

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne oppgaven inngår som avsluttende oppgave i studieprogrammet master i teknologi: byggeteknikk og arkitektur ved instituttet for Matematiske Realfag og teknologi (IMT) ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB).

Oppgaven tar for seg energieffektiviserende rehabilitering av Skjeberg folkehøyskole. Bakgrunnen for energieffektivisering av denne skolen tar utgangspunkt i et pilotprosjekt i regi av Østfold fylkeskommune. Jeg ble kjent med prosjektet gjennom min veileder ved instituttet Thoms Thiis. Denne oppgaven inngår ikke som en del av pilotprosjektet, men er ment som en konkret studie.

I denne oppgaven vil jeg gjerne takke Thomas Thiis for å finne et konkret prosjekt og for utmerket veiledning med denne oppgaven. Fra COWI i Fredrikstad vil jeg gi en stor takk til hele byggavdelingen, spesielt til Jarle H. Hatlelid for gode innspill underveis. Vil gjerne takker Tormod Aurlien for å hjelpe med termograferingene og flere, takk

Waqas Afzal

15. mai 2012

Sammendrag

Denne masteroppgaven fokuserer på å finne energisparende løsninger for eksisterende bygningsmasse ved Skjeberg Folkehøyskole. Målet med oppgaven er å simulere energiforbruket til Skjeberg skolebygg etter TEK 10, analysere varmetap og finne tiltak som fører til reduksjon i energiforbruket.

Det brukes SIMIEN til å simulere energiforbruket og varmetapet til. Simulering av kuldebroer gjøres ved bruk av Therm og Wufi benyttes for å simulere fukt transport. Hensikten med disse simuleringene er å få nok informasjon til å velge optimale energieffektiviserings tiltak. Basert på disse resultatene velges fire tiltakspakker.

To av disse innebærer bygningsmessige tiltak og resterende to er forbedring av ventilasjon og energiforsyning.

Den mest lønnsomme tiltak er tiltakspakke 4. Den resulterer i at energibehovet til Skjeberg folkehøyskole blir 120 KWh/m² som er 56 % mindre enn det opprinnelige og 40 KWh/m² mindre enn TEK10 krav.

Abstract

Purpose of the following thesis is to discover energy saving solutions for the existing buildings of Skjeberg Folkehøyskole. The energy consumption of the buildings is simulated by TEK 10, analyzed and measures leading to reduction in energy consumption are evaluated.

The SIMI is used to simulate the energy consumption and heat loss. Simulation of thermal bridges is made using Therm and Wufi is used to simulate moisture transport. The purpose of these simulations is to get enough information to choose optimal energy efficiency measures.

Based on these results, four methods are selected. Two of these involve structural measures and the remaining two are the improvement of ventilation and energy supply.

The most profitable measure are “Energy Supply”. This results in that the energy needs of building is down to 120 kWh/m² which is 56% less than the original and 40 kWh/m² less than TEK10 requirements.

Innholdsfortegnelse

FORORD	III
SAMMENDRAG	IV
ABSTRACT	V
1 PROBLEMSTILLING OG BAKGRUNN FOR OPPGAVEN	2
1.1 PROBLEMSTILLING	2
1.2 BEGRENSNINGER	2
1.3 BAKGRUNN	3
2 TEORI	4
2.1 KARTLEGGING AV TILSTAND OG REHABILITERINGSBEHOV	4
2.2 ELDRE MURBYGNINGER	4
2.3 ETTERISOLERING AV MURBYGNINGER	9
2.4 BYGGTEKNISK FORSKRIFT –TEK 10	11
2.5 VARMETRANSPORT	14
2.6 VARMEGJENNOMGANGSKOEFFISIENT (U-VERDI)	16
2.7 KULDEBROER	17
2.8 NS3031	19
2.9 TERMOGRAFERING	20
2.10 AEROPLATER	21
2.11 BALANSERT VENTILASJON	22
2.12 ENERGIFORSYNING	23
2.12.1 Varmepumpe	23
2.12.2 Solfangere	24
3 VERKTØY OG METODE	25
3.1.1 Revit	25
3.1.2 Simien	25
3.1.3 Therm	25
3.2 BEFARINGER	26
3.3 TILTAK	26
3.3.1 Termografering	26
3.3.2 Beregning av U-verdier/kuldebroer	26
3.3.3 Bygningsfysikk og energi simulering	27
4 KONSTRUKSJON	27

4.1	SKOLEBYGG	30
4.2	GYMSAL BYGG.....	33
5	DATA TIL SIMIEN	36
6	RESULTATER	40
6.1	SAMLET RESULTAT FOR SKJEBERG FOLKEHØYSKOLE	40
6.1.1	<i>Termografering</i>	40
6.1.2	<i>Beregnet U-verdier for eksisterende konstruksjon</i>	43
6.1.3	<i>Varmetaps verdier for gymsalbygg</i>	44
6.1.4	<i>Kuldebro beregninger og Simuleringer Therm</i>	45
6.1.5	<i>Resultat fra Wufi:</i>	47
6.1.6	<i>Resultater fra Simien</i>	48
6.2	TILTAKPAKKET 1	51
6.2.1	<i>Resultater fra simien</i>	51
6.2.2	<i>Resultat Wufi.....</i>	54
6.3	TILTAKPAKKE 2.....	55
6.3.1	<i>Resultater fra simien</i>	55
6.3.2	<i>Resultat Wufi.....</i>	58
6.4	TILTAKPAKKE 3.....	59
6.5	TILTAKPAKKE 4.....	62
7	DISKUSJONN	63
7.1.1	<i>Tiltakspakke 1:.....</i>	65
7.1.2	<i>Tiltakspakke 2.....</i>	65
7.1.3	<i>Tiltakspakke 3.....</i>	66
7.1.4	<i>Tiltakspakke 4.....</i>	66
8	KONKLUSJON	66
9	REFERANSE	67
10	VEDLEGG.....	68
10.1	BREGNINGER.....	68
10.1.1	<i>U-Verdi</i>	68
10.1.2	<i>Kuldebro beregninger</i>	76
10.1.3	<i>Beregning av varmepumpe.....</i>	84
11	SONE INNDELING FOR SIMIEN	86

Figurliste

Figur 1: Massiv teglvegg (Kilde. BF 723.308).....	6
Figur 2: Trondhemshulmur (kilde. BF 723.308).....	6
Figur 3: Bergenshulmur (kilde. BF 723.308).....	6
Figur 4: Engelskhulmur med bindere av stein (kilde. BF 723.308).....	6
Figur 5: Skallmur med bindere av stål (kilde. BF 723.308).....	6
Figur 6: Bjelkeenden med hardbrent stein (kilde. Bf 723.308 fig. 251 d).....	7
Figur 7: Snitt av bjelke med asfaltapp (A. Bugge: Husbygninglære 1918).....	7
Figur 8: Typisk takkonstruksjon til murbygninger fra starten av 1900-tallet.....	8
Figur 9: Isolerings medoder	10
Figur 10: fordeler og ulemper ved invendig og utvendig isolasjon.....	11
Figur 11: Varmetransport (BF 471.008 pkt. 2).....	15
Figur 12: (kuldebroer sintef [7]).....	17
Figur 13: Feil plassert isolasjon (kilde: [9])	20
Figur 14: kuldebro (kilde: [9]).....	20
Figur 15: Luft lekkasje (kilde:[9]).....	21
Figur 16: Installert balansert ventilasjonssystem i et bygg (kilde BF 552.303).....	22
Figur 17: Roterende varmegjenvinner (kilde BF 552.303)	22
Figur 18: Plategjenvinner (kilde BF 552.303).....	22
Figur 19: Oppbygning til varmepumpe (kilde: [11]).....	23
Figur 20: Prinsipiell oppbygning av en plan solfangermodul (kilde: [12]).....	24
Figur 21: oppbygningen til en solfanger (kilde: [12]).....	24
Figur 22: Situasjons kart (kilde: Sarpsborg kommune).....	27
Figur 23: Oppdeling av hovedbygget	28
Figur 24: Bile av ventilasjon i gymsalen som ikke fungerer.....	30
Figur 25: avtreks ventiler utmot kaldtloft.....	30
Figur 26: Snitt gjennom auditorium fra rundt 1930-tallet (ref. kopiert fra Skjeberg folkehøyskole)....	30
Figur 27: Bilde tatt fra kaldloft over audetorium (ref: fotografert av Waqas Afzal).....	32
Figur 28: Sprekker i veggen på grunn av frostskafer.....	32
Figur 29: Av skalling på grunn av frostskafer	33
Figur 30: Snitt gjennom øst vegg i gymshal (Kilde: Sarpsborg kommune).....	34
Figur 31: Etasjeskiller	45
Figur 32: Stål søyle I veggen.....	45
Figur 33tak: Gymsal	45
Figur 34: Vindu kjeller plan	45
Figur 35: Vindu gymplan	46

Figur 36 : Resultat fra Wufi simulering (Gymsalbygningen).....	47
Figur 37: Resultat fra Wufi simulering (Skolebygningen).....	47
Figur 38: Årlig energibudsjett for Skjeberg folkehøyskole (ref: Simien Waqas Afzal).....	49
Figur 39: Varmetapsbudsjett for Skjeberg folkehøyskole (ref: Simien Waqas Afzal).....	50
Figur 40: Års energi budskjett tiltakspakke 1.....	52
Figur 41: Varmetaps budskjett tiltakspakke 1	53
Figur 42: duggpunkt og temperatur forhold for gymsalbygningen etter tiltakspakke 1.....	54
Figur 43: Årlig energibudsjett tiltakspakke 2.....	56
Figur 44: Varmetapsbudsjett tiltaks pakke 2.....	57
Figur 45: Duggpunkt og temperatur forhold for gymsalbygningen etter tiltakspakke 2.....	58
Figur 46: Duggpunkt og temperatur forhold for skolebygningen etter tiltakspakke 2.....	58
Figur 47: Årlig energibudsjett tiltakspaket 3.....	60
Figur 48: Varmetapsbudsjett tiltakspaket 3.....	61
Figur 49: Tak gymsal	77
Figur 50: Detalj under vindu	77
Figur 51: Grunnforhold	85
Figur 52: Sone inndeling SIMIEM Plan 1.....	86
Figur 53: Sone inndeling SIMIEM Plan 2.....	87
Figur 54: Sone inndeling SIMIEM Plan 3.....	88

Tabelliste

Tabell 1: Teglstein format i Norge gjennom tiden	4
Tabell 2: Tykkelse på teglvegger [4]	6
Tabell 3: U-verdi i for murt vegg av teglstein med 10 mm KC-puss på utsiden (kilde. tabell 28 [4])	8
Tabell 4: Varmekonduktivitet	9
Tabell 5: Energiltak	11
Tabell 6: <i>Energiltak</i>	12
Tabell 7: <i>Energiltak ventilasjon (Ref: tallhentet fra kap. §14.3 [5])</i>	12
Tabell 8: Energiltak kan fravikes (Ref: kap. §14-3 [5])	13
Tabell 9: Energirammer (Ref: hentet fra kap. §14-4 [5])	13
Tabell 10: Minstekrav (Ref: hentet fra kap. §14-5 [5])	13
Tabell 11: Krav til energiforsyning (Ref: § 14-7 [5])	14
Tabell 12: observasjonene til termorgaferinger	20
Tabell 13: Areal	29
Tabell 14: Strøm forbruk fra siste 3 år (Kilde: Leila ansatt Skjeberg)	29
Tabell 15: Omkrets	33

Tabell 16: Tiltakspakke 1	36
Tabell 17: Tiltakspakke 2	38
Tabell 18: Tiltakspakke 3	39
Tabell 19: Tiltakspakke 4	39
Tabell 20: Beregnet U-verdi for skolebygg	43
Tabell 21: varmetaps verdier for eksisterende gymsalbygg	44
Tabell 22: Beregninger av kuldebro verdier	45
Tabell 23: Evaluering mot TEK10	48
Tabell 24: Evaluering mot minstekrav	48
Tabell 25: Evaluering mot TEK10	51
Tabell 26: Evaluering mot minstekrav	51
Tabell 27: tiltakspakke 1+ isolert skolebyggvegg mot veien(sør)	52
Tabell 28: Evaluering mot TEK10 og eksisterende	55
Tabell 29: Evaluering mot minstekrav (ref: Simien Waqas Afzal)	55
Tabell 30: Evaluering mot TEK10 og eksisterende	59
Tabell 31: Evaluering mot minstekrav (ref: Simien Waqas Afzal)	59
Tabell 32: Evaluering mot TEK10 og eksisterende	62
Tabell 33: Evaluering mot minstekrav	62
Tabell 34: U-verdi for massivmur med 10mm puss på inn- og utsiden av veggen (skolebygningen)	68
Tabell 35: U-verdi kjeller vegg overtareng (skolebygningen)	68
Tabell 36: U-verdi kjellervegg og gulv mot grunn (skolebygningen)	69
Tabell 37: U-verdi tak (skolebygningen)	69
Tabell V 38: U-verdi gymsalbygg teglvegg (gymsalbygningen)	70
Tabell V 39: U-verdi gymsalbygg kjellervegg (gymsalbygningen)	70
Tabell V 40: U-verdi Gymsalbygg kjellervegg- og gulv mot grunn (gymsalbygningen)	70
Tabell V 41: U-verdi Gymsalbygg tak (gymsalbygningen)	71
Tabell V 42: U-verdi gymsalbygg teglvegg + Aerorook (gymsalbygningen)	71
Tabell V 43: U-verdi Gymsalbygg kjeller vegg + Aerorook (gymsalbygningen)	72
Tabell V 44: U-verdi Gymsalbygg tak + innsprøytet isolasjon (gymsalbygningen)	72
Tabell V 45: U-verdi gymsalbygg og skolebygg gulv + Flexiplate	73
Tabell V 46: U-verdi kjellervegg og gulv i gymsalbygg + Aerorook (vegg) og flexiplate (gulv) (gymsalbygningen)	73
Tabell V 47: U-verdi skolebygg teglvegg + Flexsystem (Skolebygningen)	74
Tabell V 48: U-verdi skolebygg kjellervegg over terreng + Aerorook (Skolebygningen)	74
Tabell V 49: Tak over kontor (Skolebygningen)	75
Tabell V 50: Tak over auditorium + 200mm Isolasjon (Skolebygningen)	75

Tabell V 51: U-verdi skolebygg Kjellervegg og gulv + Aerorook (vegg) og fleksiplate (gulv) (Skolebygningen)	75
Tabell V 52: Etasjeskiller (gymsalbygningen)	76
Tabell V 53: Stålsøyler i veggen (gymsalbyggen)	76
Tabell V 54: kuldebro under gymsalvinduer	77
Tabell V 55: kuldebor tak (gymsalbygningen)	77
Tabell V 56: kuldebro under kjellervinduer (gymsalbygningen)	77
Tabell V 57: Kuldebro hjørneeffekt (gymsalbygningen)	77
Tabell V 58: Kuldebro gjennom etasjeskiller mot yttervegg (gymsalbygningen)	78
Tabell V 59: Kuldebro gjennom søyle i yttervegg (gymsalbygningen)	78
Tabell V 60: kuldebro under gymsalvinduer (gymsalbygningen)	78
Tabell V 61: kuldebro under kjellervinduer (gymsalbygningen)	78
Tabell V 62: Kuldebro hjørbeeffekt (gymsalbygningen)	79
Tabell V 63: Kuldebro hjørneeffekt (skolebygningen)	79
Tabell V 64: Kuldebro ytter vegg mot kjeller (skolebygningen)	79
Tabell V 65: Beregning av normalisert kuldebro-verdi for eksisterende konstruksjon	80
Tabell V 66: Kuldebroverdi tiltak 2	81
Tabell 67: Normalisert Kuldebroverdi tiltak 1 og 2	82
Tabell 68: Normalisert kuldebroverdi tiltak 3	83
Tabell 69: Jord varme beregning	84

Ordforklaring

BF	Byggforskserien
Ψ_i	kuldebroverdien for en lineær kuldebroer
NKV	Normalisert kuldebroverdi
X_i	Angir varmetapet fra kuldebroer som er tredimensjonale (punktkuldebroer).
R_T	Total varmemotstand (m ² K/W)
R	Varmemotstand for sjikt
R_{is}	Varmeovergangsmotstand mellom luft og konstruksjonens innvendigoverflate
R_{se}	Varmeovergangsmotstand mellom luft og konstruksjonens utvendigoverflate
A_{BRA}, BRA	Bruks areal
BTA	Brutto areal

1 Problemstilling og bakgrunn for oppgaven

1.1 Problemstilling

Hvordan kan Skjeberg folkehøyskole energieffektiviseres forhold til TEK10.

I denne oppgaven skal jeg finne energisparende løsninger for Skjeberg folkehøyskole.

Fremgangsmåten vil være som følger:

- Simulere energiforbruket til eksisterende bygget.
- Analysere varmetap i eksisterende bygget.
- Bruke resultatet videre til å finne tiltak som fører til reduksjon i energiforbruket av Skjeberg folkehøyskole. Hvor bygningsmessige tiltak er hovedfokuset.
- De foreslåtte løsningene skal undersøkes med hensyn til blikk på kuldebroer og fukttransport.

1.2 Begrensninger

Økonomien er ikke fokus i denne oppgaven. Skjeberg folkehøyskole består av bygninger fra 1903 – 2008. I den oppgaven skal det kun legges vekt på bygninger fra 1903-1970.

1.3 Bakgrunn

Rehabilitering av bygninger kommer til å være viktig i framtiden. Det blir større behov for å renovere eksisterende bygninger med forbedret energieffektivitet. Siden 40 prosent av all stasjonære energibruk skjer i bygg skulle det ikke være lenge til før man tok grep i dette temaet. Byggeforskrifter som TEK vil være/er i fokus for å få til disse løsningene.

Byggenæringen sammen med regjeringen prøver å komme til enighet for framgangen i denne saken. I en møte samlet de tre statsråder til diskusjon med formål « hvordan man skal oppnå mer og bedre energieffektivisering i bygg»[1]. Her ble det blant annet tatt opp temaer som behov for regulering og offentlig styring av krav til energieffektivisering. Det ble også nevnt at 80 prosent av dagens konstruksjoner vil stå fram til 2050 og derfor burde energieffektivisering vektlegges.

Kommunal og regionaldepartement jobber også aktiv med dette temaet. Nylig i sommeren la de fram rapport om «kostnader ved å innføre nye energikrav i bygg»[2]. Viktige temaer her var strengere energikrav og hvordan det er mulig å halvere energiforbruket i norske bygg innen 2040.

Besvarelsen på oppgaven skal gi bedre kunnskap om dette temaet og kan kanskje være til nytte for andre i fremtiden.

2 Teori

I dette kapitlet er det

2.1 Kartlegging av tilstand og rehabiliteringsbehov

Når man skal undersøke om hvordan en eksisterende konstruksjon er bygd opp. Er det viktig å avgjøre om hvor nøyaktig vill man kartlegge konstruksjon. Den mest nøyaktige måte å kartlegge oppbygging av konstruksjon, er å åpne konstruksjon men det er ofte ikke mulig. Vanligvis er det ønskelig å bruke alternativer som gjøre minst mulig skader på konstruksjon.[3]

Det er flere måter å kartlegge om hvordan en eksisterende konstruksjon er bygd opp. Vanligvis går man fram ved å finne:

1. Tegninger og beskrivelse av konstruksjon.

Ofte finner man tegninger på de fleste bygninger hos kommunen. Det har nemlig vært meldeplikt helt tilbake til midten av 1800-tallet. Siden 1965 har det vært krav til søknad for tillatelse oppføring av bygg. [3]

2. Finne forskrifter fra perioden bygget ble oppført. For og fine hvilken type konstruksjoner var vanlig på denne perioden. [3]

3. Måle og undersøke med måleinstrumenter (termografere, armeringssøker osv.) som ikke skader konstruksjonene.[3]

4. Alternativt kan det borres hull eller åpne konstruksjon. Hvis man ikke finner tilstrekkelig informasjon på andre måter som nevnt i punkt 3.[3]

2.2 Eldre murbygninger

I BF 723.308 finner vi at produksjon av teglstein i Norge startet først på midten av 1200-tallet. Fra 1600 – 1700-tallet ble teglstein importert fra Nederland, Danmark og Tyskland. Da var det bare de velstående som hadde råd til å bygge i teglstein. Fra midten av 1700-tallet kom norsk teglsteinproduksjon tilbake med større omfang. Fra midten av 1800-tallet ble format på teglstein omtrent det samme som dagens format.

Vanlig format for teglstein i Norge gjennom tiden er vist i tabellen under, som kan brukes til hjelp for å finne alder til en konstruksjon.

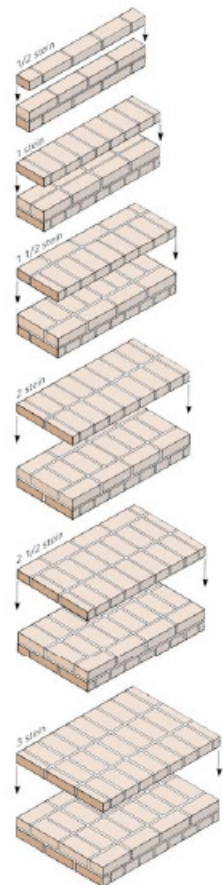
Tabell 1: Teglstein format i Norge gjennom tiden

Steinformat	Lengde	Høyde	Bredde	Ref.
Før 1500-tallet (norsk)	280	90	140	BF 723.308

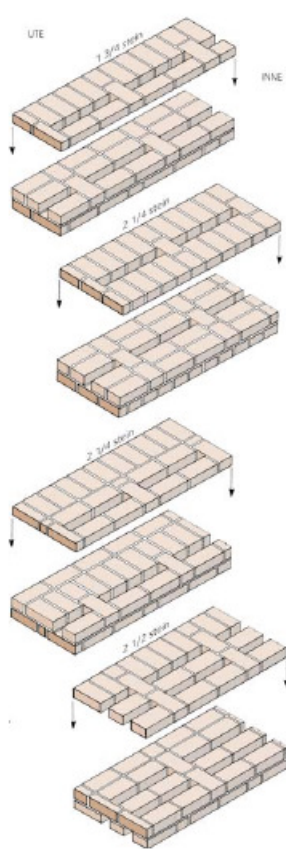
Fra 1600-1700-tallet (importert)	215-230	40-45	100-110	
Fra 1830-tallet (norsk)	235	65	110	
Dagens (norsk)	226	60	104	BF 523.221

I Norge er det ikke mange murbygninger som er eldre en 200-250 år. Det kan være på grunn av at i gamle dager var det vanlig å bruke leire som fugematerial som har dårlig konstruktiv egenskaper mot fukt (regn og snø). Rundt 1910 ble det vanlig å bruke portlandsement som murmørtel. Portlandsement hadde lite smidighet og elastisitet men hadde større styrket og tørket raskere. Denne murmørtel var dårlig egnet mot vibrasjoner. Rundt 1950 årene ble det vanlig å bruke kalkmørtel. Kalkmørtel er ganske elastisk og tåler mye bevegelser uten at det blir sprekker i murvegger men styrket var vesentlig mindre. I 1970 årene ble kalksementmørtel dominerende. Kalksementmørtel er blanding av kalk og portlandsement. Som gjordet at det ble større fasthet samtidig at bygningen evne til å ta opp bevegelser ble noe bedre.

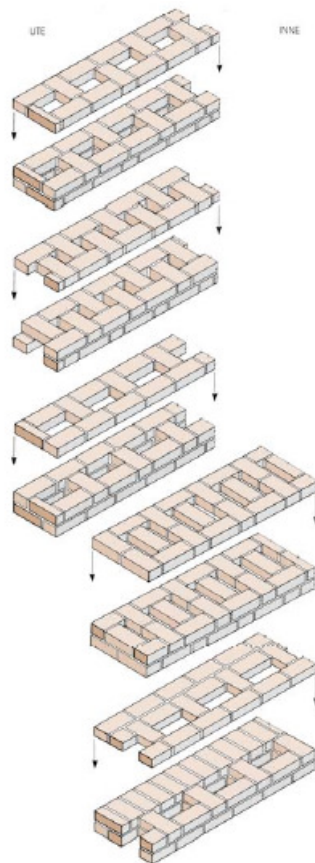
Fram til ca. 1890 murvegger ble murt massiv. Etter hvert kom hulmur vegger som ga bedre uttørkings muligheter og noe bedre isolasjons evne. De vanligste hulmurvegger som har blitt brukt i Norge er trondhemshulmur, bergenshulmur og engelskhulmur. Oppbygging av disse veggene finnes i figurer under.



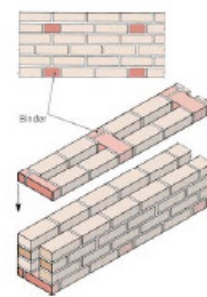
Figur 1: Massiv teglvegg (Kilde. BF 723.308)



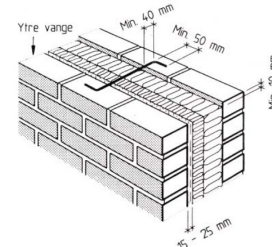
Figur 2: Trondhjemshulmur (kilde. BF 723.308)



Figur 3: Bergenshulmur (kilde. BF 723.308)



Figur 4: Engelskhulmur med bindere av stein (kilde. BF 723.308)



Figur 5: Skallmur med bindere av stål (kilde. BF 723.308)

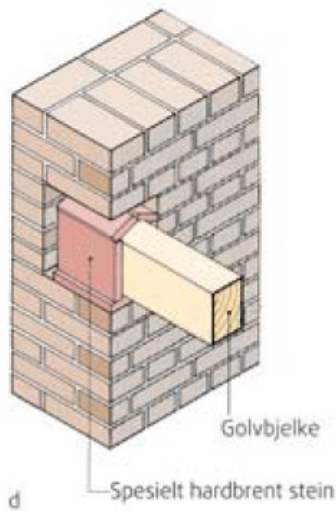
Omtrentlig tykkelser på vegger uten puss og kledning med 10 mm fugemasse som er gitt i BF 723.308 vist i Tabell 2: Tykkelse på teglvegger [4]

Tabell 2: Tykkelse på teglvegger [4]

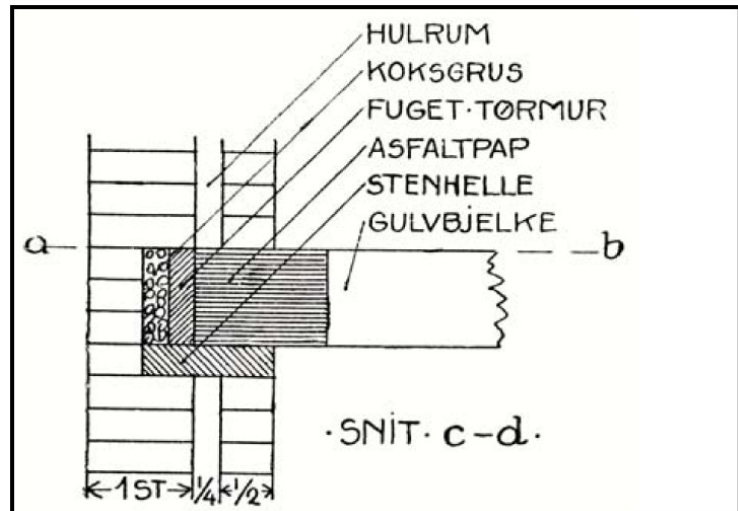
Antall stein	Tykkelse (mm)
1	235
1 1/2	360
1 3/4 (hulmur)	435
2	485
2 1/4 (hulmur)	560
2 1/2 (hulmur)	610

De eldste lærebøkene sier at bjelkeendene ikke skal legges i direkte kontakt med mortelene. De skulle ligge i hull med tørt teglstein rundt, ofte spesielt hardbrent stein. Vist i Figur 6: Bjelkeenden med hardbrent stein. Hensikten med tørt hardbrent stein rundt bjelkeenden var å hindre fuktskader

(hussoppangrep). Lærebøker fra begynnelsen av 1900 tallet beskriver bruk av asfaltapp rundt enden av bjelken og det ble anbefalt å fylle hulrom bak bjelkeenden med koksgrus for å få bedre uttørkingsmuligheter. Vist i Figur 7: Snitt av bjelke med asfaltapp (A. Bugge: Husbygninglære 1918).

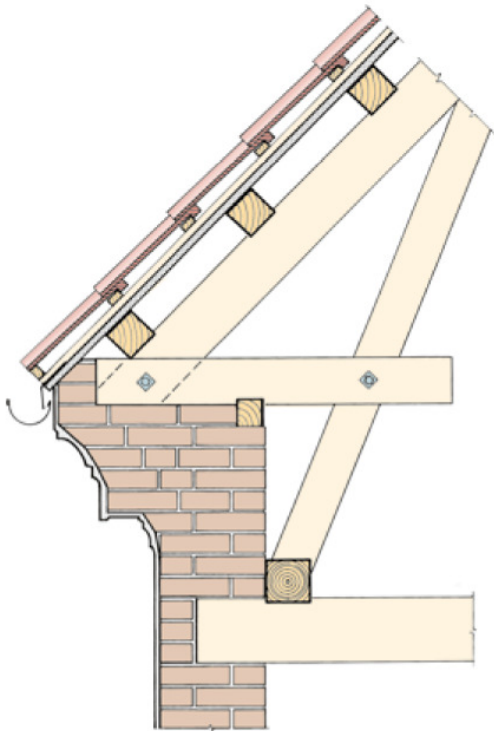


Figur 6: Bjelkeenden med hardbrent stein
(kilde. Bf 723.308 fig. 251 d)



Figur 7: Snitt av bjelke med asfaltapp (A. Bugge: Husbygninglære 1918)

«Av hensyn til sammen binding til takkonstruksjonens sammen binding og nøyaktighet hvilte ofte loftbjelkerlaget og takkonstruksjonene på svill» [4]. Se eksempel i på typisk takkonstruksjon fra begynnelsen av 1900-tallet.



Figur 8: Typisk takkonstruksjon til murbygninger fra starten av 1900-tallet.

Varmegjennomgangskoeffisient for noen murvegg av teglstein beregnet av byggforsk finner vi BF 723.308. U-verdi for teglstein vegg med forskjellig tykkelse og densitet, ligger i tabell under.

Tabell 3: U-verdi i for murt vegg av teglstein med 10 mm KC-puss på utsiden (kilde. tabell 28 [4])

Murtype	Densitet (kg/m ³)	Veggtykkelse (stein)							
		½	1	1 ¼	1 ½	1 ¾	2	2 ¼	2 ½
Massiv- mur	1200	2,2	1,3		1,0		0,7		
	1600	2,8	1,8		1,3		1,1		
	2000	3,1	2,1		1,6		1,3		
Bergens- hulmur	1200				1,1		0,9 (0,8)		
	1600				1,4		1,2 (1,1)		
	2000				1,6		1,4 (1,3)		
Trondhjem- hulmur	1200					0,8		0,7	0,6
	1600					1,1		0,9	0,8
	2000					1,3		1,0	0,9
Engelsk- hulmur	1200			1,1					
	1600			1,4					
	2000			1,6					

Betong i eldre bygninger

Betong ble brukt første gang i 1860-årene[4]. På den tiden var betong ikke armering og ble blandet manuelt som gjorde at kvaliteten var svært varierende. Rundt 1890-årene begynte bruk av armert betong[4]. Bruk av armering i betong gjorde at veggen fikk økt styrke og kunne bygges mye tynnere. Byggeforskrifter fra 1928 fastsatt krav for bygninger med varig opphold, skal ha yttervegg med tykkelse på minst 150 mm og betongvegger i slike bygninger skal ha minst 30 mm varmeisolasjon. På den tiden var det mest vanlig å bruke ekspandert korkplate som isolasjonsmateriale eller en annen isolasjonsmateriale var treullsement plate. Begge disse platene ble faststøpt på i siden av veggen og ble pusset innvendig. Varmelednings evne til disse platene er vist i tabell under.

Tabell 4: Varmekonduktivitet

Material	λ – verdi (W/mK)	Kilde
Ekspandertkork palte	0,05	
Treullsement plate	0,1	

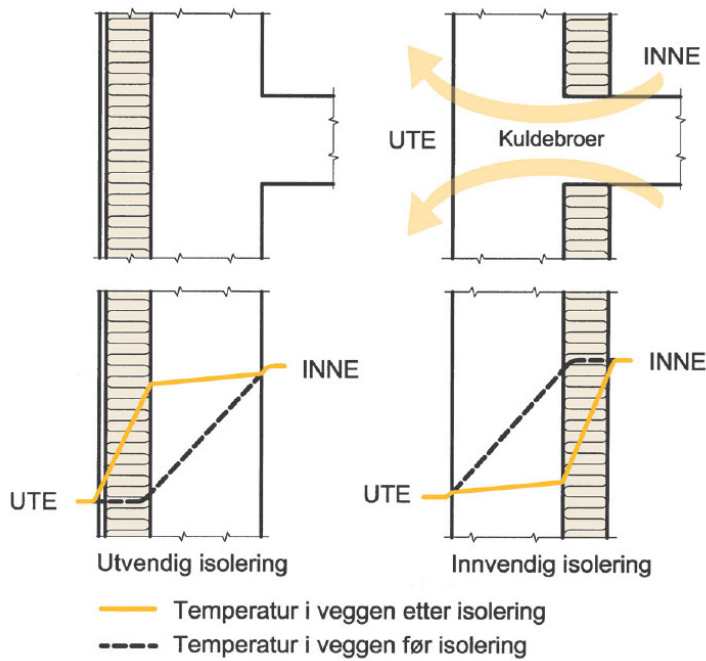
Etterhvert kom lettbetong som isolasjonsmateriale og ble dominerende i 1950-årene. Med lettbetong ble det enkelt å isolere utvendig og slik fikk vi bedre resultat mot kuldebroer. Etter 2. verdenskrig ble lettbetong også brukt til etterisolering av murbygninger utvendig.

2.3 Etterisolering av murbygninger

Etterisolering av betong og murvegg blir tatt i bruk for å forbedre en konstruksjonsdel. Dette kan skyldes blant annet varmetap, støy, o.l. Følgende metoder blir brukt for etterisolering:

- Utvendigetterisolering
- Innvendigetterisolering

Figuren under forklarer temperaturforandring på konstruksjonen ved innvendig og utvendig isolering. Det gir oss et klart bilde om at utvendig isolering er mer praktisk og logisk.



Figur 9: Isolerings medoder

En stor forskjell mellom disse metodene er den store sannsynligheten for å tape bruksareal ved bruk av den tradisjonelle isoleringsmetode til innvendig etter isolering. Begge disse metodene følges av noen fordeler og ulemper som er listet i tabellene nedenfor:

Innvendigisolering	Utvendigisolering
Fordeler	
<ul style="list-style-type: none"> - Hvis det ikke er mulighet for utvendigetterisolering - Fylle mineralull, som lar seg gjøre på grunn av innvendig utlekting og plater. 	<ul style="list-style-type: none"> - Unngår kuldebroer ved etasjekillere - Unngår tilstøtende innervegger - Enklere å renovere fasader - Ikke tap av innvendig bruksareal
Ulemper	
<ul style="list-style-type: none"> - Tap av bruksareal - Kuldebro problemer som fører til varmetap, og ubehagelig temperatur langs gulvet ved yttervegg. - Kondens og støvansamling - Opprinnelige veggen får lavere minimumstemperatur med dårligere uttørkingmuligheter 	<ul style="list-style-type: none"> - Arkitektoniske forhold, fasadeutforming - Omliggende bygningsmiljø - Ombygging av overgang tak/vegg - Utflytting av vinduer for å unngå kuldebro

<ul style="list-style-type: none"> - Teglsteinens frostbestandighet må først undersøkes ved etterisolering av teglvegg. - Luftlekkasjer ved ikke god nok klemming av dampsperra. - Fare for kondensering mot mur/betongvegg 	
--	--

Figur 10: fordeler og ulemper ved invendig og utvendig isolasjon

2.4 Byggteknisk Forskrift –TEK 10

TEK 10 ble første gang publisert den 26. mars 2010 av kommunal- og regionaldepartementet. Den har siden blitt oppdatert kontinuerlig. Siste endring ble fastsatt den 01.01.2012 i kapittel 8, 12, 13 og 16.

Kapittel 14 i TEK10 er et aktuelt tema for denne oppgaven siden den fastsetter energikrav i byggverk. Formålet med disse kravene er at konstruksjonen skal være prosjektert slik at det blir miljøriktig energiforsynt. I Norsk standard NS-3031 er framgangen for beregningen dokumentert.

Kravene i TEK10 kan oppnås enten ved å tilfredsstillere nivåene vist i Tabell 5: Energiltak , Tabell 6: Energiltak , Tabell 7: Energiltak ventilasjon (Ref: tallhentet fra kap. §14.3 [5]) eller ved av å tilfredsstillere det totale energikravet som er vist i Tabell 9: Energirammer (Ref: hentet fra kap. §14-4 [5]).

Tabell 5: Energiltak

Beskrivelse	Verdier	Enhet
Andel vindus- og dørareal	≤ 20	%
U-verdi yttervegg	$\leq 0,18$	W/(m ² K)
U-verdi tak	$\leq 0,13$	W/(m ² K)
U-verdi gulv	$\leq 0,15$	W/(m ² K)
U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme	$\leq 1,2$	W/(m ² K)

(Ref: tallhentet fra kap. §14.3 [5])

Energikvaliteter som bygningen må ha er illustrert i Tabell 5: Energiltak . Tak er det bygningselementet som strengeste krav u-verdi. Gulvet følger like etter med litt høyere u-verdi som skylder utelukkelsen av kulda gjennom jordsmonnet.

Tabell 6: Energiltak

Beskrivelse		Verdier	Enhet
Normalisert kuldebroverdi	Småhus	$\leq 0,03$	W/(mK)
	Øvrige bygninger	$\leq 0,06$	W/(mK)
Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell	Boligbygg	$\leq 2,5$	luftveksling per time
	Øvrige bygninger	$\leq 1,5$	luftveksling per time

(Ref: tallhentet fra kap. §14.3 [5])

Tabell 7: Energiltak ventilasjon (Ref: tallhentet fra kap. §14.3 [5])

Beskrivelse		Verdier	Enhet
Års gjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	Boligbygg	≥ 70	%
	Øvrige bygninger	≥ 80	%
SFP	Boligbygg	$\leq 2,5$	kW/(m ³ /s)
	Øvrige bygninger	$\leq 2,0$	kW/(m ³ /s)
Mulighet for natt- og helgesenking av innetemperatur			
Tiltak som eliminerer bygningens behov for lokal kjøling.			

Tabell 8: Energiltak kan fravikes (Ref: kap. §14-3 [5])

Hvis varmetapet ikke øker kan energiltaket fravikes for boligbygg som er vist i Tabell 5: Energiltak

Tabell 6: Energiltak . Mens øvrige bygg til retter seg kun til Tabell 5: Energiltak .

Tabell 9: Energirammer (Ref: hentet fra kap. §14-4 [5])

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

- Hvis varmegjenvinning av ventilasjonsluft risikerer å spre forurensning/smitte, skal man benytte kravene som er nevnt i parenteser i **Feil! Fant ikke referansekilden..**
- Bygninger med flere funksjoner skal deles opp i soner forhold til bygningskategori og hver sone skal oppfylle energirammene vist i **Feil! Fant ikke referansekilden..**

Tabell 10: Minstekrav (Ref: hentet fra kap. §14-5 [5])

U-verdi yttervegg (W/m ² K)	U-verdi tak (W/m ² K)	U- verdi gulv på grunn og mot det fri (W/m ² K)	U-verdi vindu og dør, inkludert karm/ramme (W/m ² K)	Lekasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling pr time)
≤0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,6	≤ 3,0

Minstekrav vist i **Feil! Fant ikke referanseilden.** skal oppfylles, uansett om energiltakene i **Feil! Fant ikke referanseilden., Feil! Fant ikke referanseilden.** og **Feil! Fant ikke referanseilden.** eller energiramme i Tabell 9: Energirammer (*Ref: hentet fra kap. §14-4 [5]*) er oppfylt eller ikke. Det er ikke brukt laftede yttervegger i dette prosjektet derfor tas §14-6 ikke med i den oppgaven.

1. Energiforsyning

Den 3. del av kapittel 14 fastsetter krav om hvilken type energiforsyning er ikke tillat å installere.

- Oljekjel for fossil brensel er ikke tillat å installere som grunnlast.

Tabell 11: Krav til energiforsyning (*Ref: § 14-7 [5]*)

Bygning (m ² oppvarmet BRA)	Andel netto varmebehov dekkes med annen energiforsyning enn direkte EL eller fossile brensel. (%)
≤ 500	≥ 60
≥ 500	≥ 40

- Karvet i Tabell 11: Krav til energiforsyning (*Ref: § 14-7 [5]*) «gjeller ikke dersom det dokumenteres at naturforhold gjør det praktisk umulig å tilfredsstille kravet.» (*kilde: §14-7 [5]*)
- Karvet til energiforsyning gjeller ikke dersom netto oppvarmingsbehov for boligbygging er «mindre enn 15 000 KWh/år eller kravet fører til merkostnader over boligbyggnings livsløp». (*kilde: §14-7 [5]*)

2.5 Varmetransport

Varmetransport gjennom en konstruksjon eller konstruksjonsdel oppstår på grunn av temperaturforskjell, det blir transport av varme i retning hvor det er lav temperatur.

Varmetransport oppstår hovedsakelig av tre grunner

1. Ledning

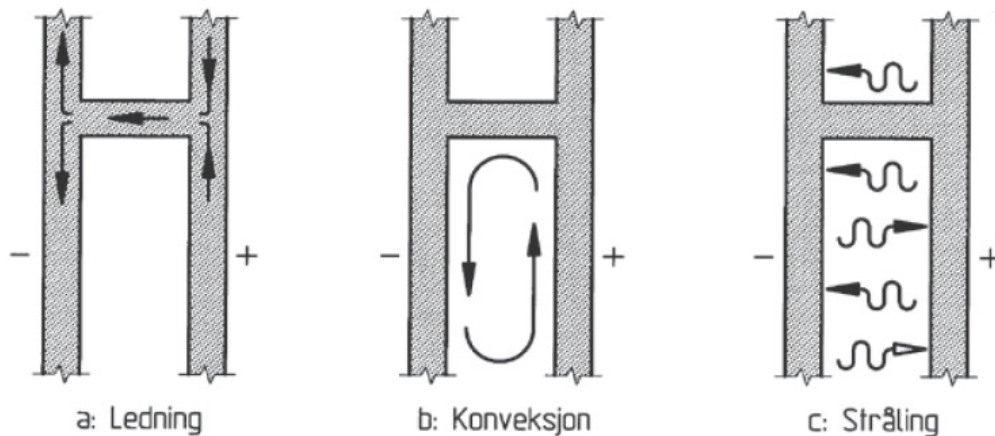
Varmeledningsevne til materiale (λ : varmekonduktivitet) Se Figur 11: Varmetransport (BF 471.008 pkt. 2a

2. Konveksjon

Strømmer som transporterer varme (energi). F.eks. hulrom i en konstruksjonsdel som har to flater med ulik temperatur. En oppvarmet luft har mindre tetthet en kalt luft. I hulrommet vil luft stige opp fra varm flate og vil sinke ned fra den kalde flate som gjør at det blir konveksjon. Se Figur 11: Varmetransport (BF 471.008 pkt. 2.

3. Stråling

Varmetransport gjennom termiskstråling. Alle overflater avgir og mottar slik stråling fra hverandre. Neon materialer overflate har høy strålings (emisjons)/absorbsjons egenskaper men noen har lav emisjons/absorbsjons egenskaper. Materialoverflater som har høy emisjon, har tilsvarende god absorbsjons egenskaper også. Se Figur 11: Varmetransport (BF 471.008 pkt. 2c



Figur 11: Varmetransport (BF 471.008 pkt. 2)

2.6 Varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi)

«Begrepet U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisient, er et standardisert mål på hvor lett en bygningskomponent slipper gjennom varme. U-verdien angir hvor mye varme pr. tidsenhet, målt i watt (W), som kan strømme gjennom et areal på 1 m² ved en konstant temperaturskjell på 1 K (1 Kelvin = 1 °C) mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen.» [6, pkt.02]
«U-verdien for en konstruksjon kan enten måles eller beregnes etter NS-EN ISO 6946.» [6]

U-verdien kan beregnes ut fra:

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

For å beregne total varmemotstand til en sammensatt konstruksjon. Det er viktig å vite varmetransport gjennom hvert enkelt sjikt konstruksjon består av.

$$R_T = R + R_{si} + R_{se} \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

For homogen materialsjikt er

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

Konstruksjoner med flere homogene materialsjikt

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (\text{m}^2\text{K/W})$$

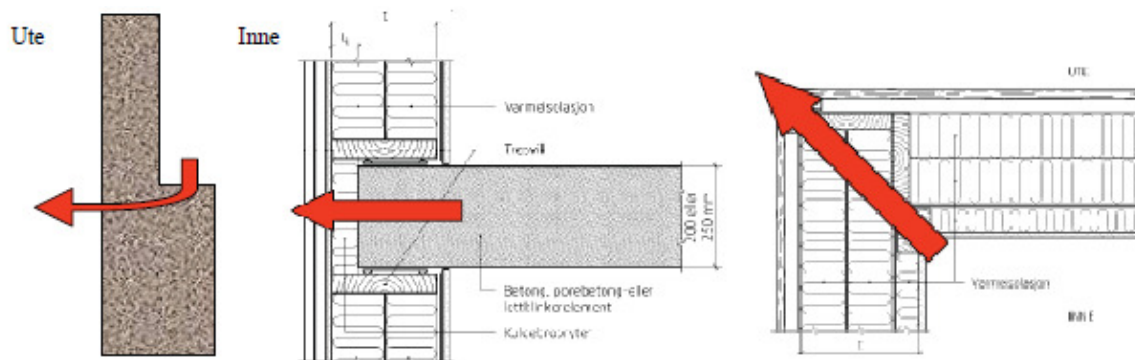
Hvis det ikke er oppgitt noe bestemt informasjon om randbetingelsene, kan man bruke tabell 24 i BF 471.008 for å bestemme varmeovergangsmotstand (R_{si} , R_{se}). For å bestemme varmemotstand til uventilert luftsjikt kan man bruke tabell 252 i BF 471.008 og for delvisventilert luftsjikt kan man halvere verdiene som er oppgitt i tabell 252 i BF 471.008.

2.7 Kuldebroer

Sintef definerer en kuldebro som:

"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 varmekonduktivitet
- En endring av konstruksjonens tykkelse
- En forskjell mellom innvendig og utvendig areal, som ved overganger mellom vegg/gulv/tak "[7]



Figur 12: (kuldebroer sintef [7])

Kuldebroer har flere uønskede konsekvenser som økt varmetap, temperaturspenninger og lave overflatetemperaturer, som igjen fører til overflatekondens, sverting og redusert komfort. TEK 2007 satte føringen for enda strengere krav til kuldebroer med mål om å reduserte energibruket i norske bygg.

Kuldebroverdien, også kjent som varmegjennomgangskoeffisienten, er et tall som viser hvor stort varmetap konstruksjonen medfører. Kuldebroverdien har symbolet Ψ . Kuldebroverdien angir varmetapet per lengdeenhet av kuldebroer, og per grad temperaturforskjell, noe som gir enheten W/mK .

Såkalte lineære kuldebroer, dvs. hjørner, søyler, festemiddel samt andre kuldebroer med tre dimensjoner angis ofte med enheten W/K og symbolet X .

TEK 10 angir at kuldebroer som forekommer som en konsekvens av konstruksjon skal legges til veggens U-verdi. Med dette menes det at kuldebroer i stendere skal tas med. TEK 10 sier også at varmetapet som kommer gjennom andre kuldebroer knyttet til vinduer, etasjeskiller etc. Skal vurderes opp mot kravet om normalisert kuldebro verdi.

Formelen for NKV er:

$$NKV = \frac{\sum_i \Psi_i \cdot l_i + \sum_i X_i}{A_{BRA}}$$

Kuldebroverdien kan dokumenteres på 3 måter:

1. Tabeller

Sintef har flere detaljer med tilhørende kuldebroverdier. Disse kan brukes hvis man har like detaljer på konstruksjon. Disse verdiene kommer ofte med en usikkerhetsprosent.

2. Grovestimater/normalverdier

Her er det mulig å bruke normalverdier for lineær varmegjennomgangskoeffisient, som man finner i standarden NS-EN 14683. Merk at disse verdiene ikke alltid er veldig relevant for norske forhold, men fungerer mer som et utgangspunkt.

3. Manuell beregning

Mer om denne typen beregning finner man i Sintef Byggforskdetaljblad 471.016 "Kuldebroer – Metoder for å bestemme kuldebroverdi".

Numerisk beregning av kuldebroverdier

Standarden NS-EN ISO10211 omhandler beregningsmetoder som bør benyttes når man skal beregne kuldebroverdien. Samtidig som man benytter denne standarden bør man ha klart hvordan U-verdiene og transmisjonstapet for bygningen skal beregnes før man beregner kuldebroverdien.

Her i Norge benyttes NS 3031 «varmetap fra bygninger». Varmetransportkoeffisienten, H_D , kan bla. Regnes ut på følgende måte:

$$H_D = \sum_i U_i \cdot A_i + \sum_j \Psi_j \cdot l_j + \sum_k X_k \quad [\text{WK}].$$

2.8 NS3031

NS3031 Står for beregninger av bygningers energiytelse. Den blir mye brukt for å kunne kontrollere om en konstruksjon oppfyller eksisterende energikrav. Disse energikravene er gitt i *forskrift om krav til byggverk* (TEK). Beregningene fører til resultater i form av primær energibehov, totalt energibehov og behov for levert energi som vil da være med å bestemme tiltak og energimerket for bygget.[8]

NS 3031 er derfor tilrettelagt for brukere som bygningsingeniør, arkitekter, VVS-ingeniører o.l.

NS3031 handler om følgende tre beregningsalternativer:

- Månedsbegning (NS-EN ISO 13790); er den stasjonære metoden som brukes for å gi rask overslag av byggets energiytelse. Månedsberegning er en detaljert beskrevet metode egnet for bygg som småhus, boligblokk, skolebygg o.l.
- Forenklet timeberegning (NS-EN ISO13790): er en dynamisk metode som går ut på å finne time for time energibehov.
- Detaljerte beregningsprogrammer (NS-EN 15265): er også en dynamisk metode som går ut på å bruke detaljerte beregningsprogrammer.

2.9 Termografering

Dette fenomenet blir mye brukt for forbedring av eksisterende konstruksjoner.

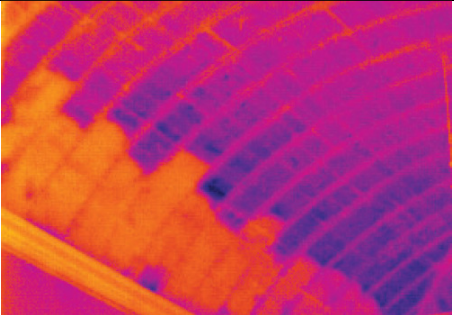
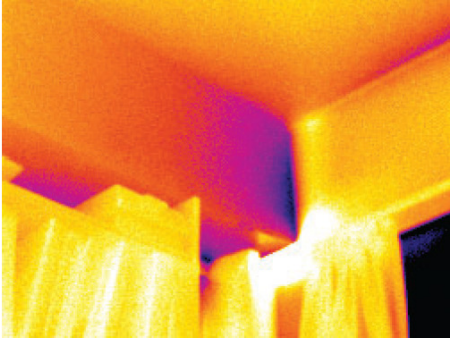
Termografering foregår ved hjelp av varmekamera som ifølge Byggforsk 720.305 viser forskjeller i bygningskonstruksjonen. Den hjelper oss med å lokalisere luftlekkasjer og dokumentere varmeisoleringssevne. I denne oppgaven (casen) kan dette egne seg men videre kontroll er nødvendig siden termografering ikke avgir nøyaktig:

- Størrelse på luftlekkasjen
- U-verdier
- Beskrivelse av varmeisoleringssevne.

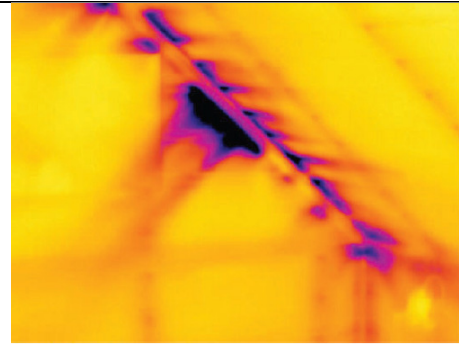
Konstruksjonenes energimessige tilstand kan dermed avklares men ikke konkluderes.

Termografering kan også brukes til studiet av installasjoner i bygninger som varmekabler, rør, kjøletak o.l. For denne oppgaven er de viktigste observasjonene og deres avklaring listet nedenfor:

Tabell 12: observasjonene til termograferinger

Kommentar	Termografering
Hvis en konstruksjon hadde feil montert isolasjon eller manglet noe isolasjon ville det illustreres som mørke og avgrensede partier. Figur 1 er en illustrasjon av det i form av termogram. Resultatet kan tolkes som redusert iolseringsevne eller liten isolasjonstykkelse.	 <p data-bbox="927 1451 1318 1480">Figur 13: Feil plassert isolasjon (kilde: [9])</p>
Kuldebro forekommer de stedene der isolasjonen er lite i forhold til resten av konstruksjonen. Her oppstår det sterk varmestrøm og større varmetap. Kuldebro kan også forekomme i godt isolerte konstruksjoner ved bruk av materialer med høy varmekonduktivitet (eks: tegl, metall og betong). Figur 14 viser en termogram av kuldebro i betongbjelke som utgår i yttervegg.	 <p data-bbox="927 1872 1203 1901">Figur 14: kuldebro (kilde: [9])</p>

Luftlekkasjer er noe som kommer veldig godt synlig i termograferinger. Til dette er det viktig at bygningen har tilstrekkelig innvendig undertrykk slik at overflaten lokalt blir kjølt ned av uteluft. Denne nedkjølingen vil nå bli registrert av varmekameraet og illustreres som mørke flammer (se Figur 15).



Figur 15: Luft lekkasje (kilde:[9])

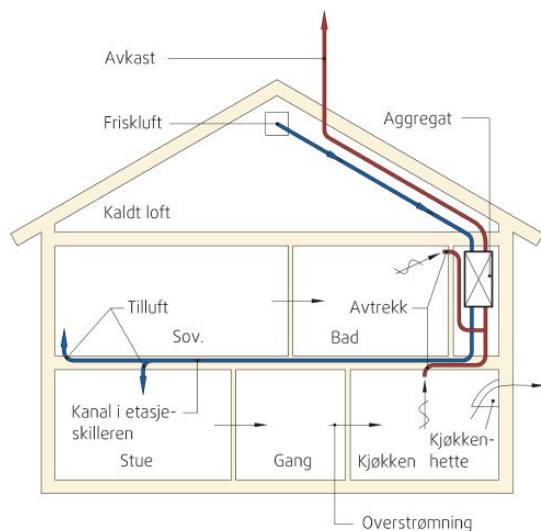
2.10 Aeroplater

Aero plater et relativt nytt produkt og er fortsatt ukjent for mange. Den brukes til innvendig etterisolering siden den har et lambda-verdi på 0,019 som er dobbelt så bra som andre enkelte isoleringsprodukter. Disse platene finnes i 30 og 50 millimeters tykkelse og er veldig enkel å montere på grunn av sin meget slanke design.[10]

Den er laget av Aero gel som er nanopartikler av silisiumdioksid, blandet med vann og etanoler til et gele, som senere blir tørket til en hard konsistens. Platene kan både limes med flise lim eller skrues på som gipsplater. Som en del andre etterisoleringsprodukter må også disse platene beskyttes. Yttervegg må kunne tåle slagregn og utelate fukt for å unngå frostspenninger.

2.11 Balansert ventilasjon

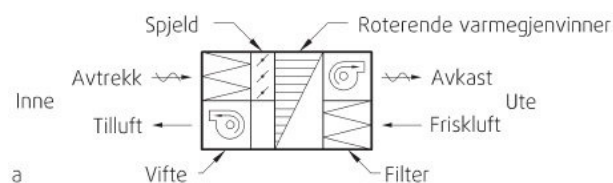
Er et varmegjenvinnende ventilasjonssystem som i dag har blitt krav i følge TEK10. Formålet med dette kravet er å kunne gjenvinne 70-80 av energiforbruket. Hovedprinsippet for dette typet ventilasjon er mekanisk innblåsing av frisk luft og mekanisk avtrekk fra alle rommene. Det første systemet har tilkobling til rommene i form av avtrekk mens den andre har en funksjon som innblåsing. Ved installasjon av et slikt system lønner det seg å ta hensyn til høyt tak med tykk etasjeskiller (plassering av kanalene), og plass for ventilasjon aggregat. Ved ikke riktig installasjon eller andre feil vil det dukke opp plager som støy, lydoverføring, avkjølt tilluft i vinteren, overoppheting om sommeren o.l. Nedenfor kan vi se illustrasjon av bygg installert med balansert ventilasjon:



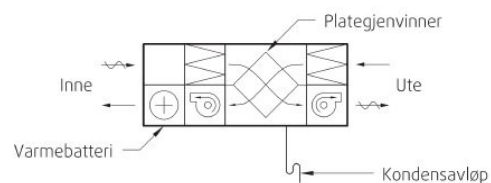
Figur 16: Installert balansert ventilasjonssystem i et bygg (kilde BF 552.303)

Varmegjenvinner har stor oppgave om å forminske energiforbruket og tillegg varme opp tilluft om vinteren. Prosessen her er veldig enkel som går ut på at den varmede inneluften på veien ut skal varme opp et varm gjenvinnende metall som da varmer videre frisk luft inn til bygget. Ved valg av varmegjenvinner kan man velge mellom to hovedtyper:

- Regenerative gjenvinner: roterende eller kammer gjenvinner
- Rekuperative gjenvinner: plategjenvinner



Figur 17: Roterende varmegjenvinner (kilde BF 552.303)



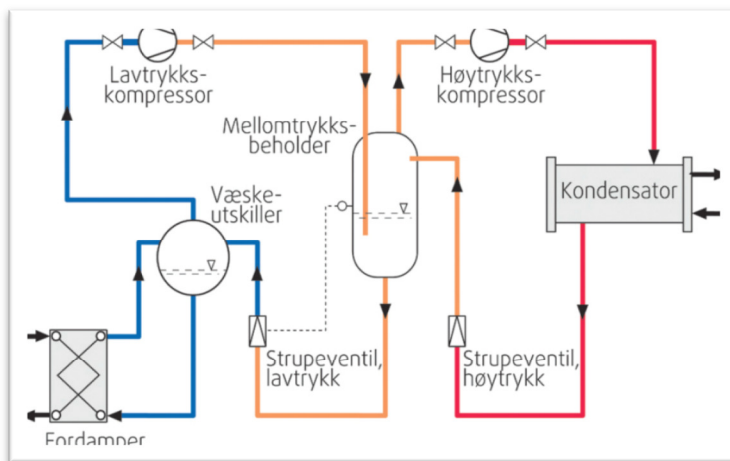
Figur 18: Plategjenvinner (kilde BF 552.303)

2.12 Energiforsyning

2.12.1 Varmepumpe

Varmepumpe har begynt å bli en aktiv elektronisk varmekilde i dagens byggevirkosomhet. Den transporterer moderat varme fra en tilgjengelig varmekilde som uteluft, fjell, jord o.l. Den blir mye brukt for oppvarming av bruksareal (BRA) i tillegg til andre bruksområder som vann. Kan også benyttes som en nedkjøler om sommeren.

Ved bruk av varmpumpe reduseres oppvarmingsenergien behov 50-80 prosent i forhold til andre oppvarmingsmetoder tilsvarende gass, olje og elektrisitet.

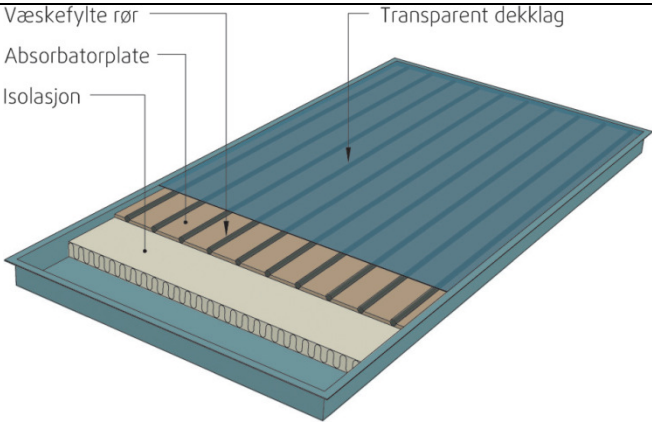
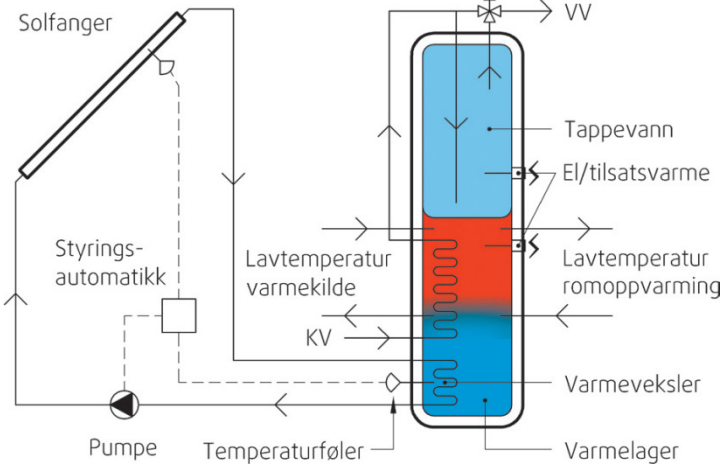


Figur 19: Oppbygning til varmepumpe (kilde: [11])

Figuren viser oss oppbygningen til en varmepumpe som har fire hovedkomponenter i form av Kompressor, kondensator, fordampner og strupeventil. [11]

2.12.2 Solfangere

Solenergien er kanskje en av de mest miljøvennlige energikildene vi har. Solfangere er det elementet som hjelper oss med å fange denne solstrålingen som vi videre bruker til varmeformål. Solfangere kan bidra med å blant annet romoppvarming eller varme tappevannet. Dette elementet er meget egnet for bygg med konstant behov for vann i lav temperatur. Solfangere finnes i ulike utforminger hvor de mest vanlige er væskebaserte og plane (se figuren).

 <p>Væskefylte rør Absorbatorplate Isolasjon Transparent dekklag</p> <p>Figur 20: Prinsipiell oppbygning av en plan solfangermodul (kilde: [12])</p>	<p>Her ser vi de transparente dekklagene som skjuler isolasjonen, absorbatorplate og væske fylte rør under seg [12]</p>
 <p>Solfanger Varmelager Varmeveksler Lavtemperatur romoppvarming Lavtemperatur varmekilde Teppevann El/tilsatsvarme KV Varmeveksler Varmelager Pumpe Styringsautomatikk Temperaturføler VV</p> <p>Figur 21: oppbygningen til en solfanger (kilde: [12])</p>	<p>Solfanger er konstruert med følgende hovedkomponenter:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solfanger - Varmelager - Solfangerkrets mellom solfanger og varmelager - Automatisk styringssystem - Eventuelt dreneringskar <p>Bedre illustrert i figuren.</p>

3 Verktøy og metode

For å kunne besvare problemstillingen på en best mulig måte er hjelpeverktøy som Reevit, Simien, Therm, Wufi og Excel tatt i bruk.

3.1.1 Revit

Skjeberg folkehøyskole har blitt tegnet i et BIM program (revit). Hensikten med BIM-verktøy er å kunne legge grunnlag for data. Revit gir mulig het til å eksportere volumdata av forskjellige soner som videre kan importeres til SIMIEM for å beregne energibruk.

3.1.2 Simien

SIMIEN er et beregningsprogram som utfører dynamiske simuleringer av tilstanden i bygninger, simulering av inneklime og energibruk. Beregningsprogrammet er spesielt egnet til simulering av enkle bygninger med tradisjonelle tekniske anlegg. SIMIEN er et hjelpemiddel for evaluering mot byggeforskrifter, energimerking, beregning av energibehov, validering av inneklime og dimensjonering av oppvarmingsanlegg, ventilasjonsanlegg og romkjøling. Programmet er bygget opp rundt NS 3031: 2007 (Beregninger av bygningers energiytelse Metode og data)

Verktøyet utfører følgende beregninger:

- Årlig netto energibehov (energibudsjett)
- Levert energi (brutto energibruk) fordelt på energikilder.
- Varmetransportkoeffisient for bygningskroppen (spesifikt varmetap)
- Sammenligning mot forskriftskrav i TEK10 (U-verdi, tetthet og energiramme)
- Energimerkeattest (klassifisering av bygningens energibruk)

Programmet tar ikke hånd om komplekse geometrier eller avanserte energi- og innemiljøtiltak som aktiv solvarme, dagslystilpasning og naturlig.

3.1.3 Therm

Therm er et todimensjonalt (2D) "finite element"-program (FEM-program) for beregning og simulering av varmeoverføring i bygningskonstruksjoner. I tillegg til varmeoverføring håndterer også programmet gjennomgang av strålingsvarme, basert på synsfaktorer. Therm inkluderer også overgang konveksjonsvarmen i hullrom. Det ble benyttet Therm 5.2 i den oppgave.

3.2 Befaringer

Det har vært fire befaringer på Skjeberg folkehøyskole. Ved den

1. Befaringen som skjedde den 04.11.2011 var veileder Thomas Tis tilstede. På denne befaringen observerte vi følgende
 - Oppbygging av konstruksjons
 - Oppvarmings system
 - Ventilasjon system
2. Befaring var den 10.01.2012. Intervjuet en ansatt hos Skjeberg folkehøyskole. Hvor det ble spurt om driftstider, data om strømforbruket fra siste 3 år og gamle tegninger fra Skjeberg folkehøyskole.
3. Befaring skjedde den 25.01.2012. Skjeberg folkehøyskole ble termografert utvendig for å lokalisere kuldebroer.
4. Befaring var den 21.02.2012. Denne befaringen ble tatt på grunn av misforståelse om oppbygging av vegg- og takkonstruksjon på gymsalbygg. For å undersøke konstruksjon ble det brukt varmekamera for å lokalisere søyler i veggene osv.

3.3 Tiltak

3.3.1 Termografering

I denne oppgaven har blitt brukt varmekamera for å lokalisere kuldebroer og luftlekkasjer i konstruksjonen. Bygget ble hovedsakelig termografert bare utvendig. Innvendig termografering ble ignorert siden konstruksjonenes funksjon som skole var igangsatt. Det var i tillegg ikke lett fremkommelighet i hver enkelt rom.

3.3.2 Beregning av U-verdier/kuldebroer

Det har blitt beregnet U-verdier for tak, vegger, gulv mot grunn og kjellervegg mot grunn i henhold til BF 471.008 og BF 471.009. Siden vinduene alltid er oppgitt med U-verdi derfor behøver man ikke å beregne på disse.

Kuldebroer ble simulert i Therm og har blitt beregnet i henhold til BF 471.015 og Bf 471.016.

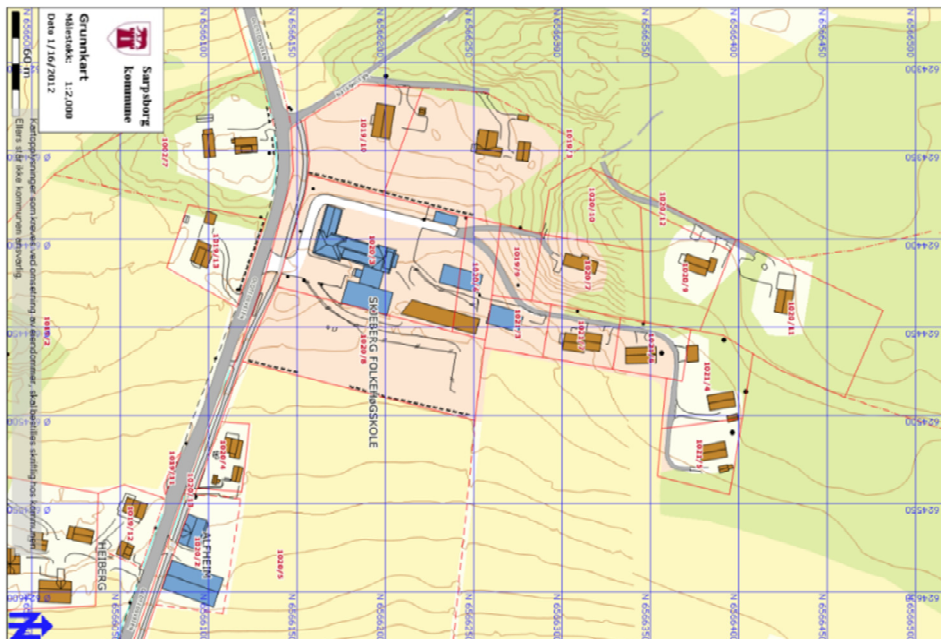
3.3.3 Bygningsfysikk og energi simulering

Det ble brukt Simien til å simulere energiforbruket og varmetapet til den eksisterende Skjeberg folkehøyskole. Videre er det brukt Therm til å simulere kuldebroer og Wufi til å simulere fukt transport. Hensikten med disse simuleringene er å få nok informasjon for å energieffektivisere Skjeberg folkehøyskole. Ut i fra denne informasjonen er det valgt å simulere fire tiltakspakker. To av disse innebærer bygningsmessige tiltak og resiterende to er tillegg komponert med balansert ventilasjon og energi forsyning. Disse tiltakene er bedre forklart i kapittel 5.

I disse simuleringene bruker vi data Rygge som utgangspunkt i SIMIEN siden Skjeberg ikke er dokumentert. I følge yr.no er gjennomsnitt temperatur i Rygge noe kaldere enn Skjeberg. Derfor kan energiforbruket til folkehøyskole være noe høyere i simuleringen.

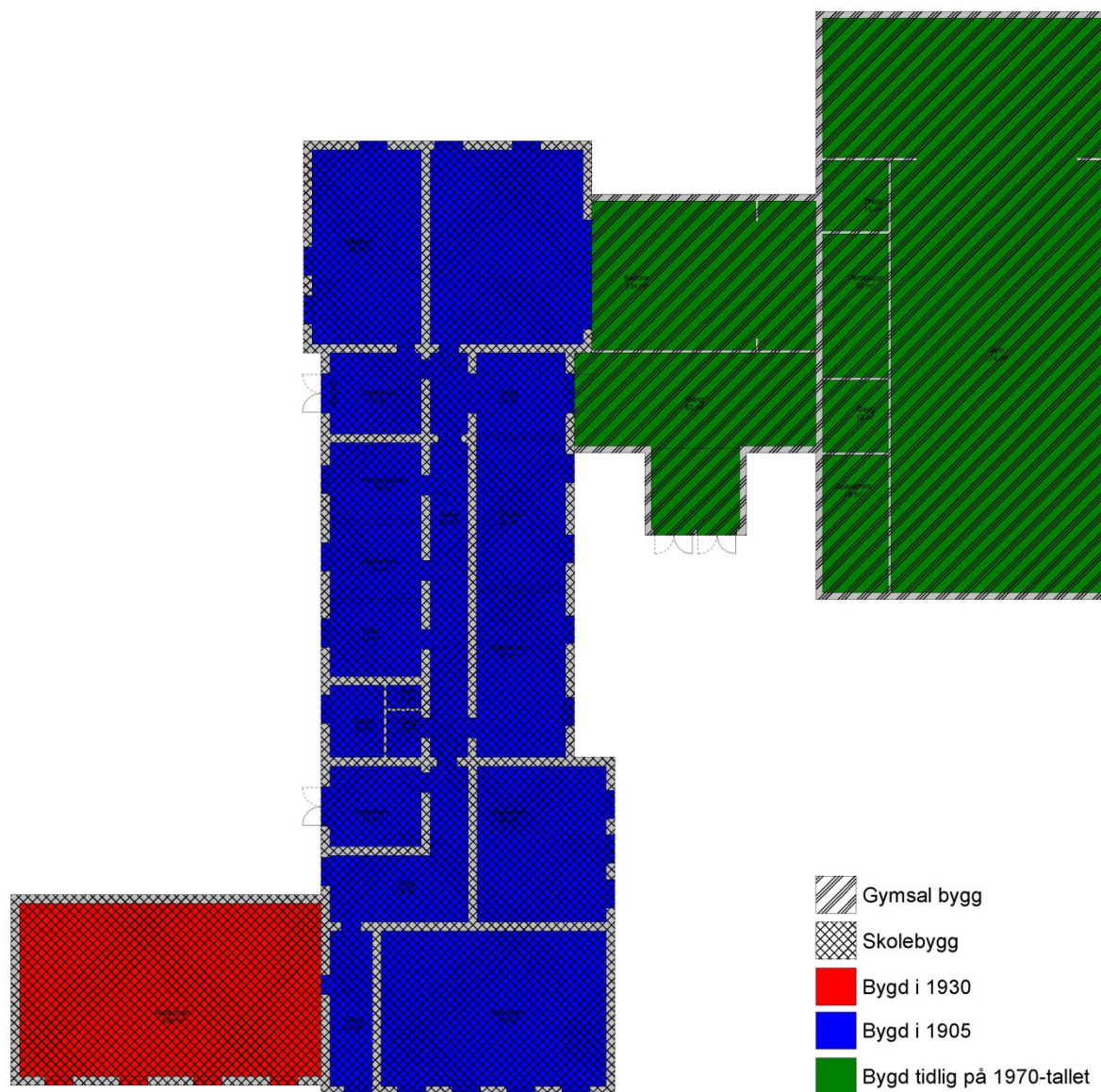
4 Konstruksjon

Skjeberg folkehøyskole ligger i Skjeberg i Sarpsborg kommune.



Figur 22: Situasjons kart (kilde: Sarpsborg kommune)

Skjeberg folkehøyskole Består av 4 separate bygg. Hvor 3 av dem er internater og en hovedbygg. Bygningene er bygd fra starten av 1900 til 2008. I den oppgaven fokuserer vi kun på hovedbygg.



Figur 23: Oppdeling av hovedbygget

Skolebygg ble bygd i 1905, hvor fløy på vest (auditorium) ble bygd i 1930 og gymsal bygg på starten av 1970-tallet. Siden da har det ikke vært noe renovasjon på hovedbygget.

Hovedbygg består av fire etasjer.

Plan 1. Hovedsakelig består av klasserom, auditorium, kantine og gymsal.

Plan 2. Etasje meste parten består av hybler pluss klasserom, bibliotek og lager.

Plan 3. Etasje består av kontorer.

Plan U. Består hovedsakelig av lager, vaskerom, og noen klasserom.

Tabell 13: Areal

Beskrivelse	BRA (m ²)	BRT (m ²)
Plan 1	1027	1177
Plan 2	544	706
Plan 3 / loft	310	655
Plan U	950	1177
Totalt	2831	3715

Tabell 14: Strøm forbruk fra siste 3 år (Kilde: Leila ansatt Skjeberg)

År	forbruk Strøm (KWh)	Spesifikk energibruk (KWh/m ²)
2009	961516	279
2010	787713	228
2011	819292	237
Gjennomsnitt	856174	248

Skjeberg folkehøyskole har hatt flere tilbygg gjennom tiden, derfor er det ikke lett å finne ut om hva som er i konstruksjon og hvordan konstruksjon er bygd opp. Det er tegninger fra 1930, 1965 og målinger fra befaring som ble brukt som grunnlag for å bestemme om hvordan konstruksjon er.

Oppvarmingssystem og ventilasjon:

Alle bygninger varmes med felles sentralvarme med olje eller El-kjeller. Varme sentralen er plassert i kjeller til hovedbygningen. Det er radiatorer i alle rom boersett fra gymsalen. Gymsal har luftbasert oppvarming gjennom ventilasjon. Denne ventilasjon har gått ut av drift i følge en ansatte som har jobbet på Skjeberg folkehøyskole.



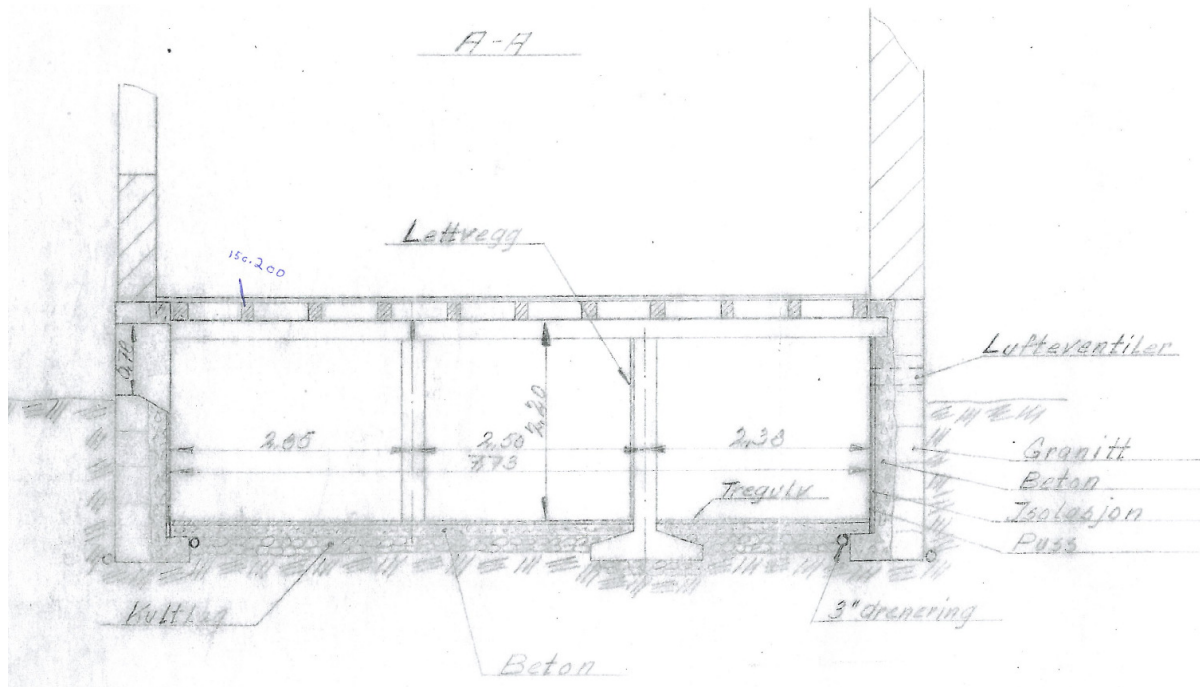
Figur 24: Bile av ventilasjon i gymsalen som ikke fungerer



Figur 25: avtreks ventiler utmot kaldtloft

Resten av bygget har en naturlig ventilasjon mens enkelte soner i hovedbygget har avtrekksventilasjon for eksempel kjøkken, lab osv. Ingen av disse ventilasjonene har varmegjenvinnere.

4.1 Skolebygg



Figur 26: Snitt gjennom auditorium fra rundt 1930-tallet (ref. kopiert fra Skjeberg folkehøyskole)

Kjeller konstruksjon for hovedbygning er valgt ut ifra detaljtegning som er vist i Figur 26: Snitt gjennom auditorium fra rundt 1930-tallet (ref. kopiert fra Skjeberg folkehøyskole). Det er et snitt gjennom tilbygg (rødt) som ble bygd rundt 1930. Men det er ikke sikkert at kjellerkonstruksjon i den gamle delen (vist i blå i Figur 23: Oppdeling av hovedbygget) er også det samme. Siden det ikke ble funnet tegninger fra den gamle delen. Derfor har jeg valgt å ha samme type konstruksjon for hele hovedbygget.

Grunn og fundament

Grunnmur i betong med granitt på utsiden og isolert innvendig.

Forskrifter av 1928 fastsatte krav på 30 mm isolasjonstykkelse. På den tiden var det vanlig å bruke ekspandertkork plater som isolasjonsmateriale (ref. pkt. 312 [4]).

Gulv mot grunn i betong og tregulv på innersikt.

Yttervegger

Yttervegger i 1 ½ teglstein. Det kan enten være en massivmur eller bergensk hulmur. Siden det er puss på utsiden av veggen, er det ikke mulig å se hva slags forband konstruksjon består av. Eksempel på massivmur og bergenskhulmur er vist i Figur 1: Massiv teglvegg (Kilde. BF 723.308) og Figur 3: Bergenshulmur (kilde. BF 723.308).

Etter 1890 årene ble bruk av massiv veldig lite. Siden hulmurvegger var material besparende, har bedre isolerings evne og bedre uttørkings muligheter forhold til massivvegger.

Vegene på plan 4 er i trekonstruksjon med stående kledning på utsiden. Jeg antar at disse veggene er isolert.

Takkonstruksjoner

Tak konstruksjon i tre med ca. 45 °C helning. Det er kaldloft over auditorium og resten av bygget har kontorer i loft med ark på nord og østsiden. Disse kontorene finnes ikke på kommunens tegninger. Jeg antar at disse arkene ble bygd tidlig i 1970-tallet samtidig da gymsalen ble bygd fordi vinduer på nordvegg er fra samme års tall da gymsal ble bygd. Det gir grunnen til at taket til hovedbygget ble isolert da.

Etasjeskiller

I trebjelkelag med gulv overflate og himling i treet. Himling i auditorium mot kaldt loft et isolert vist i Figur 27. Tykkelsen på isolasjon ble ikke målt men ut i fra tegning i Figur 26: Snitt gjennom auditorium fra rundt 1930-tallet (ref. kopiert fra Skjeberg folkehøyskole) ser vi at hulrom i etasjeskiller er på ca. 200mm, derfor antar jeg himling i auditorium er isolert med 200mm mineralull.



Figur 27: Bilde tatt fra kaldloft over audetorium (ref: fotografert av Waqas Afzal)

Vinduer og dører

Alle vinduer er i to-lags gass. De fleste av dem er fra 1970-tallet og det er noen vinduer på øst og sør fasade som har blitt installert i de siste 5 årene.

De fleste dører er i glass med treet karmen fra 1970. En dør på sør fasade er fra de siste fem årene.

Skader på bygget

Det er flere synlig skader på bygget som er vist i figurer nedenfor.



Figur 28: Sprekker i veggen på grunn av frostskaeder



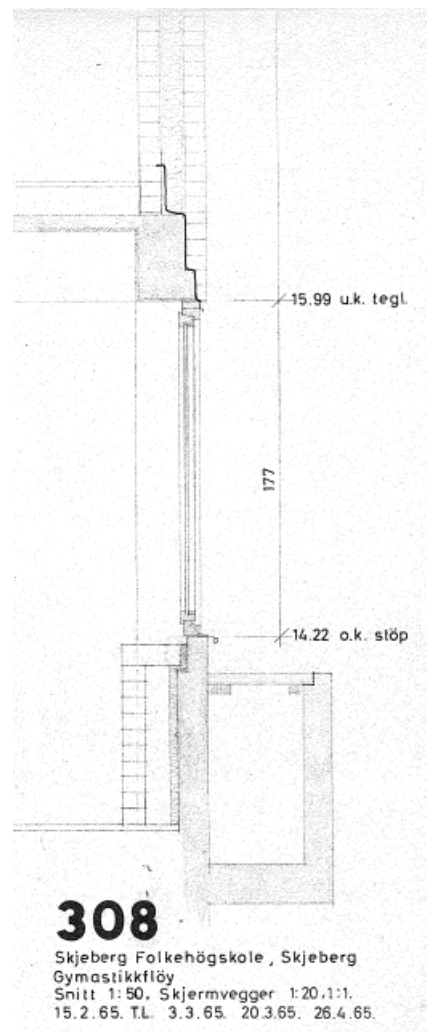
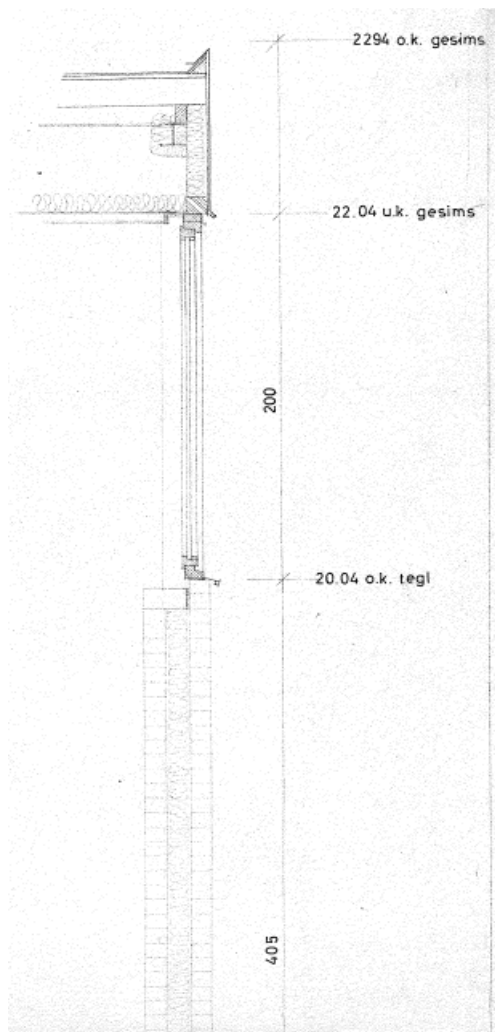
Figur 29: Av skalling på grunn av frostskaadet

Tabell 15: Omkrets

Beskrivelse		Omkrets (m)
Plan 1	Innvendig	142
	Utvendig	145
Plan U	Innvendig	138
	Utvendig	145
Vindu		39

4.2 Gymsal bygg

Konstruksjon til gymsal er valgt på grunnlag av snitt tegning som ligger i Figur 30: Snitt gjennom øst vegg i gymsal (Kilde: Sarpsborg kommune). Det er snitt gjennom øst vegg til gymsalen.



Figur 30: Snitt gjennom øst vegg i gymsal (Kilde: Sarpsborg kommune)

Grunn og fundament

Grunnmur i betong med innvendig isolasjon og ½ teglstein vegg på innsiden med luft sikt mellom tegl og isolasjon, vist i Figur 30: Snitt gjennom øst vegg i gymsal (Kilde: Sarpsborg kommune).

Siden det ikke ble funnet noe informasjon om, hvordan gulv mot grunn i gymsalen er bygd opp. Er det vagt å ha samme type gulv i kjeller som skolebygg, i betong med treet gulv på innersikt.

Yttervegger

Ytter vegger i engelskhulmur med stål forbinder (skalmur). Veggens består av teglstein på begesider og isolasjon mellom disse. Totalt bredde på veggens er på 300 mm. Eksempel på engelskhulmur er vist i Figur 5: Skallmur med bindere av stål (kilde. BF 723.308).

Takkonstruksjoner

Flat tak med delvis kaldloft på ca. 600 mm og isolasjon på ca. 200 mm vist i Figur 30: Snitt gjennom øst vegg i gymsal (Kilde: Sarpsborg kommune).

Etasjeskiller

I betong med tregulv.

Vinduer og dører

Alle vinduer er i to-lags gass fra bygget året og mange av disse vinduene er punktert. Enova vise til at forskrifter fra 1960-70 fastsetter krav på U-verdi for vinduer skal vare mindre eller lik $2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

5 Data til Simien

Tabell 16: Tiltakspakke 1

Beskrivelse		Verdi		Kommentar
Yttervegg	Gymsal	0,18	Tabell V 42: U-verdi gymsalbygg teglvegg + Aerorook	Innvendigisolasjon med 50 mm Aerorook
	Skolebygg Fasade mot veien Ander fasader	1,55 0,13	Tabell 34: U-verdi for massivmur med 10mm puss på inn- og utsiden av veggen (skolebygningen)	Velger å ikke tilleggs isolere fasade mot veien på grunn av arkitektoniske detaljer rundt vinduer. Andre fasader har ikke like mange detaljer derfor isolerer jeg disse med 250 mm flex system fra Rockwool.
Vinduer/dører		0,7		Supper isolerende vinduer med trelags glass.
Tak	Gymsal	0,09	Tabell V 44: U-verdi Gymsalbygg tak + innsprøytet isolasjon	Det er stort luftrom med 100mm isolasjon. Velger å blåse inn 300mm cellulosefiber. Siden det vill være den mest lønnsomme løsningen.
	Skolebygg Auditorium Resten av taket	0,09 0,17	Tabell V 50: Tak over auditorium + 200mm Isolasjon	Det er kaldt loft over auditorium som kan enkelt tilleggs isoleres. Velger å tillegg isolere med 200 mm. Resten av taket er kompakt tak og antar at den er isolert med 200mm isolasjon. Enkelte steder er det vanskelig å tilleggs isolere på grunn av takhøyden. Derfor velger å ikke tilleggs isolere.
Kjeller vegg	Gymsal	0,29	Tabell V 46: U-	Innvendigisolert med 50 mm

	Skolebygg	0,28	verdi kjellervegg og gulv i gymsalbygg + Aerorook (vegg) og fleksiplate (gulv) Tabell V 51: U-verdi skolebygg Kjellervegg og gulv + Aerorook (vegg) og fleksiplate (gulv)	Aerorook plater.
Gulv		0,16	Tabell V 45: U-verdi gymsalbygg og skolebygg gulv + Fleksiplate	Isolert med 200 mm Fleksi plater fra Rockwool.
NKV		0,10	Tabell V 66: Kuldebroverdi tiltak 2	Har satt inn noen kulde brobryter

Tabell 17: Tiltakspakke 2

Beskrivelse		Verdi	Kommentar
Yttervegg	Gymsal	0,14	Utvendigisolasjon på 250 mm
	Skolebygg	0,13	Hele Bygget skal isoleres utvendig med 250 mm isolasjon
Vinduer/dører		0,7	Supper isolerende vinduer med trelags glass.
Tak	Gymsal	0,09	Samme som tiltaks pakke 1
	Skolebygg		Samme som tiltaks pakke 1
	Auditorium	0,09	
	Resten av taket	0,17	
Kjeller vegg	Gymsal	0,13	Isolerer utvendig med 250 mm EPS.
	Skolebygg	0,14	
Gulv		0,16	Isolert med 200 mm Fleksi plater fra Rockwool.
NKV		0,1	Ingen kuldebrobryter bare utvendig isolasjon

Tabell 18: Tiltakspakke 3

Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Tiltakspakke 1		
SFP (KW/m ³ /s)	2	Balansert ventilasjon system med varmegjenvinnere
Varmegjenvinner (%)	85	
Varmepumpe (%)		Energiforsyning
Romoppvarming	85	
Tappevann	50	
Varmebatterier ventilasjon	60	
Solfangere (%)		
Romoppvarming	15	
Tappevann	50	
Varmebatterier ventilasjon	40	

Tabell 19: Tiltakspakke 4


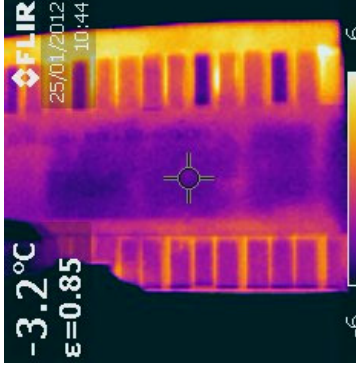

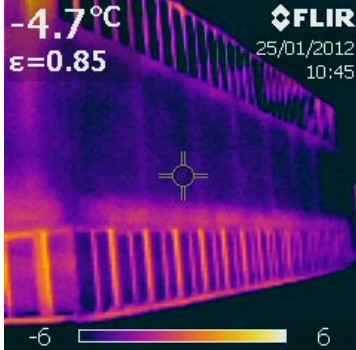

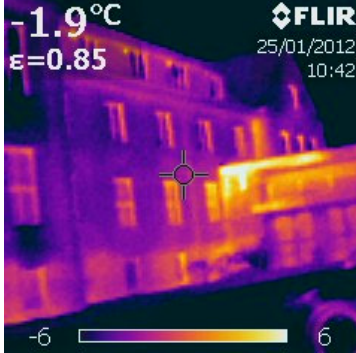
Beskrivelse	Verdi	Kommentar
Tiltakspakke 2		
SFP (KW/m ³ /s)	2	Balansert ventilasjon system med varmegjenvinnere
Varmegjenvinner (%)	85	
Varmepumpe (%)		Energiforsyning
Romoppvarming	85	
Tappevann	50	
Varmebatterier ventilasjon	60	
Solfangere (%)		
Romoppvarming	15	
Tappevann	50	
Varmebatterier ventilasjon	40	


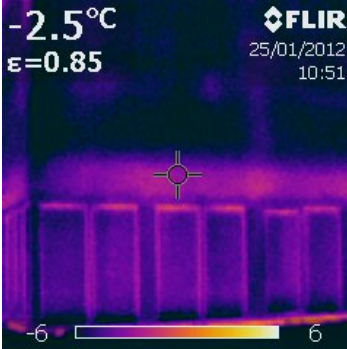

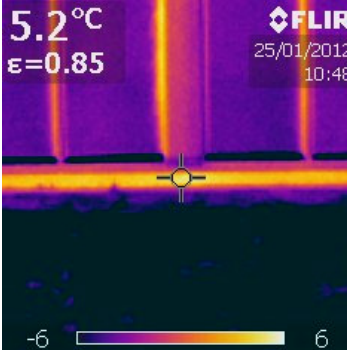

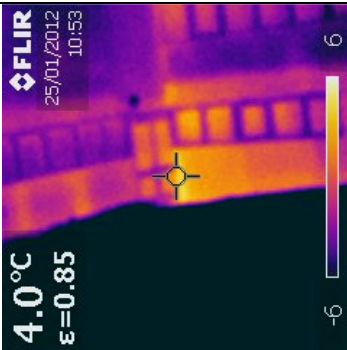
6 Resultater


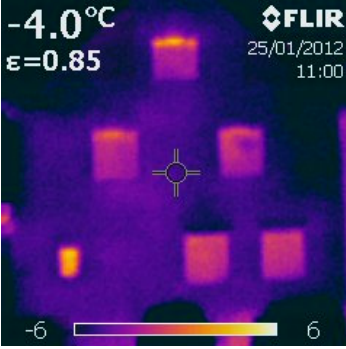

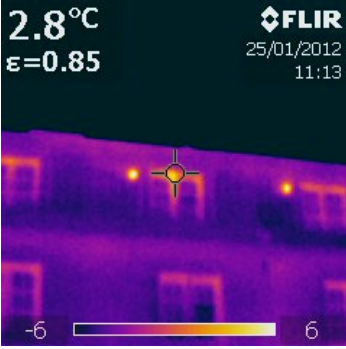

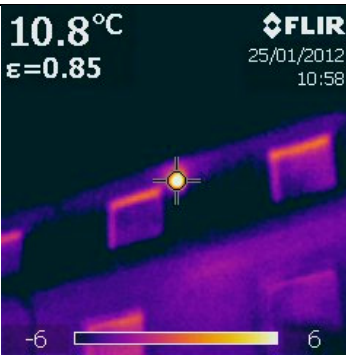
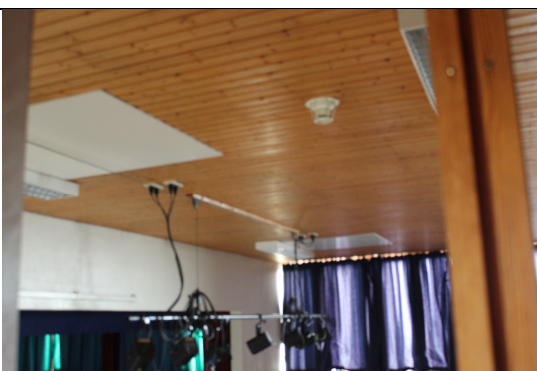
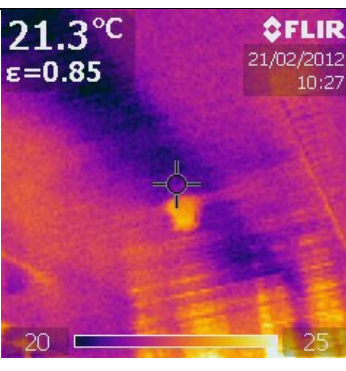
Dette kapittelet skal gi oversikt av resultater som er hentet fra simuleringer, termograferinger og beregninger. Programmene som ble brukt til disse resultatene er listet opp i teorien og beregningsdata er lagt inn om vedlegg.

6.1 Samlet resultat for Skjeberg folkehøyskole

6.1.1 Termografering

Fotografering	Termografering	Kommentar/bildetekst
		<p>Bilden indikerer mye varmetap på taket. Dette kan skyldes kobber som er installert på overflaten. Tillegg kan vi se varmetap fra vinduskarmene. Siden varmen alltid stiger opp kan dette i</p>
		<p>kombinasjon med kobber illustreres som mer varmetap fra taket. Begge disse bildene lokaliserer kuldebro gjennom søyler og dekke.</p>
		<p>Varmetapet i dette bildet kan ha samspill fra flere hjørner som er enklere å se i fotograferingen. Som nevnt tidligere kan også kobber bidra til varmetapet. Men vi må heller ikke se bort</p>

		<p>fra konstruksjonsfeil siden bygget er utbygget i etterkant.</p>
	 <p>-2.5°C ε=0.85 FLIR 25/01/2012 10:51</p>	<p>Lokalisert kuldebro gjennom etasjeskiller.</p>
	 <p>5.2°C ε=0.85 FLIR 25/01/2012 10:48</p>	<p>Lokalisert kuldebro under vinduene.</p>
	 <p>4.0°C ε=0.85 FLIR 25/01/2012 10:53</p>	<p>Nok en gang ser vi varmetap på grunn av hjørneeffekt.</p>

		<p>Ingen spesielle oppdagede kuldebro i den opprinnelige konstruksjonen siden veggene ikke er isolert og består av massiv tegl.</p>
		<p>Varmetapet gjennom luftventiler er vist på disse bildene. Bildet nedenfor kan også gi viss indikasjon på hvor stor varmetapet er gjennom ventilasjon.</p>
		
		<p>Varmetap gjennom takbjelke.</p>
<p>Kilde: Waqas Afzal</p>		

6.1.2 Beregnet U-verdier for eksisterende konstruksjon

U-verdier Skolebygg

Tabell 20: Beregnet U-verdi for skolebygg

Beskrivelse	U-verdi (W/m ² K)	Henvisning/kilde
Vegger	1,55	Tabell 34: U-verdi for massivmur med 10mm puss på inn- og utsiden av veggen (skolebygningen)
Tak	0,17	Tabell 37: U-verdi tak (skolebyg)
Gulv mot grunn	0,40	Tabell 36: U-verdi kjellervegg og gulv mot grunn
Kjeller vegg	0,98	Tabell 35: U-verdi kjeller vegg
Kjellervegg mot grunn	0,72	overtareng Tabell 36: U-verdi kjellervegg og gulv mot grunn
Vinduer / dører	2,50	BF 733162 Tabell 14

6.1.3 Varmetaps verdier for gymsalbygg

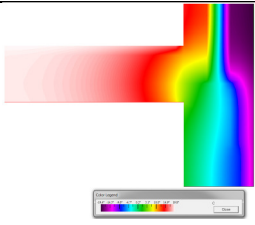
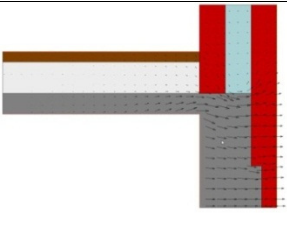
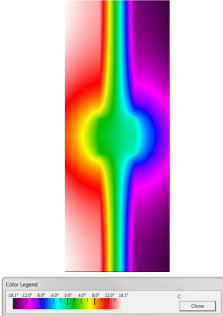
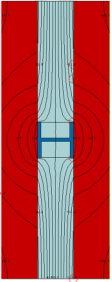
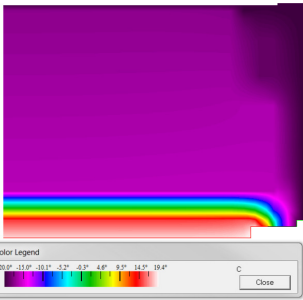
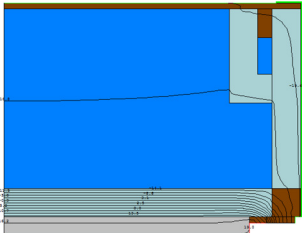
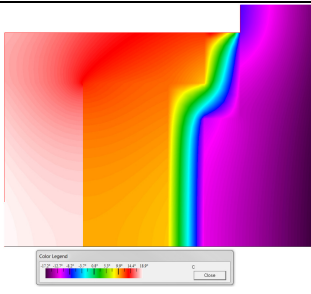
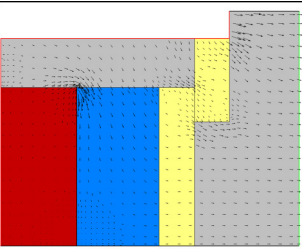
Tabell 21: varmetaps verdier for eksisterende gymsalbygg

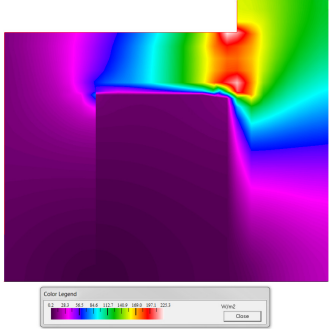
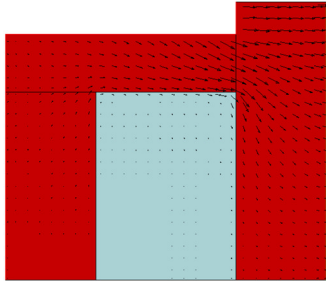
Beskrivelse	Verdi (W/m ² K)	Kilde
Vegger	0,33	Tabell V 38: U-verdi gymsalbygg teglvegg
Tak	0,18	Tabell V 41: U-verdi Gymsalbygg tak
Gulv mot grunn	0,44	Tabell V 40: U-verdi Gymsalbygg kjellervegg- og gulv mot grunn
Kjeller vegg	1,10	Tabell V 39: U-verdi gymsalbygg kjellervegg
Kjellervegg mot grunn	0,84	Tabell V 40: U-verdi Gymsalbygg kjellervegg- og gulv mot grunn
Vinduer / dører	2,40	BF 733.162. Tabell 14
NKV	0,28	Tabell V 65: Beregning av normalisert kuldebro-verdi

*v = Vedlegg

6.1.4 Kuldebro beregninger og Simuleringer Therm

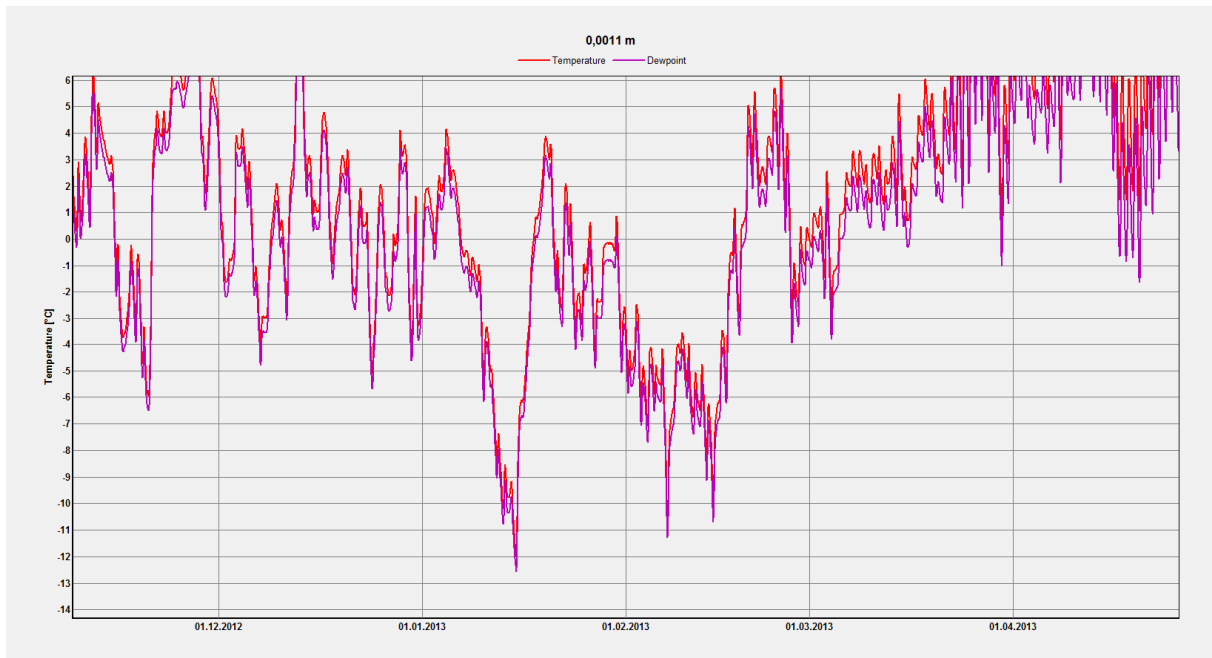
Tabell 22: Beregninger av kuldebro verdier

		Kuldebroverdi (W/mK)	Kilde
 <p>Figur 31: Etasjeskiller</p>		1,36	
 <p>Figur 32: Stål søyle I vegg</p>		0,36	
 <p>Figur 33tak: Gymsal</p>		0,056	
 <p>Figur 34: Vindu kjeller plan</p>		0,35	

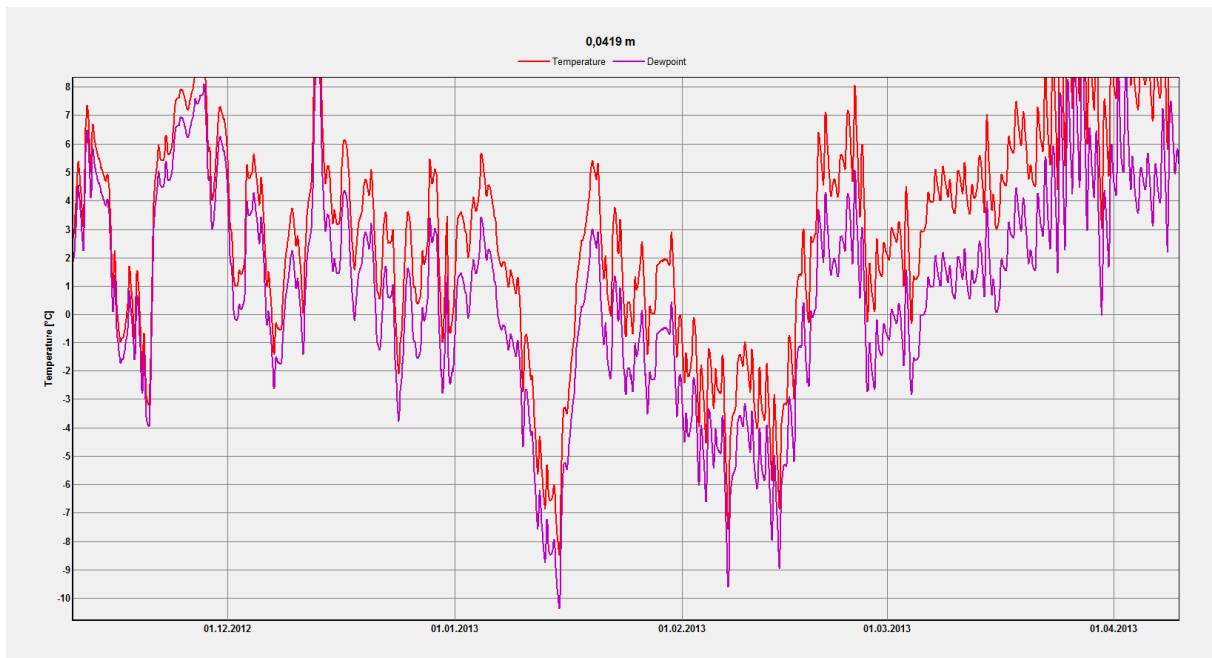
 <p>Figur 35: Vindu gymplan</p>	 <p>0,44</p>		
<p>Hjørne effekt</p>		<p>0,13</p>	
<p>Kilde: Therm Waqas Afzal</p>			

6.1.5 Resultat fra Wufi:

Grafene i figurene nedenfor har blitt hentet fra simuleringer i Wufi. Begge disse figurene illustrerer duggpunkt og temperaturforandring for en gitt periode.



Figur 36 : Resultat fra Wufi simulering (Gymsalbygningen)



Figur 37: Resultat fra Wufi simulering (Skolebygningen)

6.1.6 Resultater fra Simien

Tabellene nedenfor er hentet fra simuleringer kjørt i SIMIEN.

Tabell 23: Evaluering mot TEK10

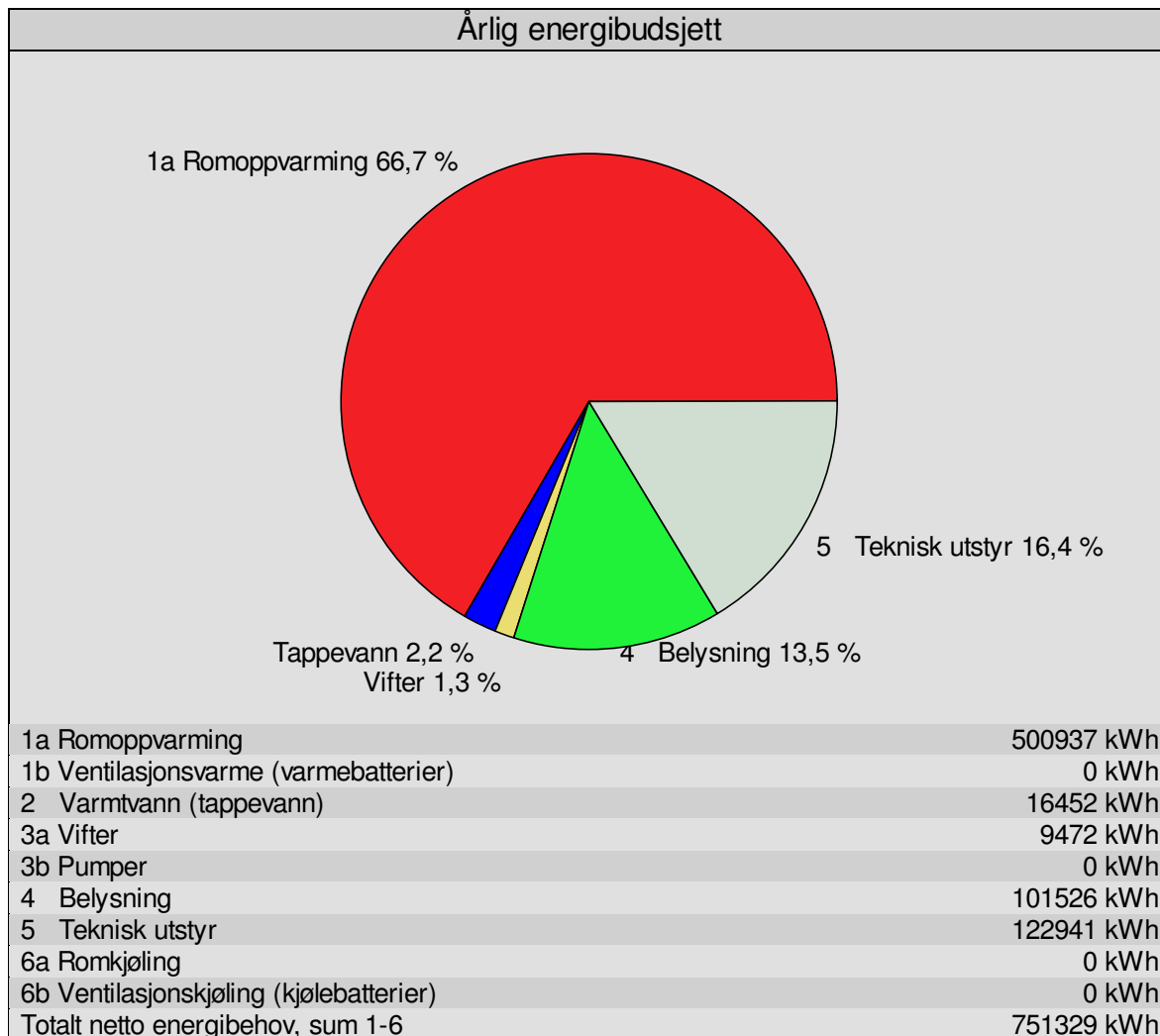
Beskrivelse	Verdi (Simien)	Krav (TEK10)	Kommentar
Totalt energibehov (kWh/m ²)	271	160	Ikke tilfredsstillende kravet
Varmetapstall	1,27	0,49	
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,98	0,18	
U-verdi tak (W/m ² K)	0,23	0,13	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,42	0,18	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	2,15	1,20	
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,13	0,06	
Varmegjenvinner ventilasjon (%)	0	80	
Varmebehov dekket av annet enn direkte EL eller fossile brensler (%)	0	60	
Andel glass (%)	17,1	20	Tilfredsstilt
SFP	0,31	2	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.			

(Kilde: Simien Waqas Afzal)

Tabell 24: Evaluering mot minstekrav

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Minstekrav (TEK10)	Kommentar
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,98	0,22	Ikke tilfredsstillende
U-verdi tak (W/m ² K)	0,23	0,18	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,42	0,18	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	2,15	1,60	
Varmetapstall vinduer/dører	0,37	0,24	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.			

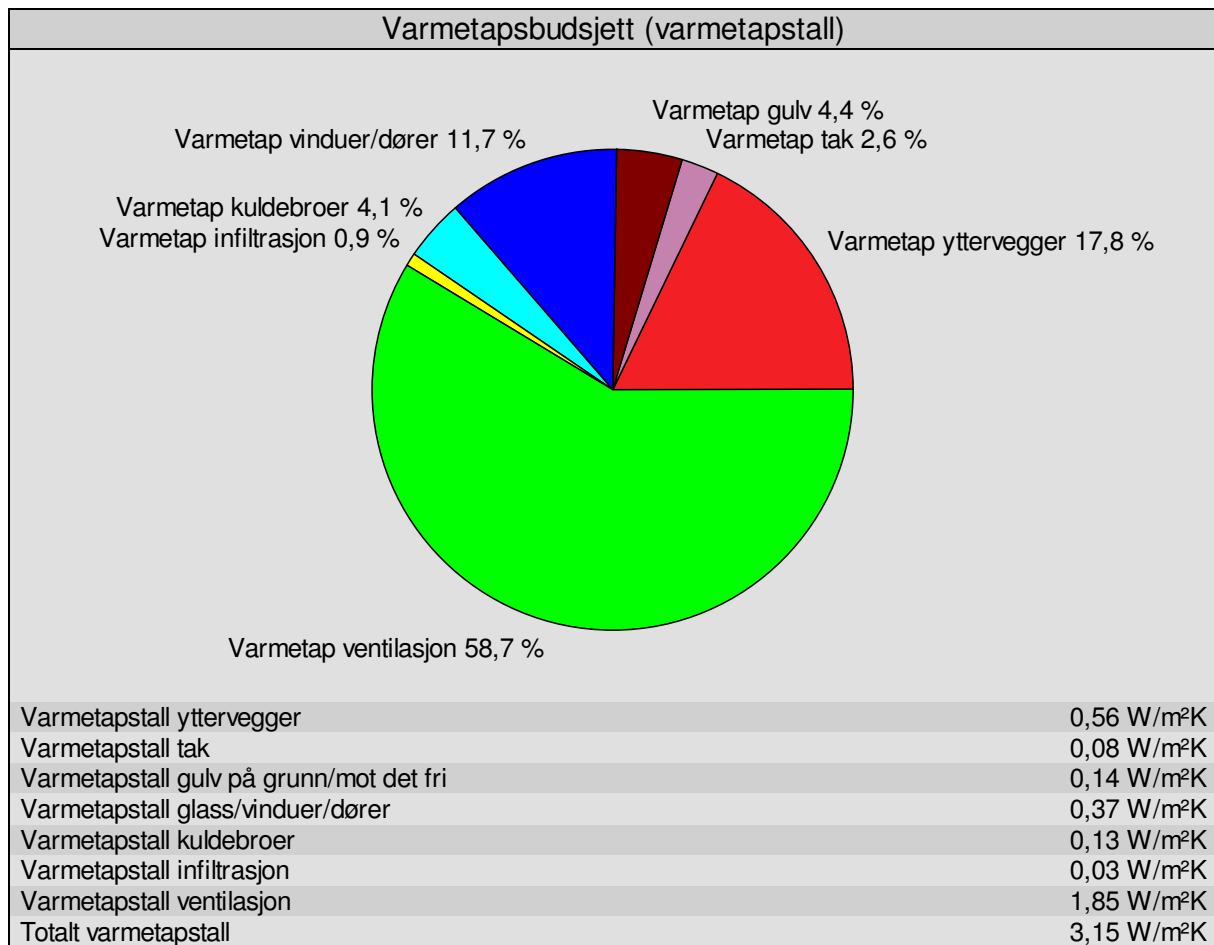
(Kilde: Simien Waqas Afzal)



Figur 38: Årlig energibudsjett for Skjeberg folkehøyskole (ref: Simien Waqas Afzal)

Ut ifra figur 38 ser vi at meste parten av energien blir brukt til oppvarming, hvor tekniskutstyr kommer på andre og belysning på tredje plass.

For å finne ut årsaken til det store energiforbruket til oppvarming henviser vi til varmetapsbudsjettet i figur 39.



Figur 39: Varmetapsbudsjett for Skjeberg folkehøyskole (ref: Simien Waqas Afzal)

6.2 Tiltakpakket 1

6.2.1 Resultater fra simien

Tabell 25: Evaluering mot TEK10

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Krav (TEK10)	Forbedret (%)	Kommentar
Totalt energibehov (kWh/m ²)	204	160	25	Ikke tilfredsstilt
Varmetapstall	0,46	0,49	63,8	Tilfredsstilt
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,26	0,18	73,5	Ikke tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,13	48	Tilfredsstilt
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,15	71,5	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,70	1,20	72	
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,10	0,06	23	Ikke tilfredsstilt
Varmegjenvinner ventilasjon (%)	0	80	0	
Varmebehov dekket av annet enn direkte EL eller fossile brensler (%)	0	60	0	
Andel glass (%)	17,1	20	0	Tilfredsstilt
SFP	0,31	2	0	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.				

Tabell 26: Evaluering mot minstekrav

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Minstekrav (TEK10)	Kommentar
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,26	0,22	Ikke tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,13	0,18	Tilfredsstilt
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,7	1,60	
Varmetapstall vinduer/dører	0,12	0,24	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.			

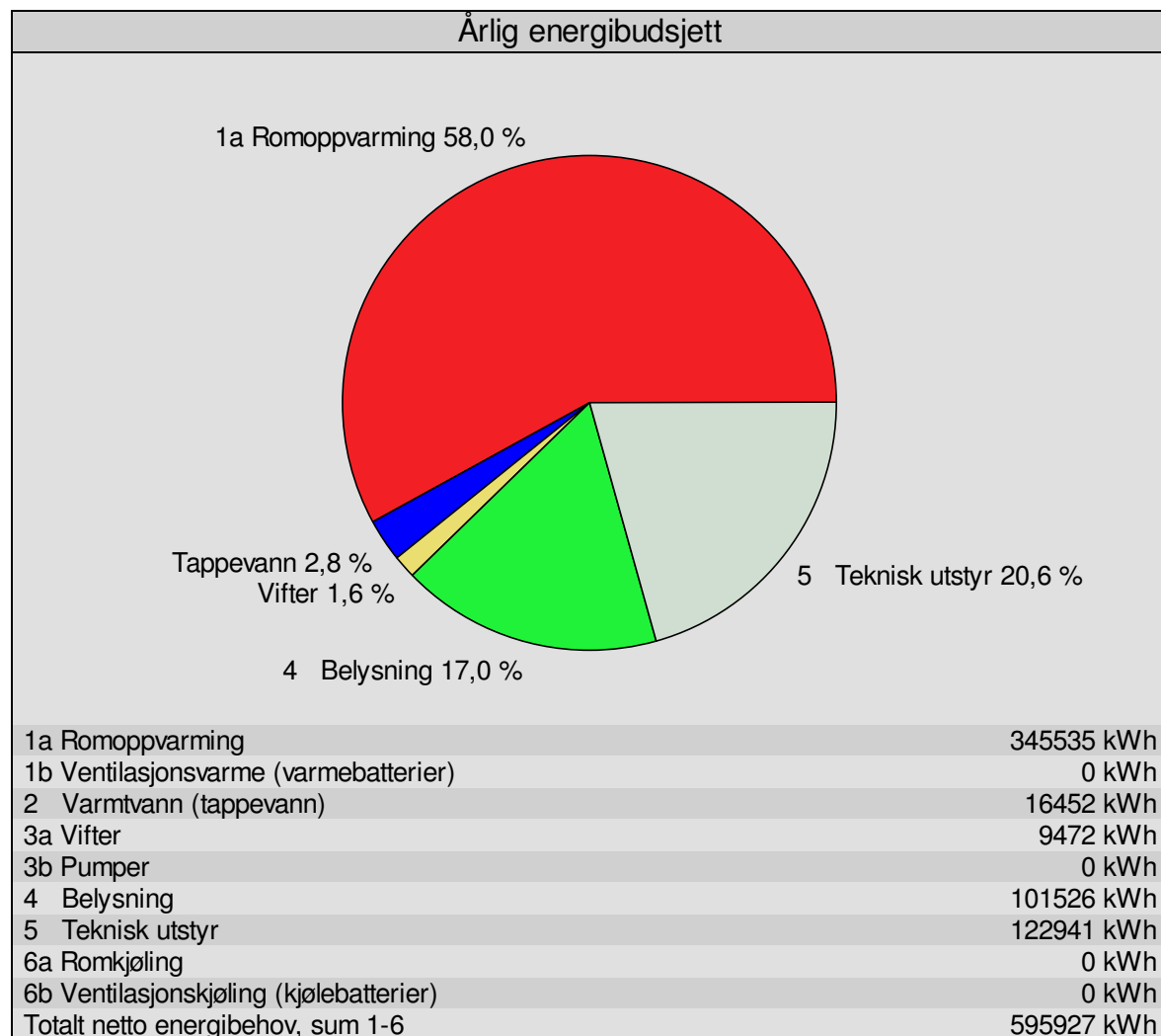
(Kilde: Simien Waqas Afzal)

Som nevnt før i dette tiltaket utelater vi isolering av skolebyggveggen mot veien.

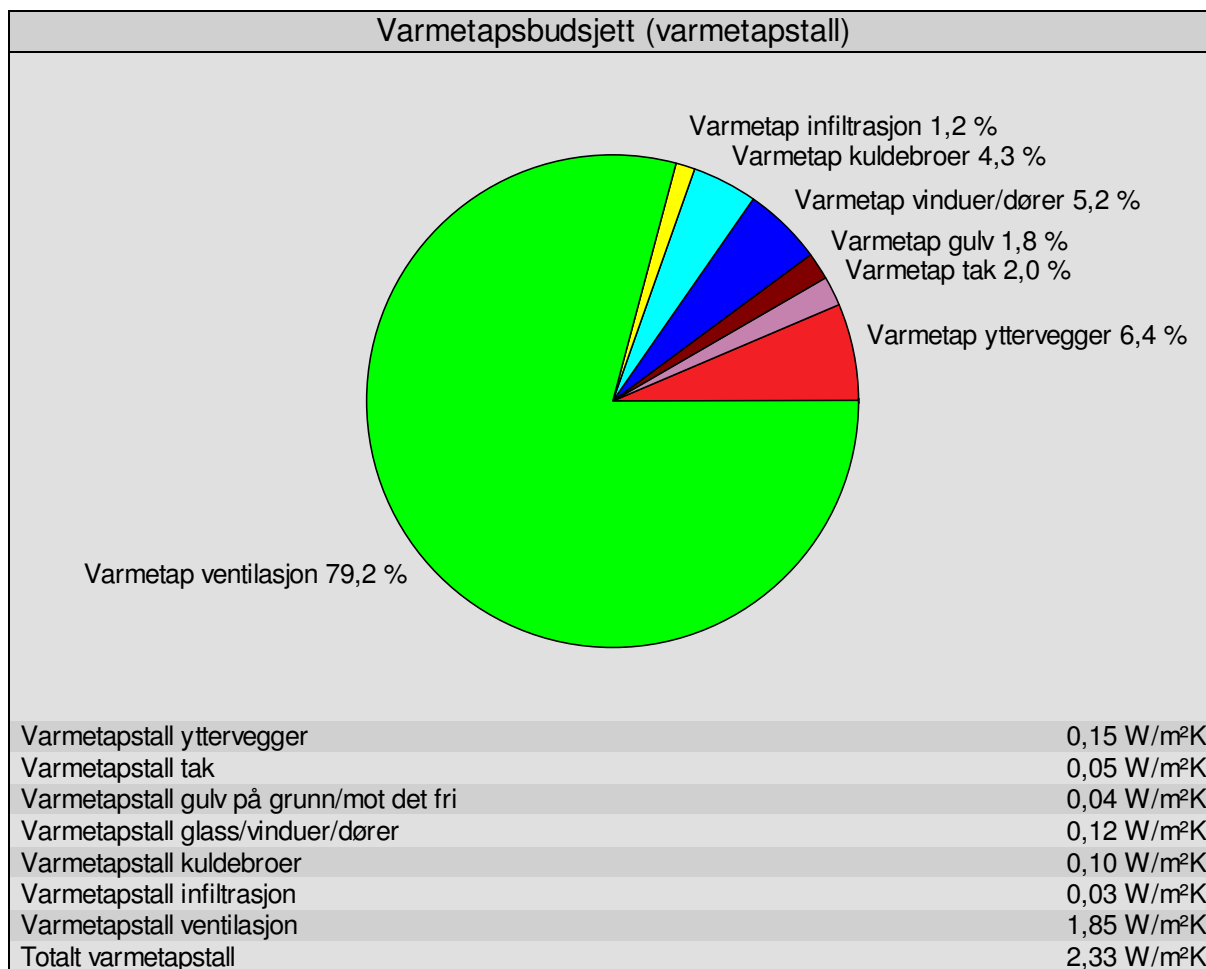
For å kunne se forskjellen er tiltakspakke 1 atter en gang simulert med isolering av skolebyggveggen mot veien. Begge tiltakene er identiske unntatt u-verdi vegg. Se tabellen nedenfor:

Tabell 27: tiltakspakke 1+ isolert skolebyggvegg mot veien(sør)

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Krav (TEK10)
Totalt energibehov (kWh/m ²)	197	160
Varmetapstall	0,41	0,49
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,19	0,18

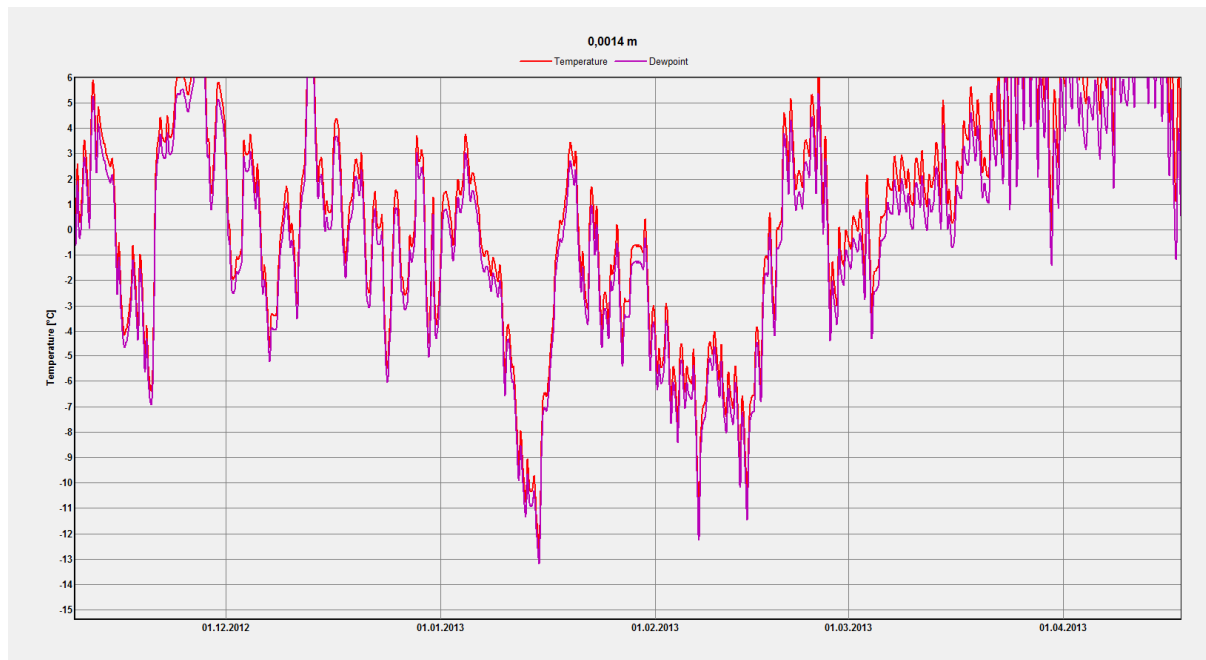


Figur 40: Års energi budsjett tiltakspakke 1



Figur 41: Varmetaps budsjett tiltaksplanke 1

6.2.2 Resultat Wufi



Figur 42: duggpunkt og temperatur forhold for gymsalbygningen etter tiltakspakke 1.

6.3 Tiltakpakke 2

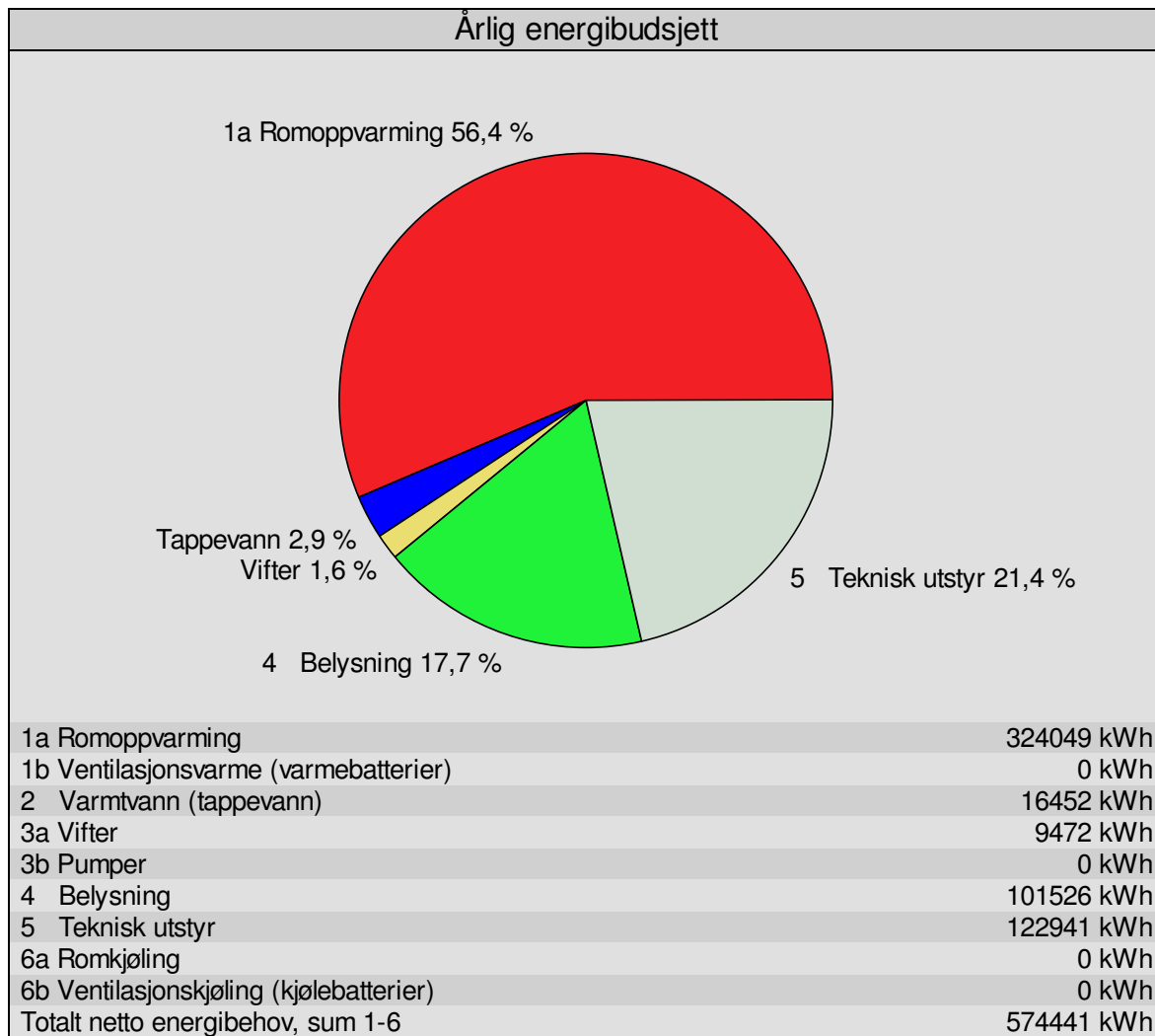
6.3.1 Resultater fra simien

Tabell 28: Evaluering mot TEK10 og eksisterende

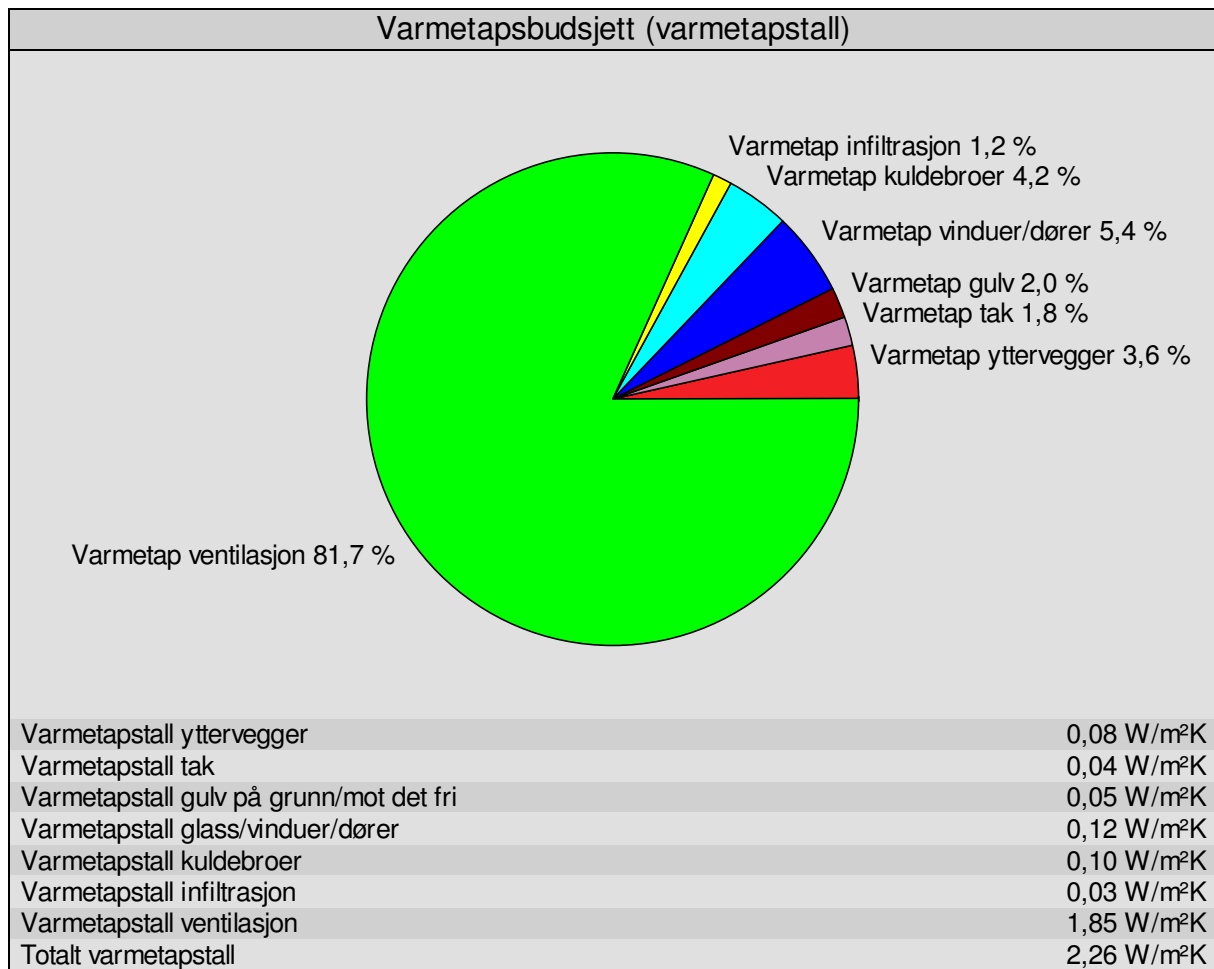
Beskrivelse	Verdi (Simien)	Krav (TEK10)	Forbedret (%)	Kommentar
Totalt energibehov (kWh/m ²)	194	160	28,4	Ikke tilfredsstilt
Varmetapstall	0,38	0,49	70	
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,14	0,18	85,7	Tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,13	48	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,15	71,4	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,70	1,20	67,4	
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,10	0,06	23	Ikke tilfredsstilt
Varmegjenvinner ventilasjon (%)	0	80	0	
Varmebehov dekket av annet enn direkte EL eller fossile brensler (%)	0	60	0	
Andel glass (%)	17,1	20	0	Tilfredsstilt
SFP	0,31	2	0	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.				

Tabell 29: Evaluering mot minstekrav (ref: Simien Waqas Afzal)

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Minstekrav (TEK10)	Kommentar
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,14	0,22	Tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,7	1,60	
Varmetapstall vinduer/dører	0,12	0,24	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.			

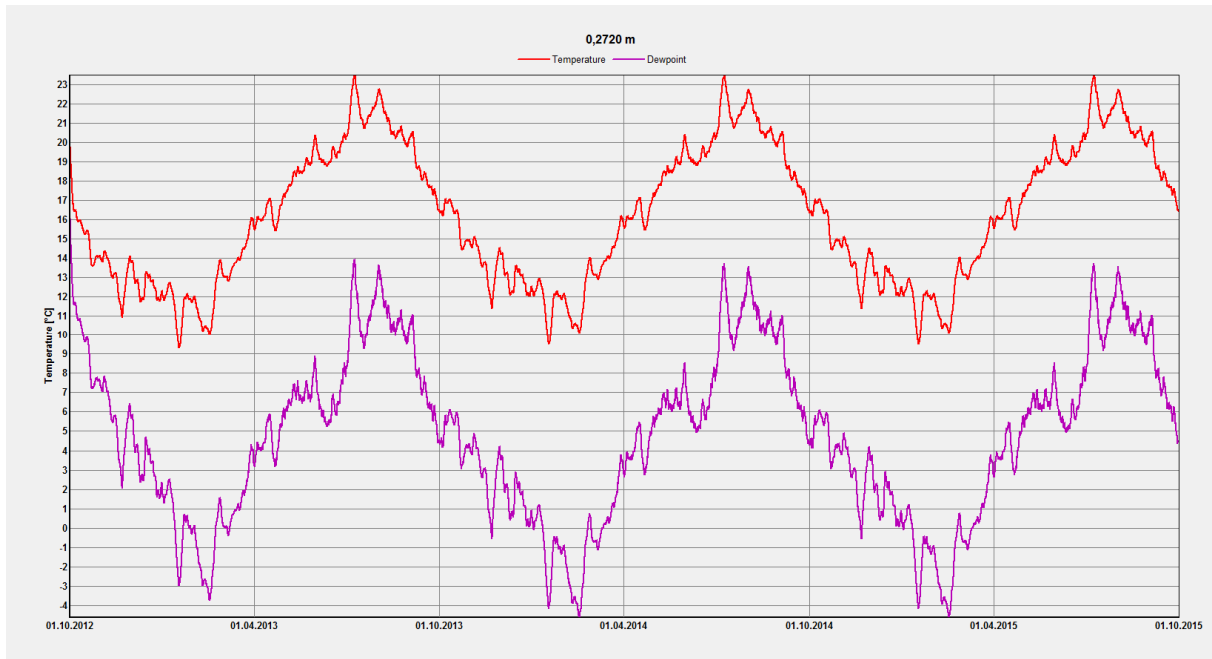


Figur 43: Årlig energibudsjett tiltakspakke 2

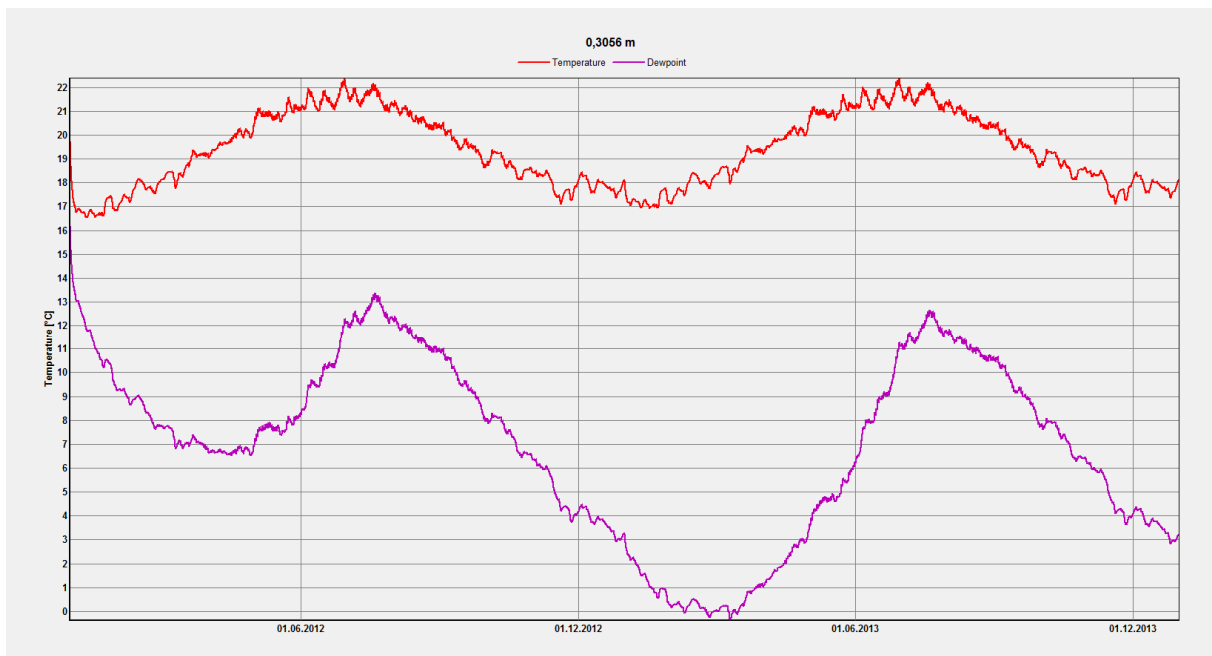


Figur 44: Varmetapsbudsjett tiltaks pakke 2

6.3.2 Resultat Wufi



Figur 45: Duggpunkt og temperatur forhold for gymsalbygningen etter tiltakspakke 2.



Figur 46: Duggpunkt og temperatur forhold for skolebygningen etter tiltakspakke 2.

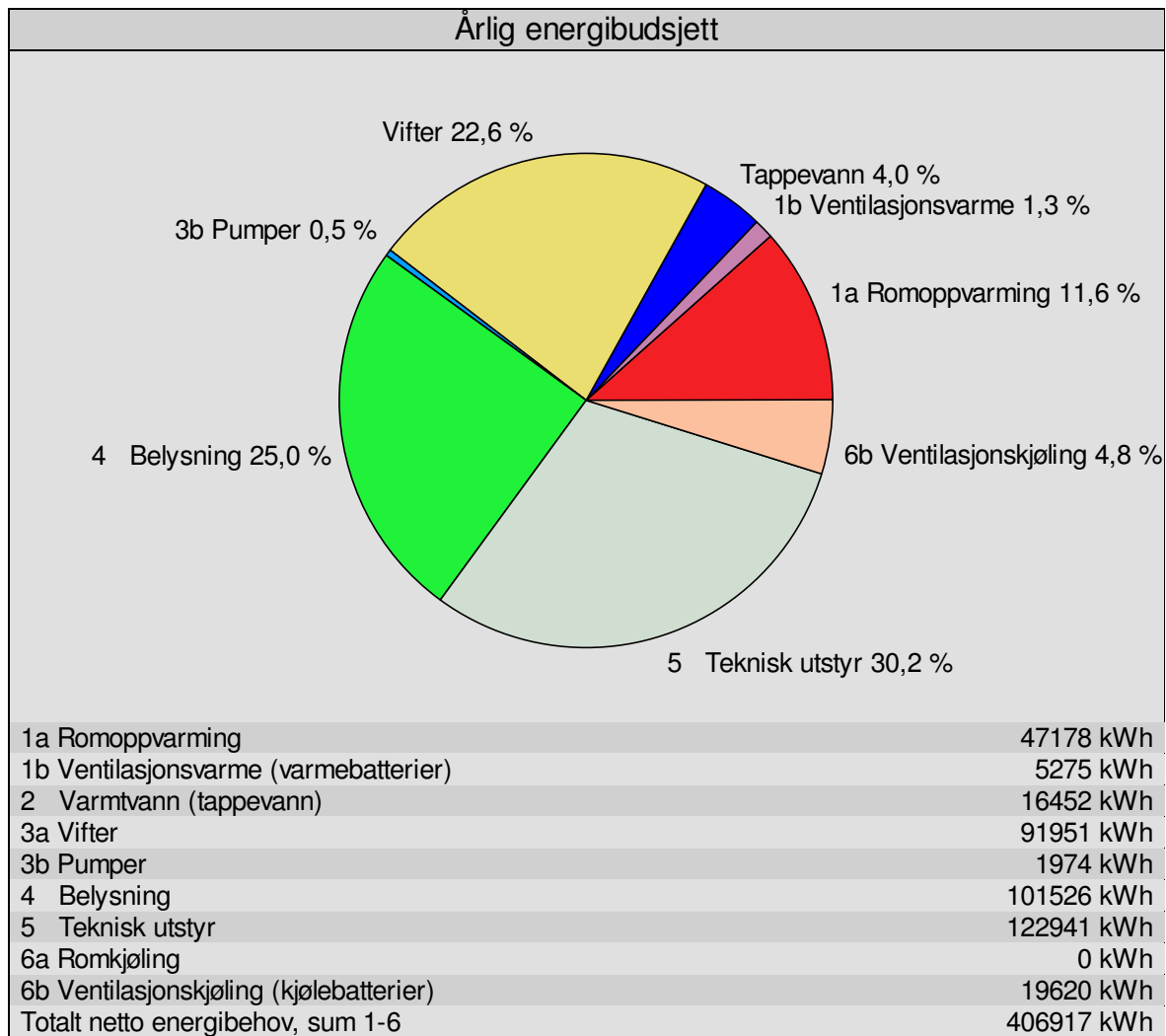
6.4 Tiltakpakke 3

Tabell 30: Evaluering mot TEK10 og eksisterende

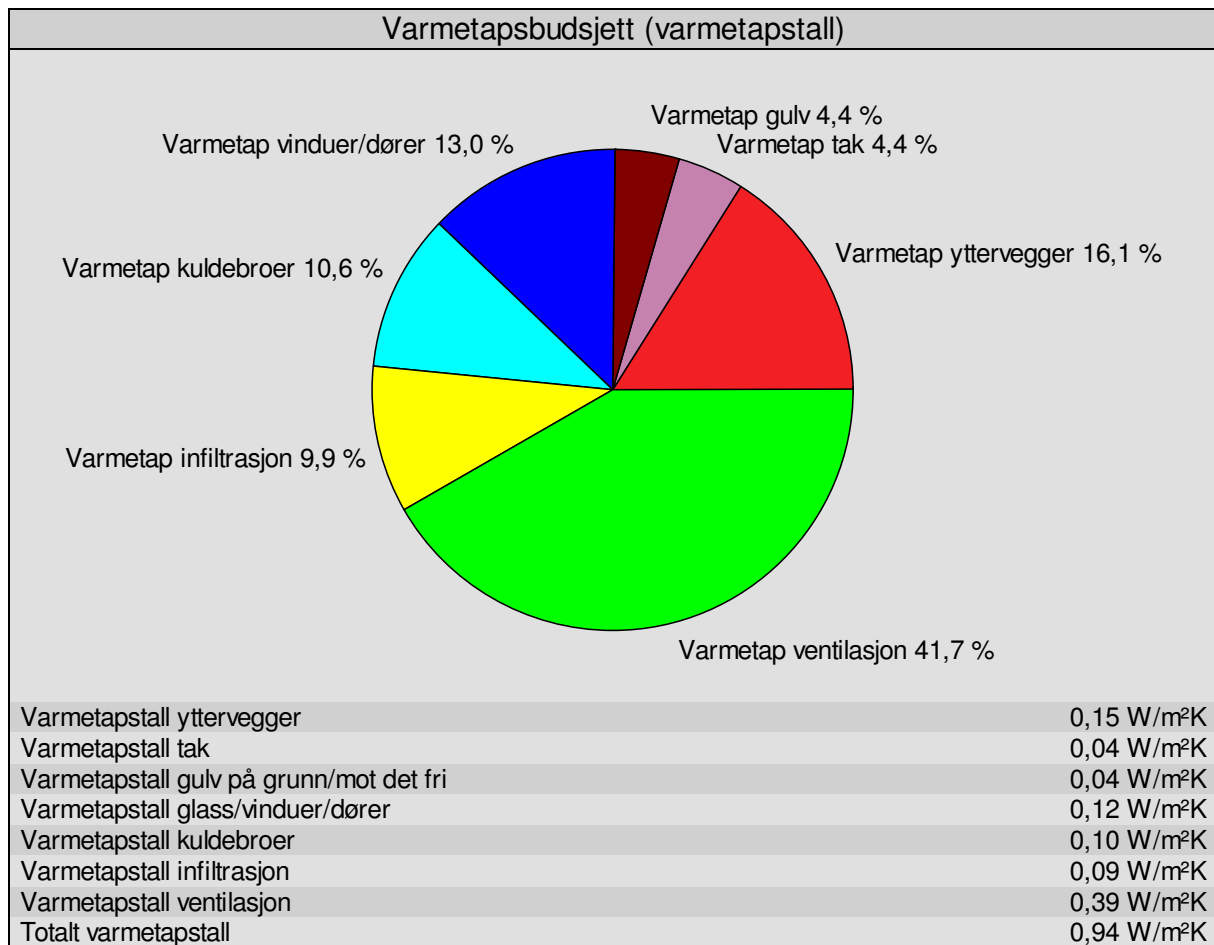
Beskrivelse	Verdi (Simien)	Krav (TEK10)	Forbedret (%)	Kommentar
Totalt energibehov (kWh/m ²)	134	160	50	Tilfredsstilt
Varmetapstall	0,46	0,49	63,8	
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,26	0,18	73,5	Ikke tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,13	47,8	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,15	71,4	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,70	1,20	67,4	
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,10	0,06	23	Ikke tilfredsstilt
Varmegjenvinner ventilasjon (%)	85	80	100	Tilfredsstilt
Varmebehov dekket av annet enn direkte EL eller fossile brensler (%)	100	60	100	
Andel glass (%)	17,1	20	0	
SFP	0,31	2	0	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.				

Tabell 31: Evaluering mot minstekrav (ref: Simien Waqas Afzal)

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Minstekrav (TEK10)	Kommentar
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,26	0,22	Tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,7	1,60	
Varmetapstall vinduer/dører	0,12	0,24	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.			



Figur 47: Årlig energibudsjett tiltaks pakket 3



Figur 48: Varmetapsbudsjet tiltakspaket 3

6.5 Tiltakpakke 4

Tabell 32: Evaluering mot TEK10 og eksisterende

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Krav (TEK10)	Forbedret (%)	Kommentar
Totalt energibehov (kWh/m ²)	120	160	0,56	Tilfredsstilt
Varmetapstall	0,39	0,49	69,2	
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,14	0,18	85,7	
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,13	47,8	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,15	71,4	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,70	1,20	67,4	
Normalisert kuldebroverdi (W/m ² K)	0,10	0,06	23	Ikke tilfredsstilt
Varmegjenvinner ventilasjon (%)	85	80	100	
Varmebehov dekket av annet enn direkte EL eller fossile brensler (%)	100	60	100	
Andel glass (%)	17,1	20	0	Tilfredsstilt
SFP	0,31	2	0	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.				

Tabell 33: Evaluering mot minstekrav

Beskrivelse	Verdi (Simien)	Minstekrav (TEK10)	Kommentar
U-verdi yttervegg (W/m ² K)	0,14	0,22	Tilfredsstilt
U-verdi tak (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi gulv (W/m ² K)	0,12	0,18	
U-verdi vinduer og dører (W/m ² K)	0,7	1,60	
Varmetapstall vinduer/dører	0,12	0,24	
Har ikke tatt med lekkasjetall siden det ikke ble målt.			

(Kilde: Simien Waqas Afzal)

7 Diskusjon

Får å forminske resultatvolumet er det kun kuldebroverdien til det eksisterende bygget som er blitt illustrert. Dette var viktig å få med siden store deler av oppgaven hadde dette som tema. Resten av kuldebroberegningene har blitt lagt inn som vedlegg.

Til å starte med er det nødvendig å kunne nevne at oppgaven innebærer en eksisterende konstruksjon derfor har jeg termograferert bygget for å kunne undersøke den nærmere. Ut ifra disse termograferingene fant jeg at det er stålsøyler i vegger til gymsalbygg som ikke hadde vært mulig uten å finne termograferingen. I tillegg til de så finner vi mange kuldebroer som er vist i resultatet (se kapittel 6.1.1).

Kuldebroverdi har videre blitt regnet av informasjon gitt av termograferingene og kommune tegninger. Disse verdiene har blitt beregnet ved hjelp av programmet Therm. Det ble ikke beregnet kuldebro-verdier for skolebygg siden det ikke er noe isolasjon i vegger og termograferinger viser ikke noen spesielle store kuldebroer heller. I tillegg har jeg ikke funnet noe bra detalj tegninger som kan indikere kuldeboer i konstruksjon. Ved beregning kan jeg ha gått glipp av noen kuldebro eller fant dem i etterkant av beregning. En av disse er kuldebro gjennom takbjelke.

For alle konstruksjonselementene (vegg, tak o.l.) har det blitt beregnet U-verdier som videre blir brukt for SIMIEN simuleringer. Ut ifra simuleringene ser vi at mesteparten av energien blir brukt til romoppvarming som utgjør 67 prosent. Tappevann og vifter til sammen utgjør en liten andel av energiforbruket som er på 3,5prosent. Resiterende energiforbruket er fordelt mellom belysning og teknisk utstyr (29,9 prosent).

Varmetapsbudsjettet (se avsnitt 6.1.3) illustrerer 58,7 prosent av det totale varmetapet går gjennom ventilasjon. Fra konstruksjons kapittel så vet vi at det er et naturlig ventilasjonssystem som skylder dette tapet. Det nest største varmetapet er gjennom yttervegger (17,8 %) som sammen med kuldebroer (4,1 %) vektlegges mye i denne oppgaven. Resten av varmetapet er fordelt følgende:

- Vinduer (11,7 %)
- Gulv (4,4 %)
- Tak (2,6prosent)

For å kunne drøfte resultatet vist i energibudsjettet og varmebudsjettet henviser vi oss til TEK10. SIMIEN i sine beregninger er direkte rettet til disse kravene. Dermed kan evaluering fra SIMIEN være hjelpemiddel for forberedning av bygget i forhold til kravene.

Videre kontroll av bygget foregår ved hjelp av fuktberegninger i Wufi. Fukt beregninger i denne oppgaven er egnet siden yttervegger av tegl kan få store konsekvenser i form av frost. Ut ifra Wufi simuleringene i avsnitt 6.1.6 ser vi sammenhengen mellom duggpunkt og temperatur forskjell for en gitt periode. Figur 36 : Resultat fra Wufi simulering (Gymsalbygningen) viser at duggpunktet ligger nesten stabil med temperaturendringer med noen unntak hvor den skiller seg litt ut. I følge denne analysen vil det være stor risiko for fuktskader.

Figur 37: Resultat fra Wufi simulering (Skolebygningen) i motsetning til gymsalbygningen viser litt mindre stabilitet mellom duggpunktet og temperaturendringene.

Gymsalbygningen har mindre varmetap gjennom yttervegger på grunn av bedre isolasjon mens ytterveggene til skolebygningen er ikke isolert. Som nevnt tidligere i konstruksjon (se kapittel 4) er skolebygget utsatt for frostsikader selv om simuleringene indikerer bedre duggforhold. Grunnen til dette kan være at skolebygningen er en gammel konstruksjon fra 1900 tallet som kan ha dårlig teglkvalitet.

Alle tiltakspakkene har blitt til etter beregninger og simuleringer av den eksisterende konstruksjonen.

7.1.1 Tiltakspakke 1:

Innebærer innvendig etterisolering av gymsalbygg og felleskjeller tillegg til utvendig etterisolering av skolebygget. Som vist i Figur 42: duggpunkt og temperatur forhold for gymsalbyggingen etter tiltakspakke 1. er fortsatt duggpunkt/temperatur nesten like stabil som i den opprinnelige konstruksjonen. Dette indikerer at i tiltak 1 vil fortsatt gymbygget være i skuddlinje for frostskafer. Den innvendige etteriseringsløsningen i form av Aerorock forbedrer isoleringen og gir muligheten til å beholde teglfasaden. Stort innvendig gymsalareal uten skillevegger gir mulighet for innvendig etterisolering uten å forstørre kuldebro. Skolebygget ble isolert utvendig siden det allerede er frostskafer på bygget. Ved å isolere dette bygget innvendig kan det risikeres å få store frostskafer på bygget. Noen av disse skadene er illustrert i Figur 28: Sprekker i veggen på grunn av frostskafer og Figur 29: Av skalling på grunn av frostskafer.

I dette tiltaket er det blitt lagt vekt på å begrense varmetapet gjennom bygningsdeler. Siden skolebygg har puss som yttersjikt er det mulighet for å opprettholde eksisterende fasade. Det er derfor mulig å utvide konstruksjonen ytterligere med fasade i behold. Det må påregnes at tak utstykket kommer til å bli mindre ved forskyvning av fasaden. Tak utstykket må dermed bearbejdes. Vinduene etter utbygningen bør skyves lengre ut med ca. 35 mm avstand fra den nye fasaden. Slik at kuldebroer rundt vinduer kan forminskes.

Ut ifra SIMIEN resultater kan vi se at det totale energiforbruket kommer ned med 25 prosent.

I forhold til Tek 10 ser vi da følgende store endringer:

- Varmetapstallet forminsker 64 prosent
- U-verdi yttervegg forminsker med 73,5 prosent
- U-verdi tak forminskes med 48 prosent
- U-verdi gul forminsker med 72 prosent.

7.1.2 Tiltakspakke 2

I denne tiltakspakke har det ikke blitt tatt hensyn til å beholde den opprinnelige fasaden både til skolebyggingen og gymsalbyggingen. Hensikten med utvendig etterisolering er å begrense frostskafer på konstruksjon og for å begrense kuldebroer gjennom konstruksjon. Ut ifra grafen i figur som har blitt hentet fra Wufi simulering ser vi at temperatur ligger mye høyere enn duggpunktet. Derfor er det ingen risiko for frostskafer på konstruksjonen.

Ut ifra Simien resultater ser vi at det totale energibehov har kommet ned til 194 KWh/m² som er 28,4 % lavere enn det opprinnelige. Normalisert kuldebroverdien er den eneste som er vanskelig å få den til å bli tilfredsstilt med TEK10 kravene.

7.1.3 Tiltakspakke 3

Innebærer samme bygningsmessige tiltak som tiltakspakke 1. Unntak her er innseting av balansert ventilasjon, og energiforsyning i form av solfanger og varmpumpe. Nå er alle kravene oppfylt utenom kravet om yttervegg og normalisert kuldebroverdi. Krave til yttervegg oppfyller ikke minste krav heller. Formålet med ventilasjonen er å kunne varmegjenvinne 85 prosent av varmetapet.

7.1.4 Tiltakspakke 4

Tiltakspakke går ut på det samme som i Tiltakspakke 4. Forskjellen her er at vi nå legger til ventilasjon, solfanger og varmpumpe i tiltakspakke 2 istedenfor tiltakspakke 1. Denne pakken gir den optimale løsningen i forhold til tiltakspakkene nevnt tidligere. Den eneste verdien som ikke tilfredsstilles er verdien om Normalisert kuldebroverdi. Denne tiltakspakke gir best resultat med total energibehov på 120 KWh/m² som er 56 % lavere en det opprinnelige.

8 Konklusjon

Etter alle beregninger og data innhentet til de forskjellige tiltakspakkene kan vi se at Skjeberg folkehøyskole kan ikke oppfylle kravene til TEK10 uten å installere balansertventilasjon.

Den mest lønnsomme løsningen er tiltakspakke 4. Hvor den totale energibehov er på 120 KWh/m² som er 40 KWh/m² mindre enn krave til TEK10

9 Referanse

1. landforening, B., *Bredt møte om energieffektivisering i bygg*. 11.05.12.
2. Regionaldepartementet, K.-o. *Kommunal- og regionaldepartementets meninger om energieffektivisering*. 11.05.2012; Available from: [http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/tema/bolig- og bygningspolitikk/byggeskikk-miljo-og-universell-utforming/miljovennlige-boliger-og-bygg/invitasjon.html?id=650214](http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/tema/bolig-og-bygningspolitikk/byggeskikk-miljo-og-universell-utforming/miljovennlige-boliger-og-bygg/invitasjon.html?id=650214).
3. Byggforsk, 720.612 Oppbygning av konstruksjoner Kartlegging og undersøkelse, 1999.
4. Byggforsk, 723.308 Eldre yttervegger av mur og betong. Metoder og materialer, 2007.
5. Lovdata. *Byggteknisk Forskrift –TEK 10*. 2010; Available from: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20100326-0489.html>
6. Byggforsk, 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946, 1998.
7. byggforsk, *Kuldebroer – Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. 2008.
8. Standard, N., *NS3030*. 2007.
9. Byggforsk, 720.032. Termografering av bygninger, 2001.
10. Rockeool, <http://www.rockwool.no/systemer/aerorock>. 11.05.2012.
11. Byggforsk, 552.403. Varmepumper i bygninger. Funksjonsbeskrivelse, 2009.
12. Byggforsk, 552.455 Vannbaserte solfangere. Funksjon og energiutbytte, 2011.

10 Vedlegg

10.1 Beregninger

10.1.1 U-Verdi

Vegger:

Siden hovedbygg ble bygd i flere trinn fra starten av 1900 til starten av 1970, derfor er det vanskelig å finne ut om hvilken densitet er på teglsteinene. For å finne U-verdi velger jeg densitet på teglstein lik 2000 kg/m³. Det gir veggen, U-verdi på 1,6 W/m²K både for bergenskhulmur og massiv mur vist i Tabell 3: U-verdi i for murt vegg av teglstein med 10 mm KC-puss på utsiden (kilde. tabell 28 [4]) beregnet av Sintef byggforsk. Den opprinnelige U-verdi for konstruksjonen er 1,55 som er vist i Tabell 34: U-verdi for massivmur med 10mm puss på inn- og utsiden .

Beregning av U-verdi for skolebygg

Tabell 34: U-verdi for massivmur med 10mm puss på inn- og utsiden av veggen (skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Puss	0,01	0,80	0,013	
Tegl	0,36	0,80	0,450	*BF 471010
Puss	0,01	0,80	0,013	
Inne			0,130	BF 471008
Sum	0,370		0,645	
$U = 1/\sum \Delta R$			1,55	(W/m ² K)

(beregnet av Waqas Afzal)

Tabell 35: U-verdi kjeller vegg overtareng (skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Granitt	0,560	3,500	0,160	
Betong	0,200	2,500	0,080	*BF 471010
Ekspandert korkplate	0,030	0,050	0,600	
Puss	0,010	1,000	0,010	
Inne			0,130	BF 471008

Sum (Rw)	0,800	1,020	
$U = 1/\sum\Delta R$		0,980	(W/m ² K)

Tabell 36: U-verdi kjellervegg og gulv mot grunn (skolebygningen)

Symbol		Enhet	Kilde
P	134,5	m	
BRA	690	m ²	
w	0,8	m	
Z	1,4	m	
Λ	3,5	W/mK	*Tabell 12 BF 471009
Rsi	0,1	m ² k/W	Tabell 14 BF 471009
Rse	0,04	m ² k/W	
B [`]	10,26	m	
dt	3,79	m	
dw	3,57	m	
U-verdi for kjeller gulv (U _{bf})			
dt+Z/2	4,49	mindre en B [`]	
Gulv (U _{bf})	0,40	(W/m ² K)	
Vegg (U _{bw})	0,71	(W/m ² K)	

Tabell 37: U-verdi tak (skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R _m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Kald loft			0,090	
Tre	0,020	0,130	0,154	*BF 471010
Isolasjon	0,200	0,038	5,263	
Tre	0,020	0,130	0,154	
Inne			0,100	BF 471008
Sum	0,240		5,801	

$U = 1/\sum \Delta R$	0,172 (W/m ² K)
-----------------------	----------------------------

Beregning av U-verdi for gymsal bygg

Tabell V 38: U-verdi gymsalbygg teglvegg (gymsalbygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Tegl	0,100	0,800	0,125	*BF 471010
Isolasjon	0,100	0,038	2,632	
Tegl	0,100	0,800	0,125	
Inne			0,130	BF 471008
Sum			3,052	
$U = 1/\sum \Delta R$			0,328 (W/m ² K)	

Tabell V 39: U-verdi gymsalbygg kjellervegg (gymsalbygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Betong	0,150	2,500	0,060	*BF 471010
Porebetong	0,050	0,130	0,385	
Luft	0,100		0,160	Tabell 252 471008
Tegl	0,110	0,800	0,138	*BF 471010
Inne			0,130	BF 471008
Sum	0,410		0,912	
$U = 1/\sum \Delta R$			1,096 (W/m ² K)	

Tabell V 40: U-verdi Gymsalbygg kjellervegg- og gulv mot grunn (gymsalbygningen)

Symboler		Enhet	Kilde
P	98	m	
A	490	m ²	
w	0,4	m	

Z	1	m	
λ	3,5	W/mk	*Tabell 12 BF 471009
Rsi	0,1	m ² k/W	Tabell 14 BF 471009
Rse	0,04	m ² k/W	
B`	10,00	m	
dt	3,391	m	
dw	3,096	m	
U-verdi for kjeller gulv (U _{bf})			
dt+Z/2	3,891	mindre en B`	
Gulv (U _{bf})	0,437	(W/m ² K)	
Vegg (U _{bw})	0,864	(W/m ² K)	

Tabell V 41: U-verdi Gymsalbygg tak (gymsalbygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R _m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	471008
Takfolie	0,005	0,030	0,167	*471010
Tre	0,020	1,300	0,015	
Luft	0,600		0,090	Tabell 252 471008
Isolasjon	0,200	0,038	5,263	*471010
Tre	0,020	1,300	0,015	
Inne			0,100	471008
Sum	0,840		5,691	
U = 1/∑ΔR (W/m ² K)			0,176	(W/m ² K)

Tabell V 42: U-verdi gymsalbygg teglvegg + Aerorook (gymsalbygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R _m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Tegl	0,100	0,800	0,125	

Isolasjon	0,100	0,040	2,500	
Tegl	0,100	0,800	0,125	
Aerorook	0,050	0,019	2,632	
Inne			0,130	BF 471008
Sum			5,552	
				0,180 (W/m ² K)

Tabell V 43: U-verdi Gymsalbygg kjeller vegg + Aerorook (gymsalbygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471009
Aerorook	0,050	0,019	2,632	
Betong	0,150	2,500	0,060	
Porebetong	0,050	0,130	0,385	
Luft	0,100		0,160	
Tegl	0,100	1,000	0,100	
Inne			0,130	BF 471009
Sum	0,400		3,506	
				0,285 (W/m ² K)

Tabell V 44: U-verdi Gymsalbygg tak + innsprøytet isolasjon (gymsalbygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Takfolie	0,005	0,030	0,167	
Tre	0,020	0,130	0,154	
Luft innblosr isolasjon	0,600		0,090	Tabell 252 BF 471008
Isolasjon	0,300	0,038	7,895	
Isolasjon	0,100	0,038	2,632	
Tre	0,020	0,130	0,154	
Inne			0,100	BF 471008
Sum	1,040		11,231	
				0,089 (W/m ² K)

Tabell V 45: U-verdi gymsalbygg og skolebygg gulv + Fleksiplate

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471003
Kultlag (snad, grus)	0,400	2,000	0,200	
Betong	0,150	2,500	0,060	
Tre	0,050	0,130	0,385	
Fleksiplate	0,198		5,350	
Inne			0,170	BF 471009
Sum (R_w)	0,798		6,205	
			0,161	(W/m ² K)

Tabell V 46: U-verdi kjellervegg og gulv i gymsalbygg + Aerorook (vegg) og fleksiplate (gulv) (gymsalbygningen)

P	98	m	
A	490	m ²	
w	0,4	m	
Z	1	m	
λ	3,5	W/mk	Tabell 12 BF 471009
Rsi	0,1	m ² k/W	Tabell 14 BF 471009
Rse	0,04	m ² k/W	Tabell 14 BF 471009
B`	10,000	m	
dt	22,116	m	
dw	12,272	m	
U-verdi for kjeller gulv (U_{bf})			
dt+Z/2	22,616	mindre en B`	
Gulv (U_{bf})	0,113	(W/m ² K)	
Vegg (U_{bw})	0,258	(W/m ² K)	

Skolebygg

Tabell V 47: U-verdi skolebygg teglvegg + Flexsystem (Skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
puss	0,010	0,800	0,013	
Tegl	0,360	0,800	0,450	
puss	0,010	0,800	0,013	
Frexsystem	0,25	0,035	7,143	
Inne			0,130	BF 471008
Sum	0,630		7,788	
			0,128	(W/m ² K)

Tabell V 48: U-verdi skolebygg kjellervegg over terreng + Aerorook (Skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471009
Granitt	0,400	3,500	0,114	
Betong	0,340	2,500	0,136	
Ekspandert korkplate	0,030	0,050	0,600	
Aerorock	0,05	0,019	2,632	
puss	0,010	1,000	0,010	
Inne			0,130	BF 471009
Sum (Rw)	0,830		3,662	
			0,273	(W/m ² K)

Tabell V 49: Tak over kontor (Skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Kald loft			0,090	Tabell 252 BF 471008
Tre	0,020	0,130	0,154	
Isolasjon	0,200	0,038	5,263	
Tre	0,020	0,130	0,154	
Inne			0,100	BF 471008
Sum	0,240		5,801	
			0,172 (W/m ² K)	

Tabell V 50: Tak over auditorium + 200mm Isolasjon (Skolebygningen)

Lag	d (m)	λ (W/mK)	R_m (m ² K/W)	Kilde
Ute			0,040	BF 471008
Kald loft			0,090	Tabell 252 471008
Tre	0,020	0,130	0,154	
Isolasjon	0,200	0,038	5,263	
Isolasjon	0,200	0,038	5,263	
Tre	0,020	0,130	0,154	
Inne			0,100	BF 471008
Sum	0,440		11,064	
			0,090 (W/m ² K)	

Tabell V 51: U-verdi skolebygg Kjellervegg og gulv + Aerorook (vegg) og fleksiplate (gulv) (Skolebygningen)

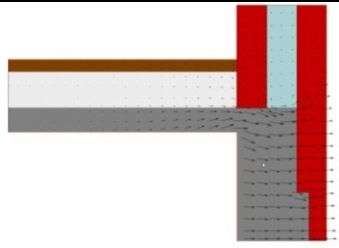
Symbol	Verdi	Enhet	Kilde
P	134,5	m	
A	690	m ²	
w	0,8	m	

Z	1,4	m	
λ	3,5	W/mk	Tabell 12 BF 471009
Rsi	0,13	m ² k/W	Tabell 14 BF 471009
Rse	0,04	m ² k/W	Tabell 14 BF 471009
B`	10,260	m	
dt	22,516	m	
dw	12,817	m	
U-verdi for kjeller gulv (U_{bf})			
			mindre en
dt+Z/2	23,216	B`	
Gulv (U_{bf})	0,110	(W/m ² K)	
Vegg (U_{bw})	0,243	(W/m ² K)	

10.1.2 Kuldebro beregninger

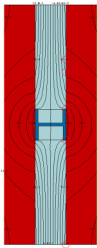
Tabell V 52: Etasjeskiller (gymsalbygningen)

Overgang etasjeskiller mot vegg		
U-verdi	2,030	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,779	m
U _o	0,328	(W/m ² K)
Ψ etasjeskiller	1,326	(W/mK)



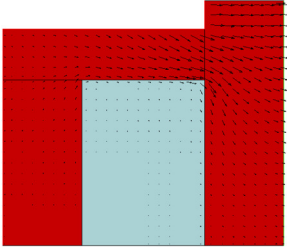
Tabell V 53: Stålsøyler i vegg (gymsalbyggen)

Stender		
U-verdi	0,79	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,780	m
U _o	0,328	(W/m ² K)
Ψ søyle	0,361	(W/mK)



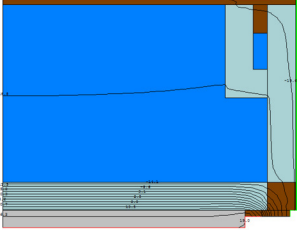
Tabell V 54: kuldebro under gymsalvinduer

Under vindu		
U-verdi	1,628	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,336	m
U _o	0,328	(W/m ² K)
Ψstender	0,437	(W/mK)



Tabell V 55: kuldebor tak (gymsalbygningen)

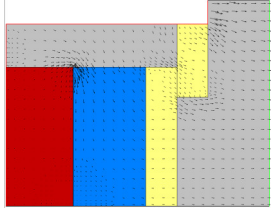
Tak		
U-verdi	0,401	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,757	m
U _o	0,176	(W/m ² K)
Ψstender	0,171	(W/mK)



Figur 49: Tak gymsal
(kilde: Therm Waqas Afzal)

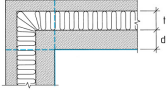
Tabell V 56: kuldebro under kjellervinduer (gymsalbygningen)

Under vindu Kjeller		
U-verdi	2,124	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,336	m
U _o	1,096	(W/m ² K)
Ψstender	0,345	(W/mK)



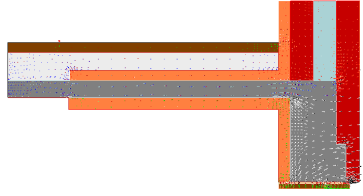
Figur 50: Detalj under vindu
(kilde: Therm Waqas Afzal)

Tabell V 57: Kuldebro hjørneeffekt (gymsalbygningen)

Hjørneeffekt		Kilder
$\psi_k = 0,6 \lambda + 2 d \frac{\lambda}{t}$		BF 471016
λ mineralull	0,038 (W/mK)	BF 471008
d	0,11 m	
t	0,08 m	
Ψ kant	0,127 (W/mK)	

Tabell V 58: Kuldebro gjennom etasjeskiller mot yttervegg (gymsalbygningen)

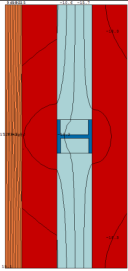
Overgang etasjeskiller mot vegg forbedret kuldebo		
U-verdi	0,747	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,809	m
U _o	0,180	(W/m ² K)
Ψ etasjeskiller	0,459	(W/mK)



The diagram shows a cross-section of a floor-to-wall junction. It features a concrete slab on the left, a brick wall on the right, and a floor structure in the middle. Thermal lines are shown as red and blue curves, indicating heat flow through the different materials and the junction.

Tabell V 59: Kuldebro gjennom søyle i yttervegg (gymsalbygningen)

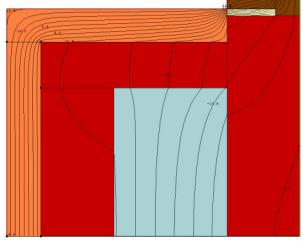
Søyle		
U-verdi	0,263	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,780	m
U _o	0,180	(W/m ² K)
Ψ _{søyle}	0,065	(W/mK)



The diagram shows a vertical cross-section of a brick wall with a central concrete column. Thermal lines are shown as red and blue curves, illustrating the heat flow through the wall and the column.

Tabell V 60: kuldebro under gymsalvinduer (gymsalbygningen)

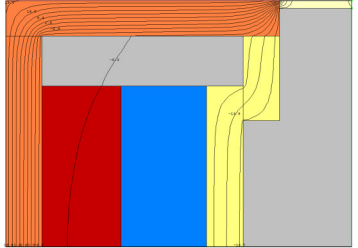
Under vindu		
U-verdi	0,829	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,362	m
U _o	0,180	(W/m ² K)
Ψ _{stender}	0,235	(W/mK)



The diagram shows a cross-section of a window sill. It features a concrete slab on the left, a window frame in the middle, and a brick wall on the right. Thermal lines are shown as red and blue curves, indicating heat flow through the different materials and the junction.

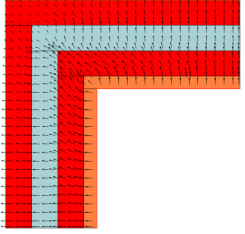
Tabell V 61: kuldebro under kjellervinduer (gymsalbygningen)

Under vindu Kjeller		
U-verdi	0,554	(W/m ² K)
Totalt lengde	0,347	m
U _o	0,285	(W/m ² K)
Ψ _{stender}	0,093	(W/mK)

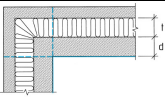


The diagram shows a cross-section of a basement window sill. It features a concrete slab on the left, a window frame in the middle, and a brick wall on the right. Thermal lines are shown as red and blue curves, indicating heat flow through the different materials and the junction.

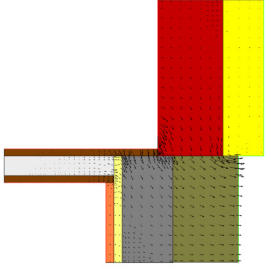
Tabell V 62: Kuldebro hjørneeffekt (gymnalbygningen)

Hjørneeffekt gymsalbygg			
U-verdi	0,118	(W/m2K)	
Totalt lengde	1,806	m	
Uo	0,180	(W/m2K)	
Ψstender	-0,113	(W/mK)	

Tabell V 63: Kuldebro hjørneeffekt (skolebygningen)

Hjørneeffekt skolebygg			Kilder
$\Psi_k = 0,6 \lambda + 2 d \frac{\lambda}{t}$			BF 471016
λ	0,034	(W/mK)	BF 471008
d	0,4	m	
t	0,25	m	
Ψ kant	0,129	(W/mK)	

Tabell V 64: Kuldebro ytter vegg mot kjeller (skolebygningen)

Yttervegg mot kjeller			
U-verdi	0,713	(W/m2K)	
Totalt lengde	1,417	m	
Uo	0,201	(W/m2K)	
Ψstender	0,726	(W/mK)	

Tabell V 65: Beregning av normalisert kuldebro-verdi for eksisterende konstruksjon

Overgangsdetalj	Lengde	Antal	Total lengde	Kildebr o-verdi	varmetap fra kuldebro (W/K)	Kilder (Vedlegg)
Tak /langvegg	26,6	2	53,2	0,171	9,07	Tabell V 55: kuldebor tak
Tak /kortvegg	13	2	26	0,171	4,43	
Etasjeskiller, langvegg	26,6	1	26,6	1,326	35,27	Feil! Fant ikke referanse kilden.
Etasjeskiller, kortveggvegg	13	2	26	1,326	34,48	
Etasjeskiller langvegg vest	14,8	1	14,8	1,326	19,63	
Stålsøyle langvegg	4	8	32	0,361	11,54	Feil! Fant ikke referanse kilden.
Stålsøyle kortvegger	4	8	32	0,361	11,54	
Stålsøyle langvegg vest	4	4	16	0,361	5,77	
Under vindu, langvegg	26,6	2	53,2	0,437	23,24	Feil! Fant ikke referanse kilden.
Under vindu, kortvegg	13	2	26	0,437	11,36	
Under vindu kjeller langvegg	26,6	1	26,6	0,345	9,18	Tabell V 56: kuldebro under kjellervinduer
Under vindu kjeller kortvegg	13	1	13	0,345	4,49	
Under vindu kjeller langvegg vest	14,8	1	14,8	0,345	5,11	Tabell V 57: Kuldebro hjørneeffekt
Hjørne	4	4	16	0,127	2,04	
Sum					187,16	
Sum BRA (m ²)					674	
NKV (W/Km ²)					0,28	

Tabell V 66: Kuldebroverdi tiltak 2

Overgangsdetalj	Lengde	Antall	Total lengde	Kildebroverdi	varmetap fra kuldebro (W/K)	Kilder
Etasjeskiller, langvegg	26,6	1	26,6	0,459	12,20	
Etasjeskiller, kortveggvegg	13	2	26	0,459	11,92	
Etasjeskiller langvegg vest	14,8	1	14,8	0,459	6,79	
Stålsøyle langvegg	4	8	32	0,065	2,07	
Stålsøyle kortvegger	4	8	32	0,065	2,07	
Stålsøyle langvegg vest	4	4	16	0,065	1,03	
Under vindu, langvegg	26,6	2	53,2	0,235	12,50	
Under vindu, kortvegg	13	2	26	0,235	6,11	
Under vindu, Et. U langvegg	26,6	1	26,6	0,093	2,48	
Under vindu Et. U kortvegg	13	1	13	0,093	1,21	
Under vindu Et. U langvegg vest	14,8	1	14,8	0,093	1,38	
Hjørne	4	4	16	-0,113	-1,80	
Etasjeskiller Skolebygg	138	1	138	0,569	78,46	
vindu Skolebygg	40	1	40	0,010	0,40	
Hjørne Skolebygg	9,5	5	47,5	0,129	6,14	
Sum					142,96	
Sum BRA (m2)				674		
NKV (W/m2K)					0,21	

Tabell 67: Normalisert Kuldebroverdi tiltak 1 og 2

Overgangsdetalj	Lengde	Antall	Total lengde	Kildebroverdi	varmetap fra kuldebro (W/K)	Kilder
Tak /langvegg	26,6	2	53,2		0,00	
Tak /kortvegg	13	2	26		0,00	
Etasjeskiller, langvegg	26,6	1	26,6	0,459	12,20	
Etasjeskiller, kortveggvegg	13	2	26	0,459	11,92	
Etasjeskiller langvegg vest	14,8	1	14,8	0,459	6,79	
Stålsøyle langvegg	4	8	32	0,065	2,07	
Stålsøyle kortvegger	4	8	32	0,065	2,07	
Stålsøyle langvegg vest	4	4	16	0,065	1,03	
Under vindu, langvegg	26,6	2	53,2	0,235	12,50	
Under vindu, kortvegg	13	2	26	0,235	6,11	
Under vindu, Et. U langvegg	26,6	1	26,6	0,093	2,48	
Under vindu Et. U kortvegg	13	1	13	0,093	1,21	
Under vindu Et. U langvegg vest	14,8	1	14,8	0,093	1,38	
Hjørne	4	4	16	-0,113	-1,80	
Etasjeskiller Skolebygg	138	1	138	0,726	100,17	
vindu Skolebygg	40	1	40	0,010	0,40	
Hjørne Skolebygg	9,5	5	47,5	0,129	6,14	
Sum					164,66	
Sum BRA (m2)				1571		
NKV (W/m2K)					0,10	

Tabell 68: Normalisert kuldebroverdi tiltak 3

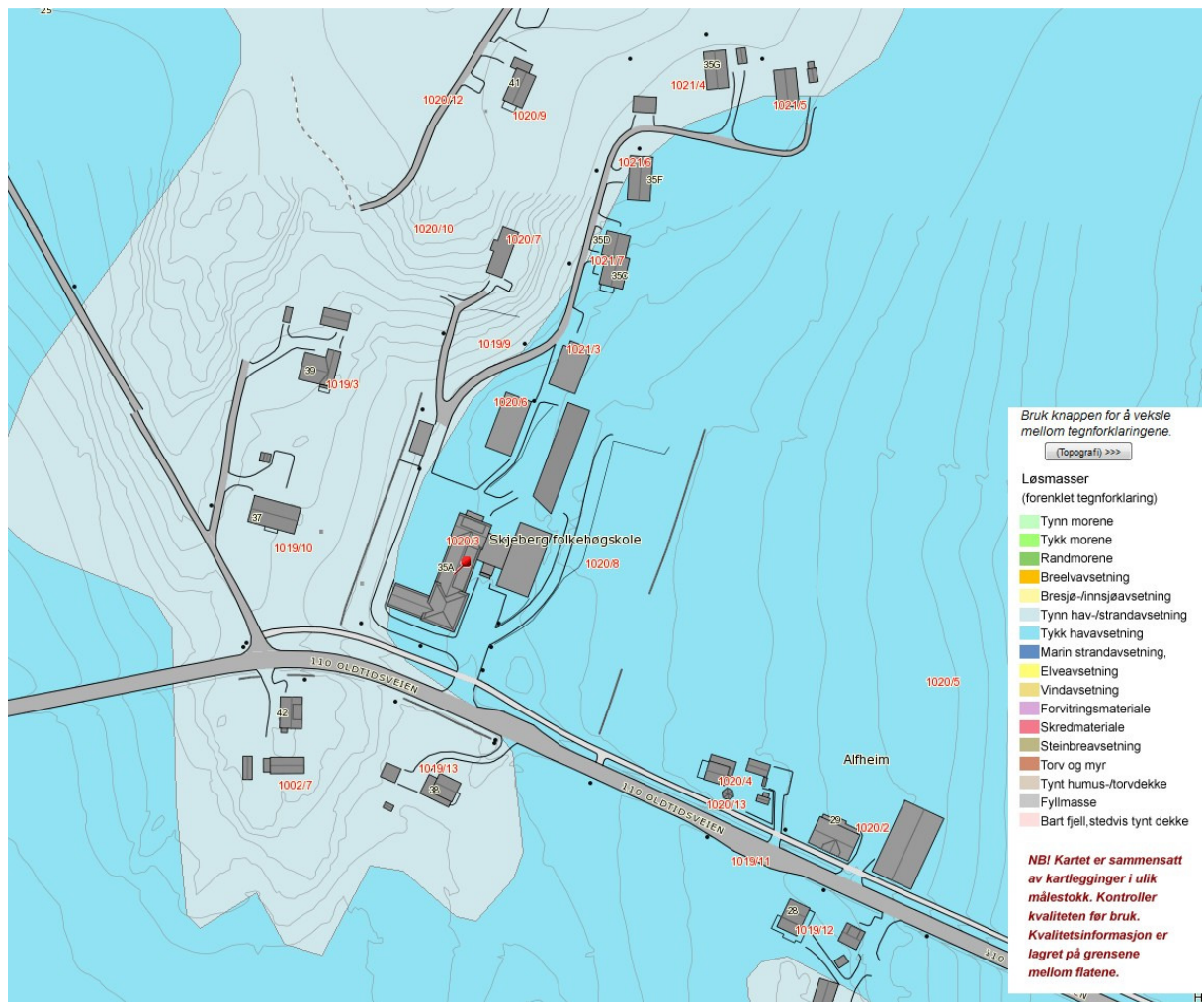
Overgangsdetalj	Lengde	Antall	Total lengde	Kildebroverdi	varmetap fra kuldebro (W/K)	Kilder
Tak /langvegg	26,6	2	53,2	0,056	2,98	
Tak /kortvegg	13	2	26	0,056	1,46	
Etasjeskiller, langvegg	26,6	1	26,6	0,060	1,58	
Etasjeskiller, kortveggvegg	13	2	26	0,060	1,55	
Etasjeskiller langvegg vest	14,8	1	14,8	0,060	0,88	
Stålsøyle langvegg	4	8	32	0,026	0,84	
Stålsøyle kortvegger	4	8	32	0,026	0,84	
Stålsøyle langvegg vest	4	4	16	0,026	0,42	
Under vindu, langvegg	26,6	2	53,2	0,251	13,34	
Under vindu, kortvegg	13	2	26	0,251	6,52	
Under vindu, Et. U langvegg	26,6	1	26,6	0,030	0,80	
Under vindu Et. U kortvegg	13	1	13	0,030	0,39	
Under vindu Et. U langvegg vest	14,8	1	14,8	0,030	0,44	
Hjørne	4	4	16	-0,017	-0,27	
Etasjeskiller, langvegg	138	1	138	0,819	113,04	
vindu, langvegg	40	1	40	0,010	0,40	
Hjørne	9,5	5	47,5	0,129	6,14	
Sum					151,36	
Sum BRA (m2)				1571		
NKV (W/m2K)					0,10	

10.1.3 Beregning av varmepumpe

Tabell 69: Jord varme beregning

Erfarings tall fra Thomas Lund	
Varmefaktor vanlig i Østfold	3
avgitt varme fra varmepumpe	3
Tilført energi til varmepumpe (motor)	1/3
Varmepumpe henter fra bergvarme (fornybar energi)	2/3
dekket av varmepumpe	85 %
Beskrivelse	Energi (kW/m ²)
Totalt netto energibehov til oppvarming og tappevann	194
Energibehov dekkes av varme pumpe	165
Energibehov dekkes av EL	29
Tilførtenergi (elektrisk) til varmepumpe	55
Fornybarenergi	110
Energibrønner	
	110
Effekt pr. meter borehull	0,035
energi hentes fra berg (KW)	73
Antall meter trenger å bære (KW/m)	2094
Hvert hull på 250 mm (m)	8

Waqas Afzal

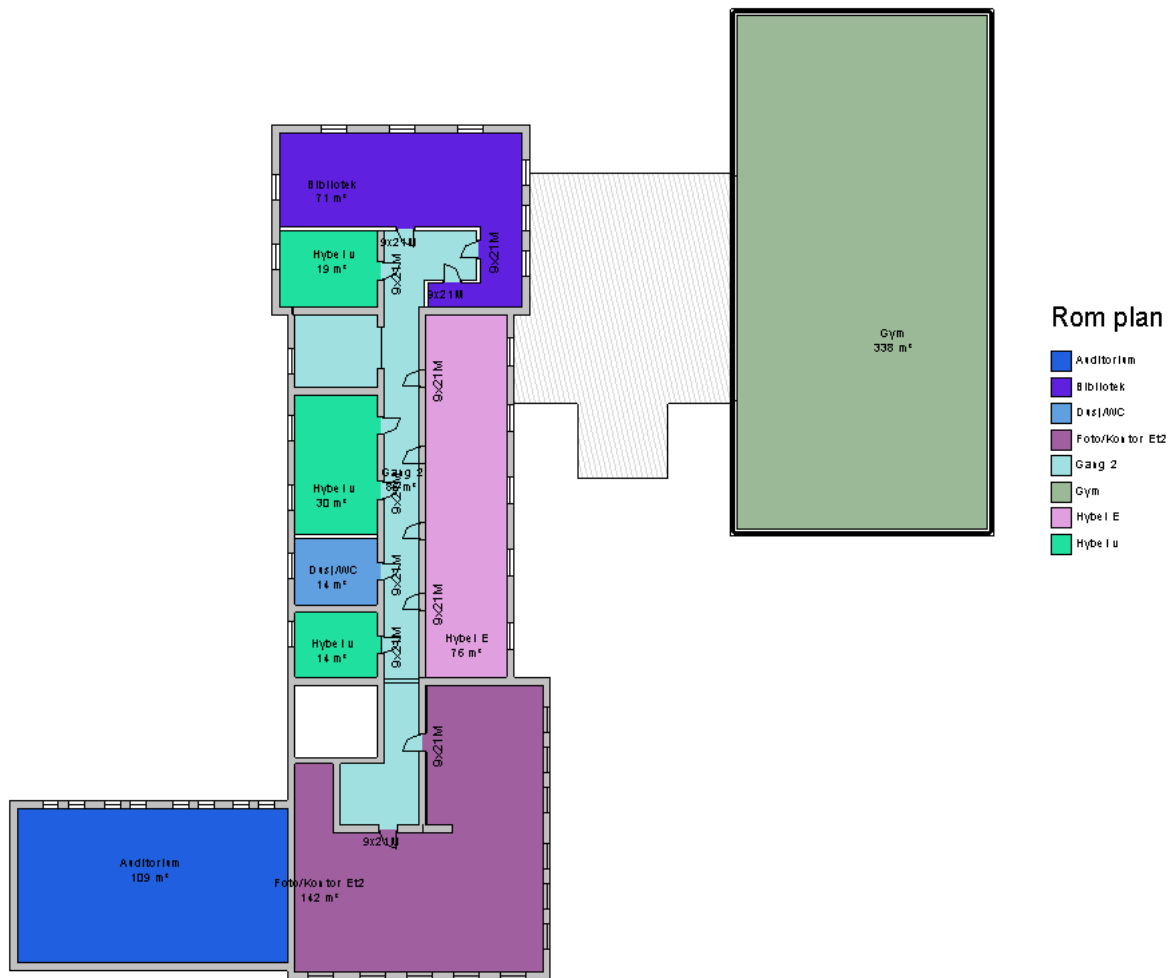


Figur 51: Grunnforhold

11 Sone inndeling for simien



Figur 52: Sone inndeling SIMIEM Plan 1



Figur 53: Sone inndeling SIMIEM Plan 2



Figur 54: Sone inndeling SIMIEM Plan 3