_8 = 0,355 \text{ W/mK}$$

$$X_{10} = 1,664 \text{ W/K} - 2,065 \text{ W/K} - (0,460 \text{ W/mK} * 1\text{m}) = \underline{0,166 \text{ W/K}}$$



Modell 10, tiltak 1, 2 og 3

Simulert data

$Q_{\text{ANSYS}} = 157,690 \text{ W}$
 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Omsluttende konstruksjon

Vegger

$A_1 = 5,577 \text{ m}^2$

$U_1 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vindusrekke

$A_2 = 3,192 \text{ m}^2$

$U_2 = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tak

$A_3 = 2,400 \text{ m}^2$

$U_3 = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$

Likning (7) gir:

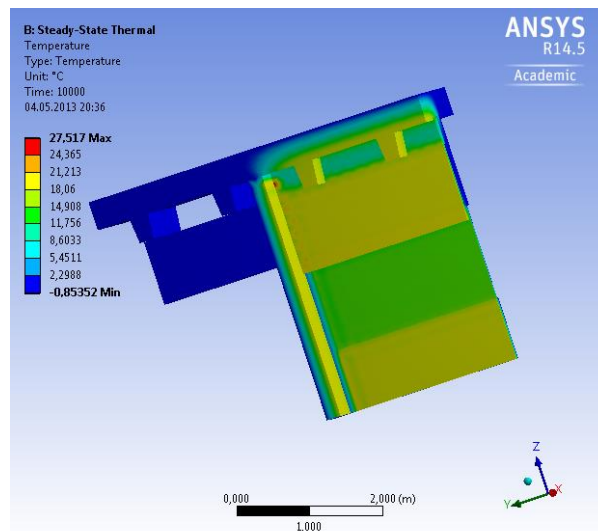
$$X = (157,690 \text{ W} / 20^\circ\text{C}) - (0,18 \text{ W/m}^2\text{K} * 5,577 \text{ m}^2) - (1,2 \text{ W/m}^2\text{K} * 3,192 \text{ m}^2) - (0,104 \text{ W/m}^2\text{K} * 2,400 \text{ m}^2) = 2,800 \text{ W/K}$$

Her må bidraget fra de andre kjente kuldebroene trekkes fra slik at ikke noe av varmetapet telles flere ganger.

$$X_{21} = 1,373 \text{ W/K}$$

$$\Psi_{81} = 0,175 \text{ W/mK}$$

$$X_{101} = 2,800 \text{ W/K} - 1,373 \text{ W/K} - (0,175 \text{ W/mK} * 1\text{m}) = \underline{0,122 \text{ W/K}}$$



Vedlegg B: Valg av U-verdier

Bindingsverksvegg

Materialene i veggene er kjent, men ikke alle tykkelsene eller andel tre i bindingsverket. Derfor hentes tabellverdi fra SINTEF Byggforsk detaljblad 471.401 U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere.

Tabellverdien hentes ut med variablene: stort næringsbygg, romhøyde 3,5 m, 100 mm isolasjon.

$$U=0,427 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vindusrekke

Tabellverdi hentet fra SINTEF Byggforsk detaljblad 571.954 Isolerruter. Lys- og varmetekniske egenskaper.

Bruker variablene tolags ruter av vanlig floatglass uten belegg.

$$U=2,710 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Hele vindusrekken inkludert rammer settes til denne verdien, selv om det antas at verdien er noe annerledes på grunn karm, ramme, og stender mellom vinduene.

Betongvegg

Lag	D [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Re			0,130
Betong	0,150	1,650	0,091
Porebetong	0,150	0,130	1,154
Ri			0,040
Total			1,415

$$U = 1/R = 0,707 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vegg under vindu 1.etasje

Lag	D [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Re			0,130
Betong	0,150	1,650	0,091
Lettklinkerblokker	0,150	0,230	0,652
Ri			0,040
Total			0,913

$$U = 1/R = 1,095 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vegg over vinduer

Lag	D	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Re			0,130

Betongdrager	0,300	2,300	0,130
Isolasjon	0,050	0,037	1,351
Ri			0,040
Total			1,652

$$U = 1/R = 0,605 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tak (ved raft)

Lag	D	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Re			0,100
Takplate	0,060	0,037	1,622
Isolasjon	0,240	0,037	6,486
Underlagsplate	0,050	0,037	1,351
Dekkeelement, flens	0,050	0,230	0,022
Ri			0,040
Total			9,651

$$U = 1/R = 0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vedlegg C: Fremgangsmåte ved simulering av kuldebroer i ANSYS Mechanical

14.5 Academic

Den aktuelle kuldebroen med omsluttende bygningsdeler modelleres i arkitektprogrammet ArchiCAD, og lagres i IFC format. Konstruksjonsdelene i modellen deles opp dersom de skal ha forskjellig konveksjon, slik at dette blir lett å sette ulik konveksjon på de forskjellige flatene senere.

Det er viktig å se til at IFC-filen lagrer modellen som geometriske volumer og ikke bare overflater. Filen omgjøres til Parasolid format ved hjelp av import og eksport i Vectorworks.

I ANSYS Workbench startes et nytt Steady-State prosjekt. Aktuell materialdata settes inn. Geometrien importeres. Modellen åpnes og kontrolleres for feil. Mesh genereres og kontrolleres om det er fint nok. Aktuell konveksjon settes på der hvor den skal være. Her kan også stråling eller direkte varmekilder settes på modellen.

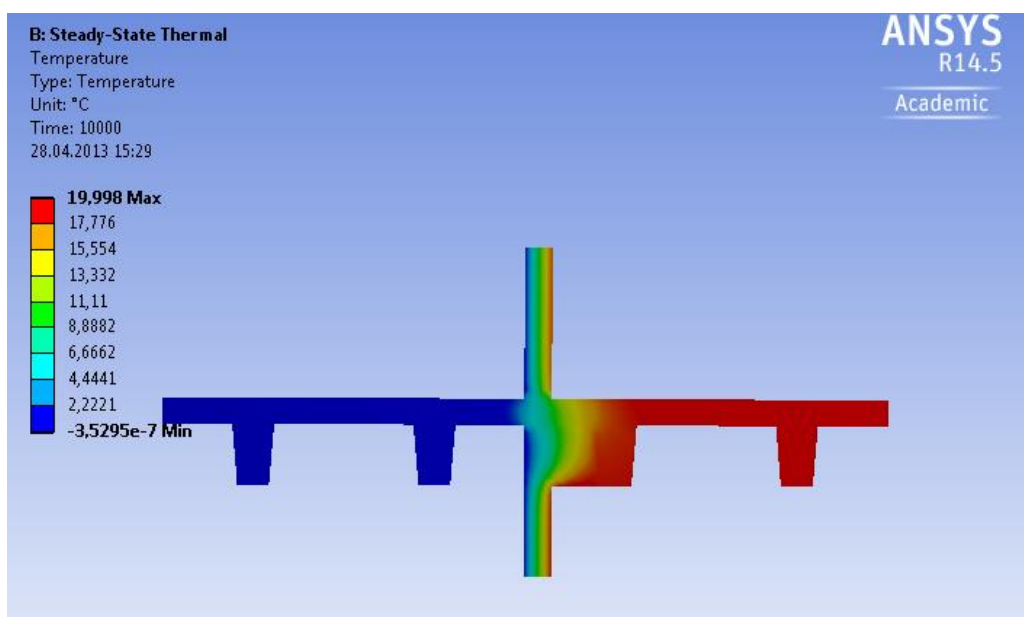
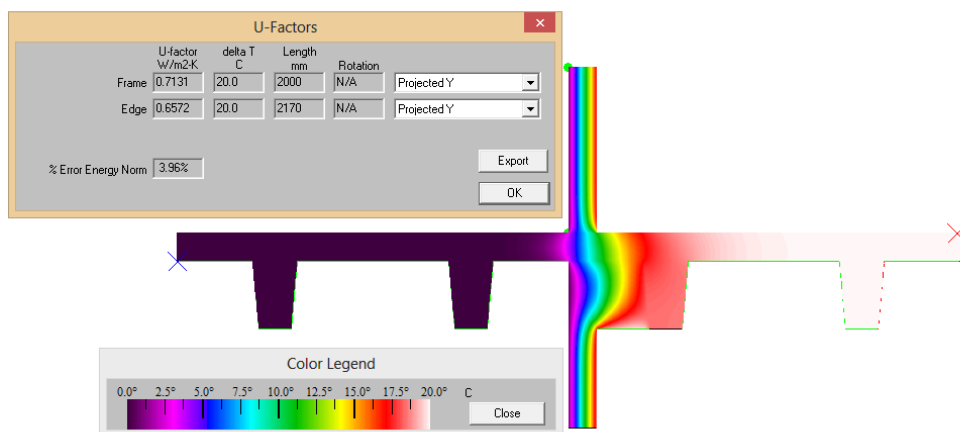
I løsningsmappen legges ønskede resultater inn. I dette prosjektet er det lagt ønsket overflatetemperatur og reaksjonsprober. Probene gir varme gitt / tapt over valgt konveksjon. Sammenlagt gir disse reaksjonsprobene fra enten utside eller innside den totale varmegjennomstrømningen i modellen. Fra disse resultatene er det relativt enkelt å regne kuldebroverdier.

Validering av metode mot Therm 6.3

Therm er et todimensjonalt beregningsprogram som blant annet kan brukes til numerisk beregning av kuldebroer. Dette er validert til å følge ISO 10211:2007 (W. Hilderson 2011).

Modell 5 fra ANSYS modelleres i Therm 6.3. De samme materialegenskaper og overgangstall brukes. Simuleringen i ANSYS gav $Q_{ANSYS} = 29,950 \text{ W}$.

Therm gir en U-verdi på $0,6572 \text{ W/m}^2\text{K}$. Temperaturdifferansen er 20° C , og arealet av modellen er $2,170 \text{ m}^2$. Dette gir en varmetransmisjon $Q_{THERM} = 30,258 \text{ W}$. Disse to forskjellige simuleringene med bruk av tilsvarende modell gir dermed svar som bare er 1,02 % i fra hverandre. Denne forskjellen antas å komme fra forskjellig størrelse på mesh, samt at Therm-simuleringen kun beregner todimensjonalt. Fremgangsmåten generaliseres til alle 10 modellene.





1:5000
Olav kart fylkeskomm010305_situasjon

Skjema / Detalj:

Situasjonsplan
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

##/##/####

Tegner:

Tegner

Prosjektnr.:

#PIn

Kontroll

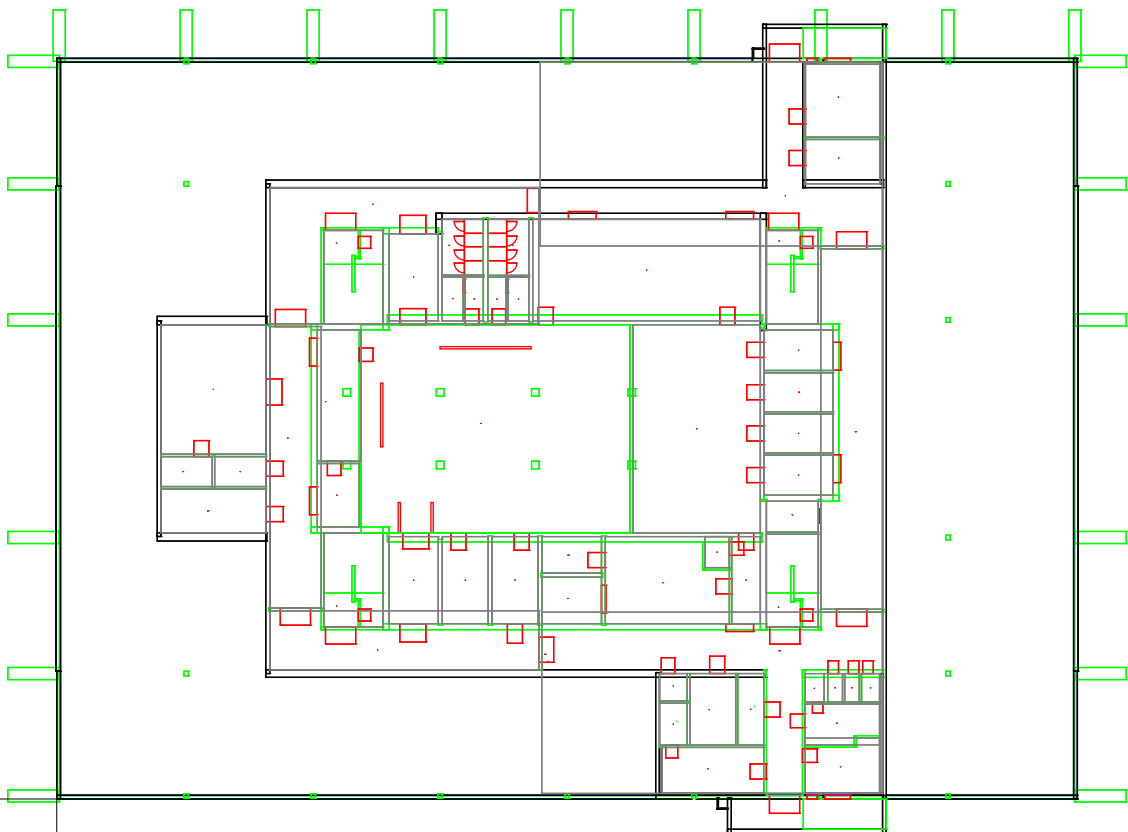
Målestokk:

1:5000

Mål:

Tegningsnr.:

A10-1



1:500 Kjeller

Skjema / Detalj:
Plan Kjeller
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

###/###/####

Tegner:
Tegner

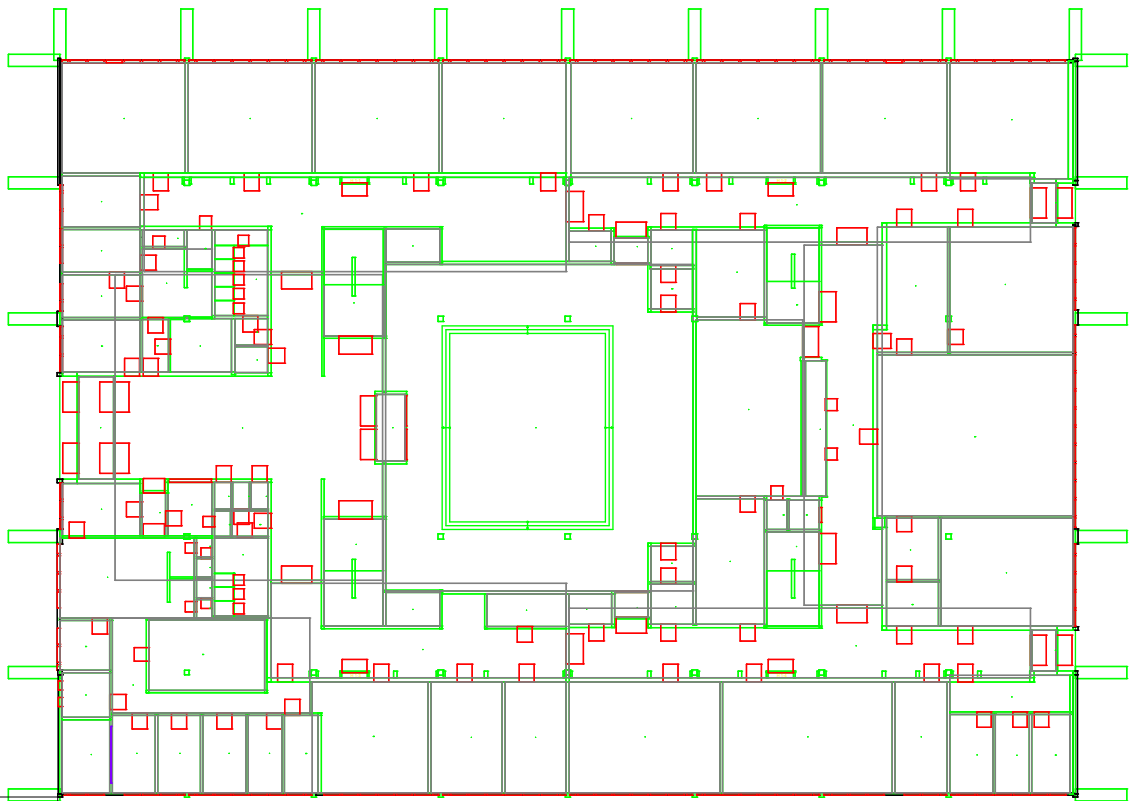
Prosjektr.:
#PIn

Kontroll

Målestokk:
1:500

Mål:

Tegningsnr.:
A20-1



1:500 1. Etasje

Skjema / Detalj:
Plan 1. Etasje
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

###/###/####

Tegner:

Tegner

Prosjektr.:

#PIn

Kontroll

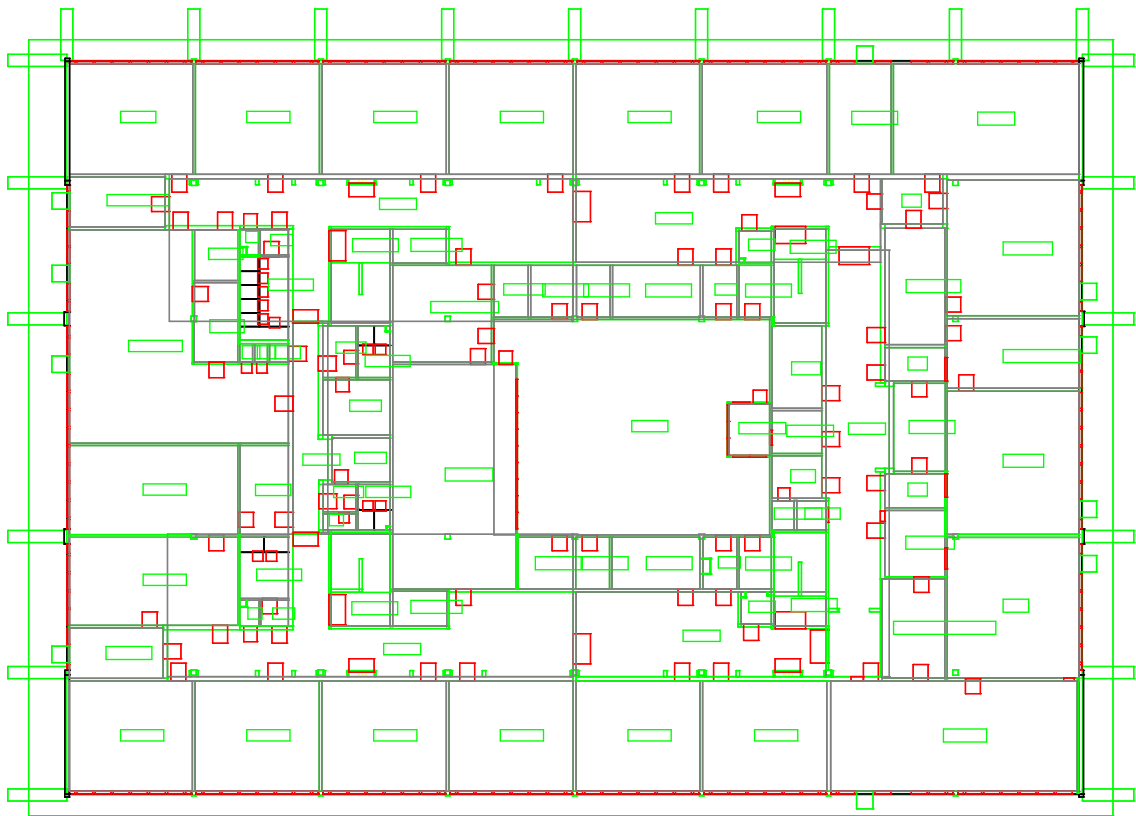
Målestokk:

1:500

Mål:

Tegningsnr.:

A20-2



1:500 2. Etasje

Skjema / Detalj:
Plan 2. Etasje
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

###/###/####

Tegner:
Tegner

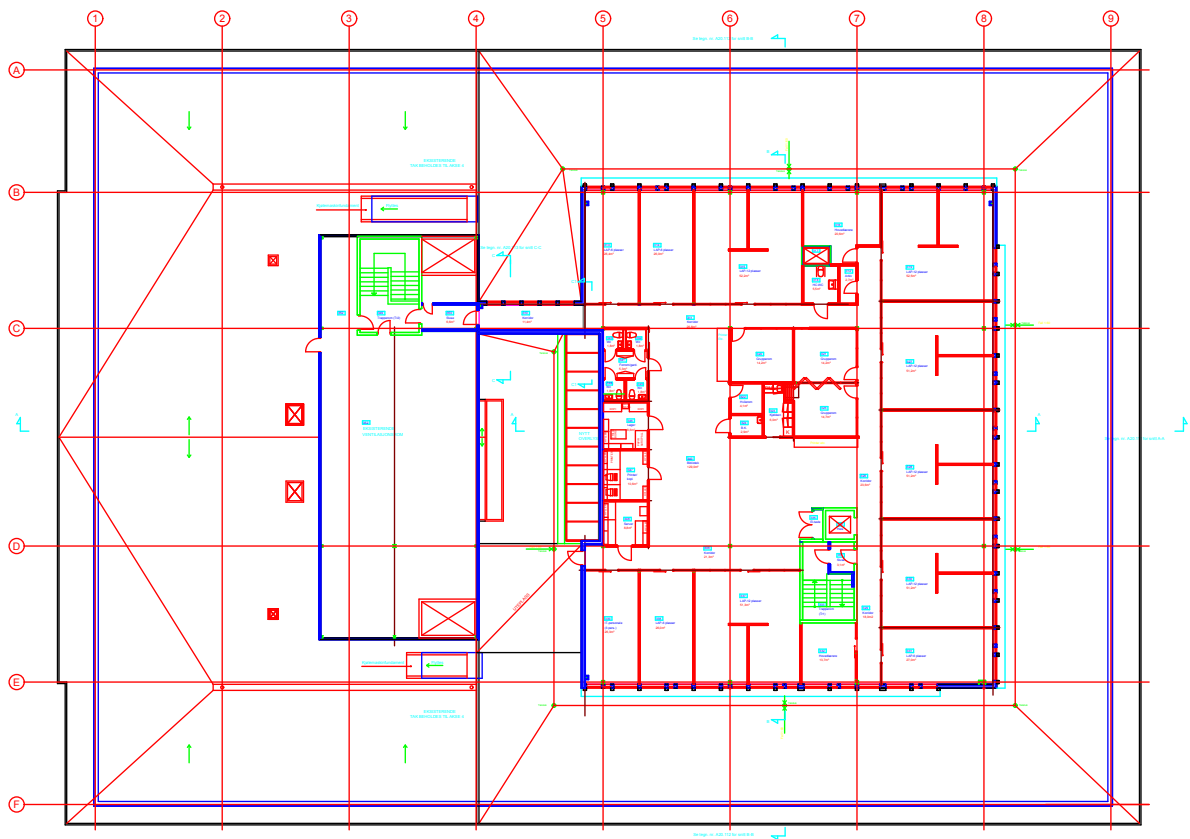
Prosjektnr.:
#PIn

Kontroll

Målestokk:
1:500

Mål:

Tegningsnr.:
A20-3



1:500 3. Etasje

Skjema / Detalj:
Plan 3. Etasje
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

###/###/####

Tegner:
Tegner

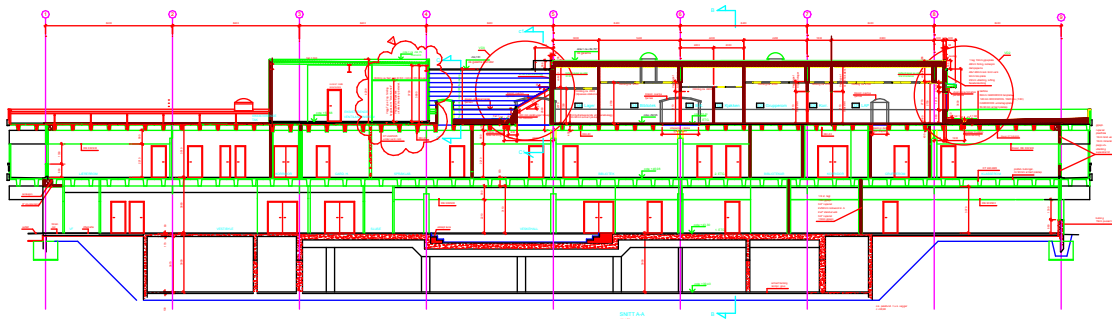
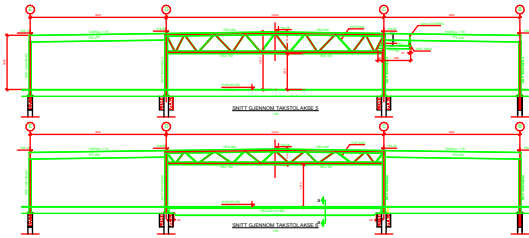
Prosjektr.:
#PIn

Kontroll

Målestokk:
1:500

Mål:

Tegningsnr.:
A20-4



1:500 A20_111D

Skjema / Detalj:
Snitt A
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

###/###/####

Tegner:
Tegner

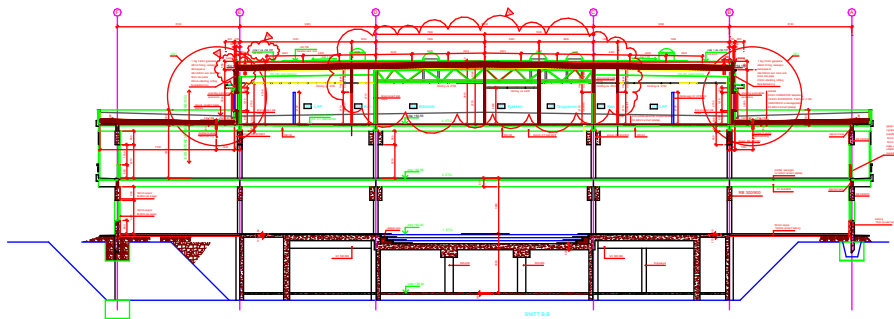
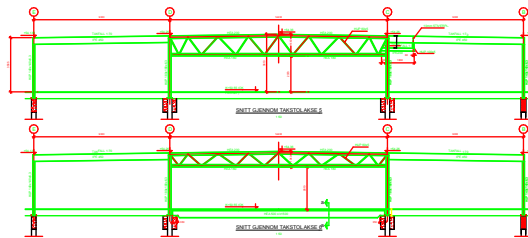
Prosjektr.:
#PIn

Kontroll

Målestokk:
1:500

Mål:

Tegningsnr.:
A30-1



1:500 A20_112B

Skjema / Detalj:
Snitt B
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:

###/###/####

Tegner:
Tegner

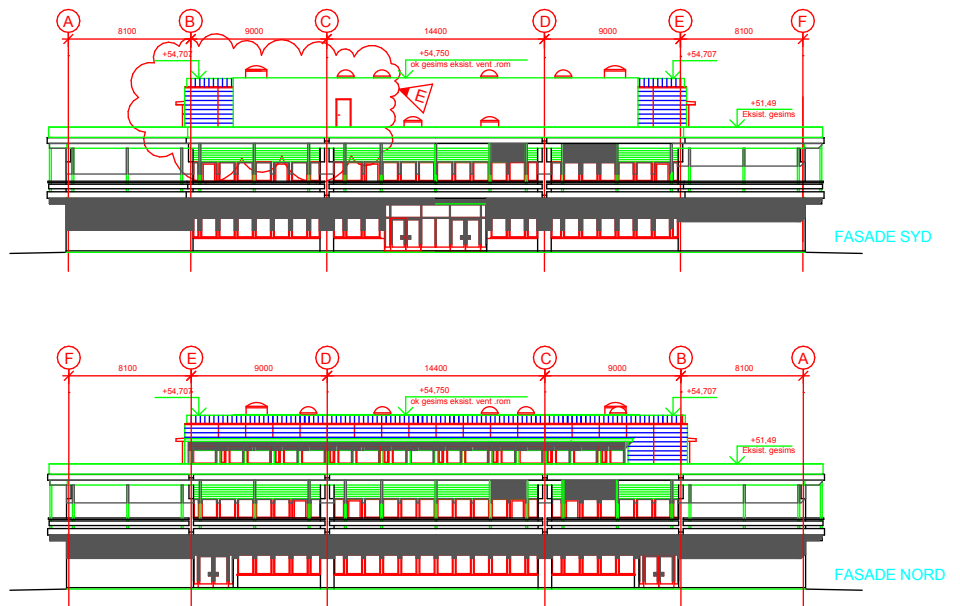
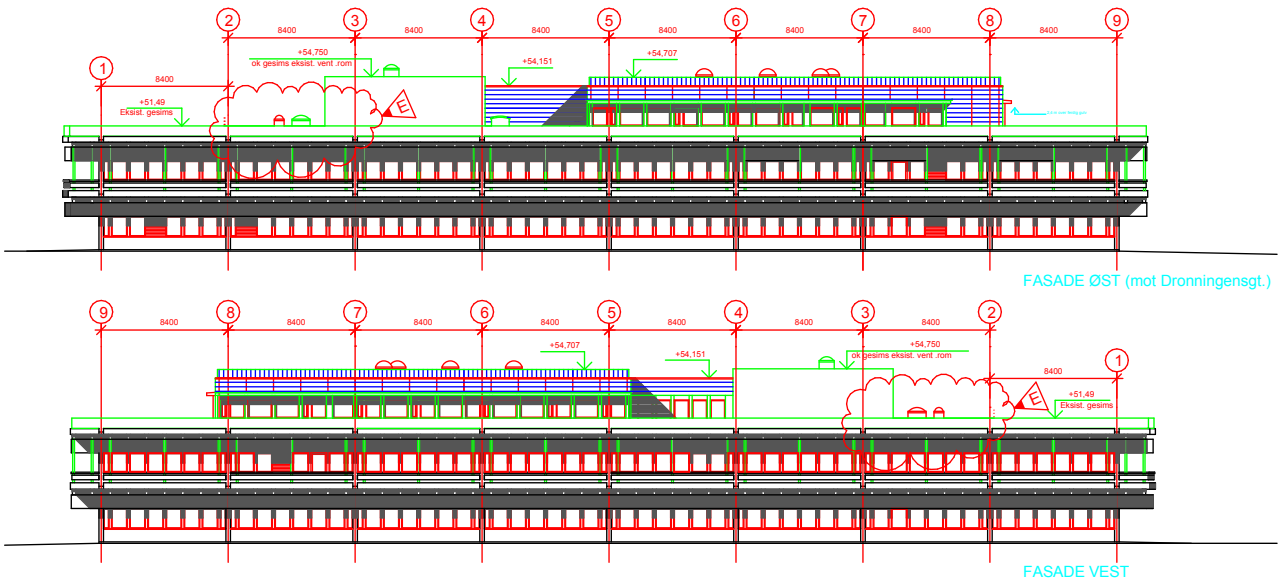
Prosjektrn.:
#PIn

Kontroll

Målestokk:
1:500

Mål:

Tegningsnr.:
A30-2



1:500 A20_200E

Skjema / Detalj:
Fasader
St. Olav V.G.S. Sarpsborg

Korrigert dato:

Tegnet dato:
###/###/####

Tegner:
Tegner

Prosjektrnr.:
#PIn

Kontroll

Målestokk:
1:500

Mål:

Tegningsnr.:
A40-1