



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Lokalisering av luftlekkasjer i vindspærre ved termografering av isolerte bygningskonstruksjoner

Locating air leakages in wind barriers by
thermography of insulated building structures

Torstein Hagen
Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Fakultet for realfag og teknologi (REALTEK), og markerer avslutningen av mitt 5-årige studie på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), ved linjen Byggeteknikk og arkitektur. Oppgaven ble skrevet våren 2022, med et arbeidsomfang på 30 studiepoeng.

Gjennom studietiden i Ås har jeg etter hvert fått spesiell interesse for bygningsfysikk, og luftlekkasjer i bygninger. Det ble derfor en naturlig retning for meg å ta i arbeidet med min masteroppgave, som omhandler lokalisering av lekkasjer i vindsperre ved termografering. Dette har vært et interessant tema å jobbe med det siste halvåret, både forsøkene i felt og arbeid på leseplassen.

Jeg vil rette en stor takk til Aage og Joachim i Omega Akerholdt for gode innspill både ved valg av tema og senere diskusjoner av oppgaven. Jeg vil også rette en stor takk til min veileder, professor Tormod Aurlen, for gode innspill og veiledning under prosessen med denne oppgaven, og for å ha bidratt til at jeg fikk interesse for bygningsfysikk gjennom tidligere fag. Du har en smittende entusiasme og fagkunnskap som jeg setter stor pris på.

Tusen takk til familien min, og spesielt min samboer Hilde for hjelp med gjennomgang av oppgaven og motiverende ord underveis. Videre vil jeg takke medstudentene mine for gode stunder underveis i studiet. Jeg har satt spesielt pris på å kunne treffe dere daglig på masterlesesalen etter et par år med pandemi og hjemmekontor.

Ås, mai 2022

A handwritten signature in black ink, reading "Torstein Hagen", is written over a horizontal line.

Torstein Hagen

Sammendrag

Bygningers lufttetthet har en svært viktig rolle for bygningers energibruk og komfort. I Norge bygges det ofte bindingsverksvegger med to lufttette sjikt, dampsperre på varm side av konstruksjonen, og utvendig vindsperre. Disse har til hensikt å begrense bygningens luftlekkasjer, og kontrolleres ofte ved bruk av termografering i kombinasjon med lufttetthetsmålinger. Med utviklingen i byggebransjen har det blitt vanlig å bygge med inntrukket dampsperre, noe som kan vanskeliggjøre termografering som metode for å lokalisere lekkasjer i vindspærren. Vindspærren og dampspærren bidrar til å redusere gjennomblåsing i bygninger, mens vindspærren også hindrer anblåsing som har betydning for bygningens varmetap.

I denne oppgaven er det derfor gjort nærmere undersøkelser av hvor effektiv en termografisk undersøkelse er til å lokalisere lekkasjer i vindspærren i bindingsverksvegger. For å danne et grunnlag for vurdering av metoden er det gjennomført en serie med forsøk, målinger og simuleringer. Forsøkene er basert på termografering under trykk på bindingsverksvegger både med og uten inntrukket dampsperre for å danne et sammenligningsgrunnlag for å kunne vurdere metodens effektivitet. Det er også gjennomført tetthetsmålinger og simuleringer for å knytte lekkasjeluftmengder både opp mot termograferingen og opp mot forskjellige hullstørrelser i vindspærren. Simuleringene gir også en forståelse for hvordan luftbevegelser foregår i vegger med lekkasjer som knyttes opp mot termograferingen.

Resultatene av de gjennomførte undersøkelsene viser at det til en viss grad er mulig å lokalisere lekkasjer i vindsperre, både med og uten inntrukket dampsperre. For å oppnå gode resultater med metoden er man avhengig av riktig kombinasjon av tid, temperatur- og trykkforskjell. Det var først ved ganske store hull og store luftmengder at lekkasjepunktene kunne lokaliseres, selv om temperaturforskjellen var stor. Det viste seg også at det tok lang tid før det gjorde utslag på termogrammet. Ved termografering var lekkasjepunktene synlig som et mørkt felt på termogrammet, som var kaldere inn mot kjernen og mindre tydelig lengre bort fra kjernen. Denne kjernen var på samme sted som hullet i vindspærren. Det var lettere å observere dette mønsteret i veggprøver uten inntrukket dampsperre, noe som viser at bruken av inntrukket dampsperre gjør det vanskeligere å lokalisere luftlekkasjer i vindspærren.

Forholdene som nevnes over innebærer at termografering ikke kan regnes som en spesielt effektiv metode for å lokalisere lekkasjer i vindspærren hverken med eller uten inntrukket dampsperre.

Abstract

The air tightness of buildings plays an important role in the energy consumption and comfort of buildings. A typical Norwegian construction is light timber walls with two airtight layers, a vapor barrier on the warm side of the wall, and an exterior wind barrier. These are meant to reduce air leakages and are often controlled using thermography and testing of airtightness. With development in the construction industry, it has become common to build with the vapor barrier placed behind a layer of insulation (referred to as retracted), which can affect the possibility of locating leaks in the wind barrier by thermography. The wind- and vapor barrier reduces infiltration in buildings, while the wind barrier also prevents wind-washing.

In this thesis, it is therefore studied how effective a thermographic survey is for locating leaks in the wind barrier. To form a basis for assessment of the method, a series of experiments, measurements and simulations have been carried out. The experiments are based on thermography under pressure on walls with and without a retracted vapor barrier to form a basis of comparison in order to assess the effectiveness of the method. Airtightness tests and simulations have also been carried out to link the air leakage volume both up to the thermography and up to different sizes of holes in the wind barrier. The simulations also provide an understanding of how air movements work in walls with leakages.

The results of the investigations carried out show that it is to a certain extent possible to locate leaks in the wind barrier, both with and without a retracted vapor barrier. To achieve good results with the method, the right combination of time, temperature and pressure difference is needed. It was only with fairly large holes and large air volumes that the leakage points could be located, even though the temperature difference was large. It also turned out that it took a long time before it influenced the thermogram. During thermography, the leakage points were visible as a dark area on the thermogram, which was colder towards the core and less visible further away. This core was in the same place as the hole in the wind barrier. It was easier to observe this pattern in the wall without a retracted vapor barrier, which shows that the use of a retracted vapor barrier makes it more difficult to locate air leaks in the wind barrier by thermography.

The conditions mentioned above mean that thermography cannot be regarded as an effective method of locating leakages in the wind barrier, either with or without a retracted vapor barrier.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling.....	2
1.3	Avgrensninger	3
2	Teori.....	5
2.1	Lufttetthet	5
2.2	Konsekvenser av luftlekkasjer.....	8
2.3	Lekkasjetall og måling.....	9
2.4	Termografering.....	10
2.5	Lokalisering av luftlekkasjer ved termografering.....	11
2.6	Vindsperre i konstruksjoner.....	13
2.7	Varmetransport.....	15
2.8	Simscale.....	17
2.9	Luftstrømninger	18
2.10	BREEAM-NOR.....	19
2.11	Lufttetthet i BREEAM.....	19
3	Metode	21
3.1	Måleutstyr og programmer	23
3.1.1	Minneapolis BlowerDoor med DG-700.....	23
3.1.2	TECTITE Express 5.1	24
3.1.3	LabVIEW	24
3.1.4	FLIR T620bx.....	26
3.2	Forsøk	27
3.2.1	Forsøksfelt og forarbeid	27
3.2.2	Veggprøver.....	29

3.2.3	Plassering av måleutstyr.....	33
3.2.4	Gjennomføring av forsøk.....	35
3.3	Simulering.....	37
3.3.1	Oppbygning av modell.....	38
3.3.2	Parametere for simulering.....	38
4	Resultat.....	41
4.1	Termografering.....	41
4.2	Tetthetsmåling.....	44
4.3	Simulering.....	46
4.4	Håndberegninger.....	49
5	Diskusjon.....	51
5.1	Svakheter og usikkerheter ved metode og forsøk.....	51
5.2	Vurdering av termogram.....	52
5.3	Vurdering av tetthetsmåling.....	57
5.4	Vurdering av simulering.....	58
5.5	Troverdighet til forsøk, målinger og simuleringer.....	61
5.6	Samlet vurdering av gjennomførte forsøk, målinger og beregninger.....	62
5.7	Lærdom knyttet til termografering.....	63
5.8	Betydning i forbindelse med sertifiseringsordninger og standarder.....	64
6	Konklusjon.....	67
6.1	Videre arbeid.....	68
	Referanser.....	69
	Vedlegg 1: Termogram.....	73
	Vedlegg 2: Håndberegninger.....	137
	Vedlegg 3: Simulering.....	139
	Vedlegg 4: Tetthetsmålinger.....	143

Figurliste

Figur 1.1 Bilde av a) perforering i vindsperre og b) tilhørende termogram fra innsiden (Aurlien, 2013).....	1
Figur 2.1 Gjennomblåsing og anblåsing (SINTEF Byggforsk, 2014a).....	5
Figur 2.2 Forenklet vindtrykksfordeling rundt et hus (Edvardsen, 2014).....	6
Figur 2.3 Skorsteinseffekten (SINTEF Byggforsk, 2018)	7
Figur 2.4 Prosedyre for tolkning av termogram (Standard Norge, 1998).....	12
Figur 2.5 Tetthetsmålinger fra boligfeltet Jåtten øst i 2008 (Blom & Uvsløkk, 2012).....	13
Figur 3.1 BlowerDoor system (The Energy Conservatory, u.å. -a)	23
Figur 3.2 Kontroll av målenøyaktighet til DG-700.....	24
Figur 3.3 a) Temperatur på termoelement som holdes inntil termistor. b) Temperatur på termistor merket rødt.....	25
Figur 3.4 a) Punktmåling ved termistor med termokamera b) Temperatur avlest fra termistor i rødt	27
Figur 3.5 Sanntidsdata fra BIOKLIM på et tilfeldig tidspunkt (Redaksjonen NMBU, 2022)	28
Figur 3.6 a) Montering av hullplater på vindsperre b) Plassering av hullplate på veggprøve	30
Figur 3.7 Hull i a) inntrukket dampspærre b) ikke inntrukket dampspærre.....	31
Figur 3.8 Detaljtegning av montert veggprøve med a) inntrukket dampspærre og b) uten inntrukket dampspærre. Til venstre er modulkonstruksjonen i krysslåst tre, og til høyre veggprøven.....	32
Figur 3.9 Prøvenes plassering i modulen. a) viser veggprøve med inntrukket dampspærre, b) uten inntrukket dampspærre.....	33
Figur 3.10 Oversikt over plassering av måleutstyr.....	34

Figur 3.11 a) Plassering av termokamera b) Referansepunkter på veggoverflate.....	35
Figur 3.12 T-rør på slange som måler utvendig trykk.....	36
Figur 4.1 Utvalgte termogram fra forsøk 6. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.....	41
Figur 4.2 Utvalgte termogram fra forsøk 7. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.....	41
Figur 4.3 Utvalgte termogram fra forsøk 8. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.....	42
Figur 4.4 Utvalgte termogram fra forsøk 11. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.	42
Figur 4.5 Utvalgte termogram fra forsøk 12. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.	43
Figur 4.6 Utvalgte termogram fra forsøk 15. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.	43
Figur 4.7 Utvalgte termogram fra forsøk 16. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.	44
Figur 4.8 Siste termogram fra forsøk a) 14, b) 15 og c) 16 sidestilt	44
Figur 4.9 Utvalgt resultat fra Simscale fra simulering med 18mm, inntrukket dampspærre. a) 50Pa, b) 75Pa.....	47
Figur 4.10 Utvalgt resultat fra Simscale fra simulering med 18mm, uten inntrukket dampspærre. a) 50Pa, b) 75Pa.	47
Figur 4.11 Lufthastighet i simulering av vegg med 18mm hull.....	48
Figur 4.12 Håndberegnet volumstrøm gjennom sylindrisk isolasjon ved a) 50Pa og b) 75Pa	50
Figur 5.1 Illustrasjon av kald «kjerne» for forsøk 8, termogram 7(60 min) med manuell temperaturskala	54

Figur 5.2 Utvikling i mønster i forsøk uten inntrukket dampspærre.....	55
Figur 5.3 Illustrasjon av dominerende varmetransport i deler av veggen.....	60
Figurer i vedlegg	
Figur A. 1 Temperaturlogg forsøk 1	73
Figur A. 2 Termogram fra forsøk 1. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	75
Figur A. 3 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 1	76
Figur A. 4 Temperaturlogg forsøk 2	77
Figur A. 5 Termogram fra forsøk 2. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	79
Figur A. 6 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 2	80
Figur A. 7 Temperaturlogg forsøk 3	81
Figur A. 8 Termogram fra forsøk 3. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	83
Figur A. 9 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 3	84
Figur A. 10 Temperaturlogg forsøk 4	85
Figur A. 11 Termogram fra forsøk 4. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	87
Figur A. 12 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 4	88
Figur A. 13 Temperaturlogg forsøk 5	89
Figur A. 14 Termogram fra forsøk 5. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	91
Figur A. 15 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 5	92

Figur A. 16 Temperaturlogg forsøk 6	93
Figur A. 17 Termogram fra forsøk 6. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	95
Figur A. 18 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 6	96
Figur A. 19 Temperaturlogg forsøk 7	97
Figur A. 20 Termogram fra forsøk 7. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	99
Figur A. 21 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 7	100
Figur A. 22 Temperaturlogg forsøk 8	101
Figur A. 23 Termogram fra forsøk 8. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	103
Figur A. 24 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 8	104
Figur A. 25 Temperaturlogg forsøk 9	105
Figur A. 26 Termogram fra forsøk 9. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre.....	107
Figur A. 27 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 9	108
Figur A. 28 Temperaturlogg forsøk 10	109
Figur A. 29 Termogram fra forsøk 10. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	111
Figur A. 30 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 10	112
Figur A. 31 Temperaturlogg forsøk 11	113
Figur A. 32 Termogram fra forsøk 11. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	115

Figur A. 33 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 11	116
Figur A. 34 Temperaturlogg forsøk 12	117
Figur A. 35 Termogram fra forsøk 12. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	119
Figur A. 36 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 12	120
Figur A. 37 Temperaturlogg forsøk 13	121
Figur A. 38 Termogram fra forsøk 13. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	123
Figur A. 39 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 13	124
Figur A. 40 Temperaturlogg forsøk 14	125
Figur A. 41 Termogram fra forsøk 14. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	127
Figur A. 42 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 14	128
Figur A. 43 Temperaturlogg forsøk 15	129
Figur A. 44 Termogram fra forsøk 15. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	131
Figur A. 45 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 15	132
Figur A. 46 Temperaturlogg forsøk 16	133
Figur A. 47 Termogram fra forsøk 16. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre	135
Figur A. 48 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 16	136
Figur A. 49 Håndberegnet maksimal volumstrøm gjennom isolasjon.....	137
Figur A. 50 Håndberegnet maksimal volumstrøm gjennom hull.....	137

Figur A. 51 Håndberegnet volumstrøm gjennom hull og sylindrisk isolasjonslag	138
Figur A. 52 Simulering med inntrukket dampspærre. Til venstre 50Pa, til høyre 75Pa. a) og b) 8mm, c) og d) 18mm, e) og f) 30mm, g) og h) 75mm	140
Figur A. 53 Simulering uten inntrukket dampspærre. Til venstre 50Pa, til høyre 75Pa. a) og b) 8mm, c) og d) 18mm, e) og f) 30mm, g) og h) 75mm	142

Tabelliste

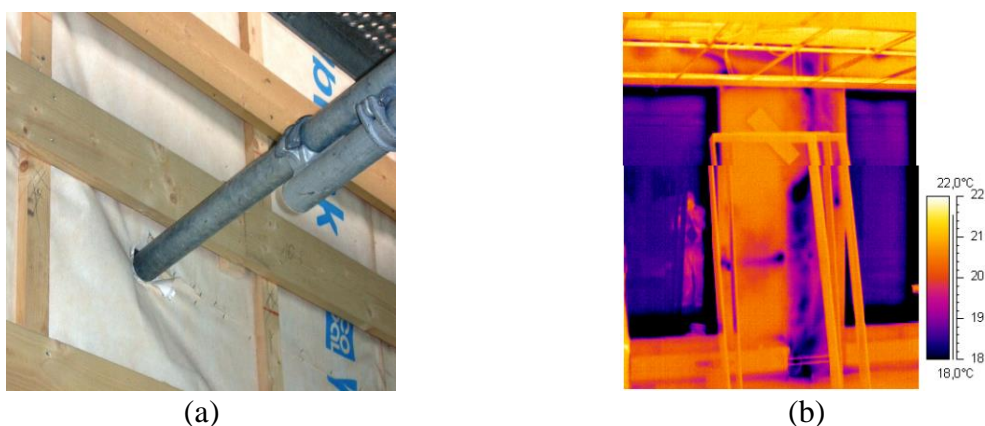
Tabell 3.1 Oversikt over forsøksparametere.....	22
Tabell 3.2 Utvalgte egenskaper til FLIR T620bx (FLIR, u.å.).....	26
Tabell 3.3 Utvalgte egenskaper til vindsperre (SIGA, 2018), mineralull (GLAVA AS, 2016), dampsperre (Skogstad, 2019) og gipsplate (BMC Norge, 2014).....	31
Tabell 3.4 Tabellverdier for parametere benyttet i simuleringen	39
Tabell 4.1 Resultat fra tetthetsmåling med inntrukket dampsperre.....	45
Tabell 4.2 Resultat fra tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre.....	45
Tabell 4.3 Volumstrøm ved ulike trykk hentet fra Simscale.....	46
Tabell 4.4 Håndberegnete verdier for maksimal volumstrøm gjennom isolasjon ved 50/75Pa undertrykk	49
Tabell 4.5 Håndberegnete verdier for maksimal volumstrøm gjennom hull ved 50/75Pa undertrykk	49

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Det er et økende fokus på bærekraftige bygninger i byggebransjen, og det kommer stadig strengere krav for å sikre mer energieffektive bygg. Luftlekkasjer i bygninger er en naturlig del av dette, da forskning har vist at infiltrasjon i nyere velisolerte hus kan stå for 25% av oppvarmingsbehovet i kalde klima (Kalamees, 2007). Det er derfor av stor interesse å redusere slike lekkasjer, noe som ofte gjøres ved termografisk metode. Det har blitt vanlig at byggherrer stiller krav til bærekraftige prosjekter.

Én ordning for å kunne vurdere bærekraften er Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), et stort internasjonalt sertifiseringssystem for bærekraftige bygg, som for visse sertifiseringsnivå blant annet stiller krav om termografering for å kontrollere energitelsen. Omega Akerholdt, en aktør som driver med både tetthetsmåling og termografering, har i en samtale rundt lufttetthet og BREEAM blant annet påpekt en svakhet ved termografering av nyere bygg med inntrukket dampspærre, som går på at denne inntrukne dampspærren gjør det vanskeligere å lokalisere lekkasjer i vindspærren. Tidligere har det vært mulig å lokalisere lekkasjer i vindspærre, noe som vises i [Figur 1.1](#) med en perforering av vindspærre og tilhørende termogram som viser kaldt utslag ved lekkasjen. Dersom det er slik at moderne byggemetoder hindrer lokalisering ved termografering, vil det være viktig å kartlegge og innhente kunnskap om dette slik at andre løsninger kan finnes, i tillegg til at man ikke feilaktig forventer at man kan finne slike lekkasjer. Det har blitt vanlig å bygge med inntrukket dampspærre, noe som gjør denne utfordringen aktuell.



Figur 1.1 Bilde av a) perforering i vindspærre og b) tilhørende termogram fra innsiden (Aurlien, 2013)

Selve utfordringen med at inntrukket dampspærre vanskeliggjør lokalisering av lekkasjer i vindspærre er ikke ny, men den er ikke tidligere studert og dokumentert som en konsekvens av nettopp inntrukket dampspærre. Det meste som er funnet av forskning om vindspærre kommer fra skandinaviske og nord-europeiske land, og handler ofte om vindspærrens bidrag til lufttetthet og hygrotermiske oppførsel. Det er derfor et hull rundt lokalisering av luftlekkasjer i vindspærre som trenger å fylles. Denne oppgaven vil derfor ta for seg denne utfordringen, og omfatter forsøk og vurderinger som har som mål å dokumentere og belyse eventuelle svakheter som finnes, samt vurdere tilgjengelige løsninger som eventuelt kan bidra til å kontrollere vindspærrens tetthet på en bedre måte.

1.2 Problemstilling

På bakgrunn av dette er følgende problemstilling og forskningsspørsmål utarbeidet:

Er det mulig å lokalisere lekkasjer i vindspærre med inntrukket dampspærre ved bruk av termografisk metode?

Forskningsspørsmål:

- Oppstår det et karakteristisk mønster i termogrammer med lekkasje i vindspærre?
- Hvor stor rolle spiller tidsaspektet?
- Hvilken påvirkning har volumstrøm og trykkforskjell på muligheten for å lokalisere lekkasjer?
- Bør standarder eller sertifiseringsordninger som BREEAM gjøre endringer eller presiseringer for å bedre kunne lokalisere lekkasjer i vindspærre?

1.3 Avgrensninger

Denne oppgaven tar kun for seg bindingsverksvegger isolert med mineralull og tett med vindduk, da det ikke er kapasitet eller budsjett til å gjennomføre forsøk på flere konstruksjonstyper eller bygningselementer. Bindingsverksvegger er svært vanlig både i småhus og større bygninger, og er en veldig relevant konstruksjonstype.

Det er ikke gjort egne beregninger av energibehov som følge av gjennomblåsing eller anblåsing i vindsperre, kun henvist til forskning om gjennomblåsing.

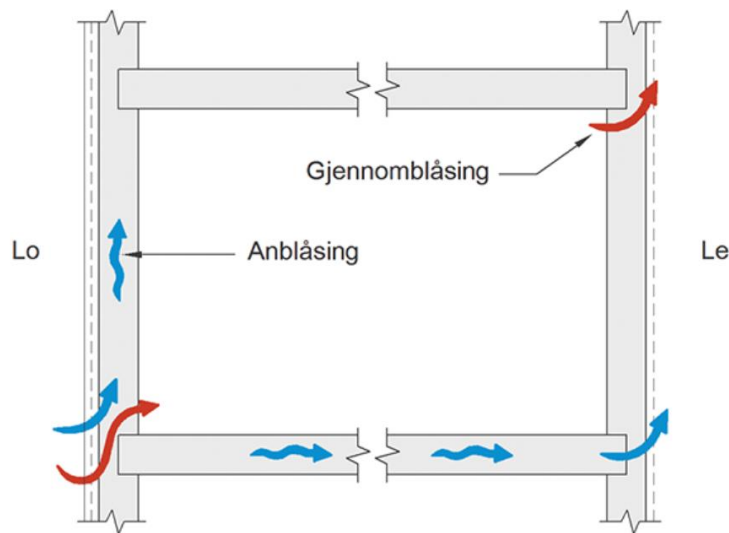
Det ble kun gjennomført stillestående (Steady-State) simulering, som betyr at den ikke er tidsavhengig. Dette følger av begrensninger i CAD-modell og programvare.

2 Teori

2.1 Lufttetthet

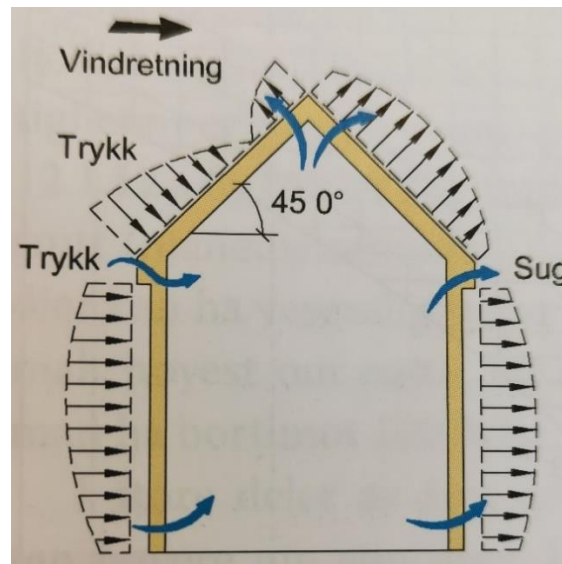
Lufttettheten i bygg er et begrep som omfatter luftlekkasjene i en bygning, både gjennom klimaskjermen og mellom interne enheter eller brannceller (SINTEF Byggforsk, 2014a). I Norge består klimaskjermen ofte av to tettesjikt der det på varm side av konstruksjonen er en dampsperre som både er luft og damptett, og det på kald side utenfor isolasjonen er en lufttett vindsperre. Det finnes to ulike former for luftlekkasjer i en klimaskjerm, anblåsing og gjennomblåsing som illustrert i [Figur 2.1](#).

Anblåsing skjer når luft trenger inn i utettheter i vindspærren, og trekker ut igjen andre steder. Slike lekkasjer drives av variasjoner i vindtrykk, og kan oppstå selv om dampspærren er tett. Ved anblåsing kan luften trekke gjennom store deler av klimaskjermen i isolasjonslaget mellom vindspærren og dampspærren. Gjennomblåsing innebærer at luften trenger gjennom både vindsperre og dampsperre, og strømmer gjennom selve boligen. Dette drives av temperatur- og trykkforskjeller over klimaskjermen. Luft som trenger inn og ut kalles gjerne infiltrasjon og eksfiltrasjon.



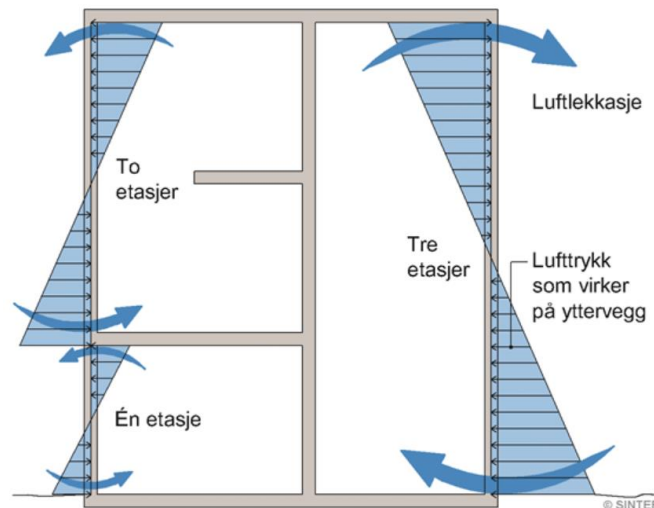
Figur 2.1 Gjennomblåsing og anblåsing (SINTEF Byggforsk, 2014a)

Det er alltid en form for trykkforskjell som driver luftlekkasjer i bygninger. Vindtrykk er en av dem, og kan påføre store trykkforskjeller på bygninger og dermed skape luftstrømmer gjennom utettheter i konstruksjonen. Dette kan føre både til anblåsing og gjennomblåsing. [Figur 2.2](#) viser forenklet vindtrykksfordeling rundt et frittliggende hus. Figuren viser at det skapes et trykk på lo side (vindpåkjent), og et sug på le side som driver luften gjennom konstruksjonen (SINTEF Byggforsk, 2014a).



Figur 2.2 Forenklet vindtrykksfordeling rundt et hus (Edvardsen, 2014)

En annen svært viktig drivkraft er temperaturforskjeller som skaper termisk oppdrift. Luftens densitet (ρ) er avhengig av temperatur, og varm luft vil ha lavere masse per volum enn kald luft. Enkelt sagt er varm luft lettere enn kald luft, som fører til at varm luft stiger og skaper et overtrykk øverst i rommet eller bygningen, og et undertrykk nederst (SINTEF Byggforsk, 2018). Der det er overtrykk vil inneluften eksfiltrere gjennom utettheter, og der det er undertrykk vil det være infiltrasjon gjennom utettheter. Uteluften er ofte kald, noe som ytterligere vil fortrenge den varme lufta opp i rommet. Denne effekten kalles skorsteinseffekten og er illustrert i [Figur 2.3](#).



Figur 2.3 Skorsteinseffekten (SINTEF Byggforsk, 2018)

Figuren er noe forenklet, da det også vil være et trykk mot himling og gulv. Figuren illustrerer også relasjonen mellom romhøyde og trykk. I figurens tilfelle antas det jevnt fordelte lekkasjer over romhøyden, som gir en nøytralakse midt i rommet. Den vil bevege seg mot den delen med størst lekkasjer dersom lekkasjene ikke er jevnt fordelt. Nøytralaksen er det punktet der det ikke er en trykkdifferanse mellom ute og inne. Trykkforskjellen mellom øvre og nedre del av rommet som følge av termisk oppdrift defineres ved ligningen under (SINTEF Byggforsk, 2014a):

$$\Delta p = \rho * g * z * \left(\frac{\theta_i - \theta_u}{273 - \theta_m} \right) [Pa]$$

Der

- ρ er luftens densitet i kg/m^3
- g er tyngdeakselerasjon i m/s^2
- z er høyde i m
- θ_i er temperatur på inneluft i $^{\circ}C$
- θ_e er temperatur på uteluft i $^{\circ}C$
- θ_m er middeltemperaturen mellom ute og inne i $^{\circ}C$

Denne formelen viser at trykkforskjellen mellom øvre og nedre del av rommet er avhengig av høyden z , noe som forklarer fordelingen i Figur 2.3. Der ser man at det blir større trykkdifferanse ved større romhøyde. En stor romhøyde trenger ikke å bety at det er et sammenhengende

volum uten etasjeskiller, men det kan være internlekkasjer som gjør at det i denne sammenhengen må vurderes som åpent. Det betyr at det i høye bygninger kan bli store trykkdifferanser selv om de ikke har så stor romhøyde. Denne effekten kan brytes opp ved å ha tette etasjeskille, slik at hver enkelt etasje får en fordeling som blir mer lik den som illustrerer én etasje i figuren. Da blir trykkdifferansen mye lavere, og både infiltrasjon og eksfiltrasjon reduseres betraktelig.

Den siste kilden til trykkforskjeller er mekanisk ventilasjon (SINTEF Byggforsk, 2014a). Ved balansert ventilasjon skal det reguleres slik at tilluft og avtrekk samsvarer. Da skal det i utgangspunktet ikke skapes betydelige trykkforskjeller. Det kan likevel oppstå dersom dører lukkes, og tilluft og avtrekk er i forskjellige rom, eller dersom ventilasjonsanlegget ikke er justert riktig. Dersom det er avtrekk i et lukket rom uten tilluft vil det skapes et undertrykk, som både kan trekke inn luft fra andre deler av bygningen, eller gjennom klimaskjermen. Motsatt kan rom med tilluft få overtrykk som driver luft ut gjennom utettheter. Det er også vanlig å ha noen typer forsert ventilasjon, som kjøkkenvifter eller baderomsvifter. Disse virker ofte utenom ventilasjonsanlegget, og vil påføre et større undertrykk i boligen som dermed kan føre til infiltrasjon gjennom utettheter i konstruksjonen.

2.2 Konsekvenser av luftlekkasjer

Luftlekkasjer i konstruksjonen kan ha stor betydning for energibruk til oppvarming og kjøling av en bolig. Ved anblåsing vil luftbevegelser i isolasjonen føre til en lavere isolasjonsevne, da isolasjon er ment å holde lufta i et hulrom stille (SINTEF Byggforsk, 2014a). Bevegelser i lufta betyr da at isolasjonsevnen svekkes og man får økt varmetap.

Ved gjennomblåsing vil luftvekslingene medføre at innelufta etter hvert vil bli erstattet av ute-luft. Dette vil føre til et større oppvarmingsbehov i kalde årstider, og et nedkjølingsbehov i varmere årstider. Denne lufta føres ut uten noen mulighet for varmegjenvinning, så dersom man har et ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner vil dette føre til en redusert gjenvinningsevne, og mer energi vil gå til oppvarming. Lekkasjer fører også til at det kommer inn luft som ikke går innom varmegjenvinneren, og man må derfor bruke mer energi på oppvarming og nedkjøling avhengig av årstid.

I tillegg til energibruk, er også fuktskader en mulig og potensielt alvorlig konsekvens av luftlekkasjer. Dette skyldes ofte utettheter i dampsperran (SINTEF Byggforsk, 2018). Dette kan

være både feil utførelse i skjøter eller punkteringer. Dersom luft trenger gjennom slike utettheter kan det oppstå kondens dersom temperatur og fuktinnhold ligger til rette for det. Varm luft har større evne til å holde på fuktighet enn kald luft, og det er derfor ofte verre dersom inneluft trenger ut gjennom konstruksjonen enn motsatt. Av samme grunn kan man si at overtrykk er verre enn undertrykk når det kommer til fukt. Ved utettheter i dampspærren kan luft trenge inn i konstruksjonen bak dampspærren dersom det blir innvendig overtrykk. Inne i konstruksjonen kan denne luften avkjøles såpass at det begynner å kondensere. Dette kan videre føre til skader som mugg og råte, avhengig av temperatur, fuktighet og materiale. Dette kan være spesielt kritisk opp mot tak, da skorsteinseffekten kan føre til et stort overtrykk opp mot himling som fører til større luftmengder gjennom lekkasjer. Siden uteluften stort sett er kaldere og mindre fuktig enn inneluften vil undertrykk som fører til infiltrasjon vanligvis ikke være kritisk, da det ikke fører til kondens når det er varmere inne. Unntaket kan være kjellere, der det kan komme fuktig luft fra grunnen inn i et kaldt kjellerrom (SINTEF Byggforsk, 2018).

Luftlekkasjer har også betydning for komfort i forbindelse med trekk. Som nevnt i kapittel 2.1 kan det bli undertrykk inne som følge av vind, termisk oppdrift eller avtrekk, som suger inn luft fra ute. Dette er svært typisk fra overgang mellom gulv og vegg, rundt vindu og dører og rundt gjennomføringer av ulike typer (Blom & Uvsløkk, 2012). Lekkasjer med høy hastighet kan føre til lokale nedkjølinger på kroppen, som oppleves som trekk (SINTEF Byggforsk, 2017). Temperaturen på disse lekkasjene har også betydning for opplevelse av komfort.

I tillegg til dette har luftlekkasjer betydning for både lyd, brann, radon, lukt og smitte (SINTEF Byggforsk, 2014a).

2.3 Lekkasjetall og måling

I Norge brukes lekkasjetallet n_{50} for å beskrive en bygnings lufttetthet. Dette er et tall som beskriver antall luftvekslinger per time, altså hvor mange ganger bygningens luftvolum byttes ut i løpet av en time med 50Pa trykkforskjell. Kravet i TEK17 er på 0,6 luftvekslinger per time (h^{-1}) med et minimumskrav på $n_{50} \leq 1,5 h^{-1}$ ved omfordeling (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

Ved lufttetthetsmålinger må man fylle inn informasjon om byggets dimensjoner, vindforhold og hvor vindutsatt bygget ligger til, temperatur ute og inne og om mulig barometertrykk. Tetthetsmålinger i Norge utføres etter NS-EN ISO 9972:2015 (Standard Norge, 2015).

Tetthetsmålingene for 50Pa (som benyttes i Norge) gjennomføres ved at man registrerer bygningens lekkasje for minst 5 ulike trykk rundt 50Pa, og registrerer luftmengde for hver måling. Disse målingene plottes i en graf som det gjøres en regresjon på. Luftmengden som settes som lekkasjeluftmengde for 50Pa er den luftmengden som blir i krysningen mellom regresjonslinjen og 50Pa. Før og etter målingene registreres byggets baselinjetrykk med trekk over vifta. Dette er trykkforskjell som skyldes vind, termisk oppdrift eller andre drivkrefter som fører til en luftstrøm gjennom vifta. Dette blir tatt hensyn til i målingene for å øke nøyaktighet (The Energy Conservatory, u.å.-b). Etter endt måling får man ut en rapport som viser lekkasjemengde og lekkasjetall etter den metoden man måtte ønske. Slike målinger gjøres nå oftest automatisk med programvare tilkopleet trykkutstyr.

Lekkasjeluften finnes ved likningen:

$$V' = C * \Delta p^n [m^3/h]$$

Der C er luftstrømskoeffisienten definert for ringen i vifta, Δp er trykkforskjell og n er eksponenten (Grimnes, 2010). C finner man ved å lese av volumstrøm på regresjonslinjen ved 1Pa trykkforskjell. Videre må man lese av V'_{10} for 10Pa og V'_{100} for 100Pa, som benyttes i formelen:

$$n = \log_{10}\left(\frac{V'_{10}}{V'_{100}}\right)$$

Med disse verdiene kan man finne lekkasjetallet ved 50Pa ved å sette inn C og n i den øverste likningen, og Δp som 50Pa. For å finne n_{50} må man dividere lekkasjeluftmengden ved 50Pa (V'_{50}) med bygningens målte volum V .

2.4 Termografering

Termografering er når man benytter instrumenter som kan måle intensitet i varmestrålingen fra objekter og gjøre dette om til et termogram, altså et bilde med farger som gjengir strålingstemperatur på en flate (Hart, 1991). Disse fargene gjør det mulig å tolke bildet og avdekke feil og mangler, men kan også være til hjelp med å finne skjulte konstruksjonsdetaljer som eksempelvis innkledde piper og rør, eller varmekabler. Det bør også være en temperaturskala medfølgende til bildet, da det gjør tolkning av termogrammet enklere. Uten en temperaturskala blir det vanskelig å vurdere faktisk temperaturredifferanse og konsekvens.

Varmekameraene som brukes til termografering opererer i det infrarøde spekteret som finnes utenfor spekteret for synlig lys, og derfor usynlig for mennesker (Hart, 1991). Infrarød stråling kalles også varmestråling, fordi strålingen relateres til varme i dette spekteret. I temperaturskalaen er det et absolutt nullpunkt på 0 Kelvin (-273°C), som er den laveste temperaturen som kan oppnås. Alle overflater som har en temperatur over dette nullpunktet vil sende ut infrarød stråling, og det kan dermed registreres strålingsintensitet med et infrarødt kamera så lenge strålingen er innenfor spekteret kameraet fungerer i (SINTEF Byggforsk, 2014b).

Det er flere bruksområder for termografering i byggebransjen. Det kan blant annet brukes til å lokalisere luftlekkasjer og kuldebroer, avdekke isolasjonsfeil, fukt i konstruksjonen eller elektriske feil, og til å finne og studere diverse tekniske installasjoner (SINTEF Byggforsk, 2014b). Metoden har imidlertid sine begrensninger, da den er avhengig av ulik strålingsintensitet for å registrere varmefordeling. Det betyr at det må være en temperaturdifferanse på overflatene som termograferes for å få et tolkbart resultat.

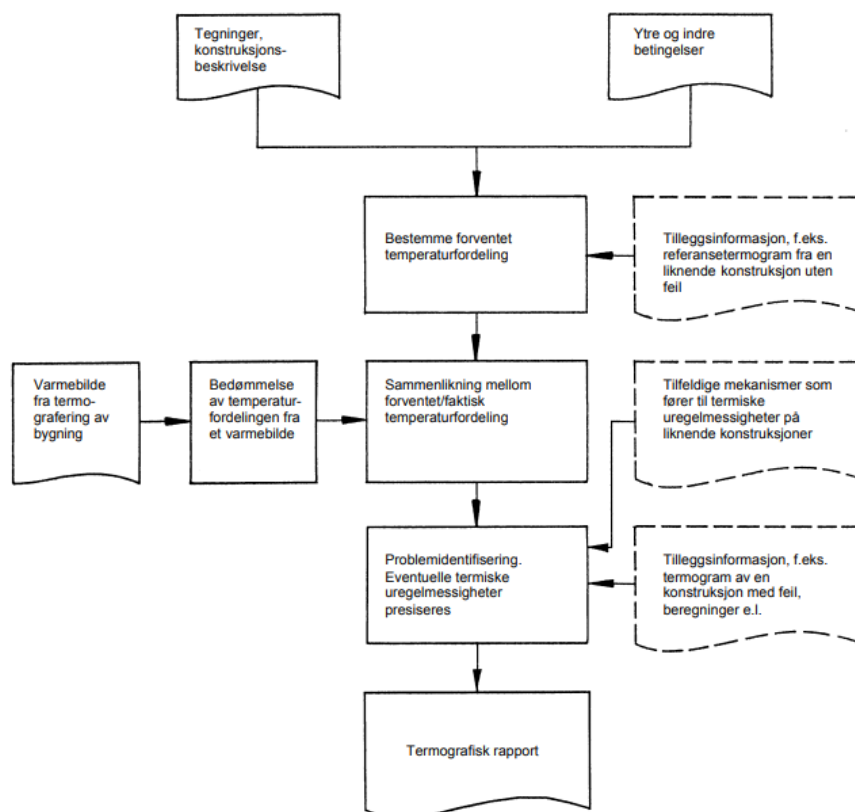
Det er viktig å ha et kritisk blikk på resultatet etter termografering, da det kan være flere faktorer som påvirker strålingsintensiteten (Hart, 1991). Det er viktig å vurdere overflaten som termograferes, og hvilke materialer eller overflatebehandlinger det er, da disse kan gi variasjoner i strålingsintensiteten. Emissiviteten er materialers strålingsevne sett i forhold til et svart legeme, og strålingsintensitet vil derfor variere mellom overflater av ulike materialer. Dette kan gi store utslag på et termogram. Termisk refleksjon er også avhengig av emissiviteten. Materialer med lav emissivitet har større evne til refleksjon. Det kan eksempelvis være stråling fra en radiator eller en annen varmekilde som reflekteres, eller det kan være fra termograføren. Dette er vanligvis enkelt å identifisere, da refleksjoner på en overflate vil variere avhengig av kameravinkelen. Sollys kan også føre til store forstyrrelser under termografering, og det stilles derfor krav til solforhold i standarden.

2.5 Lokalisering av luftlekkasjer ved termografering

Ved lokalisering av termiske uregelmessigheter og luftlekkasjer ved termografering skal NS-EN 13187 (1998) følges. Denne standarden angir en rekke prinsipper som skal følges samt prosedyre for utførelse, herunder detaljer for lokalisering av luftlekkasjer. Grimnes (2010) påpeker at standarden er gammel, og at det er en del parametere som i praksis har vist seg å ikke være så viktig. Eksempelvis er det mange termokameraer som ikke opererer i spekteret som er definert i standarden, men likevel har svært høy nøyaktighet.

For å kunne se luftlekkasjer på et termogram er man avhengig av at man har en temperaturforskjell mellom ute- og innetemperatur, i tillegg til at det skal være undertrykk i rommet som termograferes. Standarden angir at det skal være minst 5Pa undertrykk for å lokalisere luftlekkasjer. Både Grimnes (2010) og Hart (1991) mener det bør være minst 10Pa trykkforskjell. Standarden stiller ikke krav til temperaturforskjell, men både ovennevnte Hart og Grimnes, samt Wahlgren og Sikander (2010) mener at en temperaturforskjell på 5°C er tilstrekkelig. Wahlgren og Sikander påpeker at en forskjell på 10°C er å foretrekke.

Standarden angir en vanlig prosedyre for termografering, som blant annet inkluderer at det skal noteres ned værforhold som temperatur, skydekke, nedbør og vind da dette kan ha betydning for tolking av termogram. I [Figur 2.4](#) presenteres en illustrasjon fra standarden som viser en vanlig prosedyre for tolkning av termogram. Her er det blant annet lagt vekt på at man skal kjenne til oppbygningen av det som termograferes for å kunne vurdere forventet temperaturfordeling.



Figur 2.4 Prosedyre for tolkning av termogram (Standard Norge, 1998)

2.6 Vindsperre i konstruksjoner

Vindsperre er et lufttett konstruksjonsmateriale som monteres innenfor bygningens ytterkledning. Denne skal fungere både som et beskyttende lag under byggeprosessen, og som vindtetting og beskyttelse mot regnvann (Blom & Uvsløkk, 2012). Vindsperren fungerer ved at den er svært lufttett, men samtidig slipper fukt ut av konstruksjonen. Med dette bidrar den sammen med dampsperran til å redusere varmetap som følge av luftlekkasjer, i tillegg til at den tillater uttørking. Delen med uttørking er svært viktig, og vanndampmotstanden (s_d -verdi) bør ikke overstige 0,5m (SINTEF Byggforsk, 2003). Dersom vindsperren har for høy vanndampmotstand kan dette føre til at byggfukt blir innesperret i stenderverket og isolasjon, noe som kan føre til mugg og råteskader.

Bruk av vindsperre kan bidra til å oppnå et godt lekkasjetall, og lufttetthetsmålinger i vindtettfasen kan gi en trygghet på lekkasjetallet ved ferdig bygg. I [Figur 2.5](#) viser tetthetsmålinger i et boligfelt at det i de aller fleste tilfeller ble et bedre lekkasjetall ved ferdig bygg enn i vindtettfasen (Holøs (2010) for Boligprodusentenes Forening, referert til av Blom og Uvsløkk (2012)). Dette tyder på at gode lufttetthetsmålinger i vindtettfase kan være en indikasjon på gode målinger ved ferdig bygg. Noen avvik er det, som nok skyldes skader eller gjennomføringer under byggearbeider, for eksempel gjennomføring for pipe eller ventilasjon.



Figur 2.5 Tetthetsmålinger fra boligfeltet Jåtten øst i 2008 (Blom & Uvsløkk, 2012)

I en annen studie er det funnet at det kan være store variasjoner i lufttetthet i vindtettfase og ferdig bygg, men ikke nødvendigvis at tettheten er bedre ved ferdig bygg (Relander et al., 2012).

Der blir det påpekt at deres tetthetsmålinger tyder på at det er omtrent like sannsynlig at det blir bedre lufttetthet ved ferdig bygg som i vindtetttfase, som at det blir dårligere. Det påpekes videre at det er god grunn til å gjennomføre testing i vindtetttfase da det likevel gir en indikasjon på lufttetthet i slutfase. Resultatene i denne studien viser at man ved lekkasjetall $n_{50w} \leq 0,95 \text{ h}^{-1}$ i vindtetttfase kan være 95% sikker på at man kommer innenfor $n_{50f} \leq 2,5 \text{ h}^{-1}$, som var kravet i TEK10. Aurlien (2013) viser også til bruk av tetthetsmåling i vindtetttfase for å utbedre lekkasjer i vindspærren, da det ikke alltid er nok å utbedre lekkasjer i dampspærren. Her nevnes også problematikken med termografering ved inntrukket dampspærre som et punkt som taler for testing i vindtetttfasen.

En studie fra Belgia viser at det er mulig å oppnå passivhuskravet på 0,6 luftvekslinger per time (likt som TEK17) med kun bruk av vindspærre (Langmans et al., 2010). Dette ble oppnådd selv ved å kun forsegle skjøter på de kritiske områdene, i publikasjonen ansett som mellom tilstøtende vegger, og mellom vegger og tak. Verdt å merke er likevel at dette var en vindspærre med not og fjær, som dermed har større tetthet i skjøter enn rektangulære plater eller duk. Det ble også påpekt at regnvær har en betydelig effekt på vindspærrens permeans, og at det ved testing i vindtetttfase bør være tørt vær. I denne artikkelen ble det nevnt at det er lite litteratur som kvantifiserer vindspærrens viktighet for byggets lufttetthet, siden tetthetsmålinger vanligvis gjennomføres når bygget er ferdig.

Selv om vindspærren i seg selv kan være nok til å innfri kravet til lekkasjetall, kan man ikke gå bort fra bruken av dampspærre. Langmans et al. (2011) undersøkte videre den hygrotermiske oppførselen i vegger med kun vindspærre, og fant at det ble en økning i fuktbevegelser i veggen, spesielt mot øvre del av veggen som følge av oppdrift. En studie fra Sverige viser at det i bindingsverksvegger med vindspærre vil være redusert risiko for fuktproblematikk som mugg og råte (Watt et al., 2015). I likhet med Langmans et al. (2011) ble det funnet at det er i øvre del av veggen at fukt vil ansamles, men at det på sommertid ikke er forskjell på fuktnivå med og uten forseglede skjøter i dampspærren. Det er kun vinterstid det var en betydelig fuktansamling i veggen, men da med temperaturer der mugg- og råte ikke er et problem. Denne fukten tørket ut, slik at det ikke ble en akkumulering over tid. Dette viser at vindspærren bidrar til en ekstra trygghet også i forhold til fuktproblematikk der dampspærren har skader, da fukttransport gjennom infiltrasjon og eksfiltrasjon nærmest elimineres ved en tett montert vindspærre.

2.7 Varmetransport

I alle tilfeller med en temperaturforskjell vil det foregå en form for varmetransport. Varmetransport skjer i hovedsak på tre måter (Edvardsen, 2014):

- Varmeledning (konduksjon)

Varmeledning kjennetegnes ved at det er molekylære bevegelser i materialet som fører til varmetransport. Dette skjer ved at molekyler med ulik temperatur beveger seg i ulik hastighet med ulik bevegelsesenergi kolliderer og bevegelsesenergi overføres fra varme molekyler til kaldere molekyler med lavere hastighet. Slik varmeledning foregår i både fast stoff, væske og gass, og er proporsjonal med temperaturforskjell over materialet. Materialer har ulik varmeledningsevne, eller termisk varmekonduktivitet, som er et mål på materialets evne til å lede varme og avhenger av materialets molekylstruktur, densitet, temperatur og fuktinnhold. Materialer med lav densitet, som mineralull, har lavere varmeledningsevne enn eksempelvis metaller med høy densitet.

Fouriers varmeledningslov omhandler nettopp slik varmeledning, som beskrives med likningen for varmefluks (Thue, 2016):

$$q_x = -\lambda * \frac{dT}{dx} \left[W/m^2 \right]$$

Der

- λ er varmeledningsevne, eller termisk varmekonduktivitet.
- dT/dx er temperaturgradienten.

Varmestrømmen gjennom et areal A er avhengig av denne varmefluksen, og defineres som (Thue, 2016):

$$\Phi_{konduksjon} = A * q_x = -A * \lambda * \frac{dT}{dx} [W]$$

- Konveksjon (strømning)

Varmetransport i form av konveksjon oppstår i strømmende fluider, altså i gass eller væske. En del av energitransporten foregår ganske enkelt ved at fluidet beveger på seg og bærer med seg energi (adveksjon), men det vil også være en molekylær varmetransport mellom fluider dersom det er en temperaturforskjell (Thue, 2016). Samlet kalles dette konvektiv varmetransport. Konveksjon oppstår både naturlig og tvungent. Naturlig

konveksjon oppstår typisk i hulrom med en temperaturforskjell på flatene på hver side, som i et vindu. Der vil luften på varm side varmes opp og stige, samtidig som luften på kald side kjøles ned og synker. Den varme lufta vil varme opp den kalde flaten, og dermed gi fra seg varmeenergi og synke igjen slik at det dannes et kretsløp som transporterer varme fra varm til kald side. Tvungen konveksjon oppstår i tilfeller der strømming oppstår på grunn av ytre påvirkning, som vind eller vifte.

Konvektiv varmetransport er proporsjonal med temperaturforskjell mellom fluid og overflate, beskrevet i Newtons avkjølingslov (Thue, 2016):

$$\Phi_{konveksjon} = A_s * h_c * (T_s - T_{\infty}) [W]$$

Der

- A_s er areal av varmeovergangsflaten
 - h_s er konvektiv varmeovergangskoeffisient
 - T_s er overflatetemperatur
 - T_{∞} er fluidets temperatur
- Stråling
- Varmestråling er stråling med bølgelengder som i hovedsak ligger i bølgelengdeområdet 0,1 μ m til 100 μ m (Thue, 2016), og som kan gå gjennom både gass, væske og enkelte faste stoffer. Alle overflater både emitterer og absorberer stråling, og varme flater emitterer mer enn kalde flater. På denne måten vil det ved to motstående flater med ulike temperaturer bli en netto varmetransport fra den varme til den kalde flaten (Edwardsen, 2014). Strålingsintensiteten E , som nevnt i 2.4, er et mål på varmestrålingens størrelse og er definert ved likningen:

$$E = \sigma * \varepsilon * T^4 [W/m^2]$$

Der

- σ er Stefan-Bolzmanns konstant, $5,67 * 10^{-8} W/m^2K^4$
- ε er emisjonsfaktor
- T er flatens absolutte temperatur

Varmestrømmen er avhengig av overflateareal A , og finnes ved (Thue, 2016):

$$\Phi_{str\ddot{a}ling} = A * \sigma * \varepsilon * T^4 [W]$$

Det oppstår også varmetransport ved faseoverganger som fordamping og kondensering.

2.8 Simscale

Simscale er en nettleaserbasert simuleringstjeneste med muligheter for tredimensjonal simulering av både mekanikk, fluiddynamikk og termodynamikk (SIMSCALE, 2021b). Tjenesten benytter seg av både elementmetoden og volum-baserte løsninger for simuleringene. Simuleringene gjøres på CAD-modeller som importeres til programmet, og tilegnes en rekke egenskaper avhengig av simuleringstype. Til slutt deles modellen inn i et «mesh», som er et tredimensjonalt rutenett. Under simuleringen beregnes det aktuelle verdier for hver celle i dette meshet. Det er mulig å justere både størrelse og form på disse cellene for å endre finheten i resultatene. Dette kan sammenlignes med en numerisk løsning for integrering, ved at det med flere numeriske løsninger vil tilnærme seg den faktiske verdien. Man justerer derfor finheten på rutenettet til det punktet der de tilnærmede verdiene endrer seg i ubetydelig grad ved å gjøre det enda finere.

Resultat fra simuleringer i Simscale kan til en viss grad hentes ut numerisk med tallverdier, eller som visuell representasjon av modellen der visse egenskaper vises med en skala med tilegnede farger. Dette kan være eksempelvis temperatur, trykk eller lufthastighet i CFD-simuleringer, eller spenning i strukturelle simuleringer.

Simscale har mulighet for å definere porøse materialer i CFD-simuleringer. Dette kan være deler i rør, eller for eksempel porøse isolasjonsmaterialer. Det finnes flere måter å definere dette på, blant annet med definerte trykkfall, perforerte plater eller med materialers permeabilitet. Simscale benytter Darcy-Forchheimer-koeffisienter til å definere materialers permeabilitet. Dette er definert slik at dersom man setter Forchheimer-koeffisientene som 0, så avhenger porøsiteten kun av Darcy-koeffisientene (SIMSCALE, 2021a).

Darcy-koeffisientene defineres i tre retninger, som muliggjør simulering av både isotrope og anisotrope materialer. Darcy-koeffisienten defineres som:

$$d = \frac{1}{k} [1/m^2]$$

Der k er permeabiliteten til materialet (SIMSCALE, 2021a).

2.9 Luftstrømninger

Luftstrømninger er i stor grad avhengig av mediet det strømmes gjennom, enten det er en annen væske, gass eller permeable materialer. Alle materialer har en permeabilitet som er avhengig av porøsiteten i materialet. Denne permeabiliteten kan brukes til å si noe om evnen luft har til å strømme gjennom materialet når det er en trykkgradient (Thue, 2016). Dette gjelder også for luftstrøm gjennom bygningsmaterialer som isolasjon, betong og treverk. Alle disse har en permeabilitet, der treverk og betong er svært tette, mens fiberisolasjon er noe mindre tett.

Luftvolumstrøm (R) i porøse materialer kan beregnes ved stasjonære forhold ved å bruke Darcys lov (Thue, 2016):

$$R = -A * \frac{k}{\eta} * \frac{dP_a}{dx} [m^3/s]$$

Der:

- A er areal normalt på strømeretning [m^2]
- k er spesifikk permeabilitet [m^2]
- η er dynamisk viskositet [$Pa \cdot s$]
- $(dP_a)/dx$ er trykkgradienten [$m^2/Pa \cdot s$]

Luftstrøm i bygninger er også ofte avhengig av hull for å strømme gjennom bygningsdelene, enten de er tilsiktede eller ikke. Strømning gjennom hull er i utgangspunktet ganske komplisert, men det finnes tilnærmingsformler. Under gis en tilnærmingsformel for volumstrøm (R) gjennom hull eller spalter i tynne sjikt (Thue, 2016):

$$R = c * A * \sqrt{\Delta p} [m^3/s]$$

Der:

- c er en tilnæringsverdi, omtrent $0,85 \text{ m} \cdot \text{Pa}^{-0,5} \cdot \text{s}^{-1}$
- A er areal av hull/spalte
- Δp er trykkforskjellen over sjiktet

2.10 BREEAM-NOR

BREEAM er et stort internasjonalt sertifiseringssystem som skal sikre miljø og bærekraft i både nybygg og rehabilitering (BRE, u.å.). Det er opprinnelig en engelsk ordning, men benyttes nå i 74 land, inkludert Norge der det er det mest brukte sertifiseringssystemet for nybygg og rehab. Dette er et rangeringssystem som skal vise til et byggs bærekraft, og det finnes fem sertifiseringsnivåer: Pass, Good, Very Good, Excellent og Outstanding (Grønn byggallianse, u.å.-c). Sertifiseringsnivået bestemmes av hvor mange poeng et prosjekt oppnår. Disse poengene gis på bakgrunn av faste premisser som er nøye beskrevet i BREEAM-manualen, og i hvert prosjekt skal dette dokumenteres og følges opp av en uavhengig revisor.

Det finnes nasjonale tilpasninger av denne manualen som skal gjenspeile beste praksis. I Norge kaller vi den nasjonale tilpasningen for BREEAM-NOR, som administreres av Grønn Byggallianse. 28. februar 2022 ble BREEAM-NOR v6.0 lansert, som erstatter BREEAM-NOR 2016 (Grønn byggallianse, u.å.-a). Det vil si at alle nye prosjekter registrert fra 28. februar som skal BREEAM-sertifiseres faller under den nye manualen. Det er i denne gjort endringer for at manualen skal tilpasses EUs taksonomiforordning for bærekraftig finans, som blant annet angir at bygget skal ha et energibehov 10% under grenseverdien for nZEB (Grønn byggallianse, u.å.-b). Siden det ikke er et nasjonalt definert nZEB nivå i Norge, har Grønn Byggallianse valgt å tolke dette som 10% redusert netto energibehov etter TEK17s energiramme. Det er lagt opp til at dette skal revideres med neste TEK.

2.11 Lufttetthet i BREEAM

I den forrige manualen, BREEAM-NOR 2016 var det i emnet ENE23 et spesifikt punkt som gikk på lufttetthet og termografering. Punkt 4 under ENE23 spesifiserte at tetthetsprøving skulle utføres kombinert med en termografisk undersøkelse, og at lekkasjetallet n_{50} skulle være mindre enn eller lik 0,6 luftvekslinger per time (Grønn byggallianse, 2016). I den nye manualen fra 2022 er ikke lengre ENE23 å finne, da denne er integrert med ENE01- bygningens energiytelse. Under kriterium 10 finner man nå kravet om termografisk undersøkelse for å sikre

isolasjonskontinuitet, unngå kuldebroer og bekrefte at det ikke er noen veier for luftlekkasjer gjennom konstruksjonen (Grønn byggallianse, 2022). Det kan oppnås 4 poeng under temaet bygningers energiytelse, men disse gis i kriterium 9 med energimerkingen. Termografisk undersøkelse er et krav under dette temaet for å kontrollere energiytelsen. Kriterium 9-12 spesifiseres i manualens Tabell Int-04 som minstekrav for å oppnå klassifiseringsnivå «excellent» og «outstanding». Tetthetsmåling og termografisk undersøkelse er også et krav for bygninger over 5000m² for å oppfylle den tidligere nevnte EU-taksonomien. Minstekravene til klassifiseringsnivåene «excellent» og «outstanding» er tilstrekkelig til å oppnå kravene i taksonomien.

Det spesifiseres videre i M3.1 at termografisk undersøkelse skal sikre undersøkelse av klimaskjerm mot oppvarmede områder, og vegger mellom oppvarmet og uoppvarmet område. Lekkasjetallet er ikke spesifisert i den nye manualen, heller ikke i taksonomien. Det vil da følge teknisk forskrift, som har satt kravet til $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ (minimumskrav $1,5 \text{ h}^{-1}$) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Forøvrig er også kravet til lekkasjetall 0,6 også for passivhus, som også er henvist til i BREEAM-manualen (Standard Norge, 2012). Den nye manualen åpner for å ha lekkasjetall på $1,5 \text{ h}^{-1}$ så lenge energirammen oppfylles.

3 Metode

For å undersøke og dokumentere muligheten for å lokalisere luftlekkasjer i vindsperre ved termografering både med og uten inntrukken dampspærre ble det gjennomført forsøk i felt parallelt med datasimulering i Simscale. Det ble også gjort enkle håndberegninger for å kontrollere resultatene. Disse går ut på å finne maksimal luftstrøm gjennom hullet og gjennom isolasjonen hver for seg.

I forsøkene ble det undersøkt om det i praksis er mulig å lokalisere lekkasjer ved termografering i veggprøver med og uten inntrukket dampspærre, med hull i ulike diametere. Dette ble gjort ved to ulike trykk. Grunnlaget for dette er en studie fra Portugal som tydelig viser at høyere trykk gir tydeligere lekkasjer på termogrammer (Barreira et al., 2017).

Samtidig med forsøkene ble det også kjørt tetthetsmålinger for hvert hull for å kunne si noe om hvilken volumstrøm det er ved ulike diametere.

I simuleringen ble det lagt inn modeller av de samme veggprøvene, med samme hull og trykkforskjell. Simuleringene baseres på luftstrøm i veggen for å gi forståelse om hvordan luftstrømming faktisk foregår inne i en isolert vegg med trykkforskjell. I tillegg gir simuleringene en tilnærming på volumstrøm som kan sammenlignes med trykktestene som gjøres i praksis.

Diameteren på de ulike hullene er satt etter hull som kan tenkes å kunne oppstå på en byggeplass, og følger dermed ikke jevne intervall og får ganske tydelige ytterpunkter. Det minste hullet er valgt som 8mm, som kan oppstå eksempelvis ved feilboring av hull til øyebolter for stillasinnfesting. Det neste hullet er 18mm, som typisk kommer av gjennomføring for 16mm k-rør. Deretter kommer 30mm, som kan være av hammerslag i GU, eller punktering av andre bygningsdeler. Det største hullet er satt som 75mm, som for eksempel kan oppstå dersom vindsperre monteres innenfor stillas eller byggeheis som er festet med anker til konstruksjonsdeler innenfor vindsperren, som i [Figur 1.1](#).

Trykkforskjellene er valgt med utgangspunkt i vanlig praksis. Det er vanlig å kjøre 50Pa undertrykk ved termografering, og det er også utgangspunktet her (Grimnes, 2010). Det ble valgt å kjøre 75Pa som den andre trykkforskjellen, da det er mulig å hente ut lekkasjetall fra 75Pa etter trykktesting, og det vil dermed være mulig å knytte opp mot forsøkene.

Med dette som utgangspunkt ble det satt opp åtte forsøk per veggprøve, siden det er fire hull og to ulike trykkforskjeller. [Tabell 3.1](#) viser en oversikt over alle forsøk som er utført. De samme parameterne er benyttet både i de fysiske forsøkene og simuleringene.

Tabell 3.1 Oversikt over forsøksparametere

Forsøk	Plassering av dampsperre	Hulldiameter	Trykkforskjell
1	Inntrukket	8mm	50Pa
2	Inntrukket	8mm	75Pa
3	Inntrukket	18mm	50Pa
4	Inntrukket	18mm	75Pa
5	Inntrukket	30mm	50Pa
6	Inntrukket	30mm	75Pa
7	Inntrukket	75mm	50Pa
8	Inntrukket	75mm	75Pa
9	Ikke inntrukket	8mm	50Pa
10	Ikke inntrukket	8mm	75Pa
11	Ikke inntrukket	18mm	50Pa
12	Ikke inntrukket	18mm	75Pa
13	Ikke inntrukket	30mm	50Pa
14	Ikke inntrukket	30mm	75Pa
15	Ikke inntrukket	75mm	50Pa
16	Ikke inntrukket	75mm	75Pa

3.1 Måleutstyr og programmer

3.1.1 Minneapolis BlowerDoor med DG-700

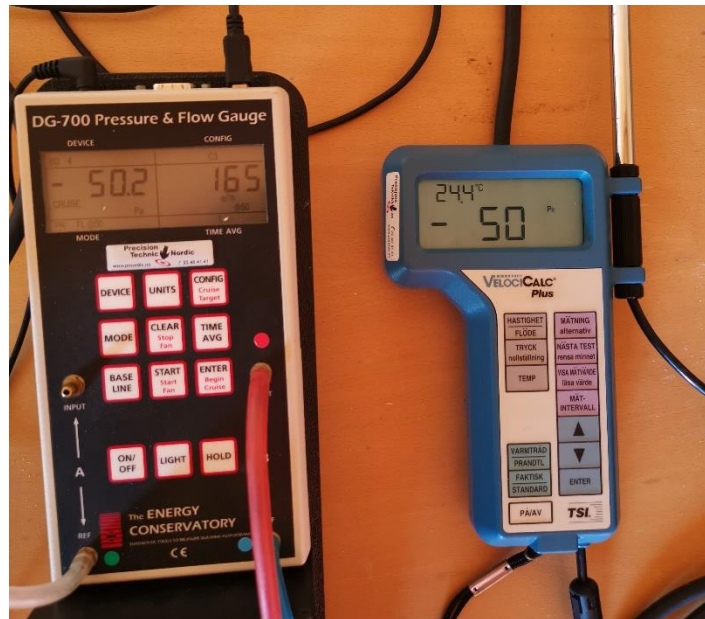


BlowerDoor-systemet benyttes til å måle lufttetthet til bygninger ved å sette bygningen under trykk i henhold til viftetrykksmetoden i NS-EN ISO 9972:2015 (Standard Norge). Systemet består av en ramme med en lufttett duk, en vifte og et digitalt mikromanometer (BlowerDoor GmbH, 2022), se [Figur 3.1](#). Denne rammen settes inn i en åpning, ofte i åpningen til ytterdøren, og viften monteres i det store hullet i duken. Viften leveres med et sett med ringer i forskjellige størrelser som brukes for å regulere luftstrøm gjennom viften. Med denne viften kan bygget settes under over- eller undertrykk etter ønske ved å plassere viften slik at den blåser enten inn eller ut av døråpningen.

Figur 3.1 BlowerDoor system (The Energy Conservatory, u.å.-a)

Det digitale mikromanometeret DG-700 måler trykkforskjellen over viften, i tillegg til trykkforskjellen mellom ute og inne. Ved å velge ring i vifta kan dette instrumentet beregne volumstrømmen som trengs gjennom vifta for å holde trykkforskjellen mellom ute og inne på et ønsket nivå. Den regulerer vifta ved at den er koblet til viftens styringsenhet. Videre kan denne kobles til en PC for å automatisere prosessen med programmet TECTITE.

Utstyret som er benyttet i dette forsøket er ikke kalibrert i forkant av forsøket. Det gjelder både viften og manometeret. For å sikre at utstyret ikke har store feil ble det benyttet et annet manometer av typen VelociCalc Plus fra TSI som ble koblet sammen med DG-700 med en t-kobling. Dette instrumentet viser både trykk, lufthastighet og temperatur, men er her kun benyttet for å lese av trykk. Videre ble det påført et undertrykk på 50Pa via DG-700 som ble kontrollert mot det andre manometeret, se [Figur 3.2](#). De avleste like verdier, og sannsynligheten for at begge avleser med samme feil anses som såpass liten at målenøyaktigheten er tilstrekkelig. DG-700 ble sist kalibrert i 2010, og VelociCalc-manometeret ble kalibrert i 2008.



Figur 3.2 Kontroll av målenøyaktighet til DG-700

3.1.2 TECTITE Express 5.1

TECTITE Express 5.1 er et program som benyttes sammen med BlowerDoor-systemet for å automatisere tetthetsmålinger (BlowerDoor GmbH, 2022). Dette programmet er tilknyttet utstyret slik at de definerte verdiene for hver ring i vifta også er registrert i programmet. Når PC-en er tilkoblet DG-700 vil programmet automatisk gjenkjenne den og ta kontroll slik at alt kontrolleres fra PC-en. Dette programmet kan brukes både for å utføre tetthetsmålinger og å kjøre i cruise-modus, som vil si å sette et gitt bygningstrykk som skal holdes over tid. Denne cruise-modusen brukes typisk ved undertrykk for å kunne lokalisere luftlekkasjer, ofte ved hjelp av termokamera.

TECTITE utfører automatisk målinger som beskrevet i kapittel 2.3. Det gjennomføres da 200 målinger per trykk, som samles i et scatterplot som det senere utføres regresjon på for å finne lekkasjeluftmengde. Man fyller enkelt inn bygningsmål, så regner programmet ut de ulike formene for lekkasjetall, som n_{50} , q_{50} og w_{50} avhengig av hva man ønsker.

3.1.3 LabVIEW

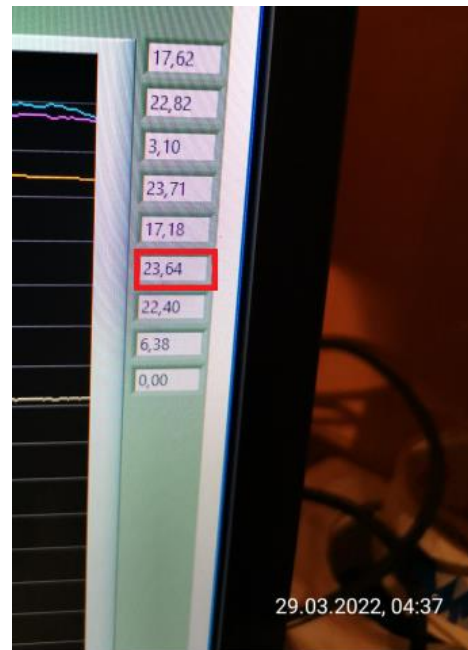
LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) er et program som er laget for å visualisere og lagre målinger fra andre instrumenter tilkoblet en PC (NTNU, u.å.). For dette forsøket er LabVIEW tilknyttet termistorer inne i modulen. Programmet henter inn

temperaturer som registreres av disse termistorene og plotter det i grafer som videre kan eksporteres til Excel.

Disse termistorene er motstander i enden av en ledning. Disse motstandene er temperaturavhengige ved at elektrisk motstand endres ved endrede temperaturer. Dette gjør det mulig å registrere temperaturer. Systemet er ikke kalibrert før forsøket, så det er også her gjort kontroll med et annet instrument. Dette er gjort med termoelement type K. Dette instrumentet har to ulike ledere, i dette tilfellet nikkel og nikkel-krom som er sammenkoblet slik at det dannes en strømkrets (Sandstad, 2021). Temperaturforskjeller mellom lederne fører til at det oppstår en spenning som kan måles og omregnes til temperatur. Ved å holde termistor og termoelement inntil hverandre viste de samme temperatur, se [Figur 3.3](#). Termistorene registreres med flere desimaler, men forskjellen er uansett mindre enn $0,1^{\circ}\text{C}$. Nøyaktigheten vurderes som god nok.



(a)



(b)

Figur 3.3 a) Temperatur på termoelement som holdes inntil termistor. b) Temperatur på termistor merket rødt

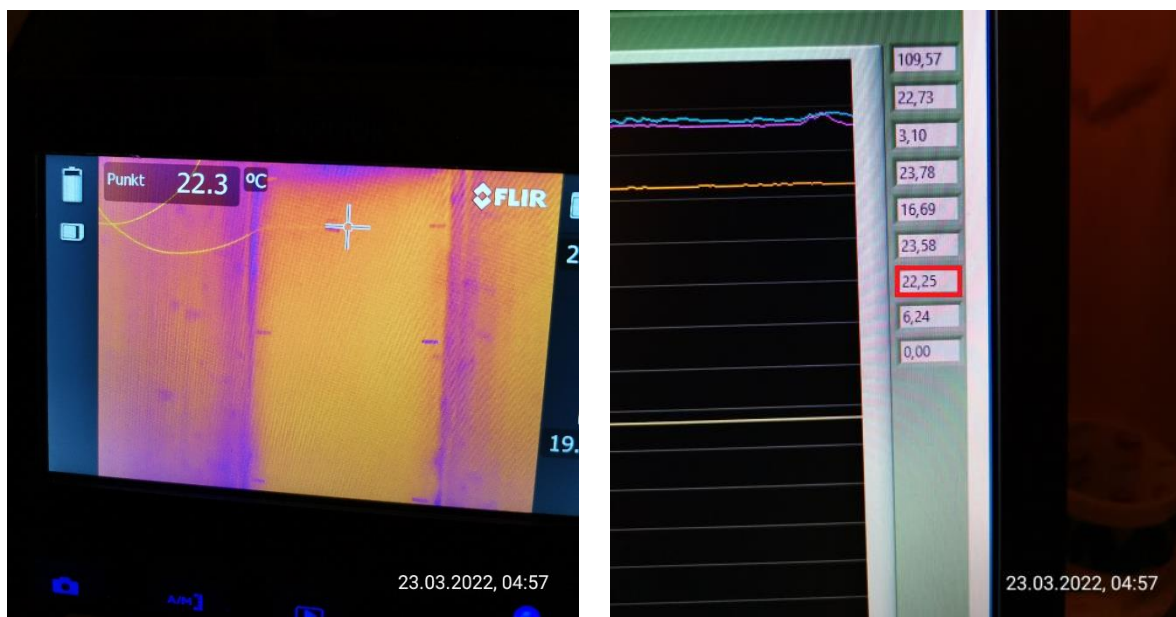
3.1.4 FLIR T620bx

Termokameraet som er benyttet er av typen FLIR T620bx. Dette fungerer som beskrevet i kapittel 2.4, og registrerer strålingsintensitet som tilegnes en farge på et termogram. Dette kameraet har mulighet til å både ta bilder og filme, i tillegg til at det kan ta digitale bilder samtidig som et termogram (FLIR, u.å.). Det er også mulighet til å bytte mellom automatisk og manuell justering av både fokus og temperaturområde, i tillegg til at man kan aktivere automatisk bilde-serie i tidsintervall. Temperaturområde, spesielle målepunkter og palett er blant egenskapene som kan justeres i ettertid for å bedre lesbarheten og nøyaktighet til termogrammet. I Tabell 3.2 vises et utvalg av kameraets egenskaper.

Tabell 3.2 Utvalgte egenskaper til FLIR T620bx (FLIR, u.å.)

Egenskaper	FLIR T620bx
Oppløsning	640x480 piksler
Spekterrekkevidde	7,8-14 μm
Sensitivitet	0,05°C ved 30°C
Nøyaktighet	$\pm 2^\circ\text{C}$ eller $\pm 2\%$
Temperaturområde	-40°C til +650°C

Kalibrering er utført omtrentlig etter metode 2 i Byggtermografering : En praktisk håndbok (Grimnes, 2010). På overflaten som termograferes ble det teipet på en termistor som måler overflatetemperatur. Kameraet ble deretter stilt inn med et trådkors rett ved siden av termistoren, slik at temperaturen kan sammenlignes. Utgangspunktet var at en ubehandlet gipsplate har en emisjonsfaktor på ca. 0,9, som ble valgt i kameramenyen. Forskjellen fra beskrivelsen i metode 2 er nettopp at denne emisjonsfaktoren ble lagt inn fra start. Videre ble det lagt inn korrekt avstand fra kamera til overflaten, og temperaturforhold. Med disse forutsetningene viste kamera og termistormåling omtrentlig tilsvarende temperatur, som vist i Figur 3.4.



(a)

(b)

Figur 3.4 a) Punktmåling ved termistor med termokamera b) Temperatur avlest fra termistor i rødt

3.2 Forsøk

Hensikten med forsøket var å studere effekten av en inntrukket dampspærre ved termografering sammenlignet med at dampspærren monteres inntil innerkledning. For å kunne studere dette ble det satt opp en veggprøve som tilsvarer en vanlig stenderverksvegg i moderne bygg, både med og uten inntrukket dampspærre. På denne veggprøven ble det utført kvalitative forsøk med termografering og lufttethetsmåling, med parametere beskrevet i [Tabell 3.1](#). Termografistandarden NS-EN 13187 (Standard Norge, 1998) gjelder for kvalitativ metode, og det regnes derfor som hensiktsmessig å utføre kvalitative forsøk.

3.2.1 Forsøksfelt og forarbeid

Forsøkene ble gjennomført i ett av to modulbygg i krysslimt tre på Søråsfeltet i Ås, som ligger vindutsatt til på et jorde. Dette bidrar til virkelighetsnære forsøk, men også mulige feilkilder avhengig av type forsøk. Denne modulen er tidligere brukt til forsøk med tethetsmåling, og egner seg godt ved at den har installert termistorer som kan brukes til temperaturmålinger under forsøk i tillegg til at det er enkelt å oppnå stor temperaturforskjell mellom ute- og inneluft i mars, når disse forsøkene ble gjennomført.

Modulen har store luftlekkasjer i utgangspunktet, så en del av forarbeidet var å tette flest mulig lekkasjer i forkant av forsøkene for å ha best mulig kontroll på lekkasjene. Dette inkluderte selvfølgelig å tette alle ventiler eller andre tilsiktede åpninger, men også flest mulig utilsiktede utettheter. Alle tilgjengelige skjøter mellom veggelement, mellom vegg og tak/gulv ble teipet. Eventuelle andre lekkasjer ble lokalisert ved at modulen ble trykksatt med 50Pa undertrykk, og termografert for å finne lekkasjer.

Siden forsøkene inkluderte termografering var det viktig å unngå solstråling på veggprøven, da det kan føre til refleksjoner og varme flekker i termogrammene, samt påvirke innetemperaturen. På bakgrunn av dette ble vinduene dekket til med presenning på utsiden.

Ås, 05.04.2022 klokken 12:30	
Lufttemperatur	3,3 °C, siste time: 3,4 °C
Maks lufttemp siden midnatt	3,7 °C
Min lufttemp siden midnatt	-5,9 °C
Grasminimum siden midnatt	-12,6 °C
Jordtemperatur 2 cm	-0,1 °C, i går: -0,2 °C
Jordtemperatur 5 cm	-0,0 °C, i går: -0,1 °C
Jordtemperatur 10 cm	-0,2 °C, i går: -0,2 °C
Jordtemperatur 20 cm	0,0 °C, i går: 0,0 °C
Jordtemperatur 50 cm	0,6 °C, i går: 0,6 °C
Jordtemperatur 100 cm	1,7 °C, i går: 1,7 °C
Fotosyntetisk aktiv stråling (PAR)	1043 µmol/s/m ²
Globalstråling	444 W/m ² (1,9 kWh s.midn.)
Maks globalstråling siden midn.	648 W/m ²
Reflektert globalstråling	106 W/m ² , albedo: 24 %
Diffus stråling	273 W/m ² , andel av global 62 %
UV-stråling	21 W/m ²
Synlig lys	140 W/m ²
Varmestråling	282 W/m ²
Strålingsbalanse inkl. terrestrisk	202 W/m ²
Jordvarmefflux	-4 W/m ²
Lufttrykk	980 hPa (= mbar)
Vindhastighet	3,7 m/s, Lett bris
Maks vind siden midnatt	7,5 m/s
Vindretning	NV (298°)
Relativ luftfuktighet	39 %
Nedbør siste time	0,0 mm
Nedbør siden midnatt	<1 mm
Snødybde	<2 cm

Forsøksfeltet tilhører Feltstasjon for bioklimatiske studier – BIOKLIM ved NMBU (Redaksjonen NMBU, 2009). På dette feltet utføres det kontinuerlig meteorologiske og mikroklimatiske observasjoner, som også gir gode værdata for forsøkene som utføres i modulene. Data fra disse observasjonene er tilgjengelig i sanntid, se [Figur 3.5](#). Dette gjorde det enkelt å vurdere ved hvert enkelt forsøk om forholdene lå til rette for å utføre forsøk uten for mye vind, eller om temperaturdifferanse var tilstrekkelig.

Figur 3.5 Sanntidsdata fra BIOKLIM på et tilfeldig tidspunkt (Redaksjonen NMBU, 2022)

Modulens vegger og tak er bygget i 100mm krysslimt tre, og gulvet er bygget opp med 100mm bjelkelag på 200mm trykkfast isolasjon med dampsperre. Vegger og tak har vindsperre på begge sider av isolasjonen (mineralull). Sør, øst og vestveggen har 100mm isolasjon, og den nordlige veggen har 150mm isolasjon. Taket er isolert med 200mm mineralull. Alle fasader har ytterkledning i liggende panel. Bygget har to sørvendte vinduer og en døråpning.

Siden modulen bare hadde en åpning, ble det sagt ut et felt i nordveggen for veggprøve til forsøk. Denne åpningen går gjennom hele veggen, slik at prøven blir eksponert på både utside og innside.

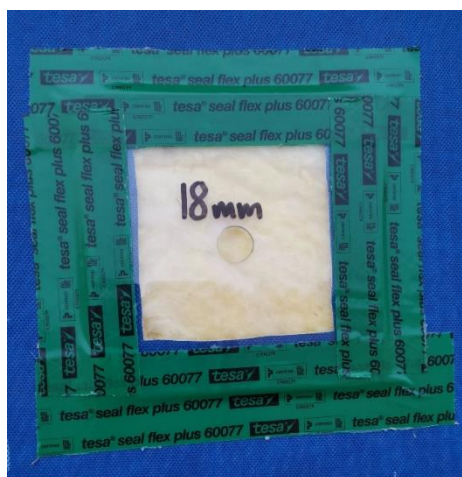
3.2.2 Veggprøver

Oppbygning

Det ble bygget to veggprøver som det ble utført forsøk på. Oppbygningen er i utgangspunktet lik, da de kun skiller av plasseringen av dampsperre. Veggene er bygget med utgangspunkt i byggforsksbladet 523.255 (SINTEF Byggforsk, 2020) der oppbygningen av yttervegger beskrives, og det anbefales inntrukket dampsperre. Dette anbefales fordi det blir lavere risiko for perforering av membranen, i tillegg til at det gjør det lettere å montere installasjoner i vegg når man ikke trenger å gå gjennom dampsperran. Dette begynner å bli en vanlig praksis, men det bygges fremdeles mye med dampsperre rett bak innerkledningen.

Veggprøven er bygget som et veggfelt i standard bredde, senteravstand 600mm. Høyden er satt til 2000mm av hensyn til takhøyden i modulen. Indre mål blir med dette ca. 550x1900mm (ikke justert). Dybden er satt til 250mm, som er en vanlig oppbygning beskrevet i byggforsksbladet 523.255 (SINTEF Byggforsk, 2020). Grunnet tilgjengelige materialer er det benyttet 198x48mm treverk til svillene, og to 48x98mm stendere plassert inntil hverandre, i tillegg til en påføring av 48x48mm lekt. Alle skjøter mellom ulike deler er teipet for å forhindre utilsiktede lekkasjer.

For å få til kontrollerte lekkasjer i veggprøven ble det benyttet 3mm tykke polykarbonatplater, der det ble boret hull i ønsket diameter. Det ble benyttet 4 plater, med 8mm, 18mm, 30mm og 75mm hull. Det ble påført et kvadratisk hull i vindsperran der disse platene skal sitte ved forsøkene. Dette hullet har senter 150mm ned fra underside av toppsvill. Denne avstanden er valgt for å få hullet godt opp på veggen, men ikke så nærme svillen at det blir forstyrrelser fra kuldebro, eller at luften går mellom isolasjonen og svillen. [Figur 3.6](#) viser hvordan platene ble montert, og hvor på veggen de ble montert. Platene ble teipet fast med dampsperreteip, for å hindre lekkasjer rundt kantene. Det er ikke tatt hensyn til retning på overlappen av teip i forhold til regn, da dette er kortvarig innfesting på bare noen timer.



(a)



(b)

Figur 3.6 a) Montering av hullplater på vindsperre b) Plassering av hullplate på veggprøve

På dampsperran ble det påført et hull nederst på veggen med større areal enn alle hullene på vindsperran. Dette er for at undertrykket som påføres i bygget skal kunne trekke luft gjennom hullet i vindsperran uten at hullet i dampsperran skal være den begrensende faktoren. Hullet i dampsperran er 8000mm^2 , og det største hullet i vindsperran med 75mm i diameter er 4418mm^2 . Hullet er plassert nederst på veggen, som vist i [Figur 3.7](#), for at det ikke skal forstyrre for termograferingen i høyden til hullet i vindsperran. Påvirkning av kuldebro eller andre faktorer har ingen betydning for hullet i dampsperran, da det ikke er dette som er fokus for forsøkene. Plasseringen er lik både i forsøkene med og uten inntrukket dampsperre.

Hullet er svært stort, og representerer ikke nødvendigvis et enkelt hull i dampsperran i virkeligheten, men heller en rekke utettheter over en klimaskjerm som bidrar til en samlet stor lekkasje. Dampsperran ble stiftet fast i rammen, og alle perforeringer etter dette ble teipet for å unngå påvirkning, selv om det med stor sannsynlighet ville hatt svært liten betydning. Det ble benyttet ny dampsperre ved endring av plassering, for å unngå feilkilder ved eventuelle perforeringer av skruer eller andre ting.



(a)



(b)

Figur 3.7 Hull i a) inntrukket dampsperre b) ikke inntrukket dampsperre

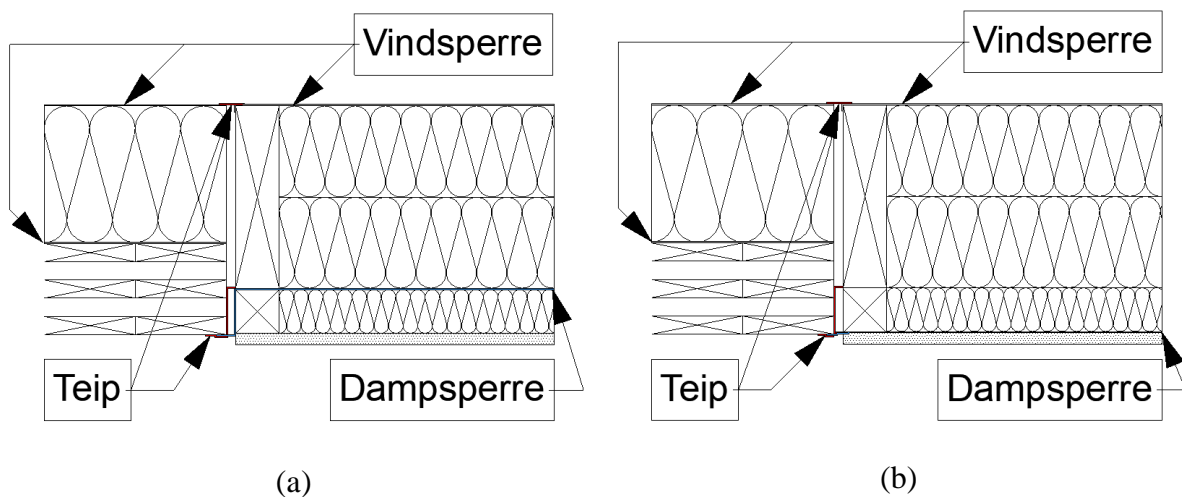
Av materialer er det benyttet vindsperre på rull (duk), mineralull, polyetylen dampsperre og gipsplate. Vindsperren ble stiftet på trerammen, og stiftehull og overgang til treverk ble teipet. Det ble også besluttet å bruke mineralull på rull, da man med dette unngår horisontale skjøter i veggen som kan påvirke luftstrøm. På grunn av tilgjengelige størrelser ble det benyttet to lag med 100mm isolasjon i tillegg til et lag med 50mm i påfôringen. Isolasjonstypen har en varmekonduktivitet $\lambda = 0,034 \text{ W}/(\text{mK})$ (GLAVA AS, 2016). Denne er valgt da veggen i denne tykkelsen etter byggforskriflaget 471.401 (SINTEF Byggforsk, 2012) har en U-verdi som tilfredsstiller byggt teknisk forskrift (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Se [Tabell 3.3](#) for relevante egenskaper i materialer.

Tabell 3.3 Utvalgte egenskaper til vindsperre (SIGA, 2018), mineralull (GLAVA AS, 2016), dampsperre (Skogstad, 2019) og gipsplate (BMC Norge, 2014)

Materiale	Egenskap	
Vindsperre	Vanndampmotstand (Sd)	0,05 [m]
	Luftgjennomgangsmotstand	0,01 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot 50\text{Pa})$]
Mineralull	Varmekonduktivitet (λ)	0,034 [$\text{W}/(\text{mK})$]
Dampsperre	Vanndampmotstand (Sd)	78,5 [m]
Gipsplate	Varmekonduktivitet (λ)	0,21 [$\text{W}/(\text{mK})$]

Plassering av veggprøve

Veggprøven ble plassert i åpningen slik at utsiden med vindsperre står i flukt med vindsperren på modulen, slik at disse enkelt teipes sammen for å sikre lufttett overgang. Rammen uten påfôring ble montert først, og på en slik måte at man kan veksle mellom å ha dampspærren inntrukket eller bak gipsen uten å ta ut hele rammen. Den indre rammen uten påfôring ble teipet inntil modulen, som vist i [Figur 3.8](#). Dette ble gjort for å unngå eventuelle lekkasjer fra andre steder i modulen, da det er en mulighet for at luft kan strømme mellom vindsperrene i modulen og inn mellom veggprøven og modulen og forstyrre termograferingen. Dampspærren ble for begge prøvene trukket ut og teipet inntil veggelementet i modulen. Det er ingen dampspærre der, så den måtte teipes inntil treverket. For prøven med inntrukket dampspærre ble det teipet rundt gipsen for å unngå at luft skulle trekke ut i sprekker mellom gipsen og påfôringen, da det i et virkelig bygg ville vært kontinuerlig vegg med gipsplater uten en åpen ende. Dette ble ikke gjort i tilfellet der dampspærren ligger rett bak gipsen, da det uansett ikke trekker luft av betydning mellom dampspærre og gips.



Figur 3.8 Detaljtegning av montert veggprøve med a) inntrukket dampspærre og b) uten inntrukket dampspærre. Til venstre er modulkonstruksjonen i krysslitt tre, og til høyre veggprøven.

[Figur 3.9](#) viser hvordan de ferdige veggprøvene er plassert i modulen, og hvordan det er teipet mot treverket rundt. Det ble gjennomført termografering ved undertrykk for å kontrollere mot lekkasjer i overgang mellom dampspærre og vegg, for å hindre påvirkning av forsøkene.



(a)



(b)

Figur 3.9 Prøvenes plassering i modulen. a) viser veggprøve med inntrukket dampsperre, b) uten inntrukket dampsperre

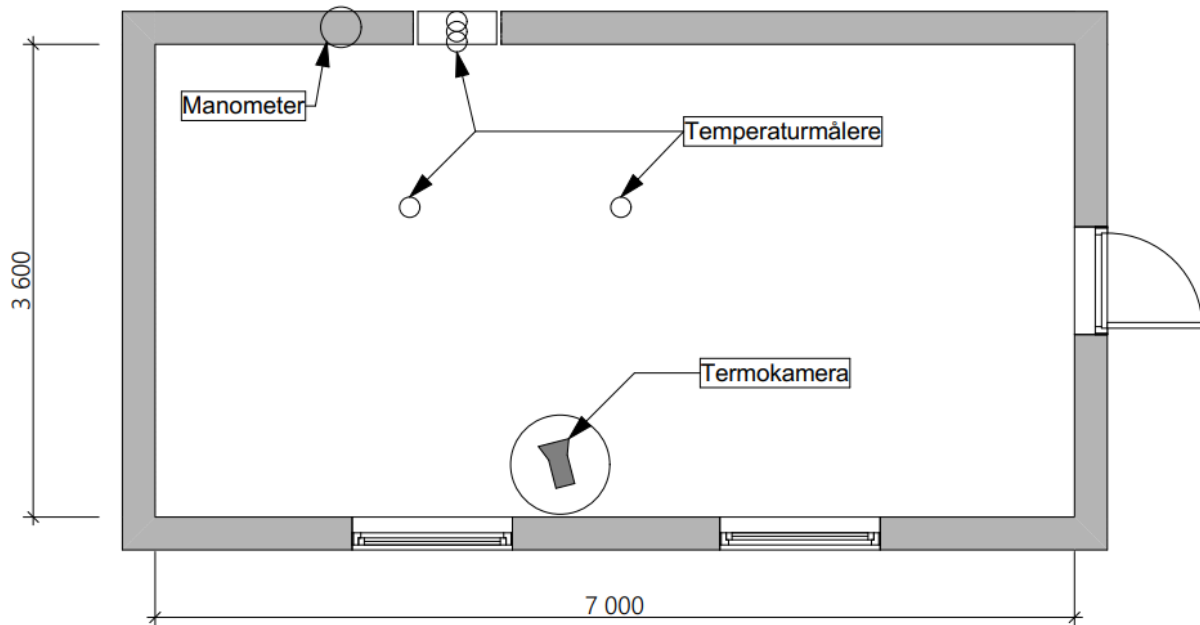
3.2.3 Plassering av måleutstyr

I tillegg til BlowerDoor-utstyret som ble plassert i døråpningen ble det plassert ut fem termistorer som måler temperatur, et termokamera og et manometer. To av termistorene ble hengst opp omtrent 1 meter fra taket for å måle romtemperatur. Plasseringen av disse i rommet vises på [Figur 3.10](#), der disse to er de to temperaturmålerne inne i rommet. Disse blir slått sammen til en gjennomsnittstemperatur for romlufttemperatur.

En termistor ble teipet med aluminiumsteip på gipsoverflaten i samme høyde og et par centimeter til siden for senter av hull i vindsperren. Det er brukt aluminiumsteip for å minimere påvirkning av motstand i termistor, for å få mest mulig korrekt måling. Dette kan ses på [Figur 3.9](#). Denne måleren er plassert der for å kunne studere utvikling av overflatetemperatur i forhold til romtemperatur under forsøkene, i tillegg til at den gjør det lettere å kontrollere temperatur som vises på termokamera.

Inne i vegg er det plassert to termistorer, begge i samme høyde som hullet, og med målepunktet i senter av hullet. Den ene er plassert rett bak påføringen, bak dampsperrer i tilfellet

med inntrukket dampsperre. Dette blir 5 cm inn i veggen fra innsiden. Den andre er plassert mellom de to lagene med 10 centimeters isolasjon, altså 15 cm inn i veggen fra innsiden, ikke medregnet gipstykkelse. Disse er plassert der for å kunne følge temperaturutvikling over tid inne i veggen, i tillegg til at det gir mulighet til å se når temperaturen har stabilisert seg igjen etter et forsøk.



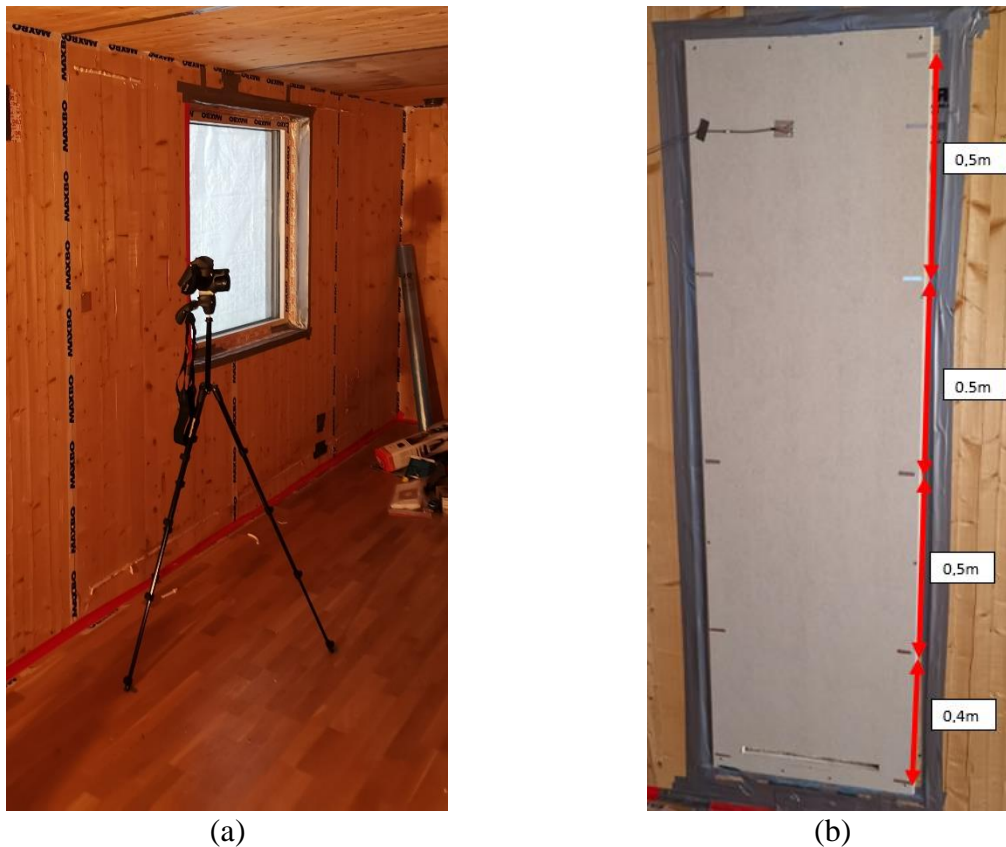
Figur 3.10 Oversikt over plassering av måleutstyr

Til siden for veggprøven er det satt inn et manometer (VelociCalc) som kun blir brukt til å studere ved stikkprøver om trykkforskjell over veggen rett ved veggprøven er lik den Blower-Door-systemet registrerer.

Et termokamera er satt opp 3 meter fra veggprøven, med omtrent 15 graders vinkling. Denne vinklingen er for å unngå eventuell termisk refleksjon, i tillegg til at det ga mulighet til å plassere kameraet litt lengre unna for å få med størst mulig del av veggen. Ved plassering av kameraet ble det testet flere vinkler for å se om det er noen påvirkning fra refleksjon, uten at det ble funnet noe. Forsøkene ble også utført på natten, og vinduene var tildekket som ytterligere reduserer sannsynligheten for refleksjon. Gipsen har en høy emissivitet, som har lav refleksjons-evne. Som vist i [Figur 3.11](#) er det satt på aluminiumsteip på sidene av gipsplaten som skal fungere som referansepunkter i termogrammene, da det er vanskelig å vurdere plasseringen av det man ser på et termogram. Disse teipbitene har en overflate av aluminium, som har vesentlig lavere emissivitet enn gipsplaten, slik at de synes på termogrammene. Teipbitene har en avstand

på 0,5 meter, med unntak av den nederste på 0,4 meter. Dette går opp med det indre målet på 1,9 meter.

Teipen som holder termistoren på plass fungerer også som siktepunkt for termokameraet, da trådkorset skal plasseres rett til siden for denne teipbiten.



Figur 3.11 a) Plassering av termokamera b) Referansepunkter på veggoverflate

3.2.4 Gjennomføring av forsøk

Alle forsøk ble gjennomført i to deler - tetthetsmåling og termografering ved konstant trykkforskjell. Tetthetsmåling ble gjort i henhold til NS-EN ISO 9972:2015 (Standard Norge, 2015) og termografering etter NS-EN 13187 (Standard Norge, 1998). Forsøkene ble gjennomført på natten i perioden 21.03.2022 til 31.03.2022 mellom 21.00 og 09.00. Før hver natt med forsøk ble det satt på undertrykk i modulen og termografert for å lokalisere og utbedre eventuelle nye lekkasjer av at teip har løsnet. BlowerDoor-trekket ble montert om kvelden, og sto i åpningen hele natten uten å bli løsnet for å unngå feilkilder ved montering av rammen og trekket. Alle turer ut ble gjort gjennom vifteåpningen.

Alt testutstyr unntatt slangen som brukes til å finne utvendig trykk var på samme plass under alle forsøkene. Plasseringen av denne utvendige slangen ble gjort etter vurdering av sanntidsdata for værforhold, nevnt i 3.2.1. Vindretningen avgjorde plasseringen av slangen. Denne skal hverken ligge på le eller lovart side av modulen, og må derfor trekkes ut et stykke. Slangen er derfor 10 meter lang. For å unngå feilkilder fra vind ble det plassert et T-rør på slangen som spesifisert i BlowerDoor-manualen (BlowerDoor GmbH, 2022). Figur 3.12 viser dette røret. Vindretning ble videre vurdert før forsøkene for å se om det var nødvendig å flytte slangen. Ingen forsøk ble gjennomført ved vindhastighet over 4 m/s, for å unngå vindpåvirkning.



Figur 3.12 T-rør på slange som måler utvendig trykk

Forsøkene beskrevet i Tabell 3.1 ble gjennomført for ett hull av gangen. Først ble alle hullene testet med inntrukket dampsperre, deretter uten inntrukket dampsperre. Før hvert forsøk ble platen med hull teipet på vindspærren, og hullet ble teipet tett. Med det tette hullet ble det gjennomført en tetthetsmåling, og en rapport ble generert både for 50Pa og 75Pa trykkforskjell. Etter dette ble teipen fjernet så det ble klart til forsøket med termografering. Da ble det først kontrollert om termistorene inne i veggen hadde vist stabil temperatur i minst 20 minutter, før det ble satt på undertrykk. Dette var for å unngå at temperaturen inne i veggen skulle stige eller synke under forsøket av andre grunner enn luftlekkasjen gjennom hullet. Dette var spesielt aktuelt på kvelden før første forsøk da utetemperaturen sank, og dermed også temperaturen i veggen. Dersom denne hadde fortsatt å synke under forsøket ville grafene vist en uriktig nedgang i temperaturen. Motsatt økte temperaturen i veggen etter forsøkene, og ved å starte forsøket for tidlig ville starttemperaturene vært for lave, og kunne gitt raskere utslag ved termograferingen enn det burde.

Testene ble påbegynt ved å sette trykkutstyret i cruise-modus på enten 50 eller 75Pa, baselinjetrykket ble målt, og viften begynte å jobbe. Samtidig ble det først tatt et bilde av den nederste delen av veggen, før trådkorset ble siktet inn der det skulle, som nevnt i 3.2.3. Kameraet ble satt til å ta et bilde hvert 10. minutt i en time fra viften ble startet. Da kunne kameraet stå i samme posisjon og ta bilder i samme fokus med jevne intervall. Kameraet ble satt til å justere temperaturskala selv, for at det skal fungere på samme vis som i en vanlig termografering uten nøyaktig informasjon om øverste og laveste temperatur. Værdata ble også her observert gjennom hele forsøket for å se etter ting som kunne påvirke forsøket. Under disse forsøkene ble det utført stikkprøver med det eksterne manometeret ved siden av veggprøven, for å se om den viste samme trykkforskjell som Tectite. Etter en time, da kameraet hadde tatt det siste bildet, ble det igjen termografert på nederste del av veggen for sammenligning. Nederste del vil si den nederste meteren av veggprøven. I posisjonen som ble holdt gjennom forsøket var det den øverste meteren som ble termografert. Temperaturmålinger fra alle termistorer ble samlet inn via Labview, og værforhold ute samlet inn fra BIOKLIM.

Etter termograferingen ble det igjen gjennomført en tetthetsmåling, men med åpent hull. Også her ble det generert en rapport for både 50Pa og 75Pa. Differansen mellom lekkasje luftmengden ved åpent hull og teipet hull skal da gi luftmengden som går gjennom hullet i veggprøven.

Rekkefølgen på disse testene ble valgt av praktiske hensyn. Tetthetsmåling med teip påvirker ikke temperaturen i veggen, og er derfor praktisk å gjennomføre før termografitesten, også da dette kan gjøres før temperaturen har stabilisert seg. Tetthetsmåling uten teip påvirker naturligvis temperaturen i veggen, og er derfor praktisk å utføre etter termografitesten.

3.3 Simulering

Det ble i Simscale utført en inkompressibel, stasjonær (ikke tidsavhengig) simulering på 3D-modeller med samme oppbygning som veggprøvene, som viser retning og hastighet til lufta i tillegg til å gi en tilnærmet volumstrøm for et tverrsnitt. At simuleringen er inkompressibel betyr at strømningsmaterialet som simuleres behandles som inkompressibelt. Simscale anbefaler dette for lufthastigheter under 100 m/s, som vil være tilfelle i disse simuleringene.

3.3.1 Oppbygning av modell

3D-modellene som ble benyttet i simuleringen består av et skall som definerer innvendig avgrensning i veggprøven. Det ble laget en modell for hvert hull som skulle testes, for både inntrukket og ikke inntrukket dampsperre, slik at det totalt ble åtte modeller. Hullene i vindsperre og dampsperre ble plassert på samme sted som på de fysiske veggprøvene.

Modellene ble videre modifisert i CAD-redigeringsverktøyet i Simscale, ved at det indre volumet ble definert som «internal flow region», eller strømningsområde. Dette strømningsområdet definerer området der det skal være en luftstrøm, som også er det samme området som er isolert. Ved at denne er definert inne i det ytre skallet vises også hullene i dette strømningsområdet, slik at det kan settes parametere for disse. Det ytre skallet ble fjernet, slik at kun strømningsområdet var igjen.

3.3.2 Parametere for simulering

I Simscale defineres det ulike parametere for modellen, slik at en simulering kan kjøres. Ved en inkompressibel simulering må man definere en geometri, strømningsmateriale og grensebetingelser, i tillegg til at det finnes muligheter for å legge til mer avanserte konsepter, som eksempelvis porøse materialer. Det må også velges en turbulensmodell. Her er det valgt k-omega SST, fordi den er en kombinasjon av de to modellene som er best for indre strømninger og kompleks geometri (Solmaz, 2021) som stemmer bra med strømninger inne i en boks og komplekst porøst materiale.

For disse simuleringene er det naturligvis den forklarte 3D-modellen som benyttes, der strømningsområdet defineres som luft. Videre må grensebetingelsene settes, som betyr at det må defineres drivkrefter og avgrensninger. I dette tilfellet var det kun nødvendig å definere at hullet i gipsen påføres et fastsatt undertrykk på 50 eller 75Pa, og at hullet i vindspærren har et totaltrykk på 0Pa, slik at luftstrømmen kun styres av hullet i gipsen. Disse ble definert som henholdsvis «pressure outlet» og «pressure inlet». Disse hullene er bare en flate i strømningsområdet som kan defineres som ønsket. Med disse definert blir alt annet automatisk definert som en ytre avgrensning, og det er dermed ikke nødvendig å definere alle flatene.

Isolasjonen, som også er strømningsområdet, ble definert som «Porous media», altså et porøst materiale. Det finnes flere måter å definere dette på, men den som er benyttet her er

Darcy&Forchheimer-koeffisienter. Denne modellen er valgt på bakgrunn av at den benytter seg av permeabilitet, og det finnes tilgjengelige verdier for permeabilitet i mineralull.

Permeabiliteten som er benyttet for simuleringen er basert på omtrentlige verdier i en lærebok (Thue, 2016), da isolasjonsprodusenten ikke oppgir permeabiliteten for produktet som er benyttet. Verdiene hentet derfra er også kontrollert mot undersøkelser fra Roy, Junk og Sundar (2006), som viser tilsvarende verdier. Alle verdier som er benyttet i simuleringen er samlet i [Tabell 3.4](#). Det er kun trykket som varierer mellom simuleringene. Det er benyttet medium grovhet i meshet, kategori 5 i Simscale. Dette gir tilstrekkelig finhet på resultater, uten at det tydelig synes pikselering. Det er sammenlignet med kategori 8, uten synlig forskjell.

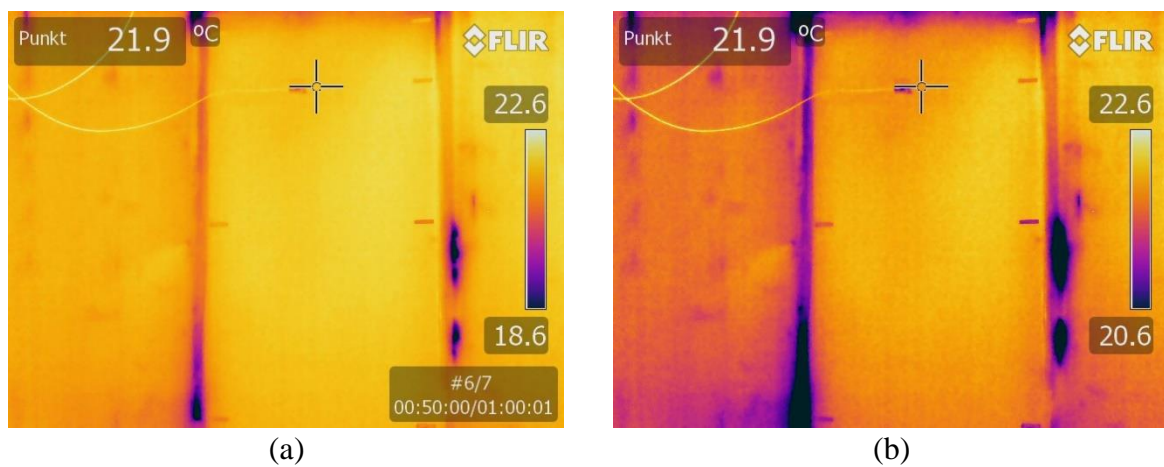
Tabell 3.4 Tabellverdier for parametere benyttet i simuleringen

Parameter	Type	Egenskap	
Materiale	Luft	Kinematisk viskositet (ν)	1,346E-05 [m ² /s]
		Tetthet (ρ)	1.282 [kg/m ³]
Grensebetingelser	Trykkinnløp	Totalt trykk (P_t)	0 [Pa]
	Trykkutløp	Fastsatt trykk (P)	-50/-75 [Pa]
Porøst medium	Darcy-koeffisient	d_x	7,143E+08 [1/m ²]
		d_y	2,703E+08 [1/m ²]
		d_z	2,703E+08 [1/m ²]

4 Resultat

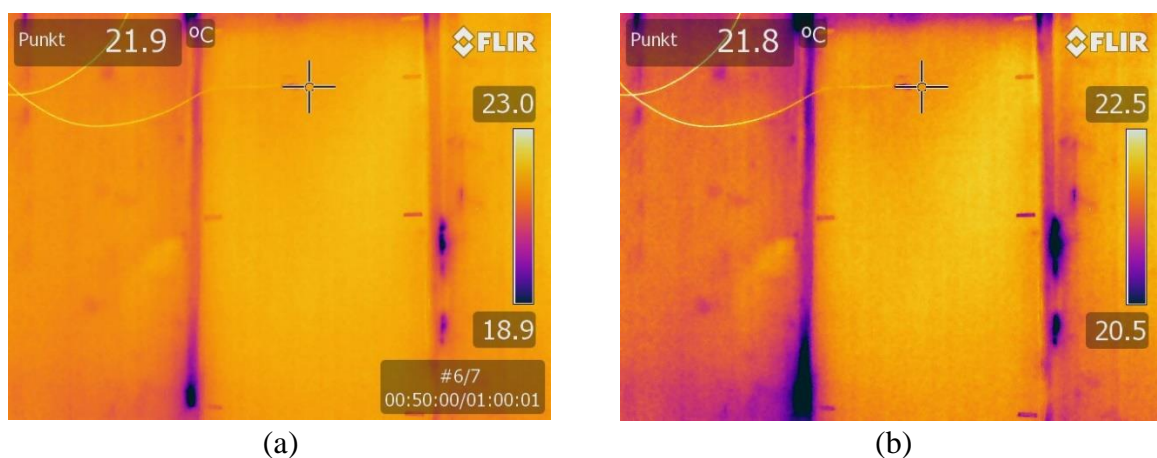
4.1 Termografering

Under presenteres det et lite utvalg av resultater fra forsøkene med termografering. Dette utvalget er forsøk med synlig kaldere områder. Resten av resultatene fra termograferingen finnes i Vedlegg 1: Termogram. I alle figurene er det termogram med automatisk justert temperaturskala til venstre, og manuelt justert til 2 graders forskjell til høyre. [Figur 4.1](#) viser de første termogrammene som gir synlig kaldere felt i forsøkene med inntrukket dampsperre. Dette er fra forsøk 6, 30mm, 75Pa.



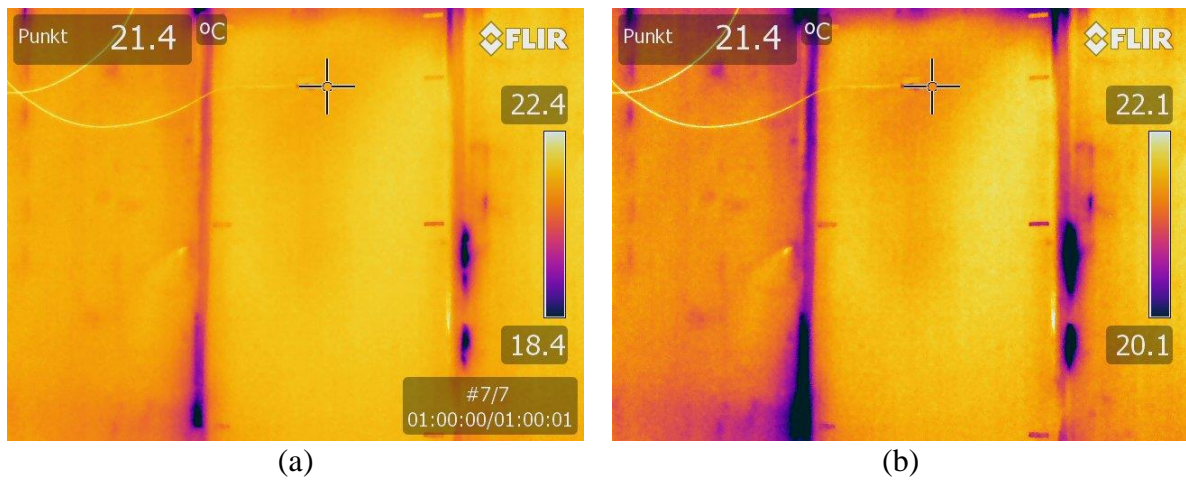
Figur 4.1 Utvalgte termogram fra forsøk 6. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.

[Figur 4.2](#) viser første tilfelle med kaldere felter ved 50Pa trykkforskjell, også her med inntrukket dampsperre. Dette er fra forsøk 7, 75mm, 50Pa.



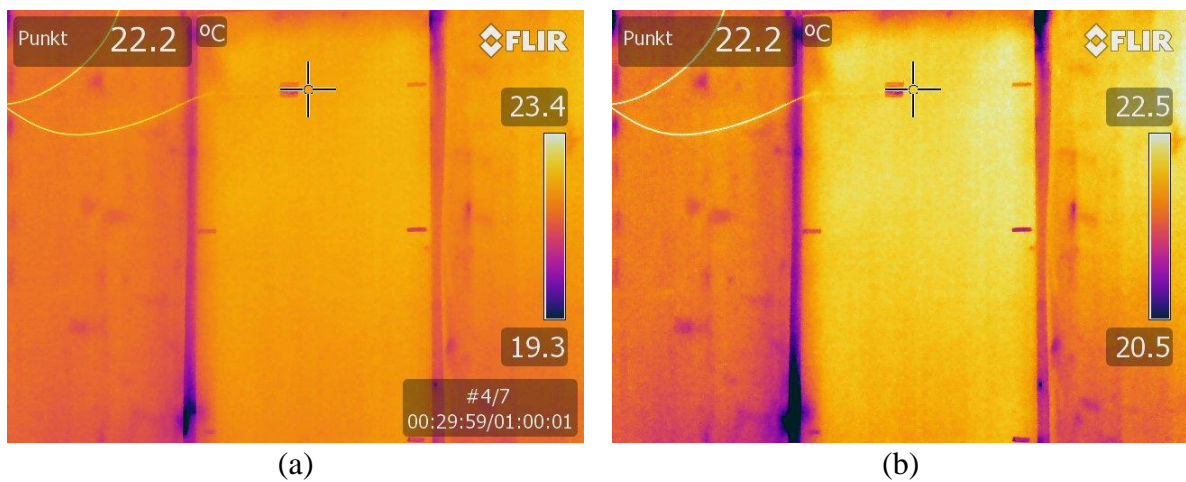
Figur 4.2 Utvalgte termogram fra forsøk 7. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.

I [Figur 4.3](#) presenteres termogrammet som i størst grad har et synlig kaldere felt fra forsøkene med inntrukket dampsperre. Dette er fra forsøk 8, 75mm, 75Pa.

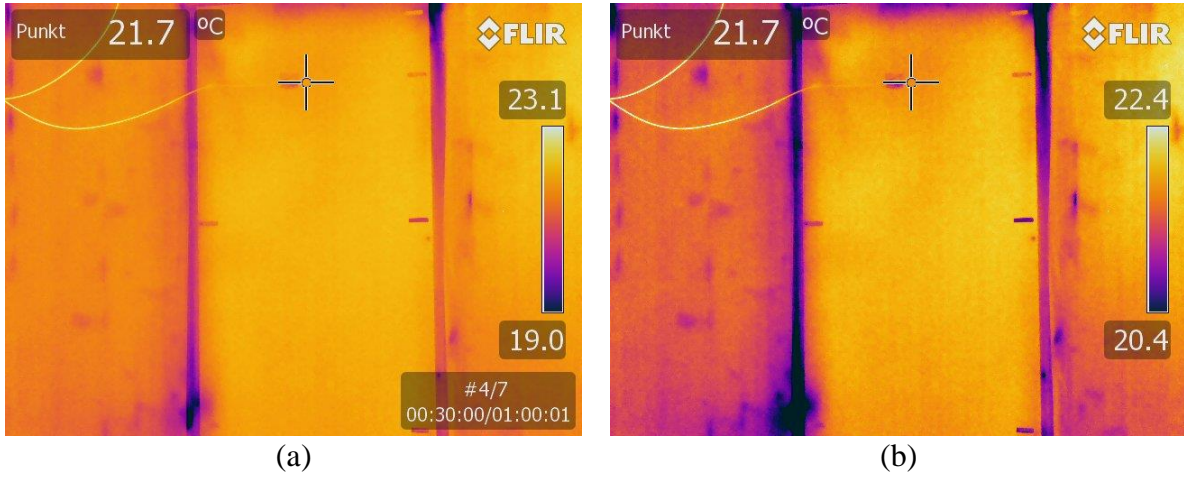


Figur 4.3 Utvalgte termogram fra forsøk 8. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.

Nedenfor viser [Figur 4.4](#) og [Figur 4.5](#) termogrammene som ble tatt etter 30 minutter for henholdsvis forsøk 11 og 12. Begge disse er for 18mm hull, [Figur 4.4](#) med 50Pa, [Figur 4.5](#) med 75Pa.

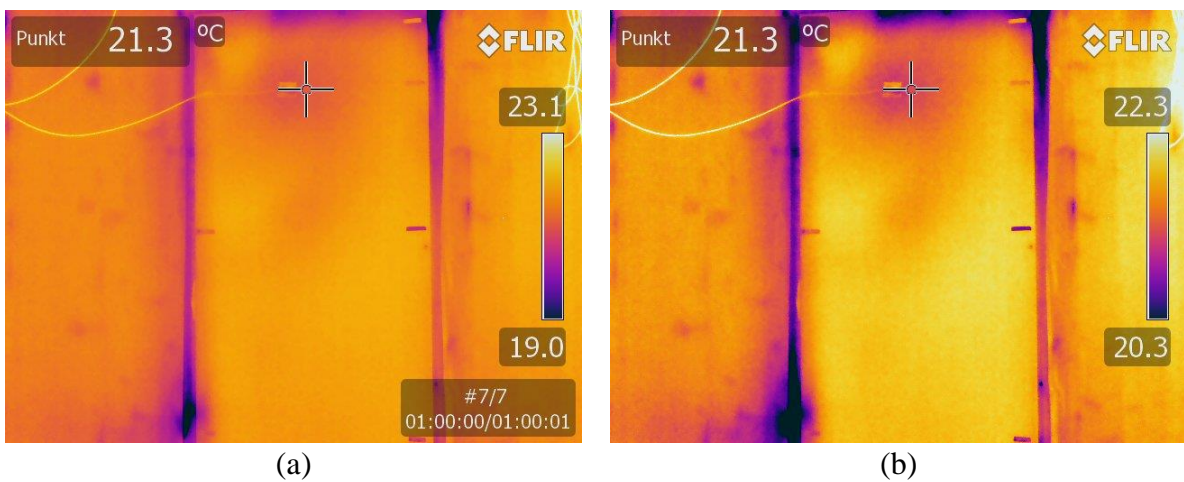


Figur 4.4 Utvalgte termogram fra forsøk 11. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.

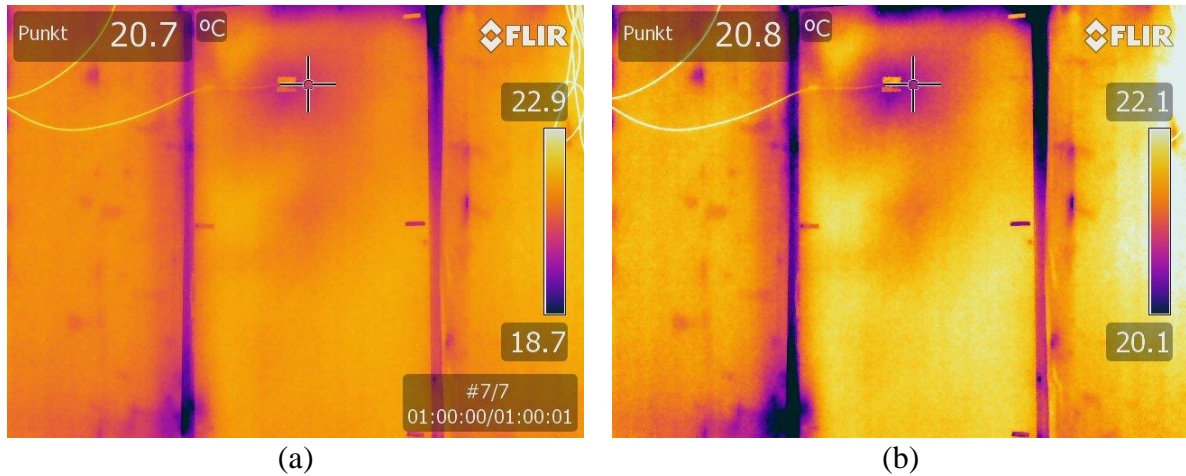


Figur 4.5 Utvalgte termogram fra forsøk 12. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.

Figur 4.7 viser termogrammet som viser størst temperaturforskjell av forsøkene uten inntrukket dampspærre, fra forsøk 16, 75mm, 75Pa.

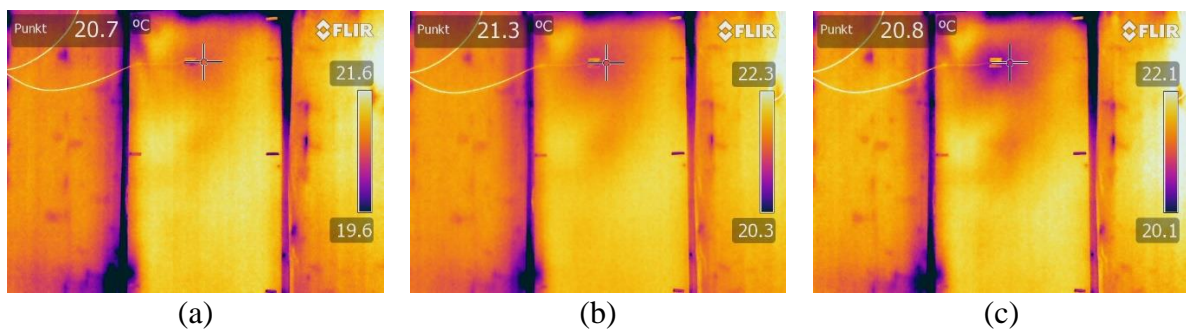


Figur 4.6 Utvalgte termogram fra forsøk 15. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.



Figur 4.7 Utvalgte termogram fra forsøk 16. a) viser termogram med autojustering, samt tid. b) viser termogram med manuelt justert skala.

Figur 4.8 viser termogram med manuelt justert temperaturbredde fra forsøk 14, 15 og 16 side-stilt. Alle er tatt etter en time med undertrykk.



Figur 4.8 Siste termogram fra forsøk a) 14, b) 15 og c) 16 sidestilt

4.2 Tetthetsmåling

Tabell 4.1 og **Tabell 4.2** under viser lekkasjeluftmengde og lekkasje fra hull ved 50Pa og 75Pa undertrykk ved henholdsvis inntrukket dampspærre og uten inntrukket dampspærre. Rapporter fra målinger finnes i Vedlegg 4: Tetthetsmålinger.

Tabell 4.1 Resultat fra tetthetsmåling med inntrukket dampsperre

Hulldiameter	Trykk [Pa]	Luftmengde [m ³ /h]		Lekkasje fra hull [m ³ /h]
		Teipet	Åpent	
8mm	-50	115	117	2
	-75	157	161	4
18mm	-50	111	114	3
	-75	151	157	6
30mm	-50	118	124	6
	-75	163	168	5
75mm	-50	120	125	5
	-75	165	172	7

Tabell 4.2 Resultat fra tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre

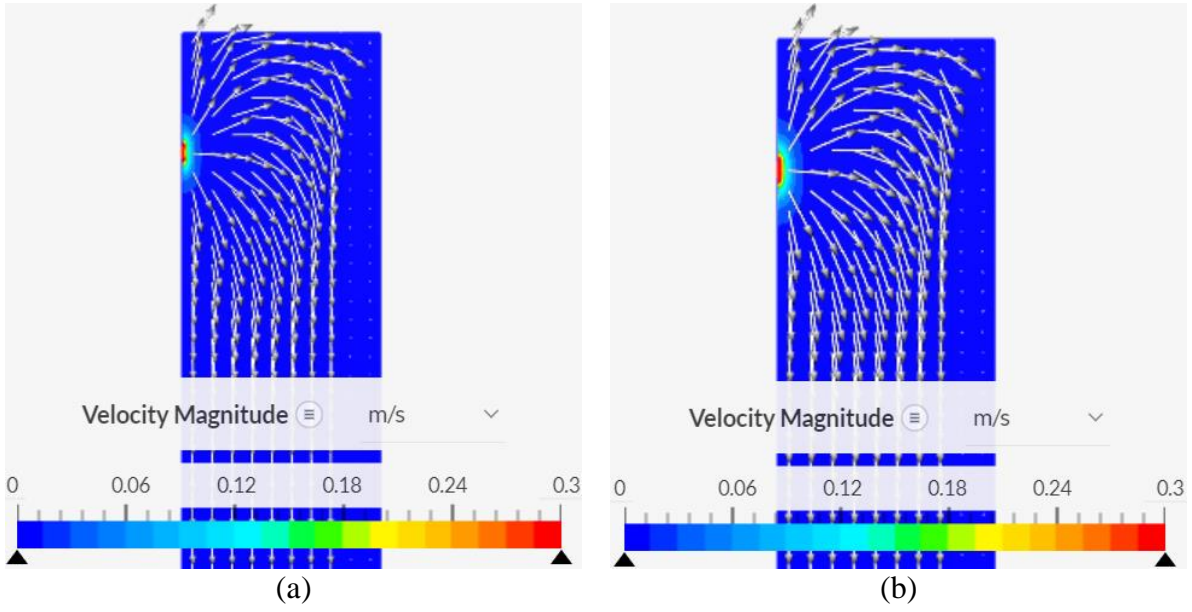
Hulldiameter	Trykk [Pa]	Luftmengde [m ³ /h]		Lekkasje fra hull [m ³ /h]
		Teipet	Åpent	
8mm	-50	97	99	2
	-75	135	135	0
18mm	-50	97	101	4
	-75	136	141	5
30mm	-50	99	103	4
	-75	136	143	7
75mm	-50	98	106	8
	-75	135	147	12

4.3 Simulering

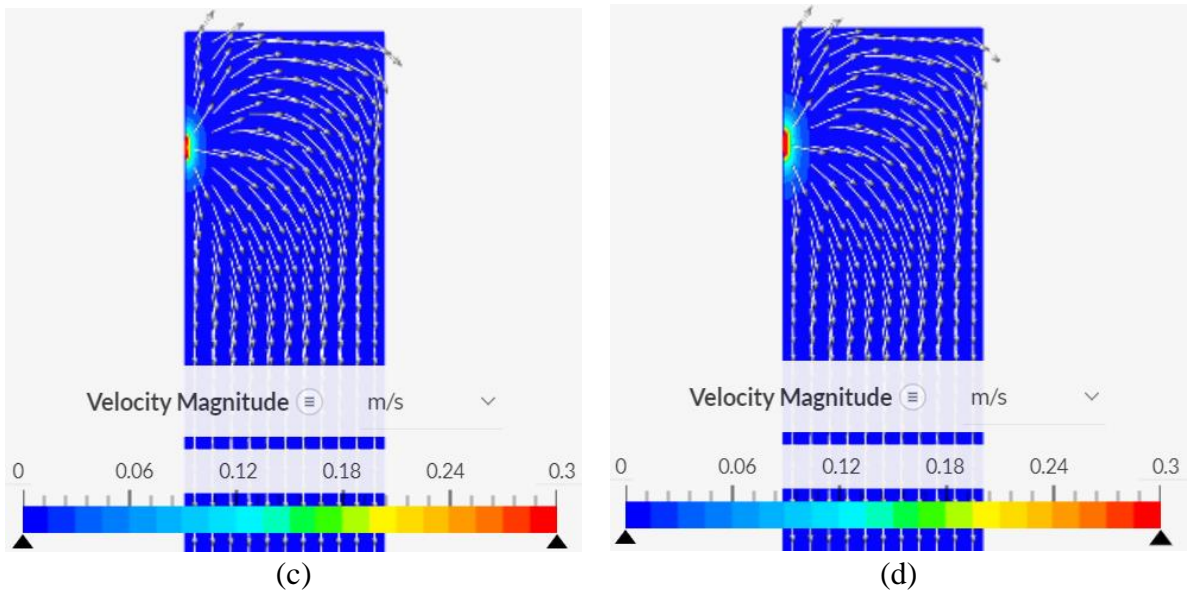
Under presenteres resultater fra Simscale. [Tabell 4.3](#) viser volumstrøm fra Simscale sin egen interpoleringsmodell, og i [Figur 4.9](#) og [Figur 4.10](#) presenteres modellen med vektorer som viser retning på lufthastigheten, samt en fargeskala for hastighet opp til 0,3m/s. Vektorene angir retning på lufthastigheten i roten av pila, derfor fortsetter noen av pilene ut fra figuren. Figurene viser resultat både med og uten dampsperre for både 50Pa og 75Pa undertrykk for modellen med 18mm hull. Figurer for resterende simuleringer finnes i Vedlegg 3: Simulering. [Figur 4.11](#) viser også modell med 18mm hull, men med annen hastighetsbredde på skalaen.

Tabell 4.3 Volumstrøm ved ulike trykk hentet fra Simscale

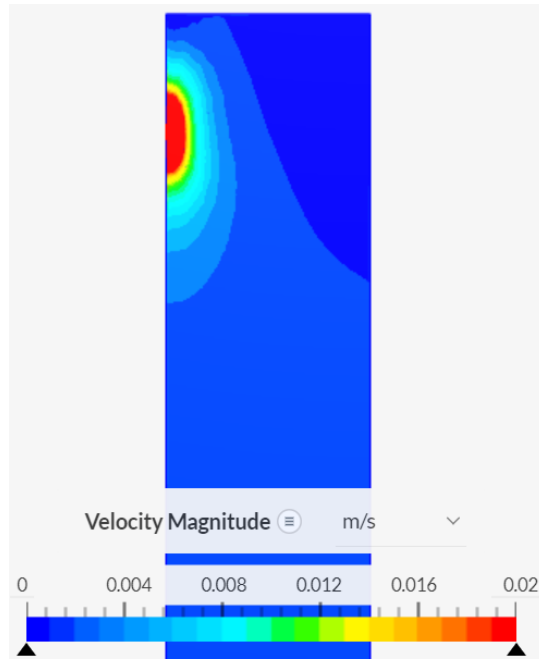
	Hulldiameter	Volumstrøm [m ³ /h]	
		50Pa	75Pa
Inntrukket	8mm	0,26	0,40
	18mm	0,51	0,77
	30mm	0,70	1,05
	75mm	1,02	1,53
Ikke inntrukket	8mm	0,29	0,43
	18mm	0,63	0,95
	30mm	0,84	1,25
	75mm	1,37	2,05



Figur 4.9 Utvalgt resultat fra Simscale fra simulering med 18mm, inntrukket dampsperre. a) 50Pa, b) 75Pa.



Figur 4.10 Utvalgt resultat fra Simscale fra simulering med 18mm, uten inntrukket dampsperre. a) 50Pa, b) 75Pa.



Figur 4.11 Lufthastighet i simulering av vegg med 18mm hull

4.4 Håndberegninger

Tabell 4.4 og Tabell 4.5 under viser resultater etter håndberegninger for volumstrøm gjennom henholdsvis isolasjon og hull. Formler for alle håndberegninger finnes i kapittel 2.9, og beregningsgrunnlag finnes i Vedlegg 2: Håndberegninger.

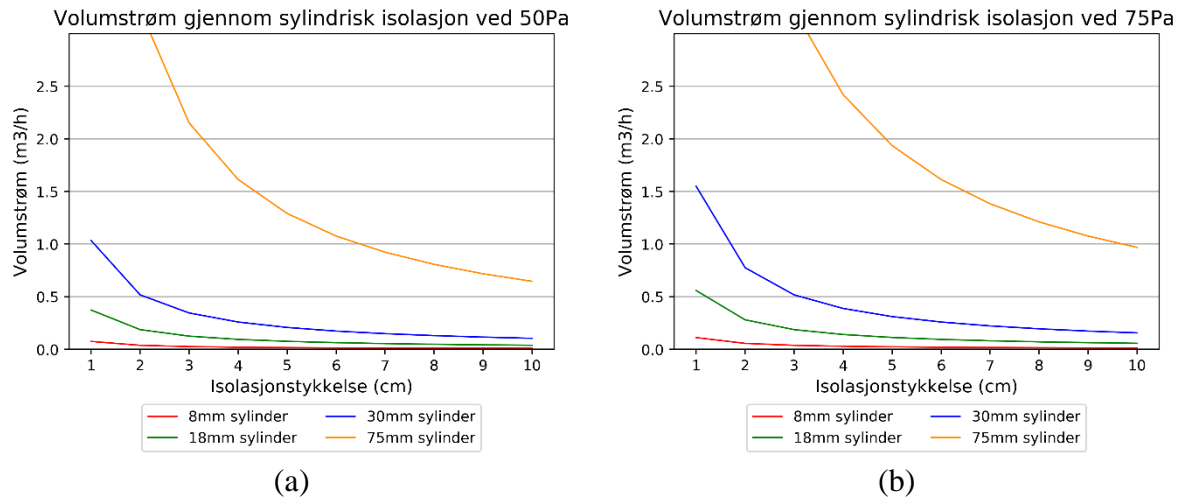
Tabell 4.4 Håndberegnete verdier for maksimal volumstrøm gjennom isolasjon ved 50/75Pa undertrykk

	Volumstrøm [m ³ /h]	
	50Pa	75Pa
Inntrukket dampsperre	2,45	3,68
Ikke inntrukket dampsperre	3,07	4,60

Tabell 4.5 Håndberegnete verdier for maksimal volumstrøm gjennom hull ved 50/75Pa undertrykk

Hulldiameter [mm]	Volumstrøm [m ³ /h]	
	50Pa	75Pa
8	1,09	1,33
18	5,51	6,74
30	15,29	18,73
75	95,59	117,08

Under viser [Figur 4.12](#) håndberegnet volumstrøm gjennom ulike tykkelser av isolasjon, sett at luftstrømmen ikke spres utover, men fortsetter innover etter hullet i en sylindrisk form med samme diameter for hullet. Dette gjøres for å illustrere begrensningen isolasjonen tilfører.



Figur 4.12 Håndberegnet volumstrøm gjennom sylindrisk isolasjon ved a) 50Pa og b) 75Pa

5 Diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene gjennomgått og sammenlignet for å kunne svare på forsknings-spørsmålene presentert i innledningen. Det vil først bli gjennomgått svakheter ved metoden, før resultatenes troverdighet og betydning for forskningsspørsmål blir vurdert.

5.1 Svakheter og usikkerheter ved metode og forsøk

Forsøkene som er gjennomført baserer seg på termografering fra innsiden ved undertrykk, og bærer med seg det som allerede finnes av svakheter med denne fremgangsmåten. En av de mest betydningsfulle svakhetene ved fremgangsmåten, er at man er avhengig av lekkasjer i dampsperran for at undertrykket som påføres bygget skal kunne trekke luft gjennom vindsperran. For å kunne se en temperaturforskjell er det nødt til å være en transport av kaldt luft inn i veggen, og uten en lekkasje i dampsperran vil ikke det skje. Dette innebærer at konsekvensen av lekkasjer er lavere fordi det ikke vil være noen gjennomblåsing dersom dampsperran er tett, og man vil få et godt lekkasjetall. Dette betyr likevel ingenting for anblåsing som ble beskrevet i kapittel 2.1. Selv om bygget er godt isolert og har et godt resultat etter tetthetsmålinger, vil anblåsing føre til et større varmetap og dermed større energibruk ved at kald luft trekkes gjennom isolasjonen mellom vindsperre og dampsperre. Dette vil være et større problem i områder med mye vind, da vind er drivkraften bak anblåsing. En annen svakhet ved metoden er at bygget ofte er helt ferdig når termografering gjennomføres. Da vil det i mange tilfeller bli tidkrevende og kostbart å utbedre selv små feil. Det er eventuelt i tilfeller der ytterkledningen ikke er montert at man kan komme til for å utbedre vindsperran.

I tillegg finnes det flere svakheter ved selve forsøkene. Modulen har som tidligere nevnt store lekkasjer, noe som reduserer presisjonen i målingene betraktelig, og ytre påvirkning fra vind kan påvirke resultatene. Det ble teipet en del lekkasjer i forkant, men teipen viste seg flere steder å hefte dårlig og begynte etter hvert å løsne. Modulen er bygd opp av krysslimt tre, derfor er alle innvendige overflater eksponert treverk. Dampsperran i veggprøvene måtte foldes ut og teipes direkte til treverket. Treverket har mange sprekker der flere går fra gulv til tak, i tillegg til ujevnheter som påvirker tettheten der dampsperran teipes. Dersom luft trekkes gjennom disse ujevnhetene kan det påvirke termograferingen.

Modulen er som tidligere nevnt plassert vindutsatt til ute på et jorde, så vindpåvirkning blir naturligvis en usikkerhet, spesielt for lufttetthetsmålingene. Det er ikke gjennomført

lufttetthetsmålinger eller termografering ved vindhastigheter over 4 m/s, men vind kan likevel ha en påvirkning. Slangen som føres ut for å måle trykk ble plassert med et T-rør litt nede i gresset 10 meter fra modulen for å unngå påvirkning fra vind og skjerming fra modulene. Det kan ikke garanteres at slangen ble riktig plassert. Det ble gjennomført stikkprøver på det sekundære manometeret som var plassert rett ved veggprøven, som målte trykkforskjell over den aktuelle veggen. Denne viste stort sett ± 3 Pa avvik fra målt trykkforskjell i Tectite. Denne forskjellen blir ubetydelig i forsøk med termografering, spesielt ved 75Pa undertrykk, men det kan ha hatt noe betydning for tetthetsmålingene. Siden forsøkene er ute i en modul vil det heller ikke være mulighet for å gjennomføre alle forsøk med helt like temperaturforskjeller. Det gjør resultatene vanskeligere å sammenligne, da man alltid er nødt til å vurdere temperaturene.

En annen svakhet er at det ikke er tett isolert eller fuget rundt veggprøvene, da dette er en midlertidig installasjon. Det vil være lavere temperatur i hulrommene bak teipen som er brukt som tetning rundt veggprøven, som fort kan gjøre utslag på termograferingen. Dette har kun innvirkning ved automatisk justert temperaturbredde på kameraet, og kan medføre en større temperaturbredde, da kameraet oppfatter lavere temperaturer rundt veggprøven.

Den eneste døren i modulen blir benyttet til BlowerDoor-utstyret, og det vil være en feilkilde at alle bevegelser ut og inn for å bytte eller teipe hullplater og flytte trykkslangen må skje gjennom viftehullet. Det betyr at viften jevnlig må tas ut og inn av trekket, som kan innebære at det ikke alltid blir like tett rundt viften, noe som kan påvirke lekkasjetallet.

5.2 Vurdering av termogram

Termogrammene vil bli vurdert opp mot noen kriterier for å kunne vurdere om termografering for å lokalisere lekkasjer i vindsperran er en effektiv metode. Disse kriteriene blir beskrevet under.

Det første kriteriet er at det skal være mulig å se en temperaturforskjell på termogrammene, som kan tolkes som en lekkasje i vindsperran. Videre er det et poeng at det kan være vanskelig å ha en fastsatt temperaturskala med et snevert temperaturområde. I reelle tilfeller der man må bevege seg og termograferer ulike flater, vil det ofte være ulike temperaturer og emissivitet. Det bør derfor være mulig å antyde en temperaturforskjell ved autojustering, slik at man heller kan stoppe opp og justere manuelt for å undersøke nærmere. Det er verdt å merke seg at temperaturbredden er avhengig av de faktiske temperaturene på overflaten som termograferes, og det

kan i mange tilfeller være snevrere enn for disse forsøkene. Da blir det større kontrast og det blir mulig å oppdage forskjeller tidligere. Dette kan slå motsatt ut, da det kan bli større temperaturbredde på grunn av for eksempel vinduer eller hjørneeffekt. Her er det verdt å merke seg at det er mulig å benytte punktmålinger med trådkors, som kan vise temperaturforskjeller selv om ikke fargeskalaen viser noen kontrast.

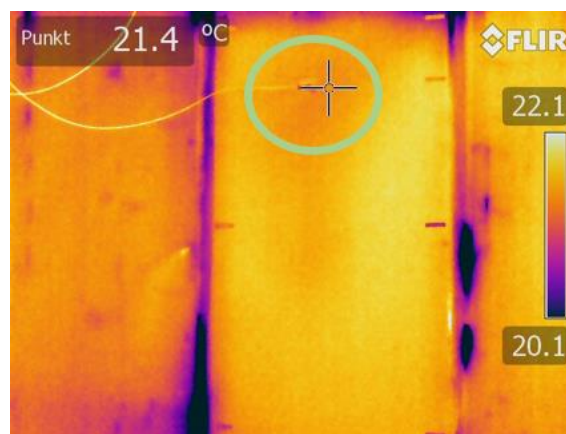
For at metoden skal kunne regnes som effektiv må det også være mulig å tolke termogrammene slik at man kan si med rimelig sikkerhet hvor lekkasjen er. Dersom det termograferes i et tilnærmet ferdig bygg, som forsøkene her er basert på, er det viktig å kunne plassere lekkasjen så nøyaktig som mulig for å unngå større inngrep enn nødvendig, som nevnt i 5.1. Dette betyr at mønsteret på termogrammet ikke bør være for flytende, men at det blir et tydelig kaldere område på termogrammet slik at det blir enkelt å lokalisere lekkasjen. Et mål med forsøkene er å undersøke om det finnes karakteristiske mønster for slike lekkasjer, som vil gjøre jobben med tolking lettere.

Det siste kriteriet omhandler tid, da det er viktig at det ikke går alt for lang tid før det er mulig å lokalisere lekkasjer. Da det her er snakk om lekkasjer i vindsperre må det forventes at det tar litt tid før det blir synlig i et termogram, fordi materialene må kjøles ned bak innerkledningen. Det må vurderes hvor lenge det kan tillates å måtte vente før termograferingen kan begynne. Det vil nok være ulike syn på dette, men i en bransje der man skal rekke gjennom mest mulig på kortest mulig tid og prøver å redusere kostnadene, vil det være effektivt å kunne begynne termograferingen rett etter å ha kjørt en tetthetsmåling med undertrykk. Dette avhenger av at oppdraget omfatter begge deler. I tilfeller der det gjøres lufttetthetsmålinger bør det være mulig å starte termograferingen etter undertrykksmålingen. Dersom det ikke gjennomføres tetthetsmåling bør det være nok at viften står i cruise-modus i 10 minutter før det kan termograferes.

Av kriteriene beskrevet over må det vurderes om det i det hele tatt er mulig å lokalisere lekkasjer ved termografering. Figur 4.1-Figur 4.3 viser et utvalg av termogram fra forsøkene med inntrukket dampspærre. Av disse observeres det at det i forsøk 6 begynte å bli antydning til en temperaturforskjell for første gang. Dette er kun i termogrammet med en manuelt justert skala, men er svært lite tydelig. Som nevnt over bør man med rimelig sikkerhet kunne si hvor lekkasjen er. Det er ikke mulig å si sikkert hverken for forsøk 6 (Figur 4.1) eller 7 (Figur 4.2). I forsøk 8 (Figur 4.3) er det en tydeligere temperaturforskjell både med den automatiske og den

manuelt justerte temperaturskalaen. Mønsteret i den automatisk justerte skalaen vil likevel kunne være lett å overse eller avfeie som en svak refleksjon fra lys eller andre varmekilder.

I [Figur 5.1](#) vises det samme termogrammet som i [Figur 4.3 b\)](#), men med en ring som viser området med det tydeligste kalde feltet. Dette stemmer godt overens med plasseringen av hullet i vindspærren, som ligger rett bak trådkorset og teipen. Det er også antydning til en kald stripe ned under dette kalde feltet. Dette var forventet for forsøk uten inntrukket dampspærre, men er noe mer overraskende med inntrukket dampspærre. Siden det er et ganske tett lag mellom den inntrukne dampspærren og gipsplaten, skal ikke undertrykket føre til noen betydelig luftstrømmer. Den kalde stripen i termogrammet skyldes nok i stor grad at luften som kjøler ned isolasjonen innenfor hullet i vindspærren vil trekke nedover mot hullet i dampspærren. Luften vil da kjøle ned et område inntil dampspærren nedover i veggen. Der vil konduksjon føre til en nedkjøling i påføringen, som til slutt fører til en kaldere overflate på gipsen. Det kan også være noen lekkasjer i dampspærren, eller den kalde luften kan rett og slett begynne å synke som følge av at luften blir tyngre når den kjøles ned, men dette har nok ikke så stor betydning.

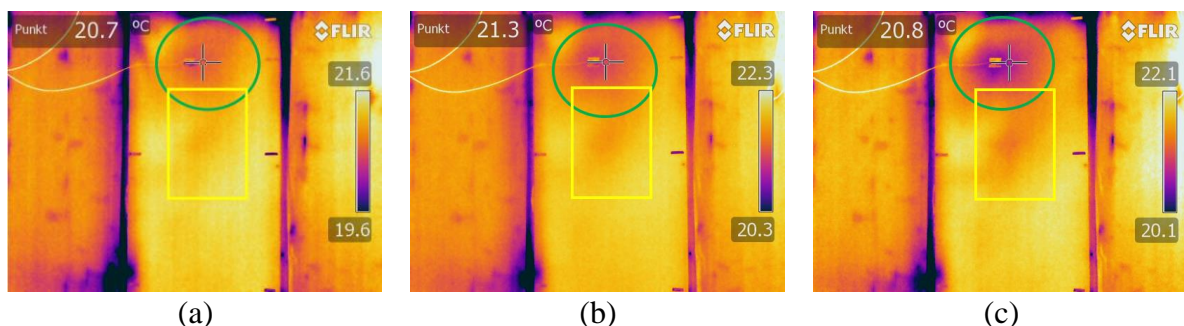


Figur 5.1 Illustrasjon av kald «kjerne» for forsøk 8, termogram 7(60 min) med manuell temperaturskala

En svært viktig ting å merke seg er at dette termogrammet i [Figur 5.1](#) er tatt etter at modulen har vært påført et konstant undertrykk på 75Pa i 60 minutter, med et hull på 75mm. I det samme forsøket er det mulig å lese av omtrentlig like godt at det er en lekkasje etter 50 minutter, men kun ved den manuelt justerte skalaen. Med andre ord tar det opp mot 50 minutter før det er mulig å lokalisere en lekkasje fra et 75mm hull selv ved 75Pa undertrykk og kun to graders differanse på skalaen. Med den automatiske skalaen er det knapt nok mulig å se lekkasjen selv etter 60 minutter.

I forsøkene uten inntrukket dampsperre var det først mulig å se en synlig temperaturforskjell i forsøk 12. Dette ble observert etter 30 minutter. Temperaturforskjellen var svakt synlig på det autojusterte termogrammet, se [Figur 4.5 a](#)), men var mer synlig ved 2 graders temperaturbredde vist i b). Dette gir den samme problematikken som tidligere nevnt, ved at det lett kan feiltolkes. Den autojusterte skalaen kan i andre tilfeller ha en smalere temperaturbredde enn i de gjennomførte forsøkene, så det vil i en del tilfeller være mulig å se forskjellen i [Figur 4.5 a](#)) bedre. Det gjelder også for forsøkene med større hull at det er først etter 30 minutter det kan observeres en forskjell, selv ved den smaleste temperaturbredden. Unntaket er forsøk 16, som viser temperaturforskjell noe tidligere (se Vedlegg 1: Termogram).

I forsøkene uten inntrukket dampsperre er det i større grad enn i forsøkene med inntrukket dampsperre mulig å observere en tendens til at det dannes et karakteristisk mønster av lekkasjene i vindspærren. I [Figur 4.8](#) er de tydeligste termogrammene sidestilt. I [Figur 5.2](#) vises de samme bildene, her med to figurer som omkranser deler av mønsteret. I den grønne sirkelen ses det tydelig at det utvikles et kaldt sirkulært punkt, som blir kaldere inn mot midten. Siden det er kjent at hullet i vindspærren er rett bak dette mønsteret kan det forsiktig antas at dette er et karakteristisk mønster for lekkasjer i vindsperre. Dette kan ikke sies med sikkerhet på bakgrunn av disse forsøkene alene, da det ikke er gjort forsøk på flere veggprøver av andre typer. Likevel er det en tendens som tyder på at dette er den karakteristiske formen som kan forventes ved luftlekkasjer i vindsperre. Siden kjernen er så tydelig er det mulig å lokalisere lekkasjen med rimelig stor sikkerhet. I den gule firkanten ses et mørkt felt som går ned fra den kalde kjernen. Her er det et undertrykk, og det er derfor naturlig at kald luft trekkes ned langs innsiden av gipsen og kjøler den ned. Her har det mørke feltet en svakt buet form, som antakelig skyldes at isolasjonen ikke er like godt klemt inntil dampspærren på dette punktet.



Figur 5.2 Utvikling i mønster i forsøk uten inntrukket dampsperre.

Forsøkene viser at trykkforskjellen har stor betydning for muligheten til å fange opp temperaturforskjeller ved termografering. Dersom man sammenligner forsøk 7 og 8 (Figur 4.2 og Figur 4.3), forsøk 11 og 12 (Figur 4.4 og Figur 4.5), og forsøk 15 og 16 (Figur 4.6 og Figur 4.7), viser dette at det er større temperaturforskjeller i termogrammene som er ved 75Pa undertrykk. Forsøk 7 og 8 hadde omtrentlig lik temperaturredifferanse (Vedlegg 1: Termogram), og er de mest sammenlignbare. I forsøk 11 og 12 var det lavere utetemperatur i forsøk 12 med større trykkforskjell, mens det i forsøk 15 og 16 var lavere utetemperatur i forsøk 15 med lavere trykkforskjell. Det at det til tross for dette er helt tydelig er større temperaturforskjeller i termogrammene ved større trykkforskjeller betyr at det med rimelig sikkerhet kan slås fast at det skyldes nettopp trykkforskjellen, som også er i tråd med tidligere forskning (Barreira et al., 2017). Dette var forventet for forsøkene uten inntrukket dampspærre. Det var noe større usikkerhet knyttet til betydningen av trykkforskjell ved inntrukket dampspærre da det ikke er konveksjon, men konduksjon som i hovedsak er drivkraften for varmetransport mellom dampspærren og gipsen. Det at trykket fremdeles har en såpass stor betydning kan forklares med at det er tvungen konveksjon som foregår når bygget settes under undertrykk. Tvungen konveksjon vil kjøle ned en flate raskere dersom fluidet får en høyere hastighet. Dette betyr at området ved dampspærren kjøles ned raskere. Dette får betydning for varmeledningen som skjer gjennom isolasjonen mellom dampspærren og gipsen. Varmeledningen avhenger av temperaturforskjellen, som beskrevet i kapittel 2.7. Når flaten på dampspærren kjøles raskere ned oppnås det raskere en temperaturforskjell som driver varmeledning. Dette betyr at gipsen også kjøles raskere ned, og det vil tidligere gjøre utslag ved termografering.

Forsøkene ble gjennomført ute i en modul, ikke i en lab. Derfor ble det variasjon i utetemperaturene. For forsøkene med inntrukket dampspærre var det stort sett jevn utetemperatur under forsøkene, og en temperaturredifferanse mellom ute og inne som var 21°C eller større. For forsøkene uten inntrukket dampspærre var det noen tilfeller med større variasjon i utetemperaturen, opp til 2-3°C i løpet av ett forsøk. Det var også større temperaturredifferanser mellom forsøkene. Det at det ikke var lik utetemperatur under alle forsøkene har sannsynligvis hatt en påvirkning på resultatene, spesielt på tiden det tar før det blir synlig temperaturforskjell. Det viktigste for disse forsøkene var likevel at det var stor nok temperaturforskjell, ikke at de var helt like. Det at forsøkene ble gjort ute i en slik modul i et reelt tilfelle tilfører en verdi i seg selv, ved at det blir mer virkelighetsnært og sammenlignbart med faktiske termograferingsoppdrag.

5.3 Vurdering av tetthetsmåling

Resultatene fra tetthetsmålingene er presentert i [Tabell 4.1](#) og [Tabell 4.2](#). Disse målingene ble gjennomført for å danne et grunnlag for forventet lekkasjeluftmengde gjennom isolert vegg som følge av hull av ulike størrelser. Det danner også et grunnlag for å se på sammenhengen mellom lekkasjeluftmengde og utslag på termogram.

Generelt viser tabellene en jevn økning i luftmengde ved økt diameter på hullet, med noen unntak. De viser også at det er større luftmengder ved høyere trykk. Det er verdt å merke seg at det er ganske like luftmengder med og uten inntrukket dampspærre ved det minste hullet. Ved de større hullene er det større luftmengder i testene uten inntrukket dampspærre. En mulig forklaring på at det er såpass like verdier for det minste hullet kan være at det er hullet som er begrensende for volumstrøm. Det er gjort håndberegninger for å vurdere dette, presentert i [Tabell 4.5](#). Dette er forenklete håndberegninger for tilnærmet luftstrøm gjennom hull, og viser en tilnærmet maksimal luftmengde gjennom hullene ved de ulike trykkene. For hullet på 8mm ligger målt lekkasjeluftmengde i grovt sett samme område som den beregnede grensen, og det er dermed nærliggende å tenke at det er hullstørrelsen som begrenser luftstrømmen. Den målte luftmengden ligger noe over beregnet maksimal luftstrøm gjennom hullet. Dette kan skyldes at det er en forenklet beregning, at den oppgitte verdien for c ikke stemmer (Thue, 2016), unøyaktigheter i målingene, eller kombinasjonen av dette. Beregningene tar blant annet ikke hensyn til luftens densitet og viskositet.

At det etter hvert blir målt en større luftmengde gjennom veggen uten inntrukket dampspærre skyldes sannsynligvis at det ikke lengre er hullet som er begrensende, men permeabiliteten til isolasjonen. Siden veggprøven uten inntrukket dampspærre har et større sammenhengende tverrsnitt med isolasjon blir i praksis arealet luften har til å trenge gjennom isolasjonen større, dermed kan det gå en større luftmengde gjennom veggen. Det er gjennomført håndberegninger for dette, presentert i [Tabell 4.4](#). Disse beregningene viser tydelig at det kan gå et større volum av luft gjennom veggen uten inntrukket dampspærre. For hullene på 18mm, 30mm og 75mm så er teoretisk luftmengde gjennom isolasjonen lavere enn gjennom hullet, og derfor begrensende. De håndberegnete verdiene er vesentlig lavere enn de målte, se [Tabell 4.1](#) og [Tabell 4.2](#). Dette kan skyldes at håndberegningene er helt uten hulrom, gjennom et massivt tverrsnitt av isolasjon. I veggprøven vil det i praksis bli hulrom stedvis både mellom isolasjon og treverk, mellom

isolasjon og dampspærre/vindspærre og mellom lagene med isolasjon. Disse hulrommene har mye lavere motstand, noe som medfører en større transport av luft.

Dersom man sammenligner termogram og volumstrøm, er det indikasjoner på at det trengs en viss volumstrøm for å gjøre utslag ved termografering. Ved å studere termogrammene observeres det at termogrammene for forsøk 6 og 7 har ganske lik utvikling. Det samme gjelder for forsøk 12 og 13, der det i 13 er litt svakere utslag, og forsøk 14 og 15 der 15 har litt sterkere utslag. Sammenlignes volumstrømmen for disse i [Tabell 4.1](#) og [Tabell 4.2](#), er det tydelig at disse også har ganske lik volumstrøm. Det er å forvente at lik volumstrøm gir likt utslag, så det diskuteres ikke noe videre, men det er av interesse hvor stor volumstrøm som trengs for å gjøre utslag på termogram. Ved inntrukket dampspærre kommer det første synlige utslaget i forsøk 6 med en målt volumstrøm på $5\text{m}^3/\text{s}$. Dette termogrammet har ganske like utslag som i forsøk 7, som også har en målt volumstrøm på $5\text{m}^3/\text{s}$. Dette kan tyde på at det i tilfeller med inntrukket dampspærre og 250mm veggtykkelse må være en lekkasje på omtrentlig denne størrelsen for å kunne fanges opp. Dette er selvfølgelig svært avhengig av temperaturen, og gjelder her ved temperaturforskjell like over 20 grader. Dette er likevel bare en indikasjon, siden det ikke er gjennomført flere forsøk som viser det samme. I tilfellene uten dampspærre er det første utslaget i forsøk 12, men det er litt svakere utslag i forsøk 13 selv om det var større temperaturforskjell mellom ute- og inneluften. Forsøk 12 hadde en målt volumstrøm på $5\text{m}^3/\text{s}$, forsøk 13 hadde $4\text{m}^3/\text{s}$. Dette kan tyde på at det trengs $4\text{m}^3/\text{s}$ for å få tydelige termogram ved 30 grader forskjell som det var i forsøk 13.

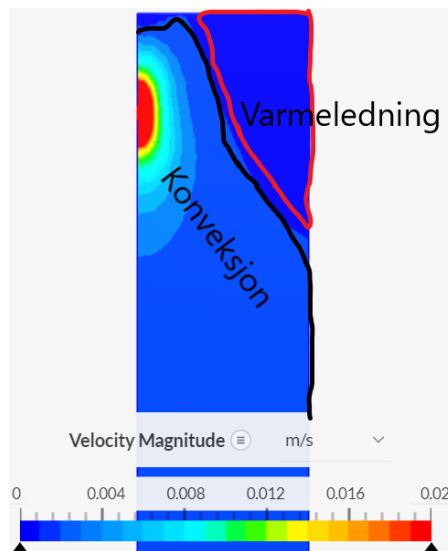
5.4 Vurdering av simulering

Simuleringene er først og fremst gjennomført for å danne et grunnlag for å understøtte eller forklare resultater fra termografering eller tetthetsmålinger. Simuleringene som er presentert med lufthastighet og vektorer knyttes opp mot termografering, og simulert volumstrøm knyttes mot tetthetsmålingene.

[Figur 4.9](#) og [Figur 4.10](#) viser resultatet fra simuleringen for hull med 18mm diameter. Resultatet fra simuleringene ser rimelig like ut for de forskjellige hullstørrelsene hvis man ser på vektorer og fordeling av lufthastighet. Det kommer tydelig frem i simuleringene at lufthastigheten avtar raskt, noe som tyder på at isolasjonen har en svært begrensende effekt på luftstrømmen. Vektorene viser at luften vil begynne å spre seg rett etter hullet, og at en del av luften går opp mot toppsvillen og ned langs dampspærren. Videre stabiliserer luftstrømmen seg ganske raskt, og

det ser ut til at den spres jevnt over tverrsnittet når den strømmer ned mot hullet i dampspærren. Dette betyr at en relativt liten andel av luften vil strømme inntil dampspærren og kjøle ned dette området. Dette kan forklare hvorfor den kjølige stripen ned fra kjernen på termogrammet i [Figur 5.2](#) er såpass lite synlig. Luftstrømmens retning etter å ha kommet gjennom hullet i [Figur 4.9](#) og [Figur 4.10](#) forklarer derimot ikke hvorfor det blir en så tydelig kald kjerne på termogrammene. Luftstrømmen sprer seg svært fort. Impulsen, eller bevegelsesmengden, kan tenkes å ha en effekt her, men siden den er gitt ved masse ganger hastighet og følger hastighetsretningen, er det nok heller ikke dette som utgjør forskjellen.

Simuleringene, kombinert med temperaturmålingene fra forsøkene, indikerer at det ikke direkte er konveksjon som kjøler ned området inntil dampspærren. Dersom man studerer temperaturloggene i Vedlegg 1: Termogram, så kan man se at temperaturen 15cm inn i veggen (innenfra og ut) i samme høyde som hullet etter noe tid vil nærme seg utetemperaturen. Det interessante er da at dette ikke gjelder for temperaturen 5cm inn i veggen, som begynner å stabilisere seg flere grader over utetemperaturen. Dette tyder på at luftstrømmen kjøler ned området 15cm inn i veggen ved tvungen konveksjon, men at denne kalde utelufta når ikke inn til måleren 5cm inn i veggen. Dette kan skyldes at luften varmes opp av isolasjonen inne i veggen, som har høyere temperatur i utgangspunktet, men da ville nok temperaturen sunket noe mer over tid og saktere nærmet seg utetemperaturen. Det kan tenkes at det ved et punkt inne i veggen blir for stor motstand til at luften driver varmetransport ved konveksjon, men at det inn til dette punktet vil være en vesentlig nedkjøling av isolasjonen, spesielt rett innenfor hullet. Dette vil føre til et kaldt felt et stykke inn i veggen, som ikke i stor grad forstørres inn mot dampspærren som følge av konveksjon. Dette kalde feltet vil nok forstørres nedover i veggen, men ikke så mye innover. Dette underbygges av resultatet i [Figur 4.11](#), som viser at luften har hastighet tilnærmet lik null videre inn mot dampspærren, og noe større hastighet ned mot hullet nederst på veggen. Dette tyder på at nedkjølingen som foregår videre inn mot den kalde kjernen som observeres i termogrammene skyldes at konveksjonen på et punkt blir overtatt av varmeledning. Siden det nå er mye kaldere lengre inn i veggen enn før det ble satt undertrykk, vil avstanden bli mindre i likningen for varmeledning presentert i kapittel [2.7](#). Dette underbygger videre den tidligere presenterte betydningen av stor temperaturforskjell mellom ute- og inneluften.



Figur 5.3 Illustrasjon av dominerende varmetransport i deler av vegg

Figur 5.3 (modifisert fra Figur 4.11) illustrerer hvordan varmetransporten og dermed nedkjølingen av vegg fungerer ved å vise områdene der konveksjon eller varmeledning er dominerende. Dette er en teori, og linjene i figuren er mer som antagelser å regne. Grensene kan i virkeligheten gå helt andre steder, da det ikke er sikkert at konveksjon er dominerende selv om luften beveger seg i et område. Det er naturlig at området rett bak hullet blir raskest nedkjølt ved konveksjon, og at et felt i denne høyden videre inn fra hullet raskest kjøles ned ved varmeledning (konduksjon), som dermed medfører en kald kjerne på termogrammene.

Når det kommer til simulering av volumstrøm er det tydelig at det er svært store forskjeller mellom målt volumstrøm og simulert volumstrøm. Resultatene fra simulering av volumstrøm vises i Tabell 4.3. Det er store usikkerheter ved målingene, men det er likevel noe overraskende at det er så store forskjeller, spesielt fordi simuleringene gir mye lavere volumstrøm enn de håndberegnete begrensningene ved hull og isolasjon. Noe som vesentlig skiller simuleringene og forsøkene er at simuleringen er stillestående (steady-state). En annen forskjell er at det ofte vil oppstå hulrom her og der i en faktisk vegg, typisk mellom treverk og isolasjon, eller mellom isolasjon og vindsperre/dampsperre. Det skjer ikke i simuleringen. Dette kan ha stor betydning for forskjellen mellom målingene og simuleringene, men ikke mot håndberegnete verdier i Tabell 4.4 og Tabell 4.5 som ikke påvirkes av spalter og hulrom. Det som kan være den avgjørende faktoren for den lave volumstrømmen i simuleringene, er kombinasjonen av hullstørrelse og isolasjonsmotstand. Isolasjonen i simuleringen ligger helt inntil randen av hullet, og hindrer at luft kan komme mellom vindsperren og isolasjonen. Da vil det være et svært begrenset areal

av isolasjon for luften å trekke inn i. Siden volumstrømmen er svært avhengig av arealet luften kan gå gjennom, vil dette kunne ha stor betydning. I motsetning til simuleringene kan det i veggprøven være slik at vindsperren sitter såpass stramt på at lufttrykket som genereres av vifta trekker isolasjonen litt lengre inn enn vindsperren, og dermed skaper en luftlomme. Dette gir et betydelig større areal med isolasjon for luften å trenge inn i. For å gjøre en forenklet kontroll av denne teorien, er det gjort håndberegninger for hvor stor luftmengde som kan trekke gjennom ulike tykkelser av isolasjon i en sylinder med samme diameter som hullene, se [Figur 4.12](#). Ved å sammenligne denne figuren med [Tabell 4.3](#) ser man at det kan være en sammenheng, da de simulerte verdiene passer bedre overens med disse håndberegnete verdiene. Håndberegningene er svært forenklete da luften vil spre seg i alle retninger, men kan indikere at den lave volumstrømmen skyldes at luften må gjennom et begrenset areal av isolasjon først. Dette forklarer imidlertid ikke hvorfor det da blir en forskjell i volumstrøm mellom inntrukket og ikke inntrukket dampspærre, så det er mest sannsynlig ikke den eneste faktoren av betydning.

5.5 Troverdighet til forsøk, målinger og simuleringer

Forsøkene med termografering ved ulike trykk og hull med ulike størrelser må regnes som troverdige, da det er faktiske forhold som undersøkes i praktiske forsøk. Forsøkene er basert på forhold og byggemåte som utvilsomt kan oppstå i virkelige situasjoner, og det er ingen grunn til å si at de ikke er troverdige. Dette er ikke kvantitative men kvalitative forsøk som er ment å si noe om effektiviteten av metoden. Det kan ikke konkluderes med noe uten å ha kvantifisert dette og studert flere oppbygninger under flere forhold. Det må også understrekes at forsøkene er gjennomført med helt sirkulære hull, og at termogrammene helt sikkert er preget av dette. Termogrammene vil med stor sannsynlighet få en annen form ved hull av andre former.

Lufttetthetsmålingene som ble gjennomført viste seg å ha store ulikheter. Dette er spesielt tydelig i målingene ved 8mm hull og 75Pa, der målingen med inntrukket dampspærre viste $4\text{m}^3/\text{h}$ og målingen uten inntrukket dampspærre viste $0\text{m}^3/\text{h}$. I tillegg viser testen uten inntrukket dampspærre at både målingene ved 50Pa for både 18mm og 30mm har volumstrøm på $4\text{m}^3/\text{h}$. Dette gjør at vurderingene rundt tetthetsmålingene ikke kan stoles på i særlig stor grad, og kan kun anses som indikasjoner. De store forskjellene kan skyldes at modulen i utgangspunktet har store lekkasjer som påvirker presisjonen i tetthetsmålingene. Et annet forhold som kan påvirke resultatene er at det ble termografert og teipet lekkasjer før forsøkene ble gjennomført. Det viste seg ved flere anledninger at teipen ikke heftet på overflatene, og at det etter hvert ble større lekkasjer

av den grunn. Dette er spesielt tydelig om man ser på differansen i lekkasjeluftmengdene mellom forsøkene med og uten inntrukket dampsperre. Sett i ettertid kunne det ha vært best å ikke teipe alle disse lekkasjene, da dette førte til en ekstra usikkerhet og feilkilde. Det kunne også vært bedre å bruke ring D istedenfor ring C for tetthetsmålingene, for å gi høyere presisjon.

Simuleringene skiller seg på flere måter fra de faktiske forsøkene, først og fremst på grunn av at det er en stasjonær simulering, som ikke viser luftbevegelsens tidsavhengighet. Simuleringsmodellen er en helt feilfri oppbygning uten svakheter, noe som er uunngåelig i praksis. I tillegg er modellen slik at både dampsperre og vindsperre i prinsippet hefter til isolasjonen, og det blir ingen spalter der. Tykkelsen på hullplatene eller tykkelsen på gipsplaten er heller ikke hensyntatt i simuleringen, noe som i virkeligheten har betydning for luftstrømmen. Simuleringen er avhengig av ulike parametere, men i dette tilfellet er det bare luftegenskapene og porøsiteten til isolasjonen som kan være ulikt fra virkeligheten. Luftegenskapene er satt ved 2°C, og de forskjellene som kan oppstå som følge av luftegenskapene er av liten betydning for resultatet. Porøsiteten i isolasjonen er det største usikkerhetsmomentet. Verdiene for porøsiteten er sammenlignet fra et par forskjellige kilder, og anses dermed som troverdig. På bakgrunn av vurderingen av usikkerhetene og vurderinger gjort i kapittel 5.4, anses simuleringene som troverdige gitt den benyttede modellen og de valgte parameterne, men det vil sannsynligvis være vanskelig å oppnå like resultater i virkeligheten.

5.6 Samlet vurdering av gjennomførte forsøk, målinger og beregninger

I dette delkapittelet vil de ulike delene av oppgaven knyttes sammen for å skape en mer helhetlig forståelse av problemstillingen, og for å kunne gjøre en mer konkret vurderinger av forskningsspørsmålene.

Termograferingen viste at det i utgangspunktet er mulig å lokalisere lekkasjer i vindspærren, både med og uten inntrukket dampsperre. Det er tydelig ut ifra resultatene at det danner seg et karakteristisk mønster når det får stått lenge nok under trykkforskjell. Utviklingen av et karakteristisk mønster er lærdom som er nyttig for termografering. I prosedyren som er satt opp i standarden går de første punktene ut på at det skal kunne brukes en konstruksjonsbeskrivelse til å bestemme forventet temperaturfordeling, og det nest siste punktet går på problemidentifisering (Standard Norge, 1998). Da følger det at man skal kunne kjenne igjen et slikt mønster og vurdere hva som er problemet.

Selv om det var mulig å lokalisere lekkasjer ved termografering, viste forsøkene at det tar svært lang tid å få tydelige utslag på termogrammene. Med inntrukket dampsperre tok det 50 minutter å få svake utslag, selv ved 75Pa undertrykk og diameter på 75mm. Dette er et rimelig stort hull, og burde i utgangspunktet kunne ses og utbedres ved en visuell kontroll før kledning kommer på. Uten inntrukket dampsperre tok det 30 minutter å få svake utslag ved 18mm hull og 75Pa trykkforskjell. Dette gjelder for temperaturforskjeller over 20 grader, som er fine forhold for termografering. Det er tydelig at trykkforskjellen har en ganske stor betydning, da det er mindre utslag på termogram ved 50Pa trykkforskjell enn ved 75Pa. Det er vanlig å benytte 50Pa undertrykk ved termografering (Grimnes, 2010). Derfor er det uheldig at det er så svake utslag selv etter lang tid ved 50Pa. Det kan være vanskelig å oppnå selv 50Pa trykkforskjell i en del tilfeller, spesielt i rehabiliteringsprosjekter med større lekkasjer.

At det selv ved store temperaturforskjeller tar så lang tid å få utslag ved så store hull indikerer at denne metoden ikke er effektiv for å lokalisere lekkasjer i vindsperre. Dette gjelder spesielt ved inntrukket dampsperre, men metoden er heller ikke spesielt effektiv uten inntrukket dampsperre. Normalt anses en temperaturforskjell på 5°C å være nok til å lokalisere luftlekkasjer. Det å stille høyere krav til temperaturredifferanse vil være lite realistisk, fordi det er vanskelig å oppnå i mange tilfeller. Det må nevnes at veggoppbygningen i forsøkene er i grenseland for å oppnå en U-verdi på 0,18. Det vil ofte bygges enda tykkere vegger, der det med stor sannsynlighet blir enda vanskeligere å lokalisere lekkasjer i vindsperran.

Resultatene av simuleringen underbygger at metoden er lite effektiv, da de viser at det ved en tettere bygd vegg vil være enda mindre luftbevegelse som gjør det vanskeligere å lokalisere slike lekkasjer. Metoden vil likevel kunne ha en betydning for termografører, men det er lite effektivt å aktivt gå inn for å benytte termografering ved undertrykk for å lokalisere lekkasjer i vindsperran.

Den store usikkerheten rundt tetthetsmålingene gjør det vanskelig å si noe annet enn at de indikerer at det trengs omkring 5 m³/h volumstrøm i et enkelt hull for at det skal kunne gi utslag ved termografering med en temperaturredifferanse på omkring 20 grader.

5.7 Lærdom knyttet til termografering

Det er sterke indikasjoner for at termografering ikke er en spesielt effektiv metode for å lokalisere lekkasjer i vindsperre, men det er likevel erfaringer å hente fra funnene i oppgaven som

kan være verdifull for termografører. Selv om det ikke aktivt legges opp til at man skal lokalisere lekkasjer i vindsperre vil det være mulighet for at forholdene i en del oppdrag ligger til rette for å kunne få utslag på termogram. Det kan eksempelvis være dersom et stort lokale termograferes, slik at det står under undertrykk lenge nok til at det gir utslag på termogram. Det kan også være tilfeller der det er nødvendig å ha et høyere undertrykk nederst i et bygg for å nå 50Pa øverst. Dette, kombinert med at det tar lang tid å undersøke store bygg, gjør det mulig å finne feil i vindsperren. Da er det nyttig å kjenne til at mønsteret på termogrammet betyr at det er en lekkasje i vindsperren. Dette gjør funnene gjort kapittel 5.2 om karakteristisk mønster verdifulle, selv om forsøkene kun gjelder sirkulære hull.

Funnene i oppgaven kan være spesielt verdifulle i tilfeller der det viser seg svært vanskelig å oppnå gode lekkasjetall selv om man ikke finner lekkasjer i dampspærren ved termografering. Dette kan bety at luften tar lange og/eller uventede veier. Det kan være at luften kommer inn i vindsperren og går såpass store avstander i isolasjonen at den varmes opp og dermed ikke gjør utslag på termogram der den lekker ut av dampspærren. Dette er mulig da det varierer hvor tett det er i stenderverket mellom dampspærre og vindsperre. I konstruksjoner med trestendere kan det være små glipper mellom treverket og dampspærre/vindsperre både som følge av ujevnheter i treverket og dårlig klem mot kledning eller påføringer. Det kan også være glipper mellom stender og svill, og hull for rør eller elektriske føringer. Stålstendere er ofte slissede for å redusere kuldebrovirkning, noe som fører til at det blir svært åpent for lufttransport over større avstander i vegg. Luften kan også komme inn i hulldekker eller mellom bjelker, og kan da komme ut på uventede plasser, som for eksempel badekabiner midt inne i et rom. Når luften tar slike lange eller uventede veier, kan lekkasjer bli vanskelige å lokalisere. Da kan det være nyttig å vite at det er mulig å lokalisere lekkasjer i vindsperren ved termografering, selv om det er krevende. Da må det påføres stort undertrykk over tid og rommet må varmes opp for å oppnå store temperaturforskjeller. På denne måten er det en sjanse til å lokalisere feilene i vindsperren og slik komme seg innenfor kravet til lekkasjetall.

5.8 Betydning i forbindelse med sertifiseringsordninger og standarder

BREEAM-NOR er Norges største sertifiseringsystem for nybygg og rehab. Manualen i BREEAM-NOR har i motsetning til den nasjonale byggeforskriften TEK17 et kriterium som omhandler termografering. BREEAM stiller ofte krav som overgår kravene i nasjonale forskrifter, fordi en av målsetningene med ordningen er «Å fastsette en robust, kostnadseffektiv

ytelsesstandard som overgår forskriftskravene» (Grønn byggallianse, 2022, s. 10). Termografisk undersøkelse er medtatt i manualen for å kunne gjøre en kontroll av energiytelsen til bygninger, derfor kan det diskuteres hvor effektiv metoden er.

Manualen spesifiserer i ENE01 – kriterium 10c) at termograferingen skal bekrefte at det ikke er noen veier for luftlekkasjer gjennom konstruksjonen. Dette åpner for tolkning av kriteriet, fordi det reiser et spørsmål om man skal definere lekkasjeveier gjennom konstruksjonen kun som gjennomblåsing, eller også som anblåsing. Poenget med kravet er som nevnt å kontrollere energiytelsen. Infiltrasjon kan stå for opptil 25% av varmebehov i velisolerte bygninger i kaldt klima (Kalamees, 2007). Det er ikke funnet forskning som tar for seg energibehov på grunn av anblåsing, men det er kjent at varmetapet øker når isolasjonen kjøles ned selv om det ikke er gjennomblåsing. Som nevnt i kapittel 2.6 har vindsperren god effekt på bygningens lekkasjetall, som betyr at den har stor betydning for både gjennomblåsing og anblåsing. Det er derfor naturlig å inkludere vindsperren i definisjonen av konstruksjonen i kriterium 10c) fordi den har en vesentlig betydning for energiytelsen.

I vurderingen av forskningen som er gjennomført i denne oppgaven er det i kapittel 5.6 påpekt en svakhet ved termografisk metode. Svakheten er at det i nyere bindingsverksvegger ikke er spesielt effektivt å benytte termografering for å lokalisere lekkasjer i vindsperren. Det betyr ikke at metoden ikke bør benyttes fordi den fremdeles er viktig for å kontrollere både isolasjonen, kuldebroer og lekkasjer i dampsperran. Det betyr imidlertid at det burde ses etter andre måter å kontrollere vindsperren på. Det er mulig å termografere fra utsiden ved innvendig overtrykk, men gode værforhold er avgjørende da både vind og regn gjør dette vanskelig ved å kjøle ned og forstyrre overflatene. Et annet poeng er at man ofte er avhengig av stillas. Resultatet vil i tillegg være svært avhengig av om det har kommet på ytterkledning, og om det er en luftespalte mellom vindsperre og kledning. Ved utvendig termografering er det ikke mulighet for å kontrollere den innvendige dampsperran, så prosessen blir mer omfattende fordi det også må termograferes fra innsiden.

Det er mulig å gjennomføre en fullstendig lufttetthetsmåling med termografering i vindtetthetsfasen. Det ble i kapittel 2.6 beskrevet at slike målinger kan være en god indikasjon på tetthet ved ferdig bygg. I småhus er dette relativt vanlig, men i større bygg over mange etasjer kan det bli svært utfordrende fordi det er vanskelig å ha alle tette sjikt på plass, og det er store åpninger i eksempelvis heissjakter, ventilasjonssjakter og dekkeforkanter. Dersom det ikke er klart for

lufttetthetsmålinger etasjevis kreves det midlertidige avsperringer som telt, presentert i en artikkel av Aurlien (2013). lekkasjetallet kan da bli feilaktig av flere grunner og er derfor ikke nødvendigvis til stor nytte. Det er store forskjeller mellom byggeprosjekter og det vil i en del tilfeller være vanskelig å gjennomføre slike målinger. Derfor kan det bli vanskelig å stille krav til dette i BREEAM, selv om lufttetthetsmålinger ville vært til nytte der de er mulig å gjennomføre.

Den beste kjente metoden for å kontrollere lufttettheten til vindsperren er sannsynligvis termografering under trykk i vindtetttfasen, med lokalisering og utbedring av lekkasjer før isolasjon og dampsperre er på plass. Dette kan også gjøres med røyk ved lave temperaturforskjeller, slik at man ikke er avhengig av temperaturforhold for å gjennomføre slike undersøkelser. Med tanke på betydningen vindsperren har for både energibruk og fuktsikring (nevnt i kapittel 2.6), burde det vurderes om undersøkelser med termografering eller røyk i vindtetttfasen skal tas inn som et krav i BREEAM-NOR manualen på lik linje med termografisk undersøkelse ved ferdig bygg. Metodene er rimelig enkle, og kan spare prosjektet for både tid og penger ved at utettheter utbedres før klimaskallet tettes helt. Det som taler mot er at det vil kreve tilrettelegging, timing og en liten stans i byggearbeidene for å få gjennomført undersøkelser før isolasjon og dampsperre monteres. Her må det nevnes at ikke hele bygget nødvendigvis må undersøkes, det kan for eksempel utføres på et representativt utvalg av alle typer klimaskjermer for å avdekke og unngå seriefeil som gjentas over flere bygningsdeler. Da slipper man unna de største ulempene med timing og tilrettelegging under byggearbeidene.

I BREEAM-systemet er det mulig å enten stille krav til kontroll i vindtetttfase eller sette det som en poenggivende kategori. Dette burde vurderes under videre arbeid med manualen da det er en rimelig effektiv måte å sikre vindsperrens bidrag til bygningens lufttetthet og energiytelse.

Det er standarden NS-EN 13187 som gir føringer for termografiske undersøkelser i Norge, se kapittel 2.5. I denne standarden nevnes aldri lekkasjer i vindsperre, kun luftlekkasjer generelt. Det er lagt opp til å benytte referansetermogrammer, beregninger eller erfaringer for å påvise luftlekkasjer (Standard Norge, 1998). Dette er i utgangspunktet en grei formulering som åpner for tolking av termogram opp mot nyere forskning uten at standarden trenger å endres. I så måte er standarden formulert slik at den åpner for å kunne benytte termografering til å lokalisere lekkasjer i vindsperren uten at den nevner det spesifikt. Standarden må med dette kunne sies å være såpass åpen at det ikke er behov for endringer eller spesifiseringer om dette temaet.

6 Konklusjon

Denne oppgaven har hatt som mål å svare på problemstillingen:

Er det mulig å lokalisere lekkasjer i vindsperre med inntrukket dampsperre ved bruk av termografisk metode?

Det ble presentert noen forskningsspørsmål rundt problemstillingen, som går ut på karakteristisk mønster, og betydningen tid, trykk og volumstrøm har på muligheten til å lokalisere slike lekkasjer. Det ble også stilt spørsmål ved om funnene i oppgaven burde ha en betydning for BREEAM-NOR manualen eller standarder.

Av forsøkene som er gjennomført er det funnet at det er mulig å lokalisere lekkasjer i vindsperren ved termografisk metode, både med og uten inntrukket dampsperre. Det har vist seg å være lettere å lokalisere slike lekkasjer uten inntrukket dampsperre, men det tar svært lang tid å få tolkbare resultater. Det er ikke mulig å konkludere med en grense for hverken temperatur- eller trykkforskjell, men det er tydelig at det kreves store differanser for å få gode resultater. Volumstrømmen henger tett sammen med trykkforskjellen, og det er tydelig at større trykkforskjell og dermed volumstrøm gjør termograferingen lettere. Resultatene viser at det er lite effektivt å aktivt benytte termografisk metode for å lokalisere lekkasjer i vindsperren. Resultatene indikerer at det dannes et karakteristisk mønster i termogrammet som har en tydelig kald kjerne ved lekkasjepunktet.

Det at metoden er lite effektiv til å finne lekkasjer i vindsperren ved ferdig bygg gir grunn til å vurdere om det skal gjøres revideringer i BREEAM-NOR manualen. Da slike lekkasjer kan ha stor betydning for en bygnings energiytelse, burde det vurderes å innføre kontroll i vindtetttfase med termografering eller røyk for å kontrollere vindsperren. Dette kan for eksempel innføres som et krav for å få full uttelling innen et tema, eller som en egen poenggivende kategori. Det burde også vurderes å gjennomføre kontroll med termografering eller røyk utenom BREEAM-NOR prosjekter.

Det anses ikke som nødvendig å endre den aktuelle standarden NS-EN 13187, da den er såpass vag på type luftlekkasje at det ikke blir naturlig å spesifikt nevne termografering for å lokalisere lekkasjer i vindsperren.

6.1 Videre arbeid

Her presenteres det noen temaer som har dukket opp gjennom arbeidet med denne oppgaven, som det kan være verdifullt å se på i videre arbeid.

- Det er et kunnskapshull når det kommer til betydningen anblåsing har på energibruk i en bygning. Det hadde vært interessant og nyttig å se på dette for å få kunnskap om vindsperrers nytte i forhold til energibruk som følge av anblåsing, da det kun er vindsperre og ytterkledningens tetthet som forhindrer dette.
- Det opplevdes tidvis i ENE01 at det var et behov for videre klargjøring og spesifisering av BREEAM-manualen. Dette gjelder spesielt setninger som kan tolkes på ulikt vis. Et potensielt utgangspunkt for arbeid med dette er å intervjuere parter som jobber med BREEAM, og undersøke hvordan ting tolkes og om det er store avvik.
- Det ble i oppgaven nevnt bruk av røyk for å lokalisere luftlekkasjer. Videre kan det også undersøkes om det er mulig (og effektivt) å bruke sporgass for å lokalisere lekkasjer i vindsperre.
- Lufttetthetsmålingene som ble gjennomført her ble preget av stor usikkerhet. Tilsvarende målinger kunne gjerne vært gjennomført i en lab under kontrollerte forhold, for å oppnå større nøyaktighet.
- Simuleringene som ble gjennomført var stasjonære, og det var store avvik mot målte verdier. De så heller ikke på varmetransport i veggen. Med andre modeller og simuleringprogram kunne det kanskje vært mulig å få til bedre resultat for luftstrøm ved en transient simulering, og inkludere varmetransport.
- Det kan gjennomføres forsøk med andre isolasjonsmaterialer, som trefiberisolasjon, for å studere betydningen av andre materialer med annen permeabilitet og struktur i forhold til termografering.

Referanser

- Aurlien, T. (2013). *PERFORMING INTERMEDIATE CHECKS AND EARLYSTAGE TESTING OF AIRTIGHTNESS* Tilgjengelig fra: <https://tightvent.eu/wp-content/uploads/2012/02/TightVent-book2013-REHVA-TOC.pdf#page=17> (lest 05.05.2022).
- Barreira, E., Almeida, R. M. S. F. & Moreira, M. (2017). An infrared thermography passive approach to assess the effect of leakage points in buildings. *Energy and Buildings*, 140: 224-235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.009>.
- Blom, P. & Uvsløkk, S. (2012). *Bygg tett – og ventiler rett Prosjektrapport 98*. Bygg tett! Tilgjengelig fra: https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/fagartikler/v_info_pub_utgivels_er_prosjektrapport_sintef-byggforsk-prosjektrapporter_sb-prrapp-98_nettsb-prrapp-98.pdf (lest 04.04.2022).
- BlowerDoor GmbH. (2022). *BlowerDoor Standard*. Tilgjengelig fra: https://www.blowerdoor.com/fileadmin/BlowerDoorEN/_Dokumente/Handbuecher/Reference_Guide_BlowerDoor_Standard_DG-1000_2022-01.pdf (lest 05.04.2022).
- BMC Norge. (2014). *Produktdatablad Plank 12,5mm*. Tilgjengelig fra: https://www.obsbygg.no/globalassets/productdocumentsfolder2/691555_7051821103343_.pdf?ref=C8306F6200 (lest 08.04.2022).
- BRE. (u.å.). *All about BREEAM*. Tilgjengelig fra: <https://www.bregroup.com/buzz/all-about-breem/> (lest 24.01.2022).
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (lest 08.03.2022).
- Edvardsen, K. I. (2014). Trehus. I: Ramstad, T. Ø. (red.) b. 5 *SINTEF byggforsk håndbok (trykt utg.)*. Oslo: SINTEF akademisk forl.
- FLIR. (u.å.). *FLIR T620bx & T640bx*. Tilgjengelig fra: <https://www.instrumart.com/assets/FLIR-T620bx-T640bx-Datasheet.pdf> (lest 07.04.2022).
- GLAVA AS. (2016). *Ytelseserklæring (DoP)*. Tilgjengelig fra: <https://media.bluestonepim.com/5f8cb111-138a-4137-a4b3-cb659fe3b82e/6c3f3793-ba2d-41df-96d6-290643e1427c/ZzAiQV0gOXsHLJs5xFbR4kNIn/tAPyV5B1GvhwFk5wQLNC4XNqQ.pdf> (lest 08.04.2022).
- Grimnes, K. H. (2010). *Byggtermografering : en praktisk håndbok*. Fagerstrand: Karl H. Grimnes.

- Grønn byggallianse. (2016). *BREEAM-NOR 2016 for nybygg Ver: 1.2*. Teknisk manual. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf> (lest 05.05.2022).
- Grønn byggallianse. (2022). *BREEAM-NOR v6.0 for nybygg*. Teknisk manual. Tilgjengelig fra: https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2022/03/BREEAM-NOR-v6.0_NOR.pdf (lest 18.04.2022).
- Grønn byggallianse. (u.å.-a). *BREEAM-NOR-manual og verktøy*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/manual-verktoy-og-hjelp/breeam-nor-manual-og-verktoy/#1646040257139-06f63e7f-55e5> (lest 04.05.2022).
- Grønn byggallianse. (u.å.-b). *De viktigste endringene BREEAM-NOR v6.0*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2022/03/De-viktigste-endringene-i-BREEAM-NOR-v6.0.pdf> (lest 05.05.2022).
- Grønn byggallianse. (u.å.-c). *Nysgjerrig på BREEAM-NOR?* Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/nysgjerrig-pa-breeam-nor/> (lest 24.01.2022).
- Hart, J. M. (1991). *A practical guide to infra-red thermography for building surveys*. Watford: Building Research Establishment. Tilgjengelig fra: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_6460.pdf (lest 08.02.2022).
- Kalamees, T. (2007). Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia. *Building and environment*, 42 (6): 2369-2377.
- Langmans, J., Klein, R., De Paepe, M. & Roels, S. (2010). Potential of wind barriers to assure airtightness of wood-frame low energy constructions. *Energy and Buildings*, 42 (12): 2376-2385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.08.021>.
- Langmans, J., Klein, R. & Roels, S. (2011). LABORATORY INVESTIGATION OF TIMBER FRAME WALLS WITH AN EXTERIOR AIR BARRIER IN A TEMPERATE CLIMATE. I: b. 32nd AIVC conference *32nd AIVC Conference "Towards Optimal Airtightness Performance"*, Brussels, Belgium, 12-13 October 2011, s. 9: AIVC.
- NTNU. (u.å.). *LabVIEW*. Tilgjengelig fra: <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/LabVIEW> (lest 06.04.2022).
- Redaksjonen NMBU. (2009). *Feltstasjon for bioklimatiske studier – BIOKLIM (tidligere FAGKLIM)*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/realtek/laboratorier/bioklim/om-fagklim> (lest 01.03.2022).
- Redaksjonen NMBU. (2022). *Meteorologiske data for Ås - BIOKLIM*. Tilgjengelig fra: <https://www.nmbu.no/fakultet/realtek/laboratorier/bioklim> (lest 05.04.2022).
- Relander, T.-O., Holøs, S. & Thue, J. V. (2012). Airtightness estimation—A state of the art review and an en route upper limit evaluation principle to increase the chances that wood-frame houses with a vapour- and wind-barrier comply with the airtightness

- requirements. *Energy and Buildings*, 54: 444-452. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.012>.
- Roy, S., Junk, M. & Sundar, S. (2006). Understanding the porosity dependence of heat flux through glass fiber insulation. *Mathematical and Computer Modelling*, 43 (5): 485-492. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2005.08.013>.
- Sandstad, J. (2021). termoelement. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/termoelement> (lest 06.04.2022).
- SIGA. (2018). *Ytelseserklæring SIGA-Majvest 8910-150050 – Vers.2.0*. Tilgjengelig fra: <https://cdn.byggjeneste.no/nobb/3d410848-0fc0-47be-8e72-1bbf7818892b> (lest 08.04.2022).
- SIMSCALE. (2021a). *Porous Media and Porosity Characteristics*. Tilgjengelig fra: <https://www.simscale.com/docs/simulation-setup/advanced-concepts/porous-media/> (lest 16.04.2022).
- SIMSCALE. (2021b). *SimScale Documentation*. Tilgjengelig fra: <https://www.simscale.com/docs/> (lest 04.05.2022).
- SINTEF Byggforsk. (2003). *573.121 Materialer til luft- og damptetting*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer_til_luft_og_damptetting# (lest 05.05.2022).
- SINTEF Byggforsk. (2012). *471.401 U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier_vegger_over_terreng_med_bindingsverk_av_tre_med_gjennomgaende_stendere (lest 08.04.2022).
- SINTEF Byggforsk. (2014a). *474.624 Luftlekkasjemåling av bygninger. Hensikt og vurdering*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4126/luftlekkasjemaaling_av_bygninger_hensikt_og_vurdering (lest 26.01.2022).
- SINTEF Byggforsk. (2014b). *474.642 Termografering av bygninger*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4123/termografering_av_bygninger#i9 (lest 09.02.2022).
- SINTEF Byggforsk. (2017). *421.501 Termisk inneklima. Betingelser, tilrettelegging og målinger*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/193/termisk_inneklima_betingelser_tilrettelegging_og_maalinger#i4 (lest 08.03.2022).
- SINTEF Byggforsk. (2018). *421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag (lest 22.02.2022).

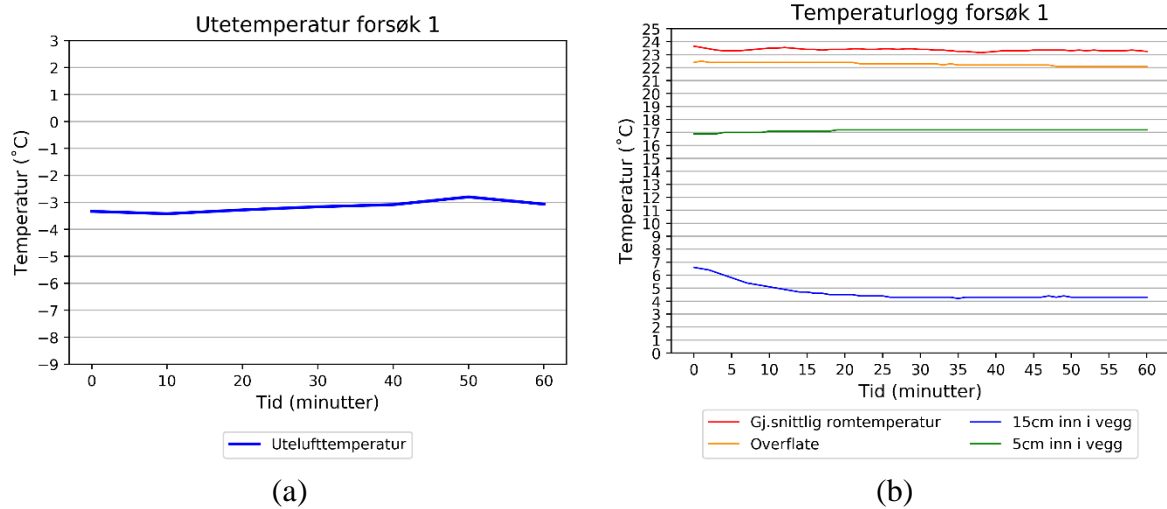
- SINTEF Byggforsk. (2020). 523.255 *Yttervegger av bindingsverk. Varmeisolering og tetting*. Byggforskserien. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/361/yttervegger_av_bindingsverk_varmeisolering_og_tetting (lest 08.04.2022).
- Skogstad, H. B. (2019). *SINTEF Certification Nr. 20416*. I: SINTEF (red.). SINTEF Teknisk Godkjenning. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefcertification.no/Product/Download/3103> (lest 08.04.2022).
- Solmaz, S. (2021). *Turbulence: Which Model Should I Select for My CFD Analysis?* Tilgjengelig fra: <https://www.simscale.com/blog/2017/12/turbulence-cfd-analysis/> (lest 19.04.2022).
- Standard Norge. (1998). *NS-EN 13187 Bygningers termiske egenskaper - Kvalitativ metode for å oppdage termiske uregelmessigheter i bygningers klimaskjerner - Infrarød metode* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=137907> (lest 12.01.2022).
- Standard Norge. (2012). *NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802> (lest 05.05.2022).
- Standard Norge. (2015). *NS-EN ISO 9972:2015 Bygningers termiske egenskaper - Bestemmelse av bygningers luftlekkasje - Viftetrykkmetode*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=790369> (lest 12.01.2022).
- The Energy Conservatory. (u.å.-a). *Minneapolis Blower Door™ System (with DG-700)*. Tilgjengelig fra: <https://energyconservatory.com/products/product/dg700blowerdoor/> (lest 05.04.2022).
- The Energy Conservatory. (u.å.-b). *USING THE DG-700 WITH THE MINNEAPOLIS BLOWER DOOR*. Tilgjengelig fra: <http://energyconservatory.com/wp-content/uploads/2017/08/Blower-Door-with-a-DG-700.pdf> (lest 06.04.2022).
- Thue, J. V. (2016). *Bygningsfysikk : grunnlag*. Bergen: Fagbokforl.
- Wahlgren, P. & Sikander, E. (2010). Methods and materials for an airtight building. I: b. XI *11th International Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings, Buildings XI; Sheraton Sand Key Resort in Clearwater Beach Clearwater; United States; 5 December 2010 through 9 December 2010: Buildings*.
- Watt, D., Sjöberg, S. & Wahlgren, P. (2015). Hygrothermal Performance of a Light Weight Timber Wall Assembly with an Exterior air Barrier. *Energy Procedia*, 78: 1419-1424. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.164>.

Vedlegg 1: Termogram

Under finnes temperaturlogger og termogram med 10 minutters intervall for alle gjennomførte forsøk, samt termogram for nedre del av vegg før og etter gjennomføring.

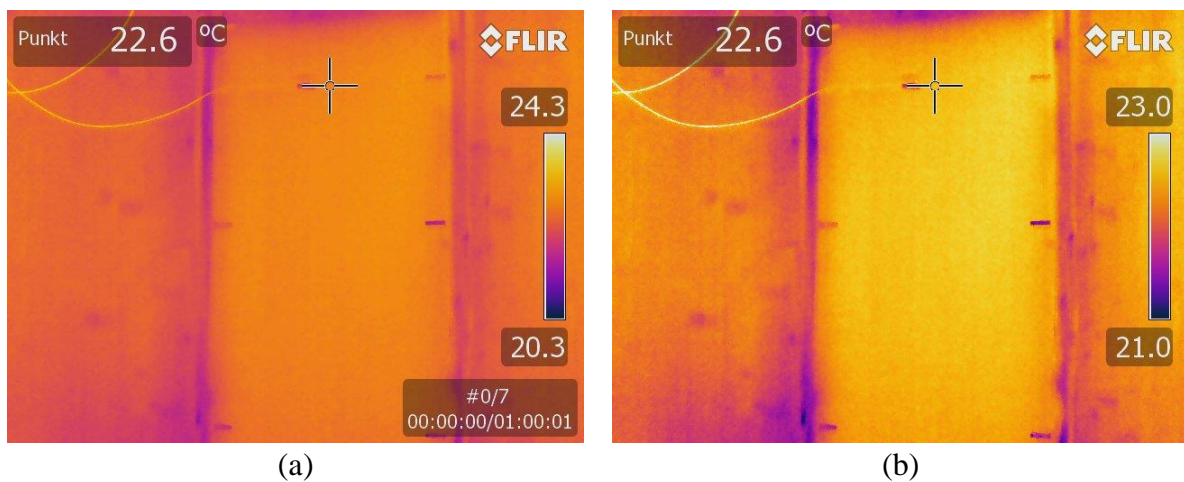
Forsøk 1, Inntrukket dampsperre, 8mm, 50Pa

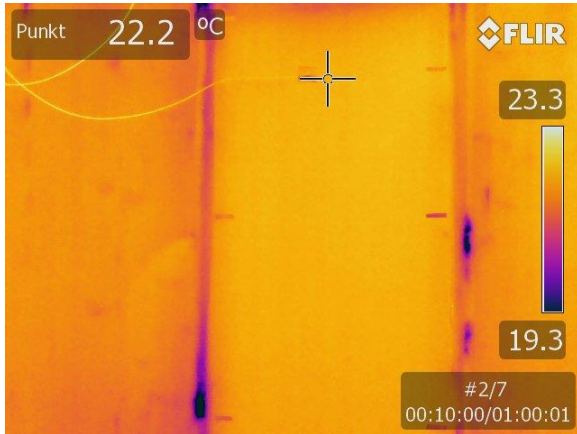
Temperaturutvikling



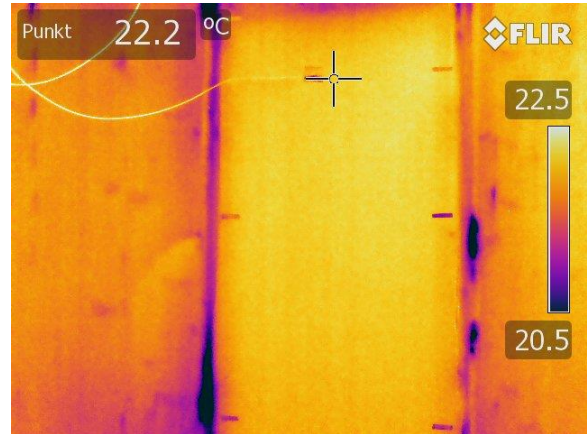
Figur A. 1 Temperaturlogg forsøk 1

Termogram øverste del

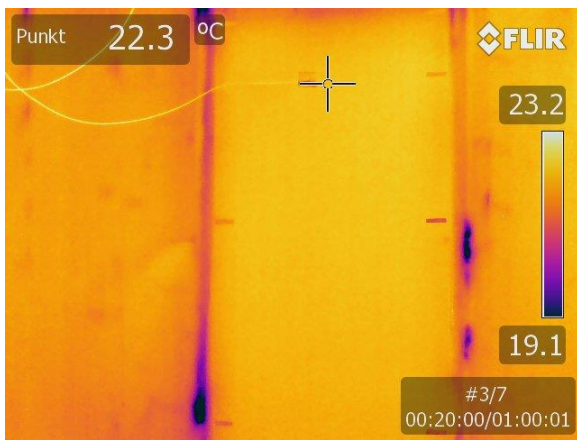




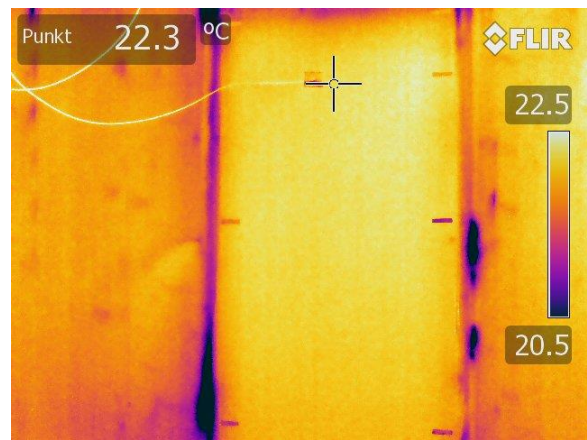
(c)



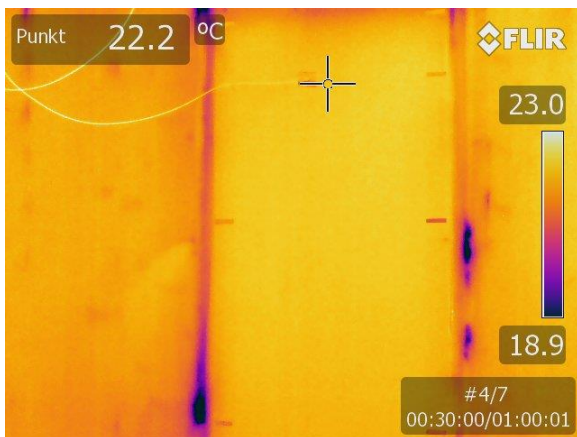
(d)



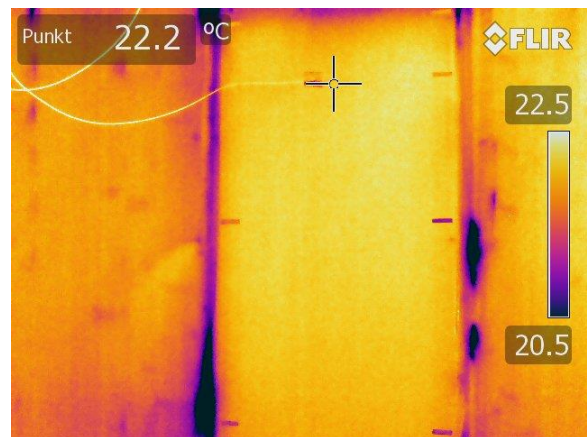
(e)



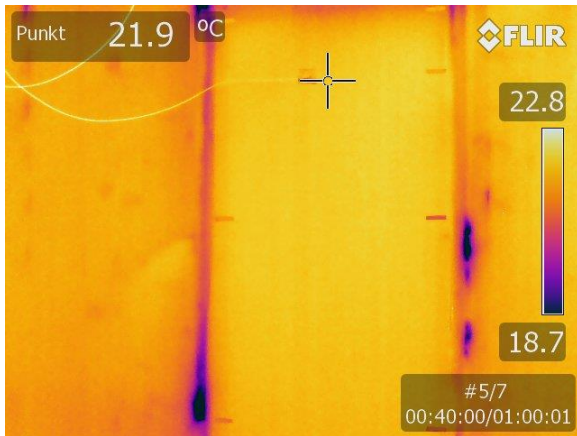
(f)



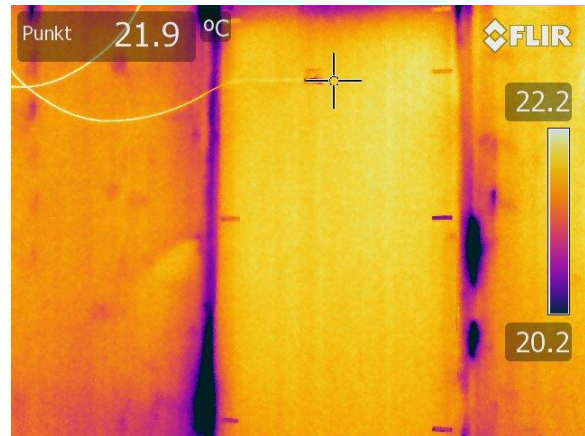
(g)



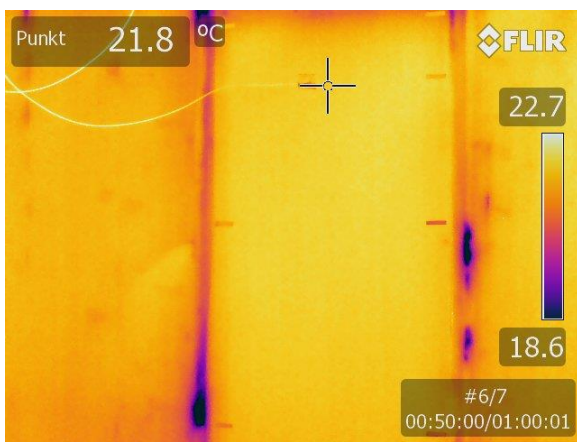
(h)



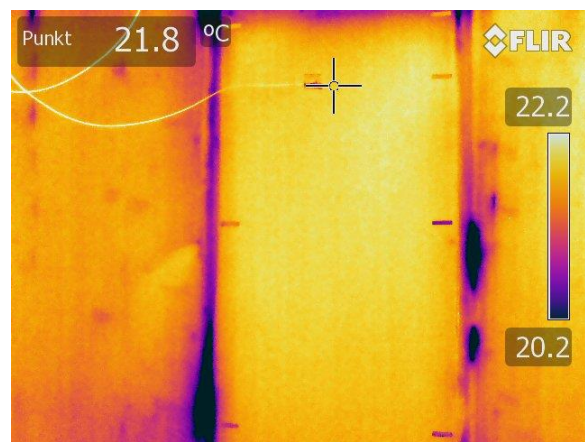
(i)



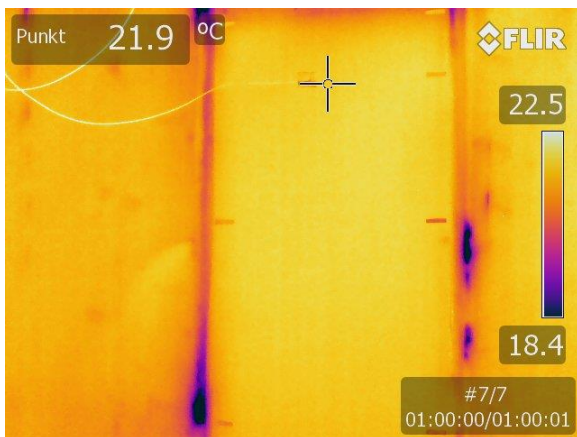
(j)



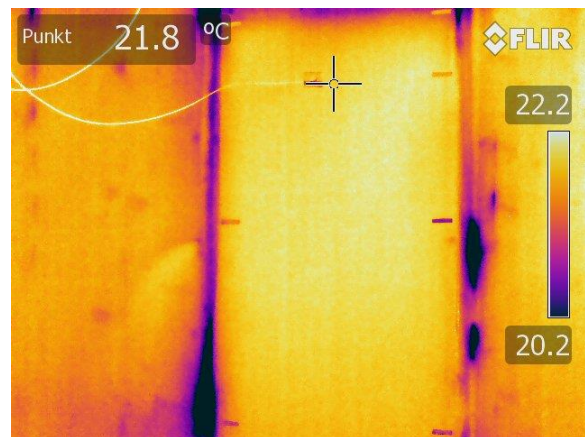
(k)



(l)



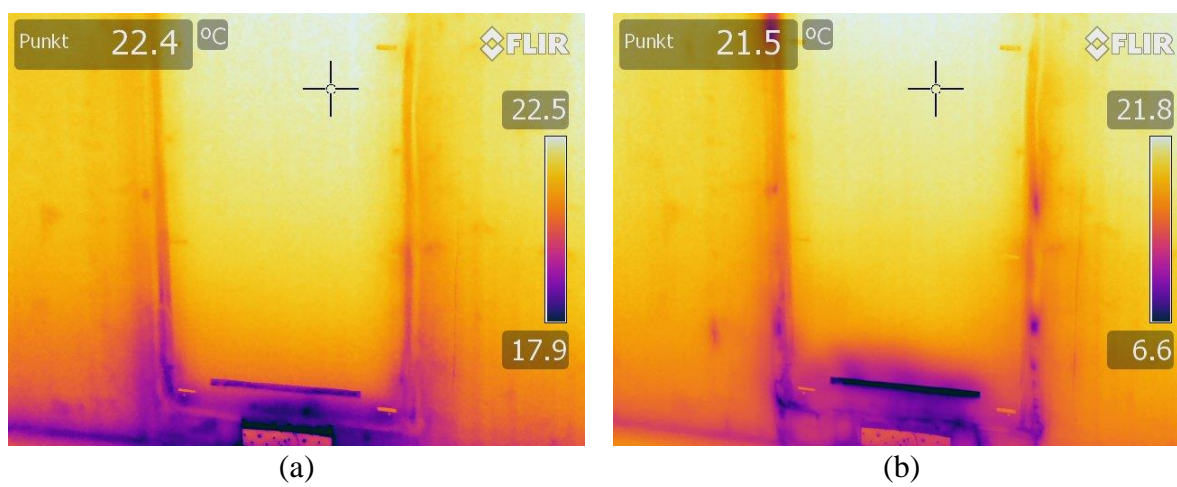
(m)



(n)

Figur A. 2 Termogram fra forsøk 1. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

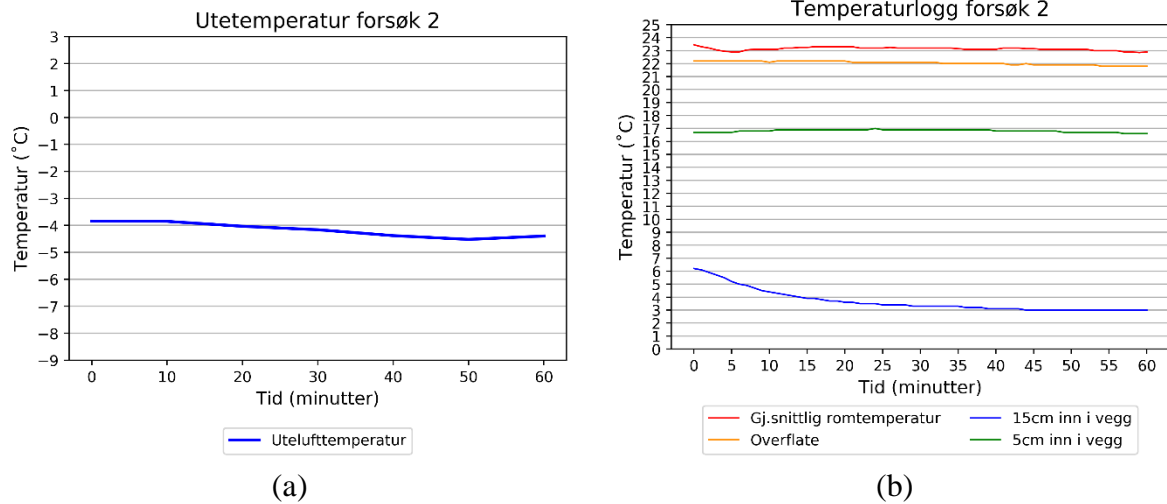
Termogram nederste del



Figur A. 3 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 1

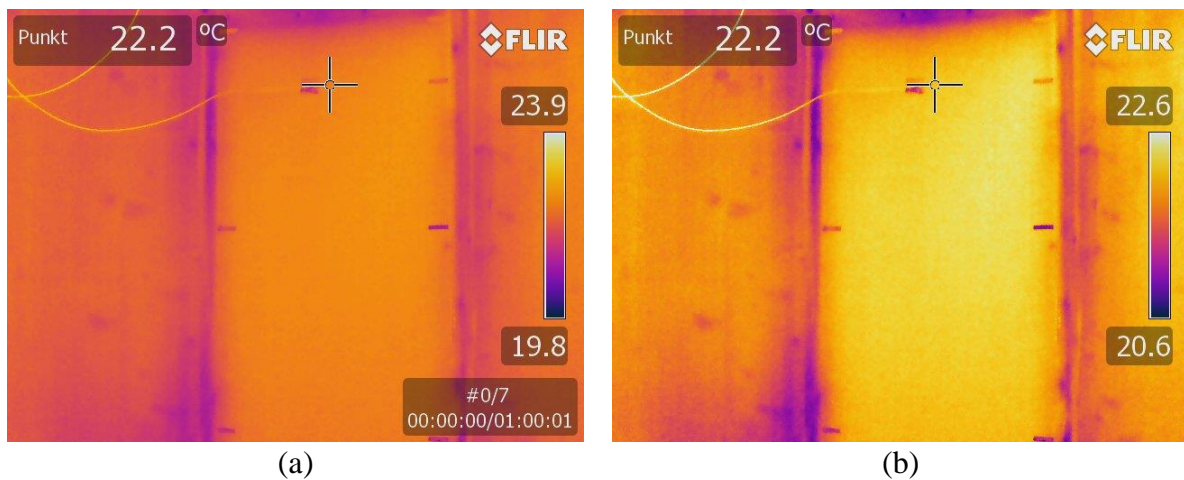
Forsøk 2, Inntrukket dampsperre, 8mm, 75Pa

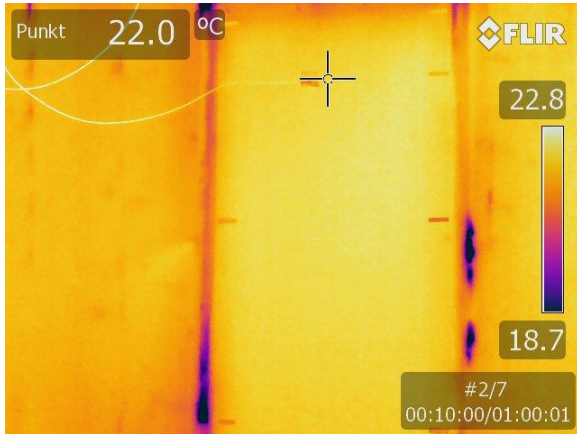
Temperaturutvikling



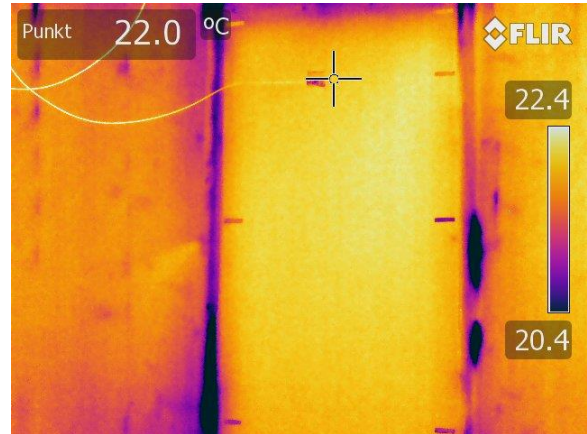
Figur A. 4 Temperaturlogg forsøk 2

Termogram øverste del

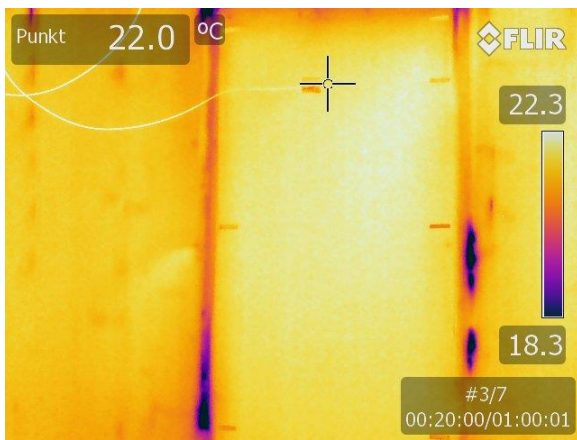




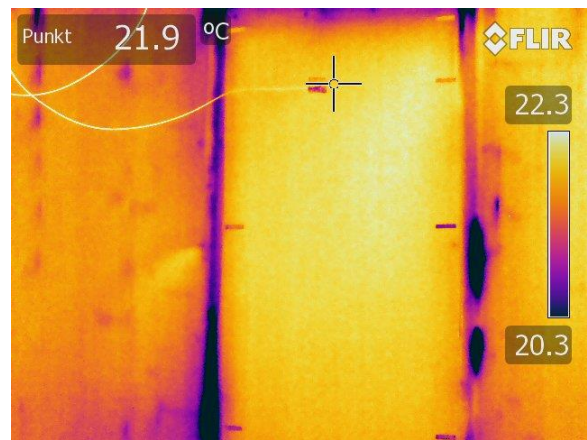
(c)



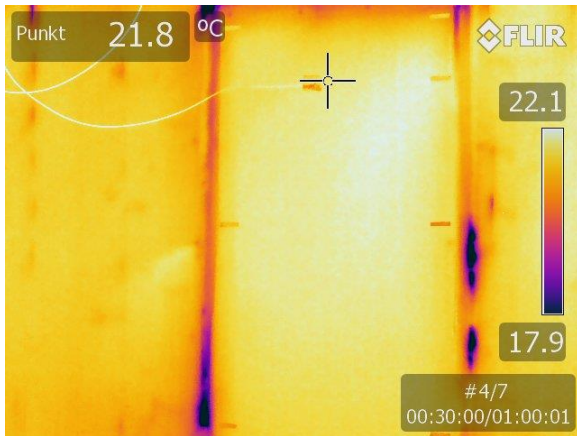
(d)



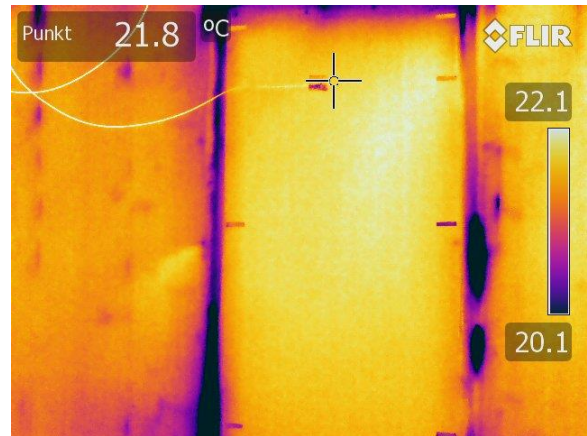
(e)



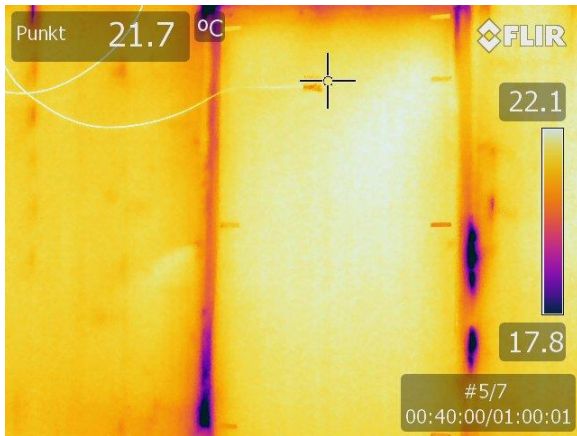
(f)



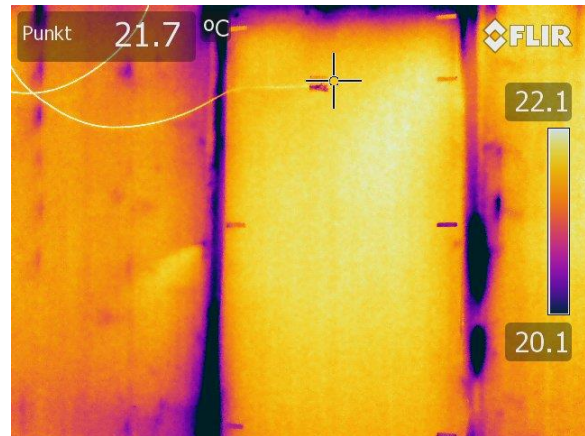
(g)



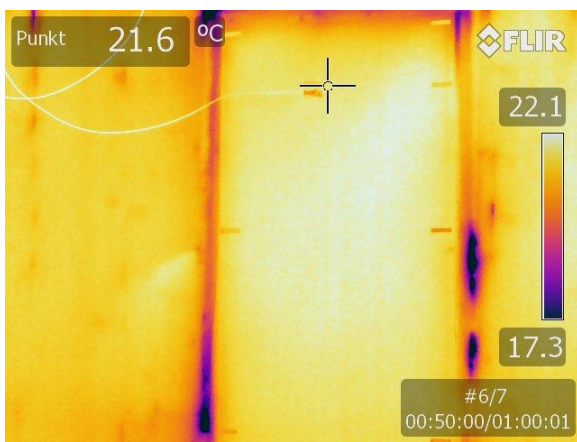
(h)



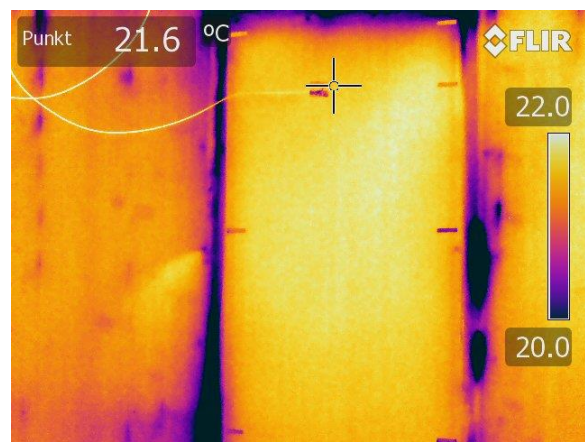
(i)



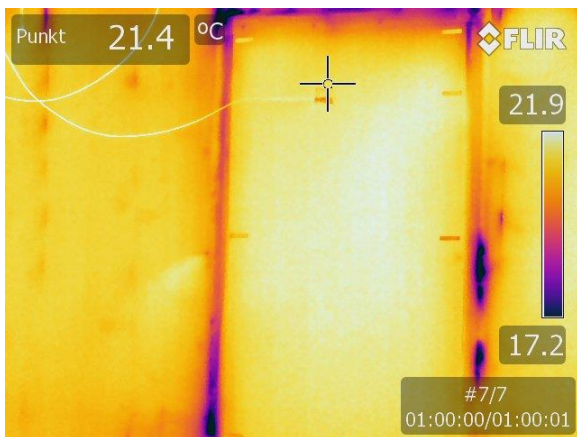
(j)



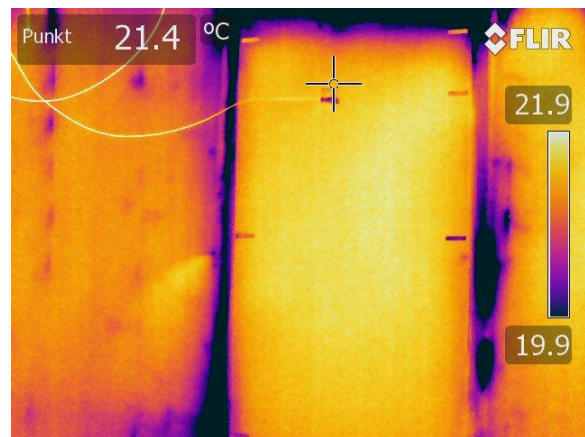
(k)



(l)



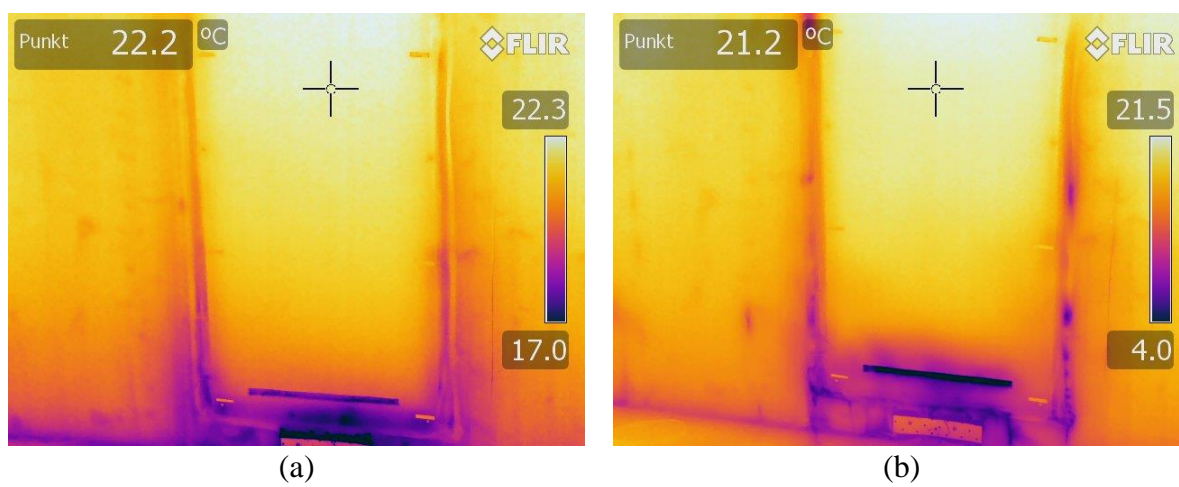
(m)



(n)

Figur A. 5 Termogram fra forsøk 2. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

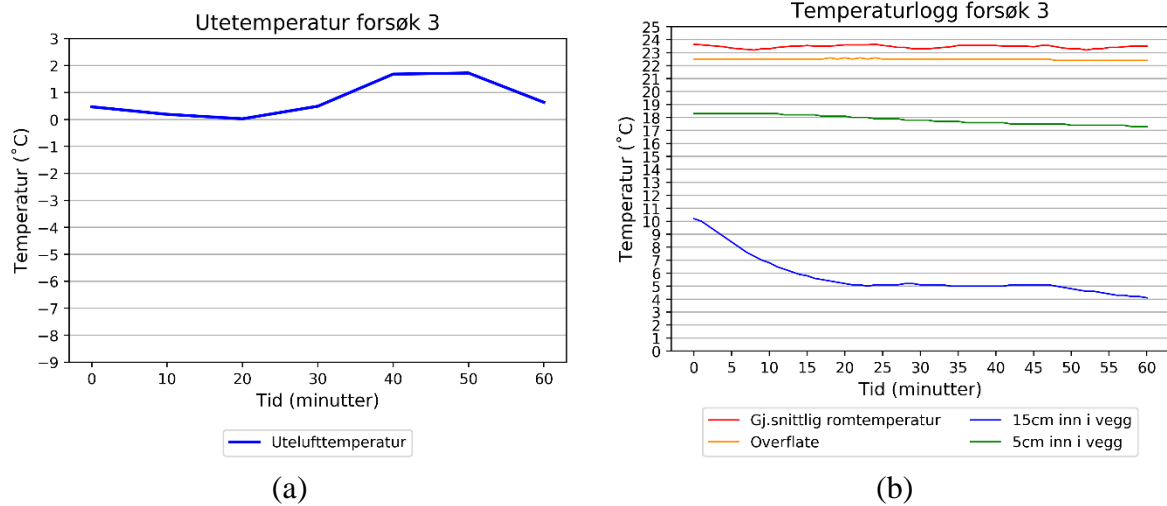
Termogram nederste del



Figur A. 6 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 2

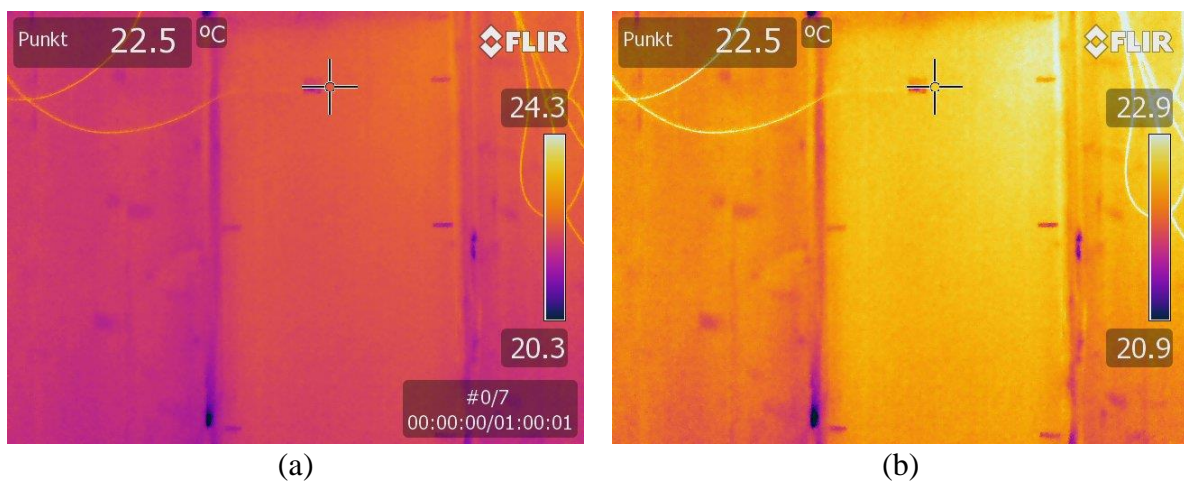
Forsøk 3, Inntrukket dampsperre, 18mm, 50Pa

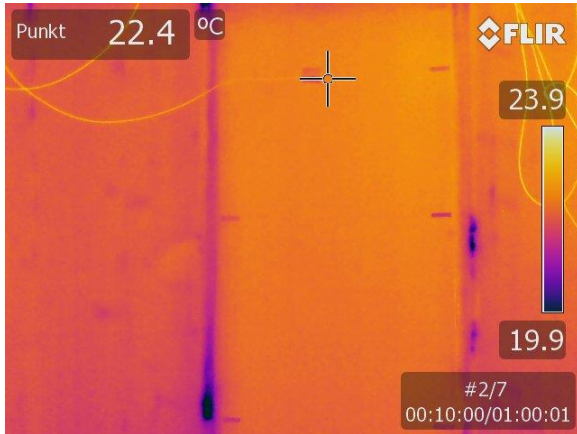
Temperaturutvikling



Figur A. 7 Temperaturlogg forsøk 3

Termogram øverste del





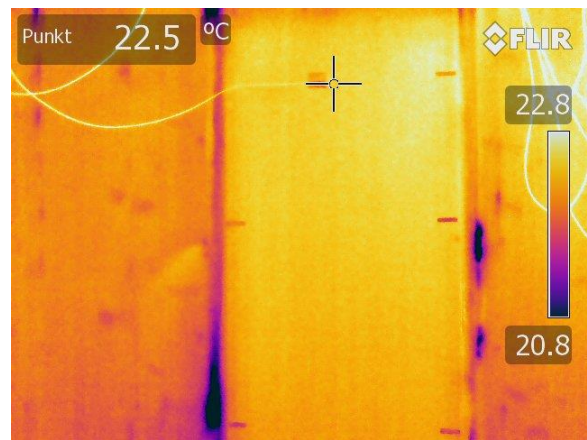
(c)



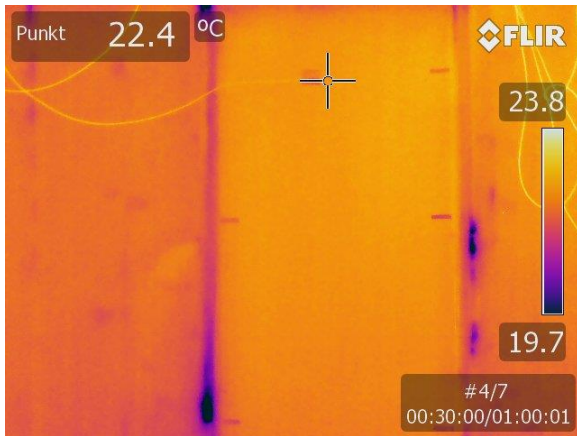
(d)



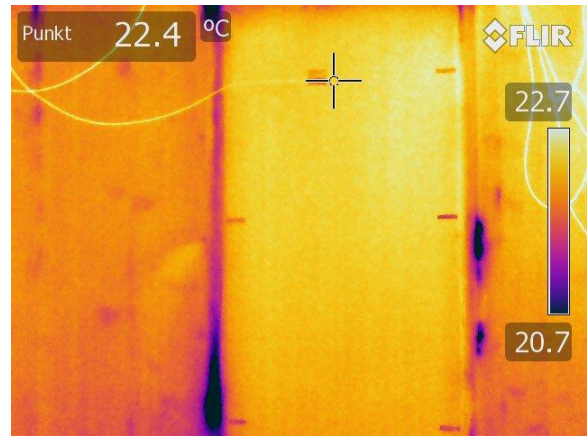
(e)



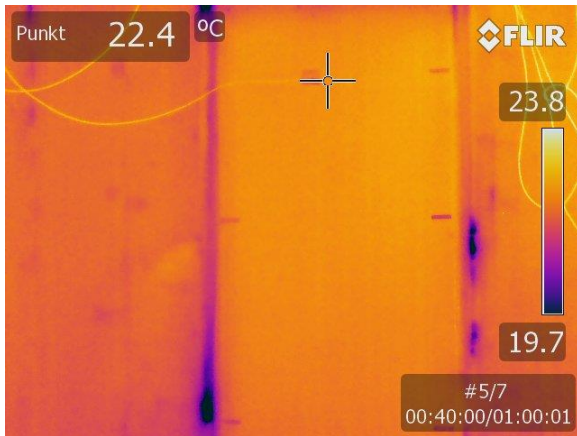
(f)



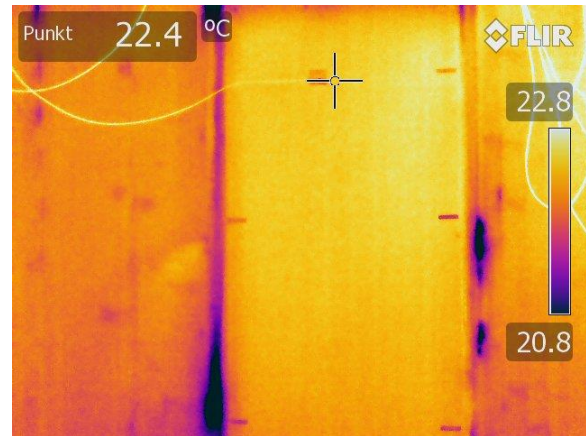
(g)



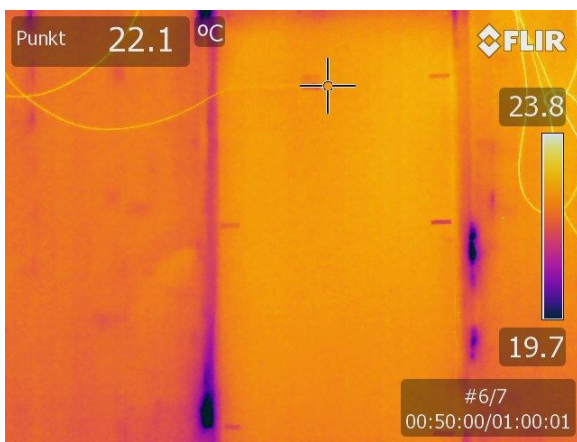
(h)



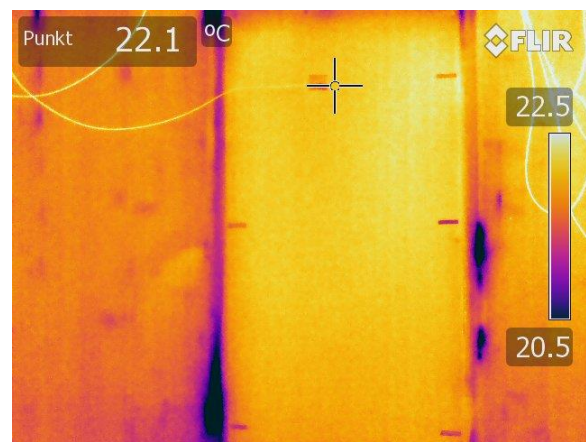
(i)



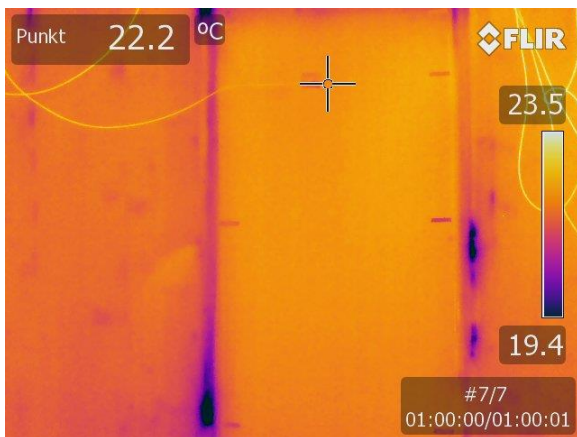
(j)



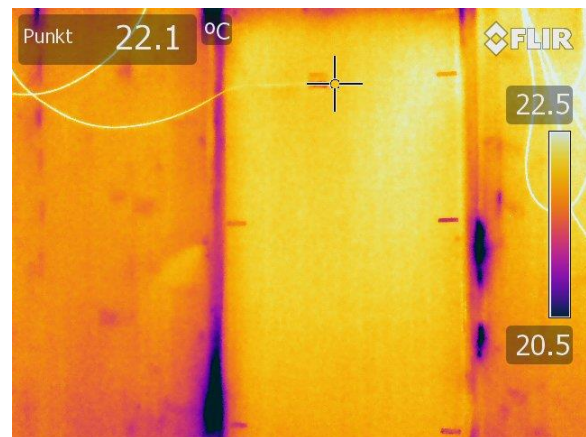
(k)



(l)



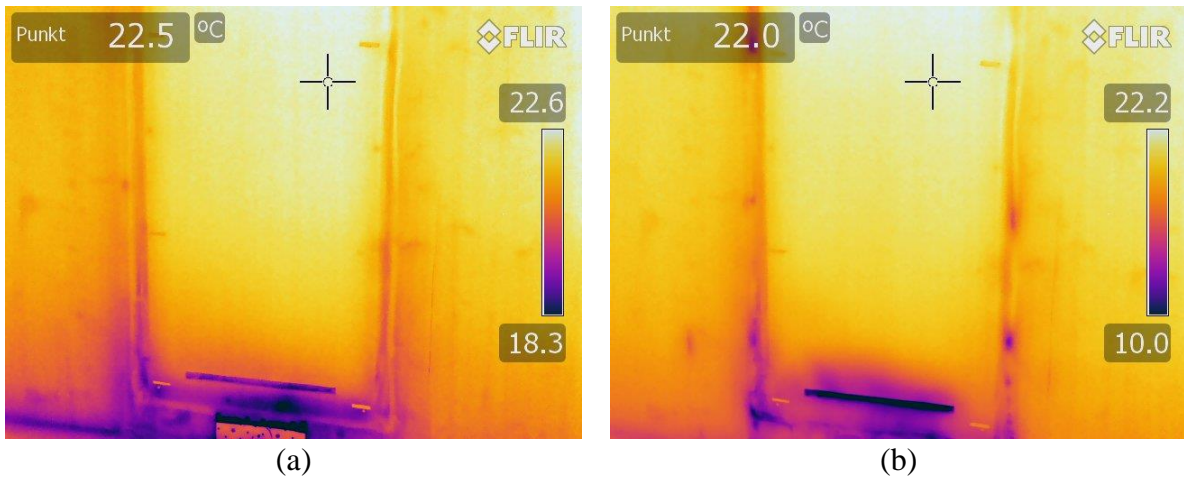
(m)



(n)

Figur A. 8 Termogram fra forsøk 3. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

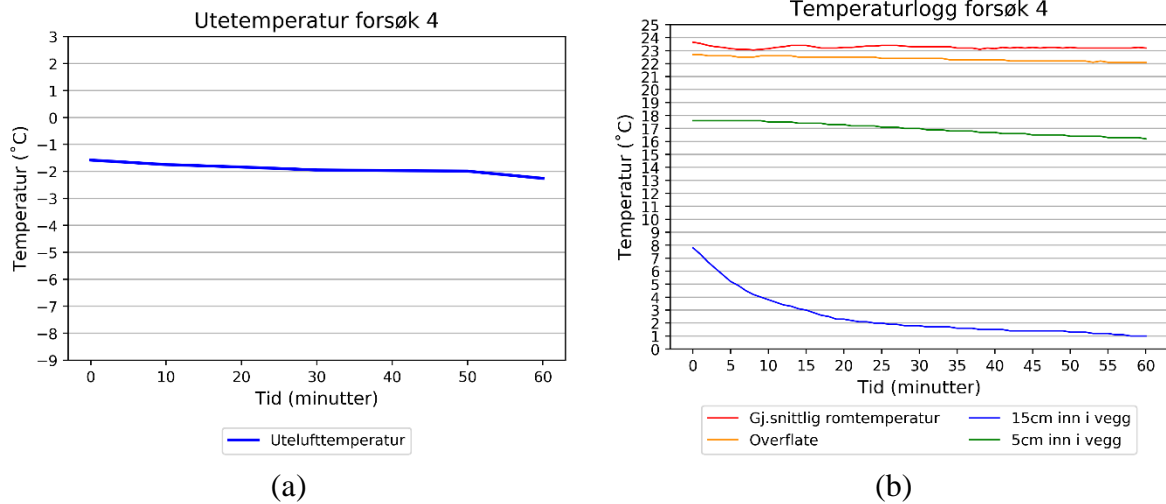
Termogram nederste del



Figur A. 9 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 3

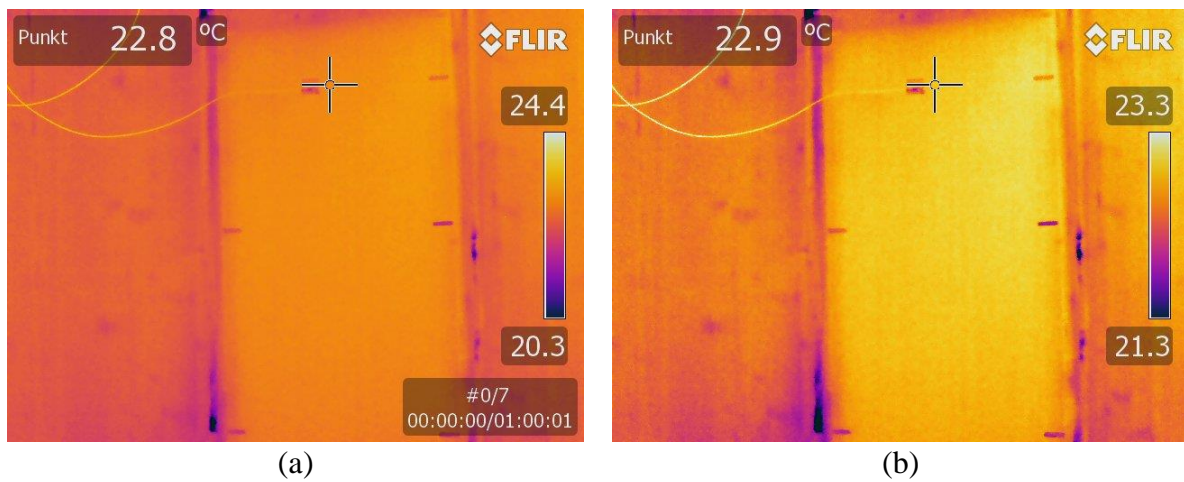
Forsøk 4, Inntrukket dampsperre, 18mm, 75Pa

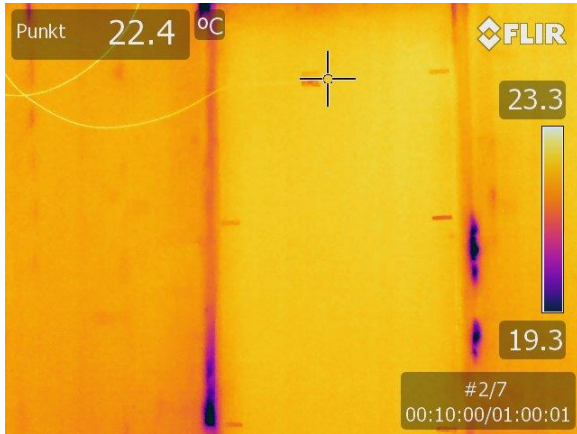
Temperaturutvikling



Figur A. 10 Temperaturlogg forsøk 4

Termogram øverste del

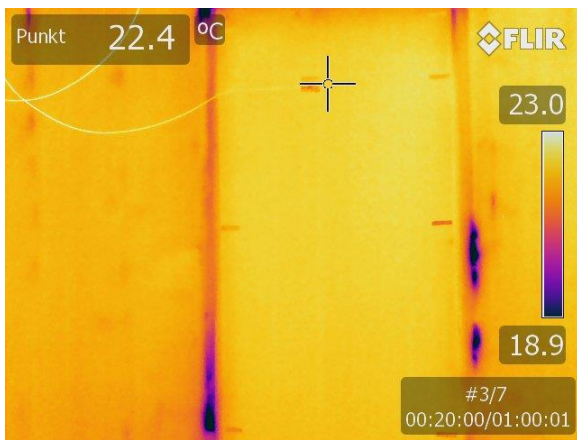




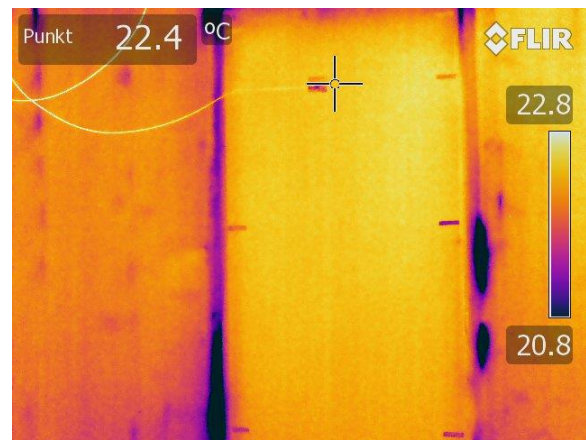
(c)



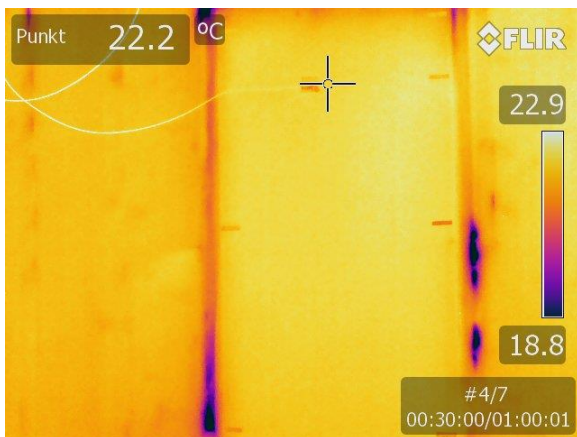
(d)



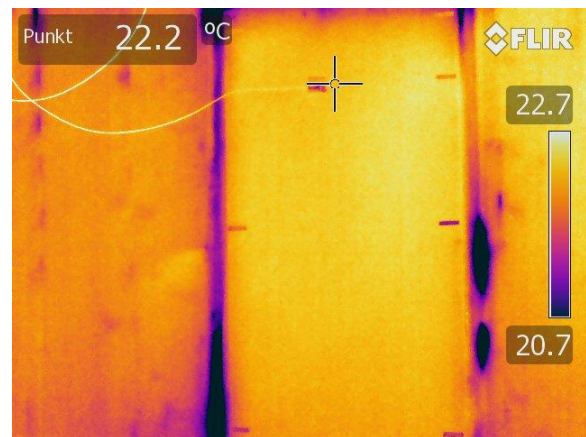
(e)



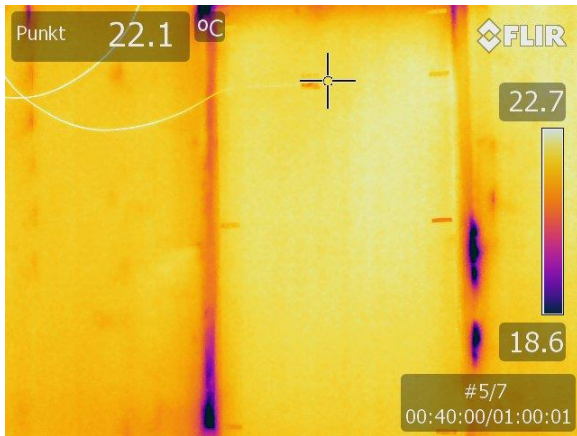
(f)



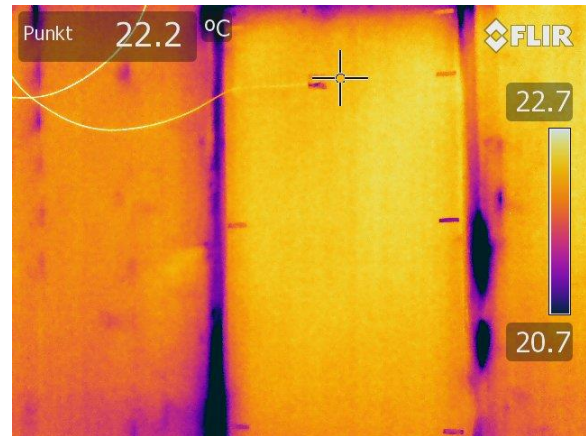
(g)



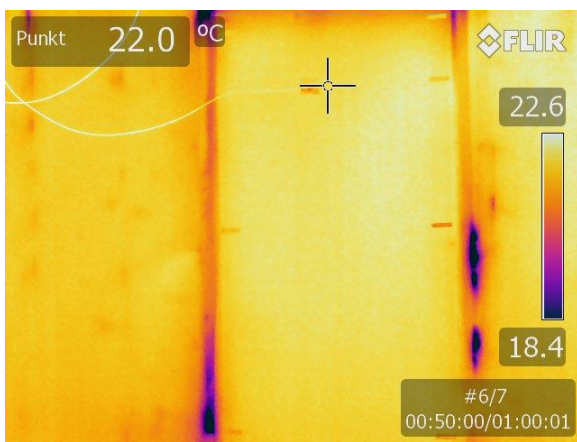
(h)



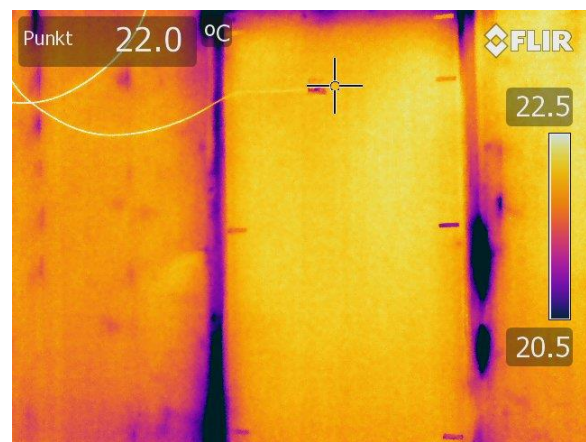
(i)



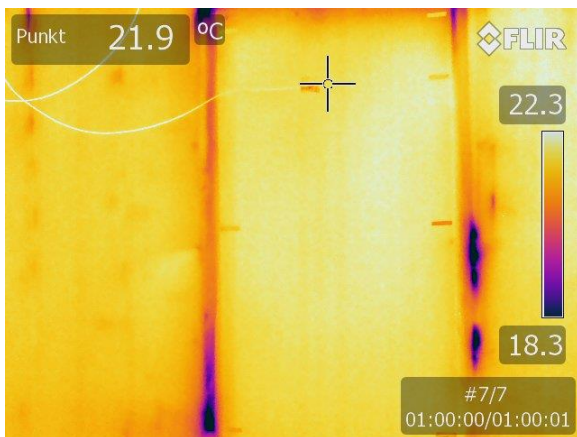
(j)



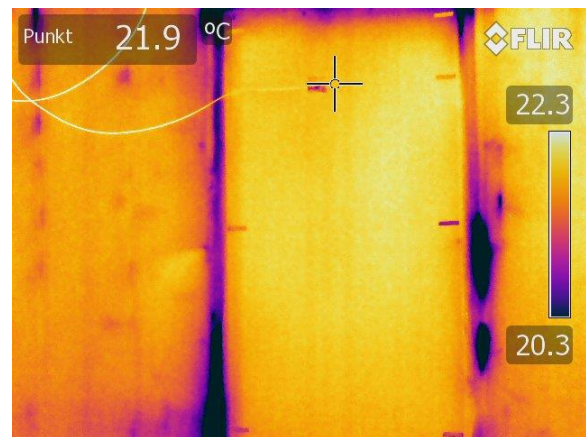
(k)



(l)



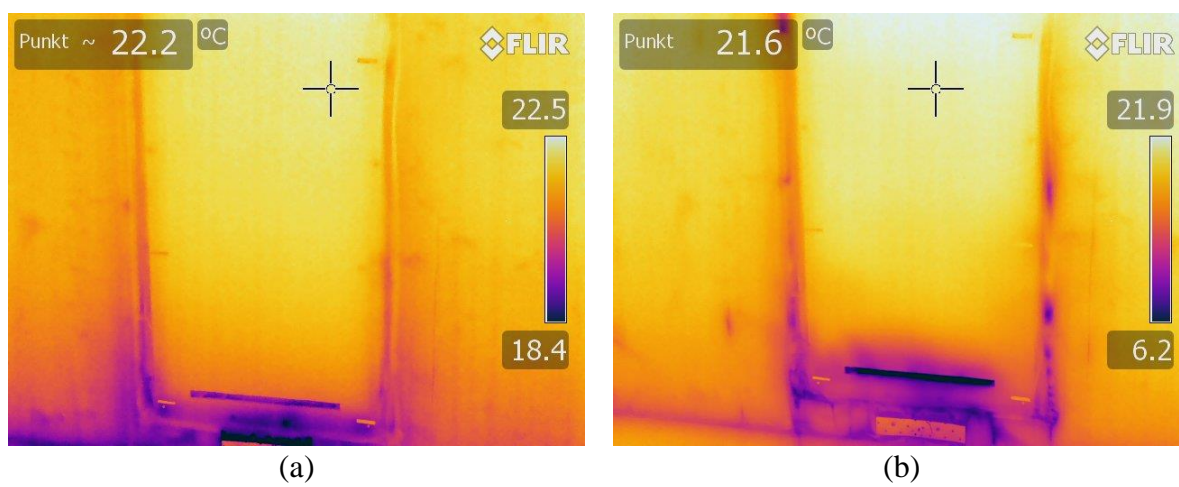
(m)



(n)

Figur A. 11 Termogram fra forsøk 4. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

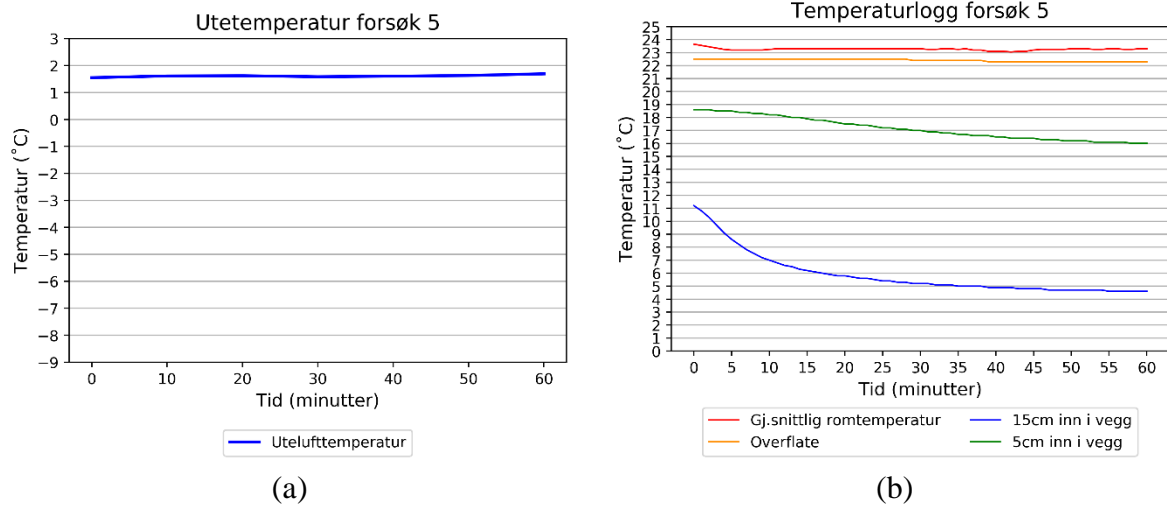
Termogram nederste del



Figur A. 12 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 4

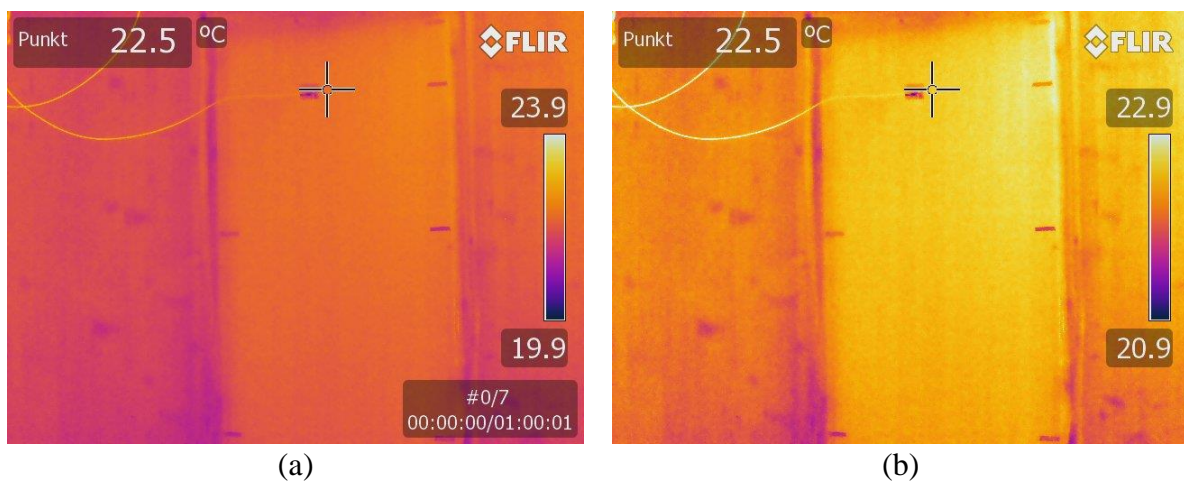
Forsøk 5, Inntrukket dampsperre, 30mm, 50Pa

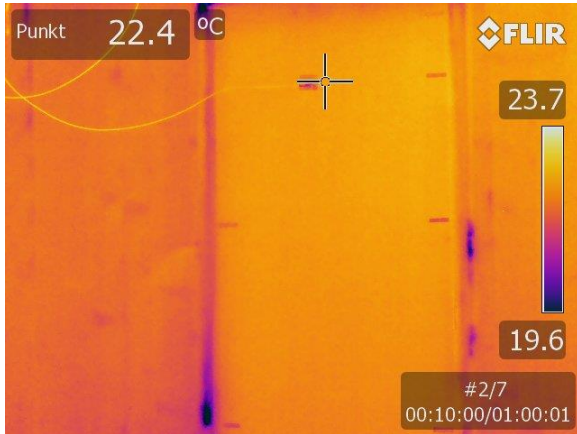
Temperaturutvikling



Figur A. 13 Temperaturlogg forsøk 5

Termogram øverste del

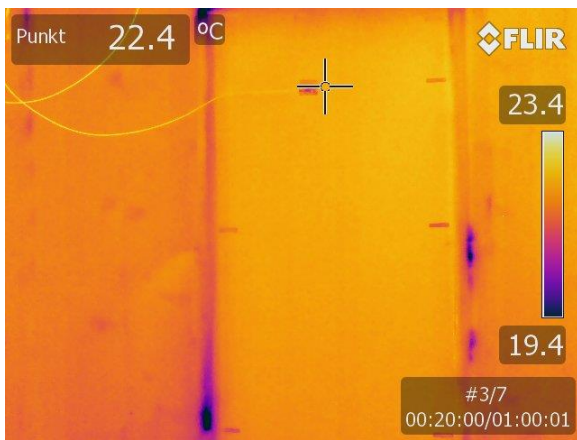




(c)



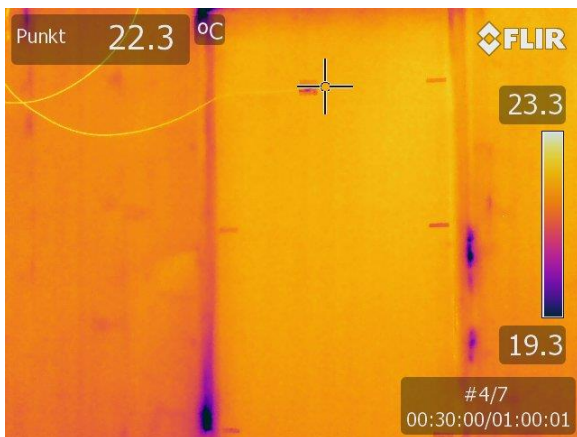
(d)



(e)



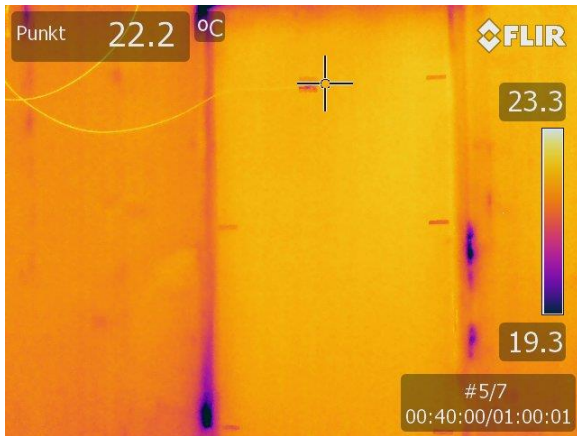
(f)



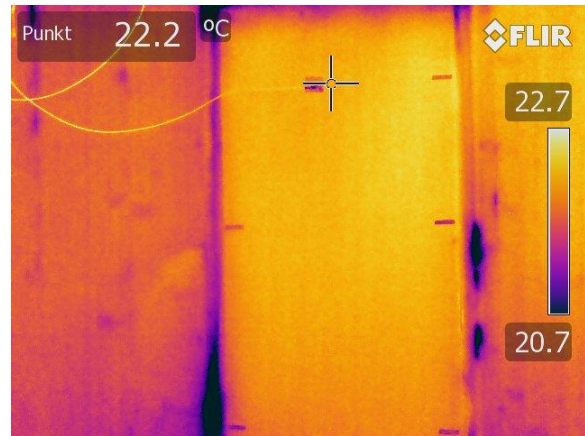
(g)



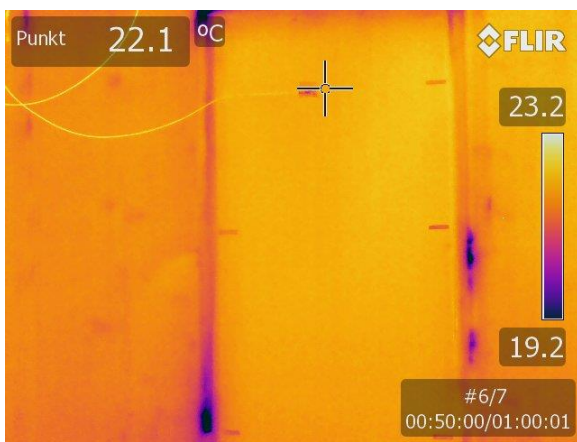
(h)



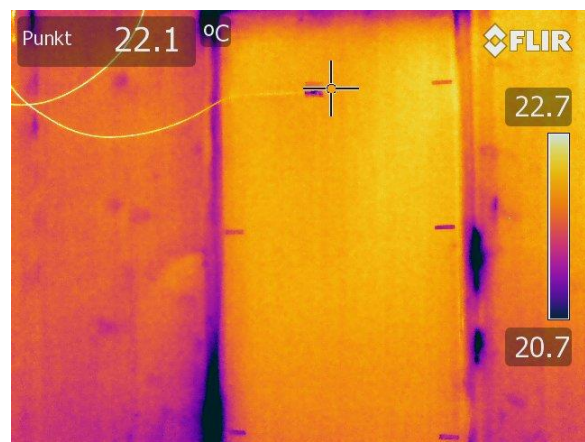
(i)



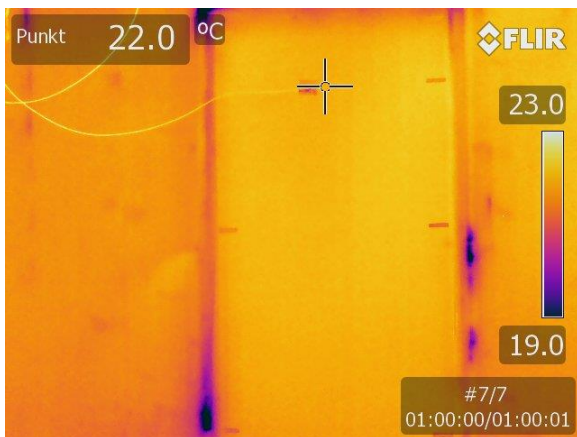
(j)



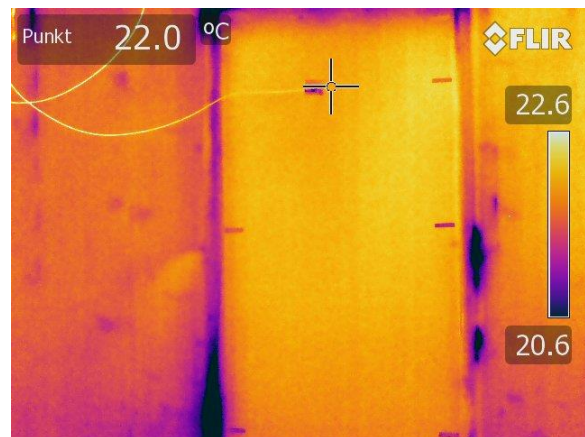
(k)



(l)



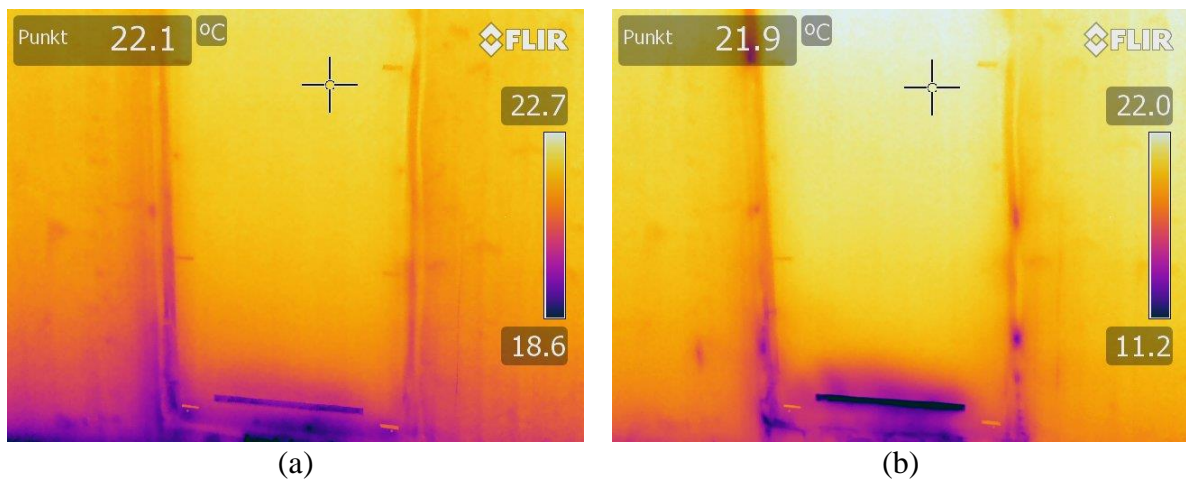
(m)



(n)

Figur A. 14 Termogram fra forsøk 5. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

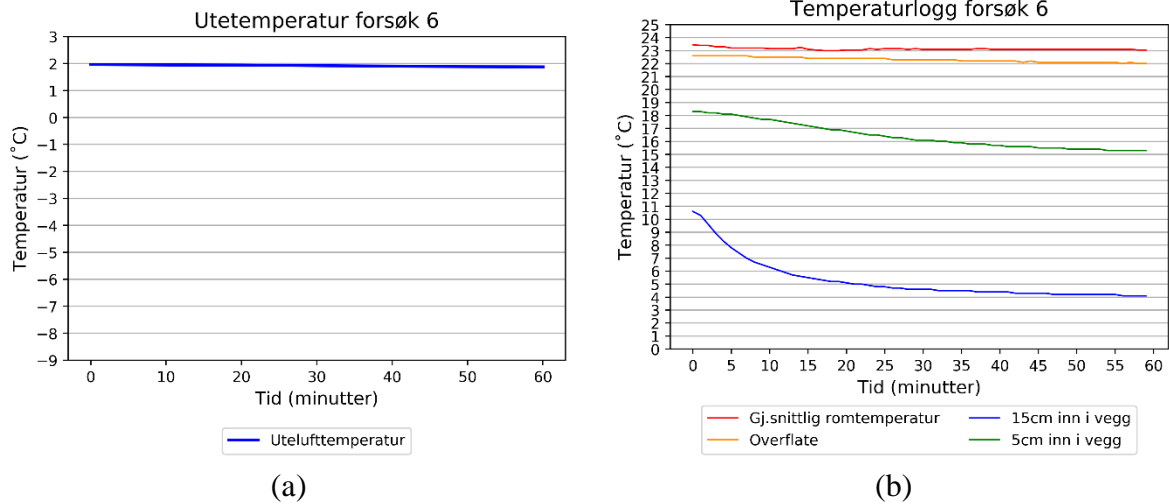
Termogram nederste del



Figur A. 15 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 5

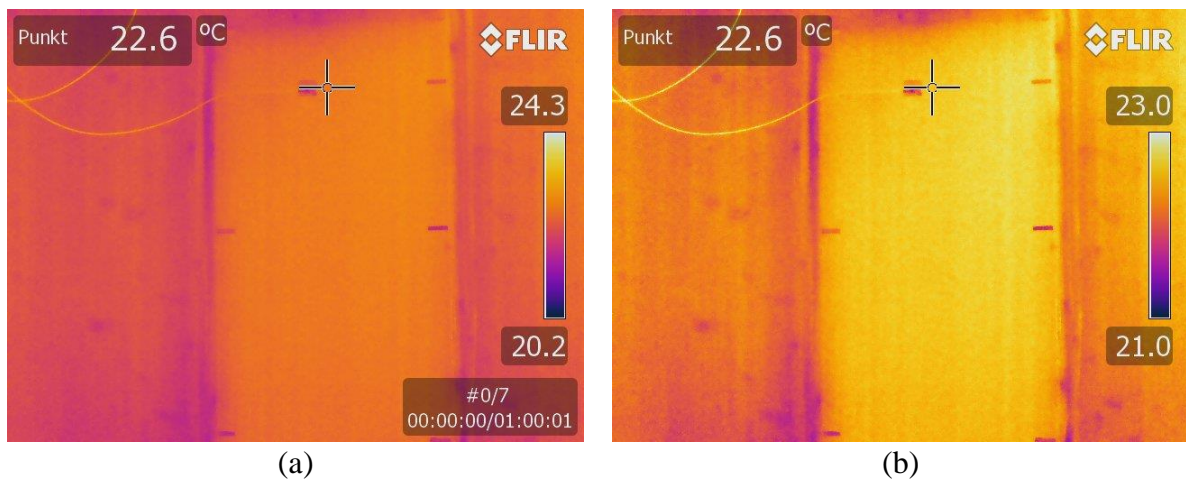
Forsøk 6, Inntrukket dampspærre, 30mm, 75Pa

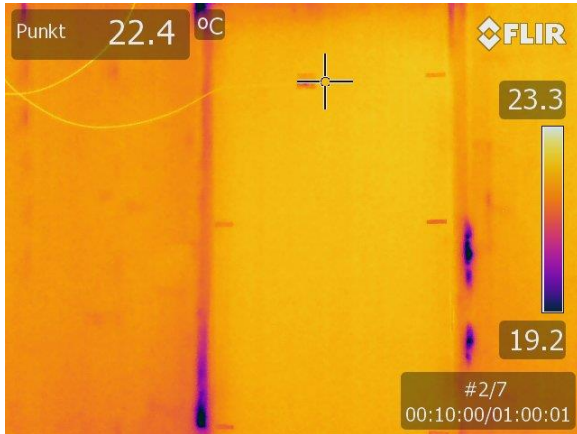
Temperaturutvikling



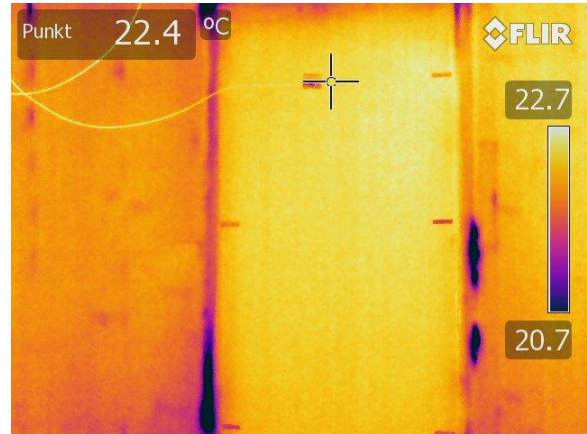
Figur A. 16 Temperaturlogg forsøk 6

Termogram øverste del

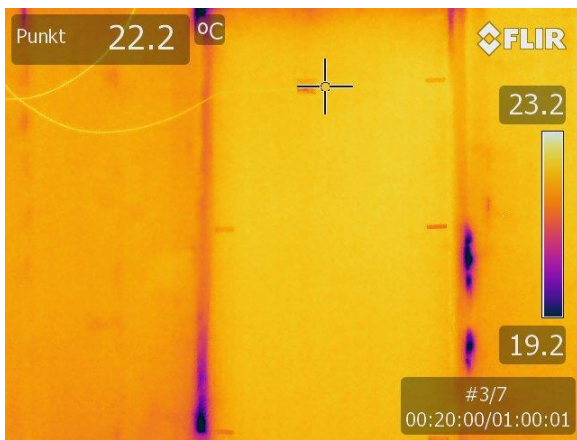




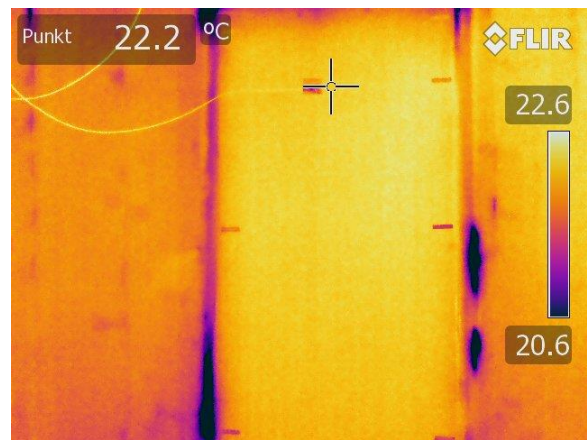
(c)



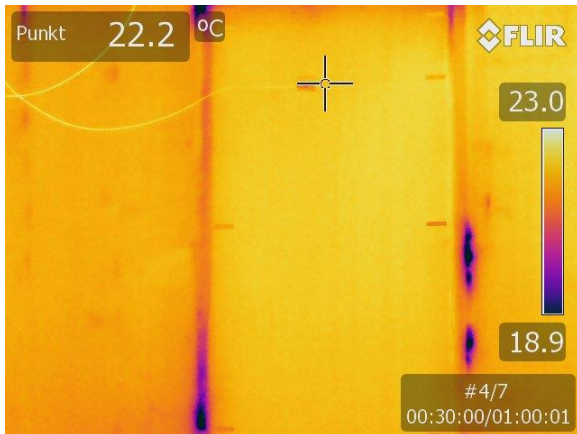
(d)



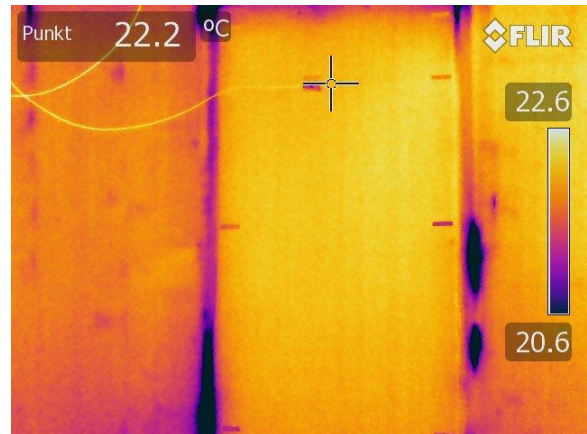
(e)



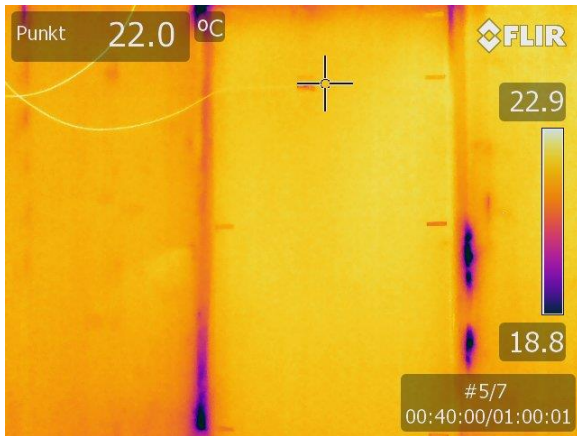
(f)



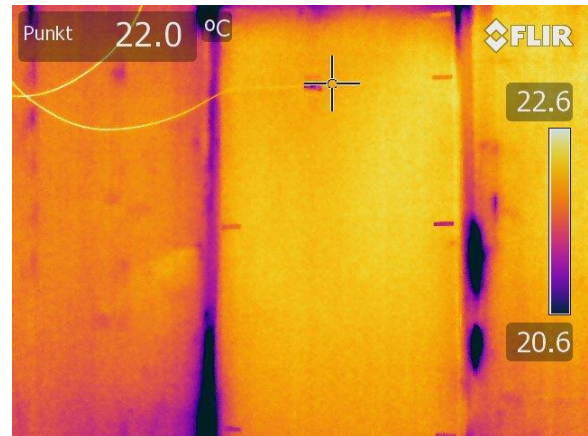
(g)



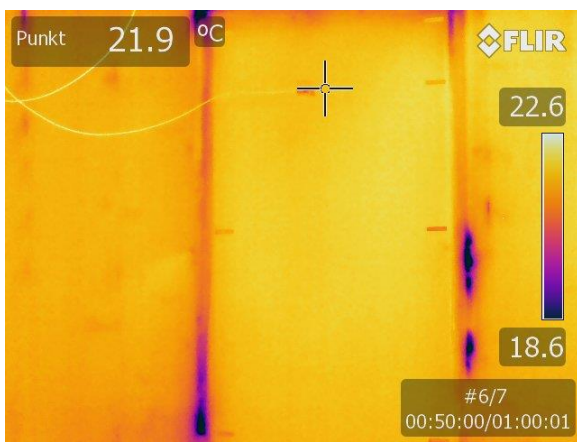
(h)



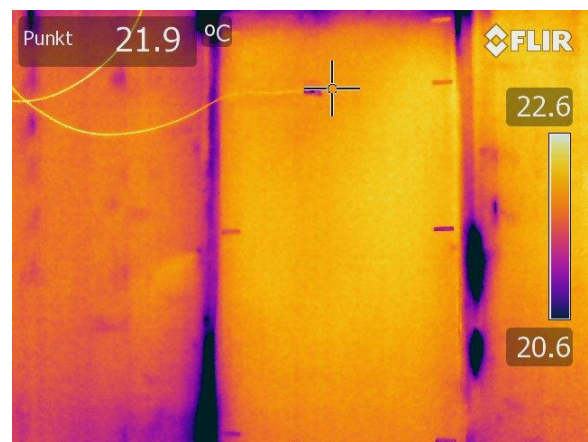
(i)



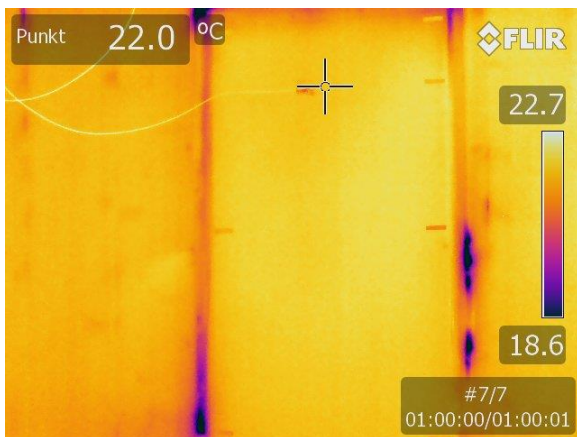
(j)



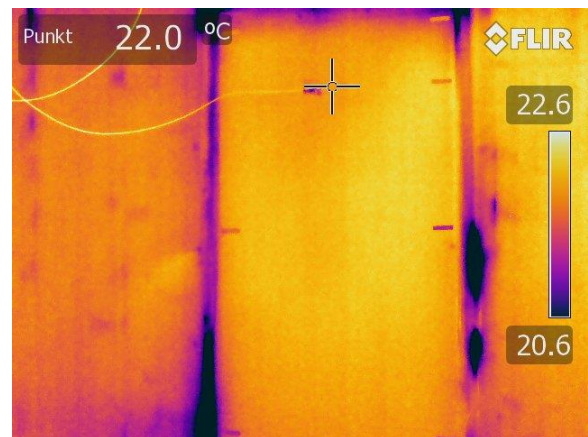
(k)



(l)



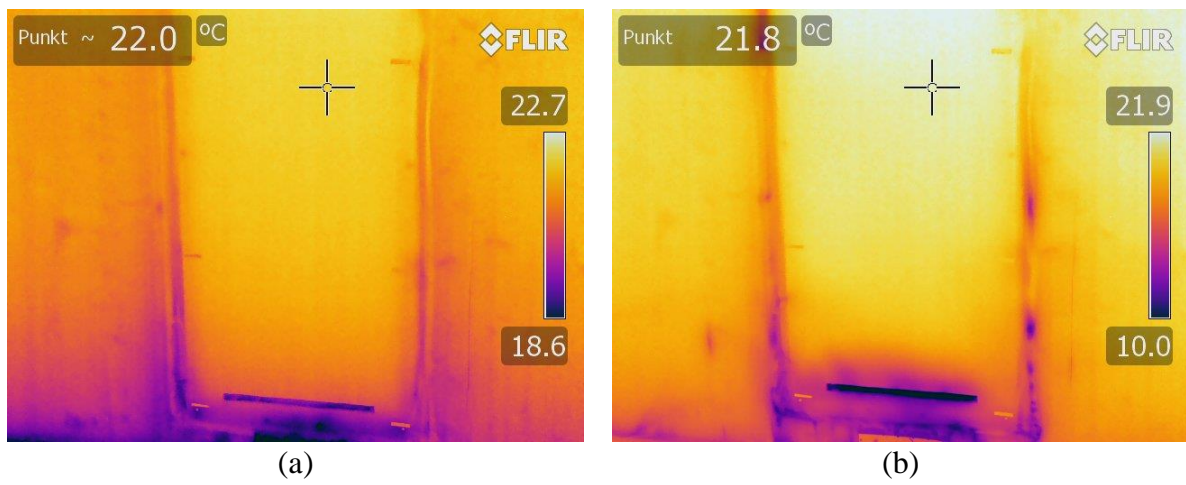
(m)



(n)

Figur A. 17 Termogram fra forsøk 6. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

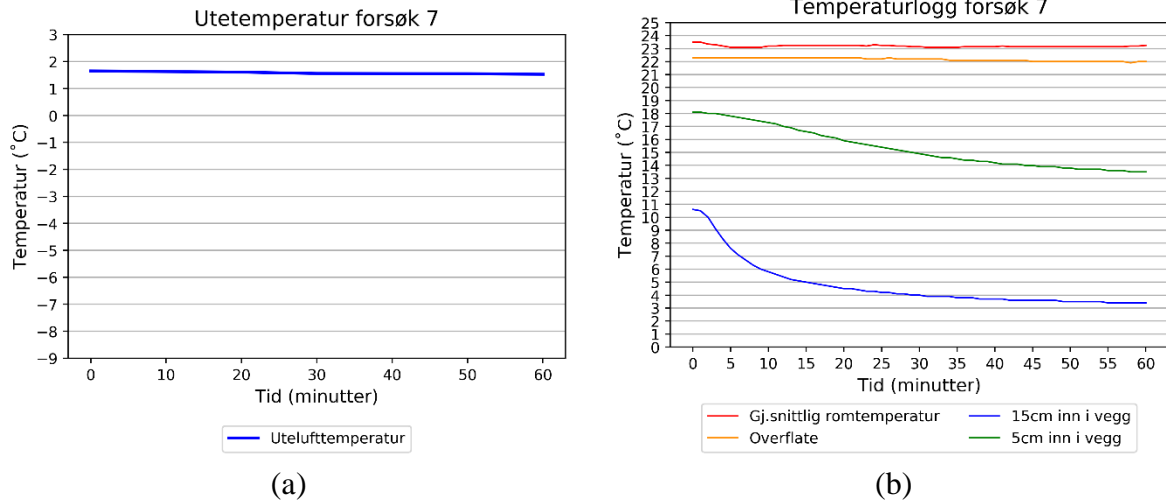
Termogram nederste del



Figur A. 18 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 6

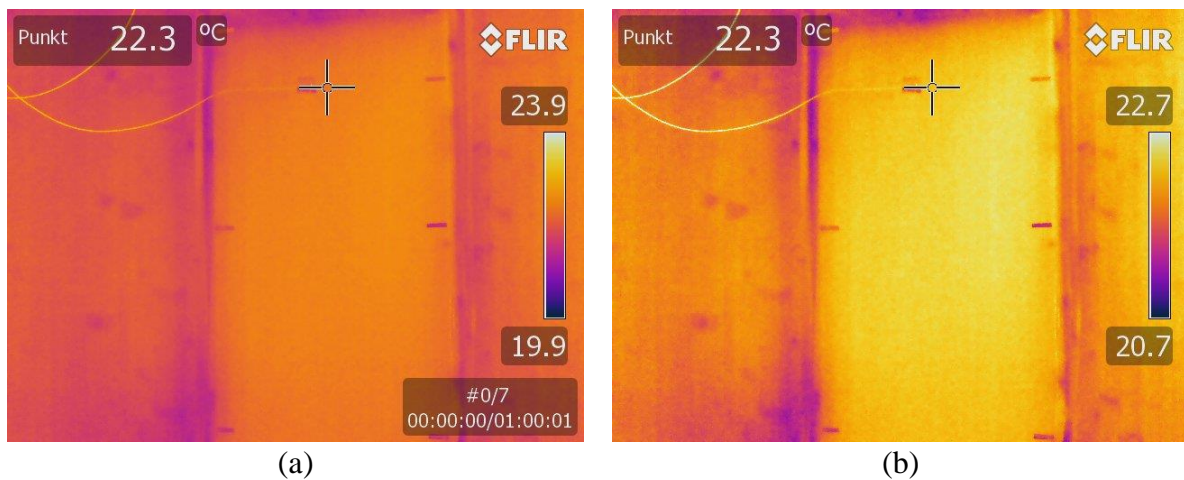
Forsøk 7, Inntrukket dampspærre, 75mm, 50Pa

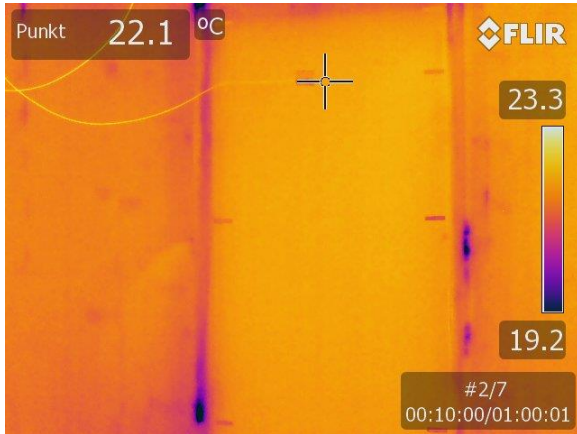
Temperaturutvikling



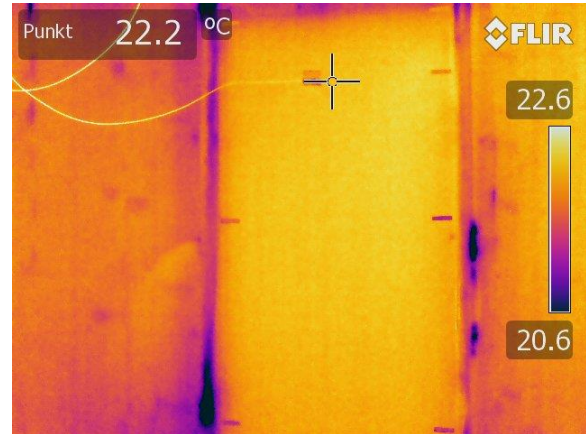
Figur A. 19 Temperaturlogg forsøk 7

Termogram øverste del

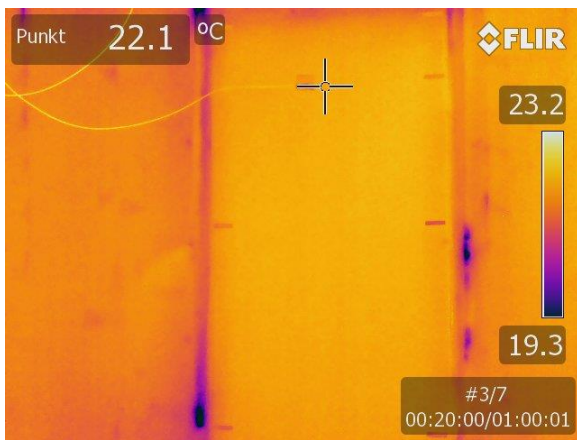




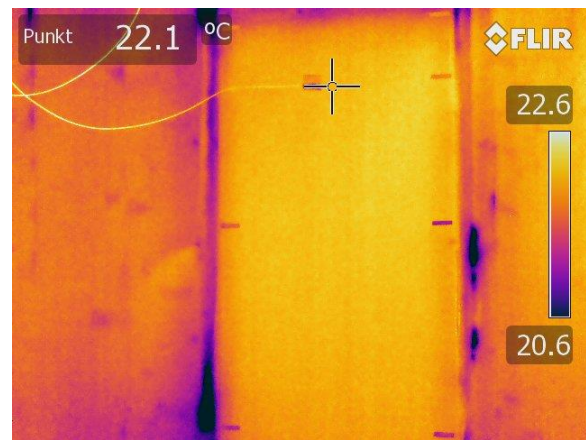
(c)



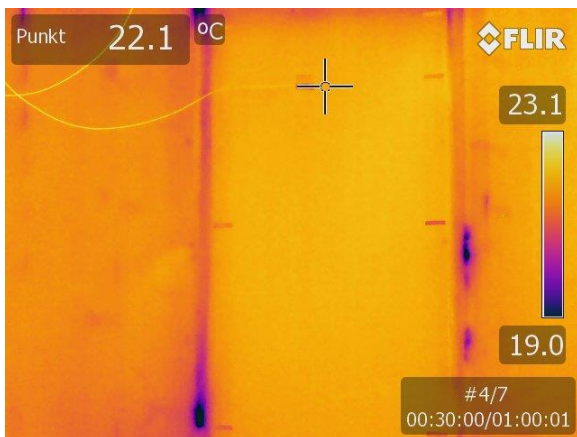
(d)



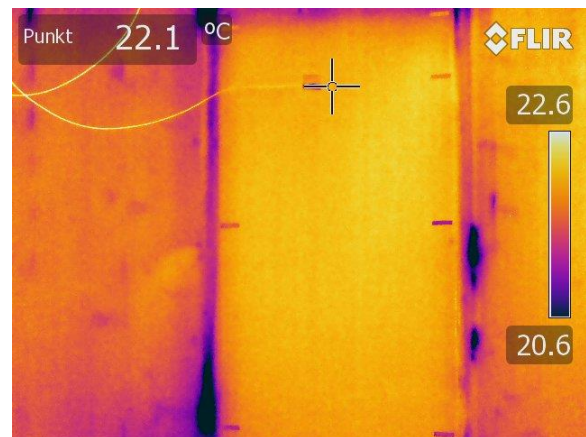
(e)



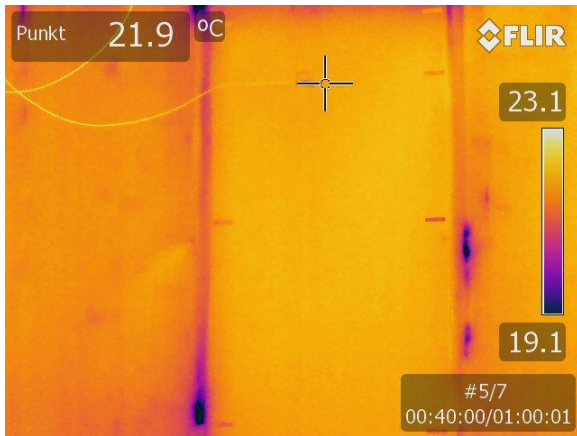
(f)



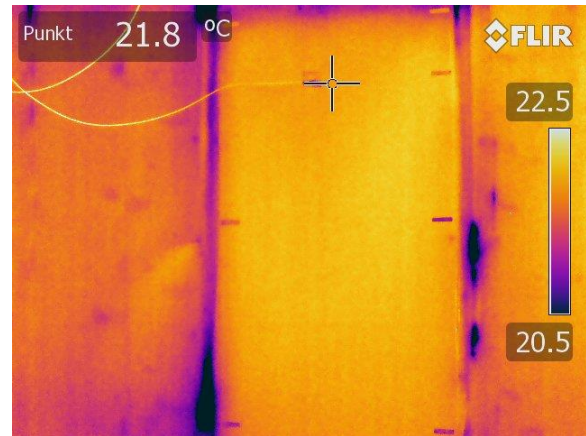
(g)



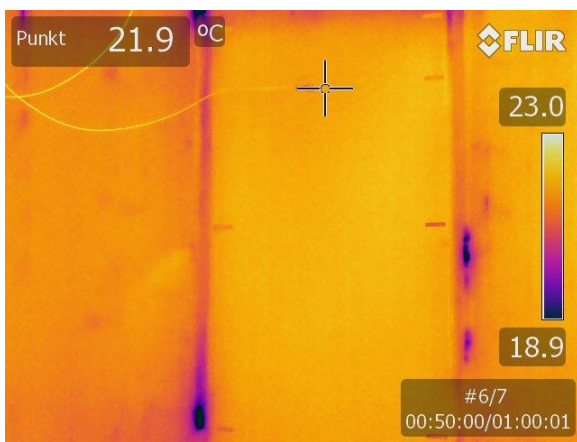
(h)



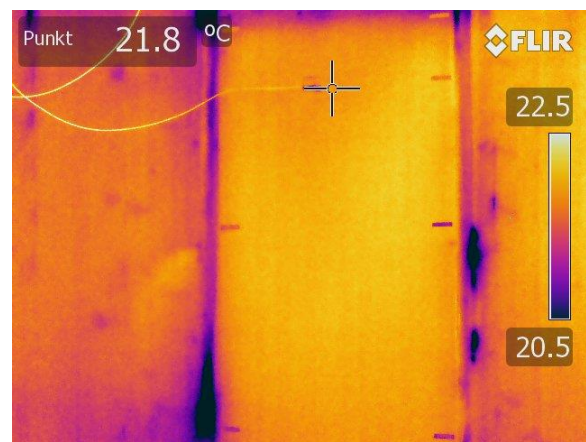
(i)



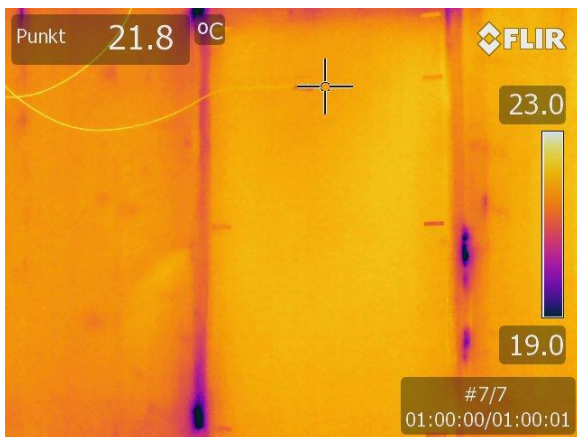
(j)



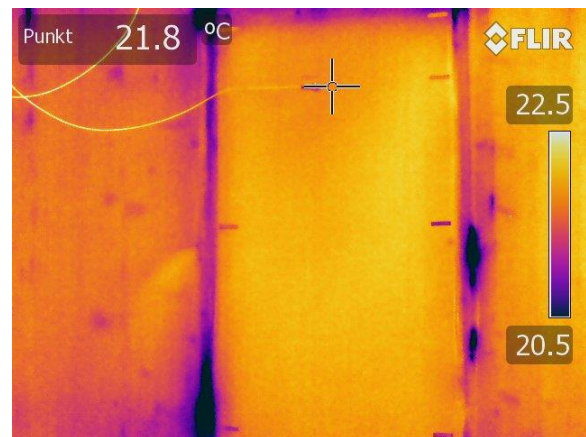
(k)



(l)



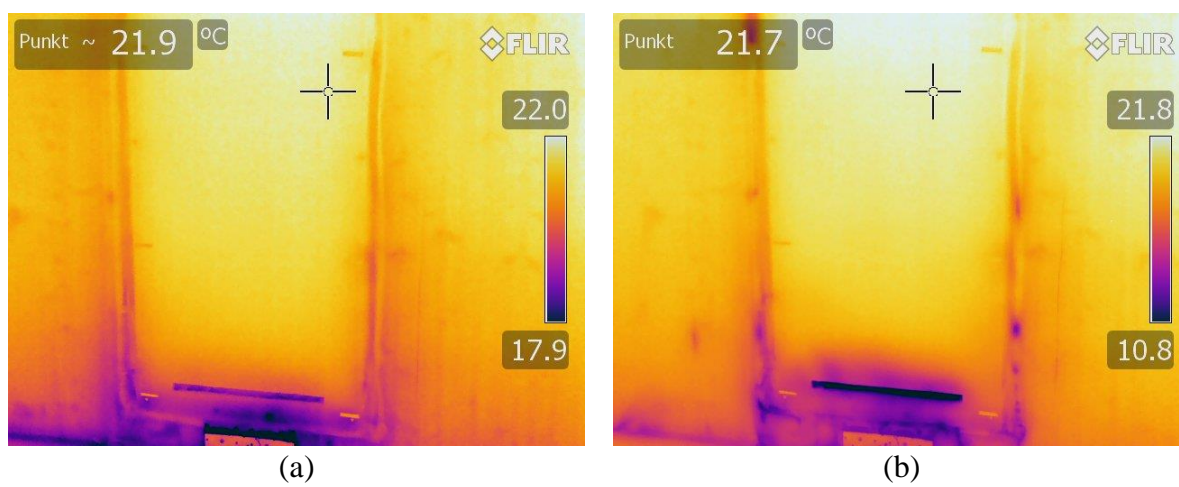
(m)



(n)

Figur A. 20 Termogram fra forsøk 7. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

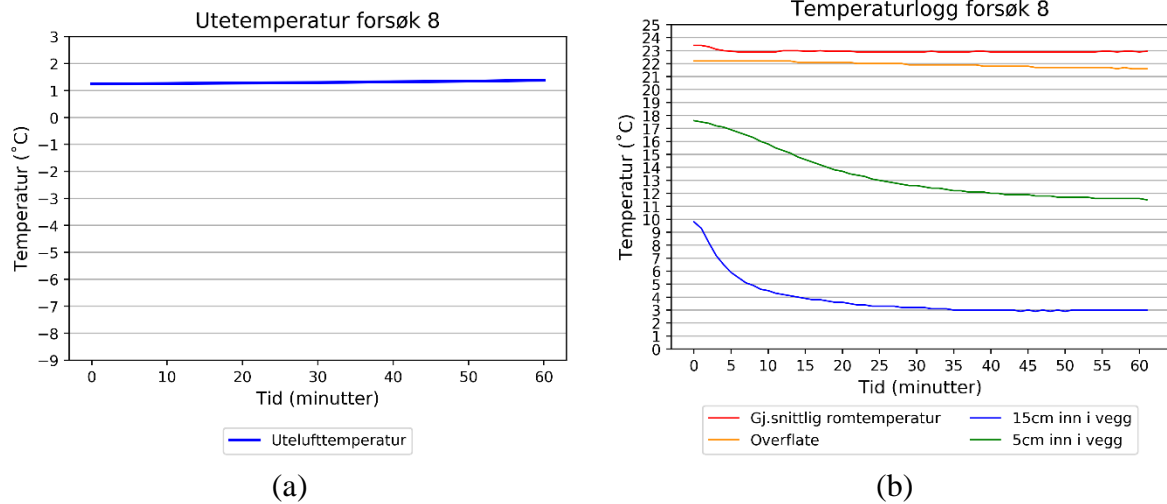
Termogram nederste del



Figur A. 21 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 7

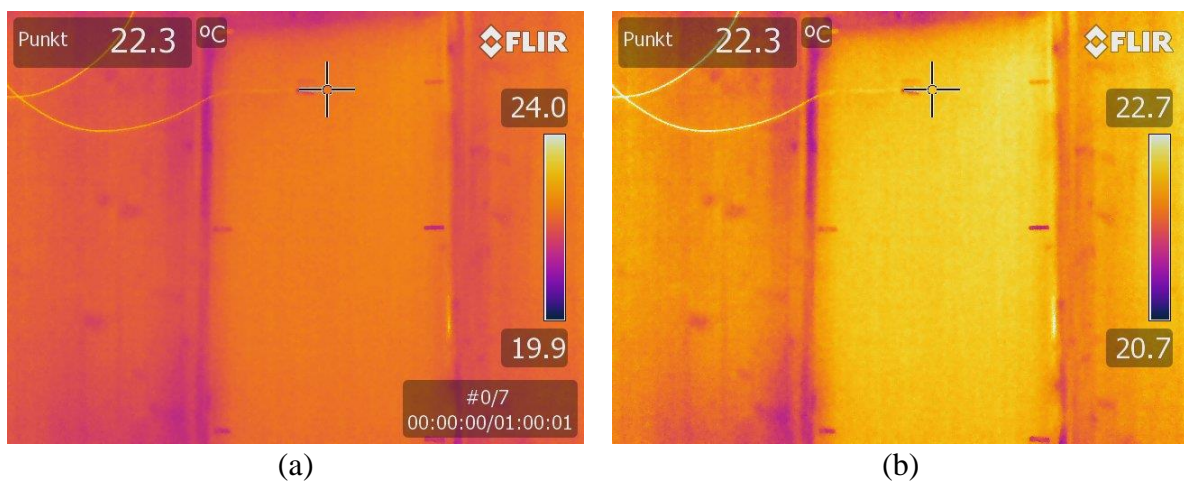
Forsøk 8, Inntrukket dampsperre, 75mm, 75Pa

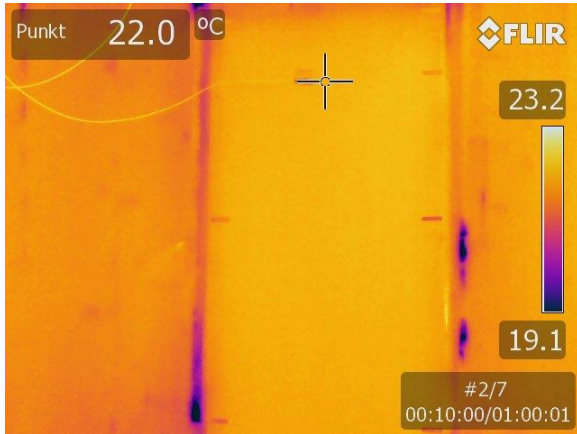
Temperaturutvikling



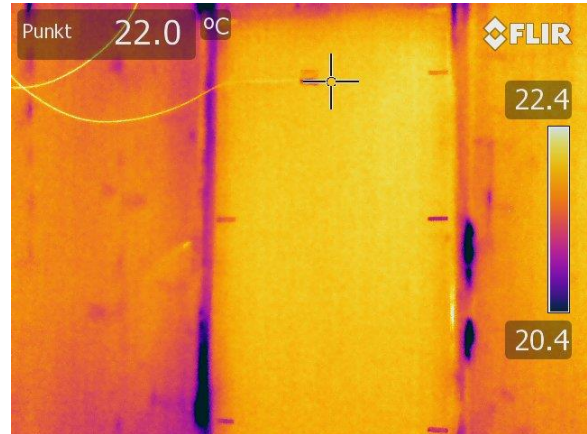
Figur A. 22 Temperaturlogg forsøk 8

Termogram øverste del

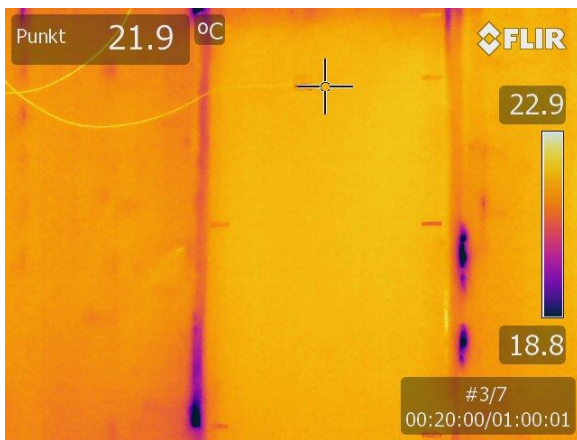




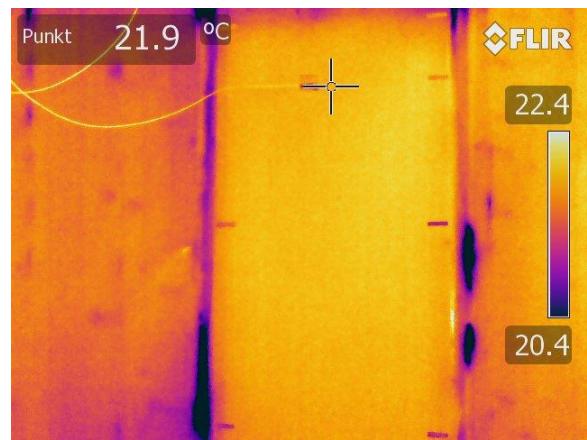
(c)



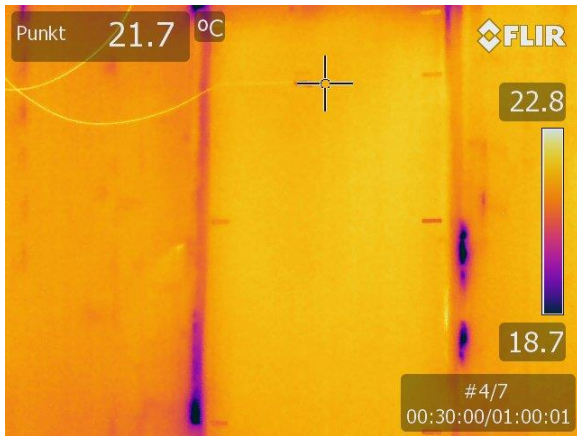
(d)



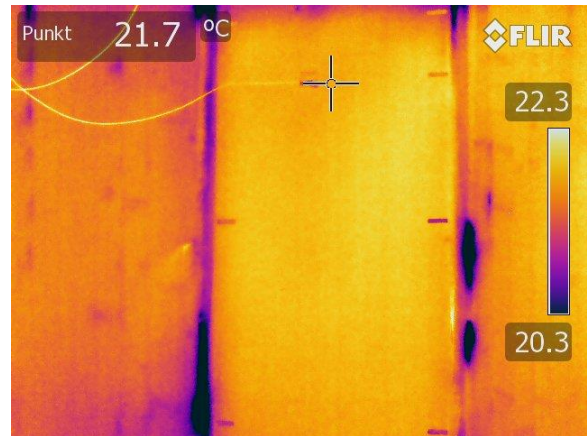
(e)



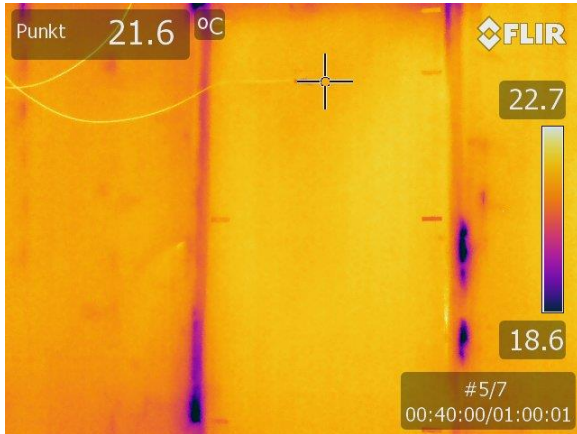
(f)



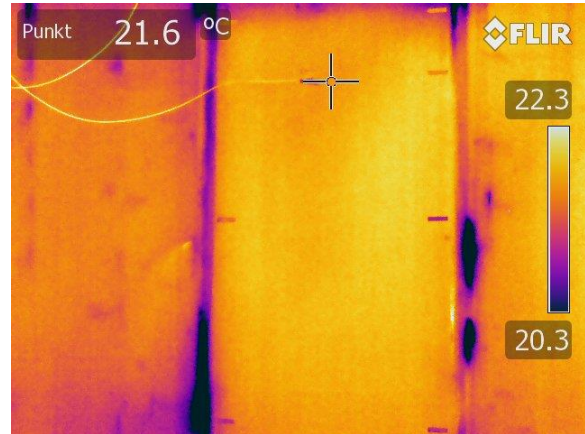
(g)



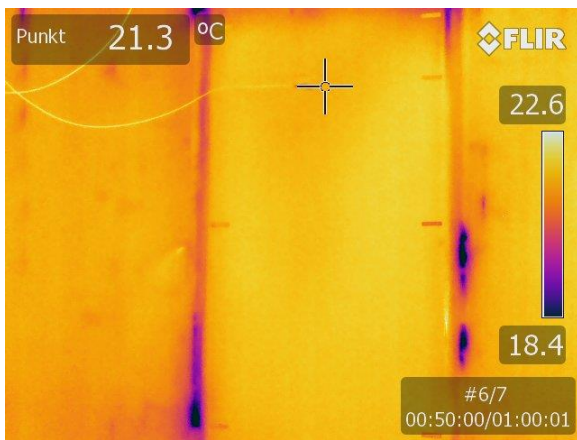
(h)



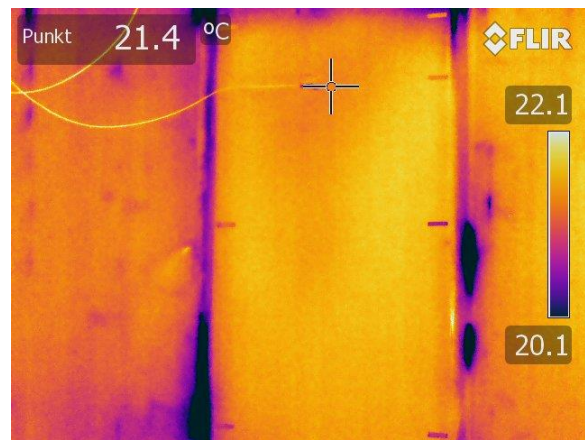
(i)



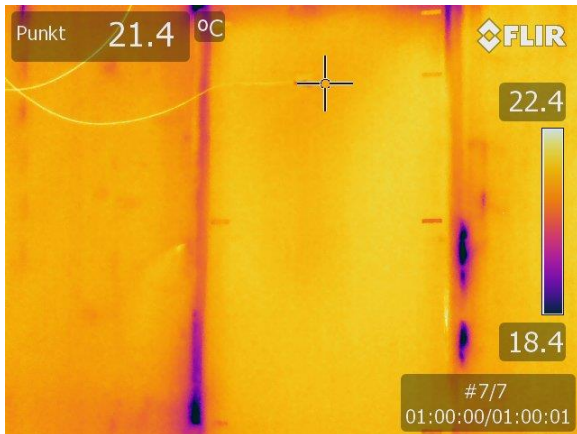
(j)



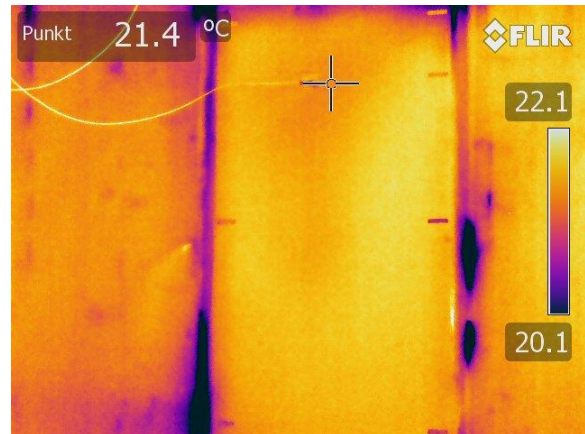
(k)



(l)



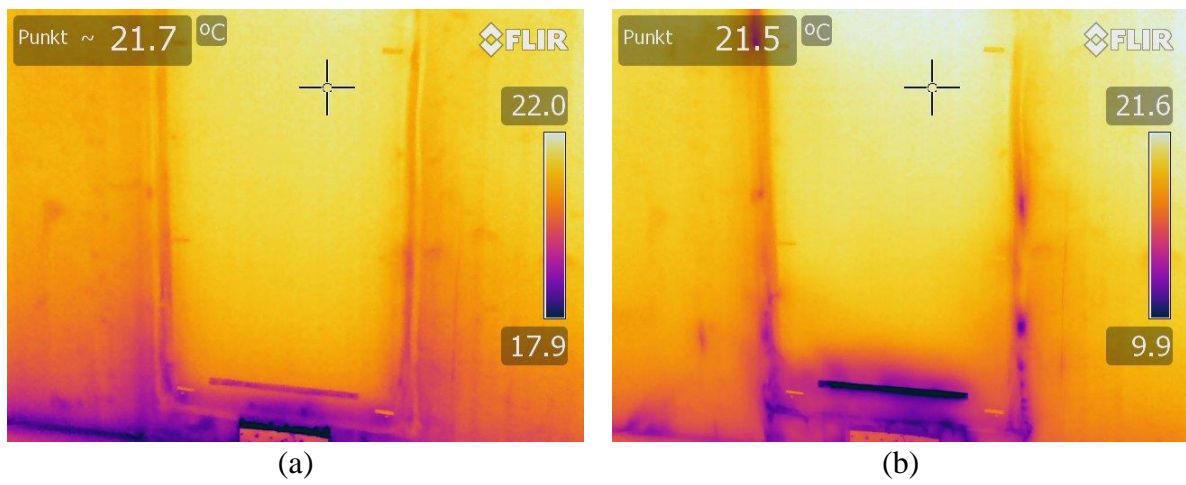
(m)



(n)

Figur A. 23 Termogram fra forsøk 8. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

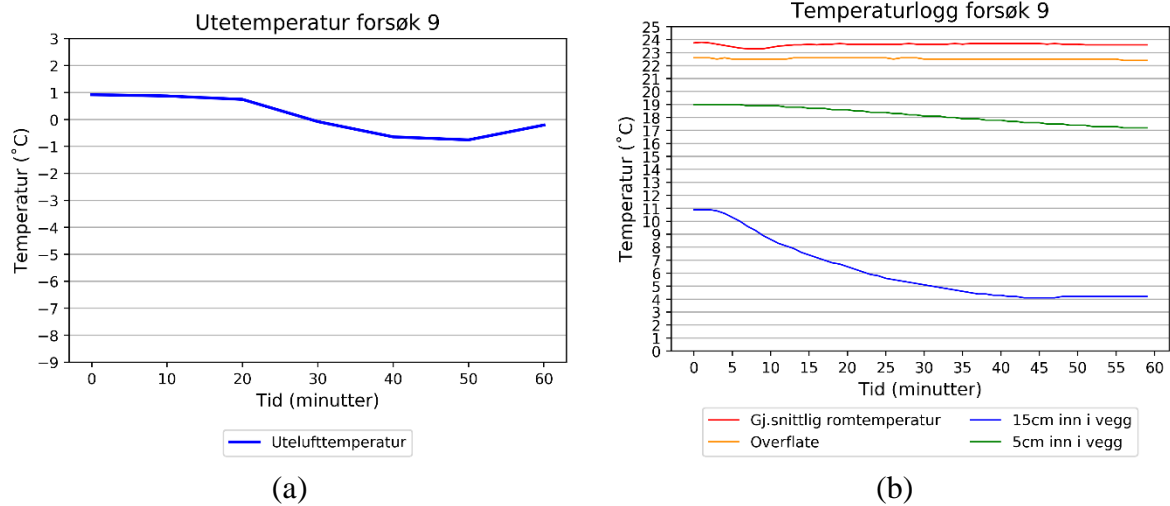
Termogram nederste del



Figur A. 24 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 8

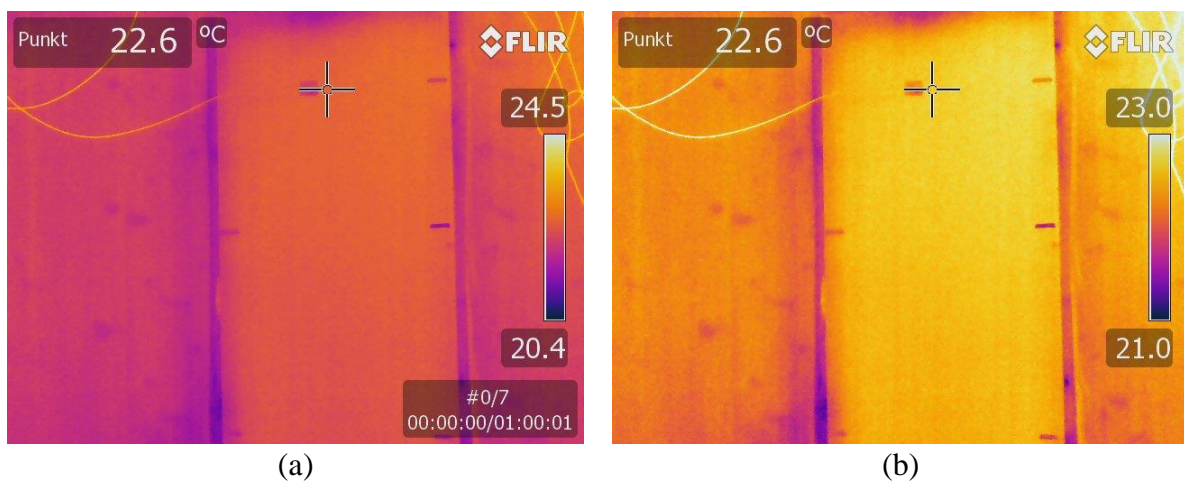
Forsøk 9, Ikke inntrukket dampsperre, 8mm, 50Pa

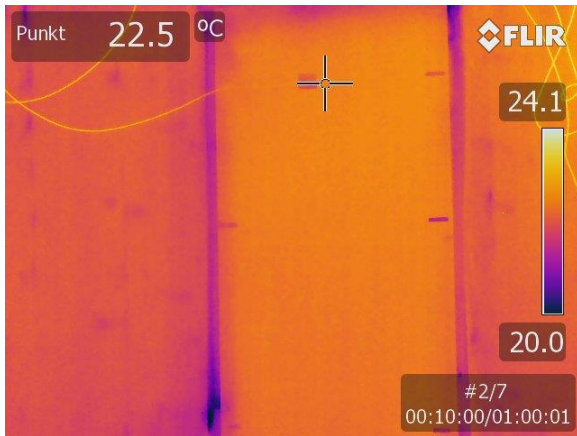
Temperaturutvikling



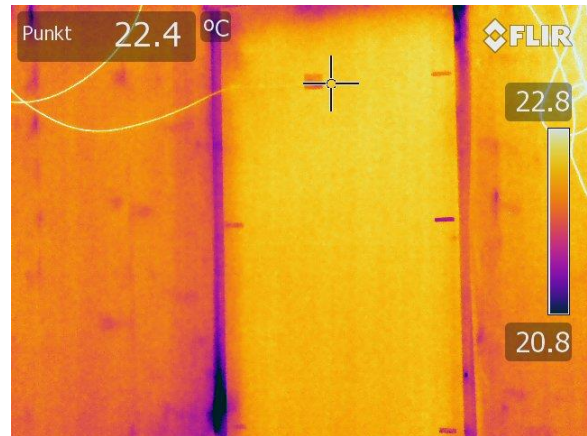
Figur A. 25 Temperaturlogg forsøk 9

Termogram øverste del





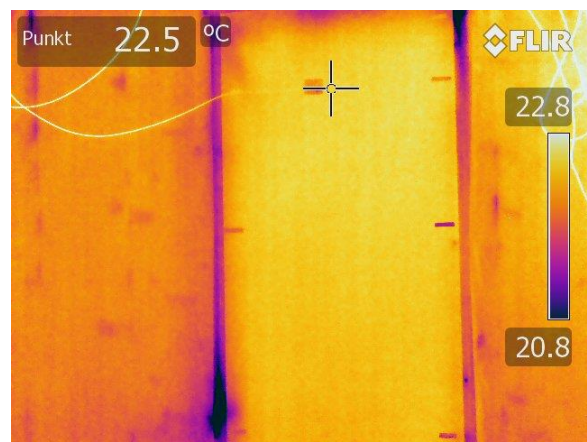
(c)



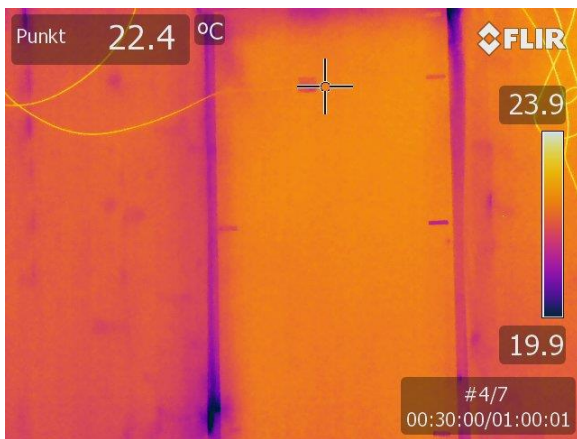
(d)



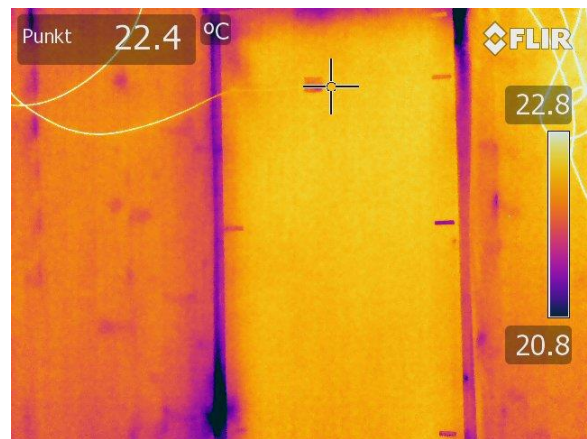
(e)



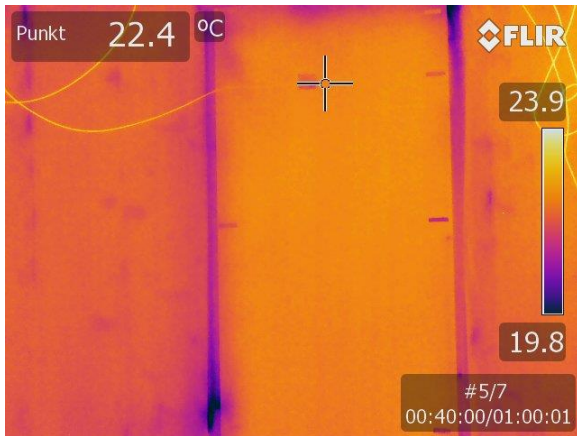
(f)



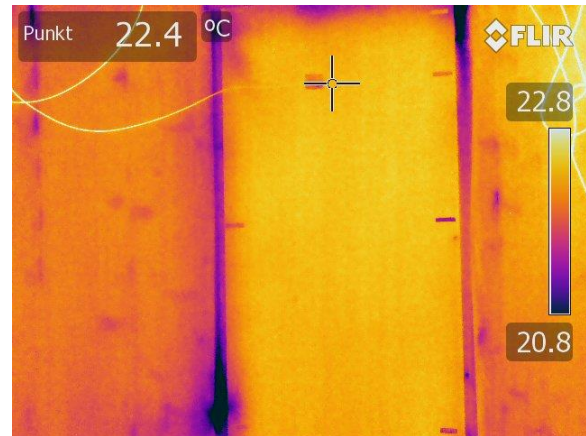
(g)



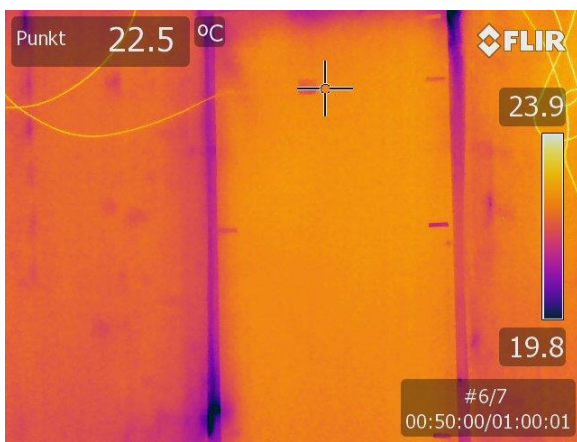
(h)



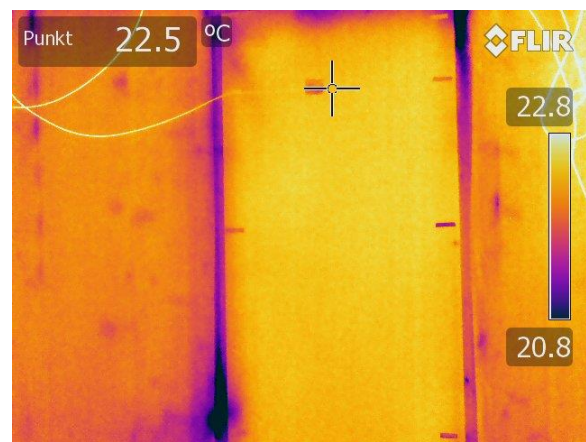
(i)



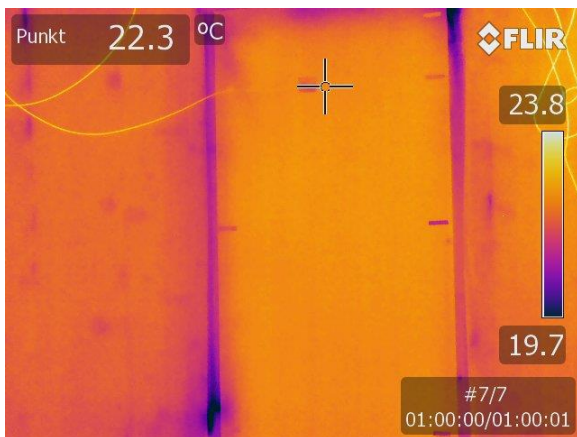
(j)



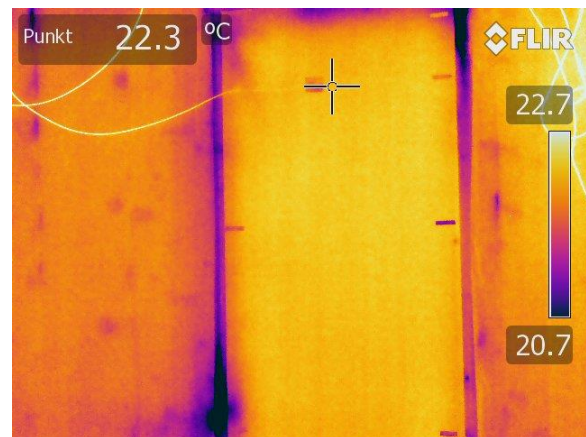
(k)



(l)



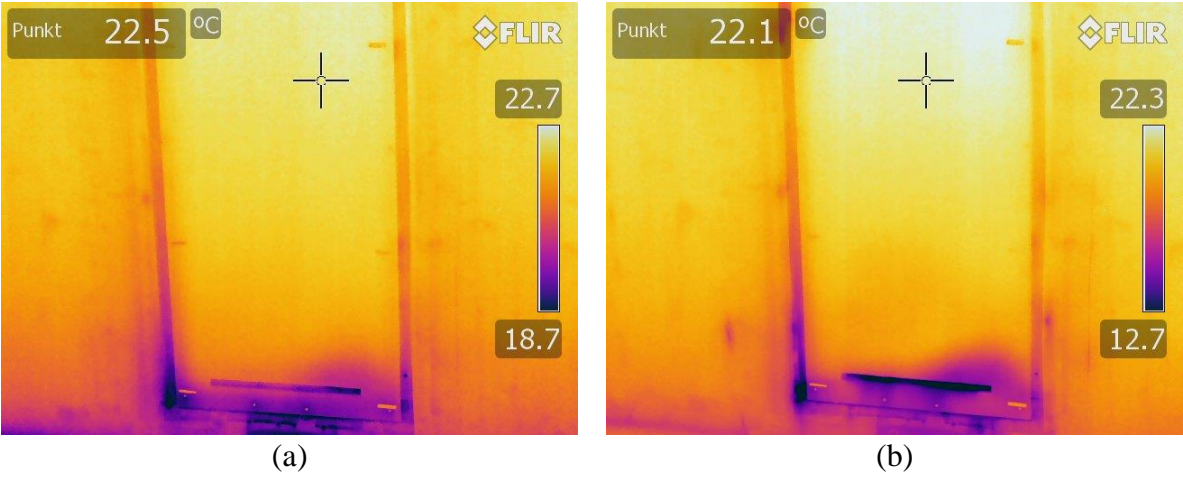
(m)



(n)

Figur A. 26 Termogram fra forsøk 9. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

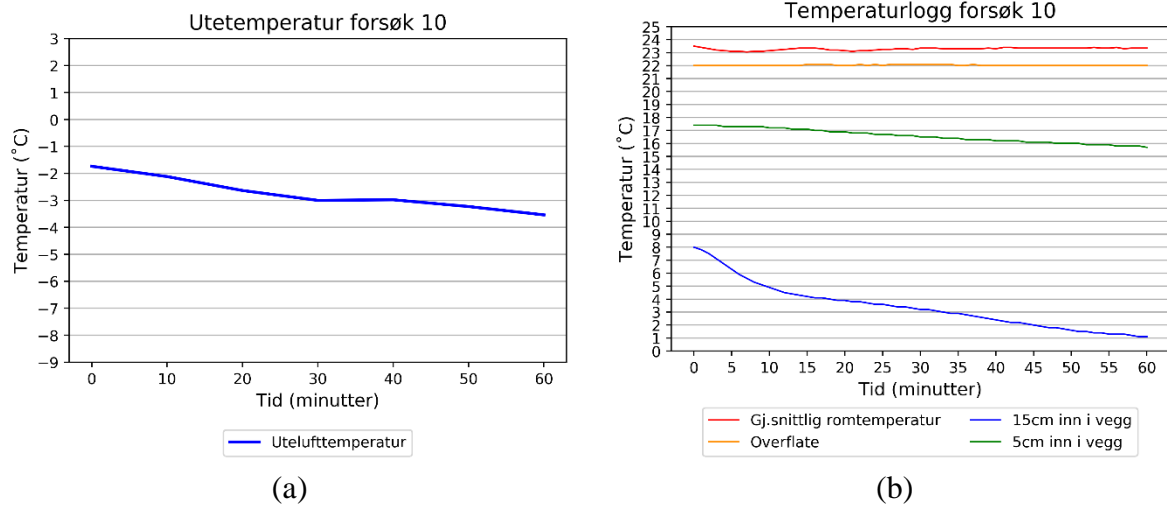
Termogram nederste del



Figur A. 27 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 9

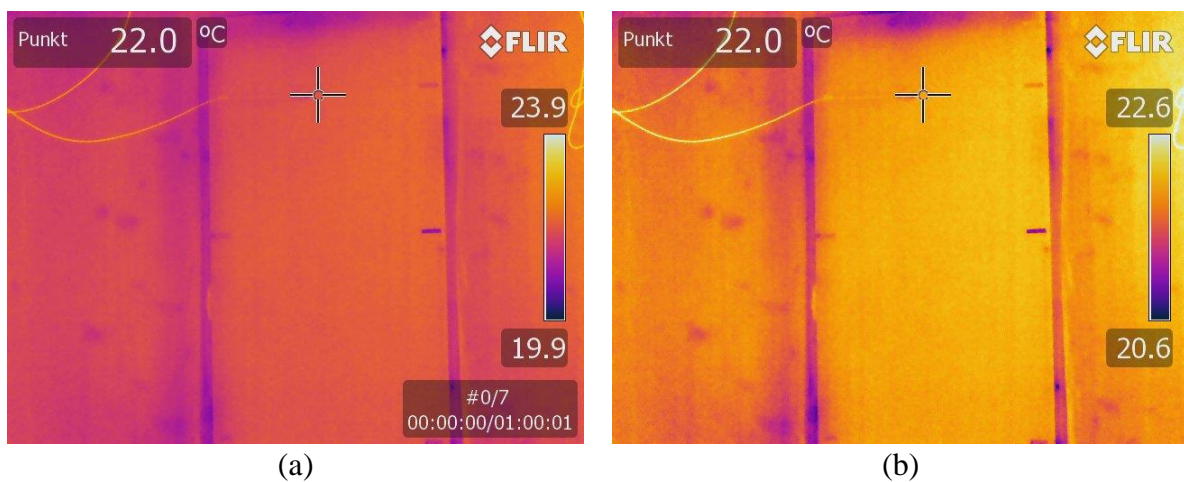
Forsøk 10, Ikke inntrukket dampsperre, 8mm, 75Pa

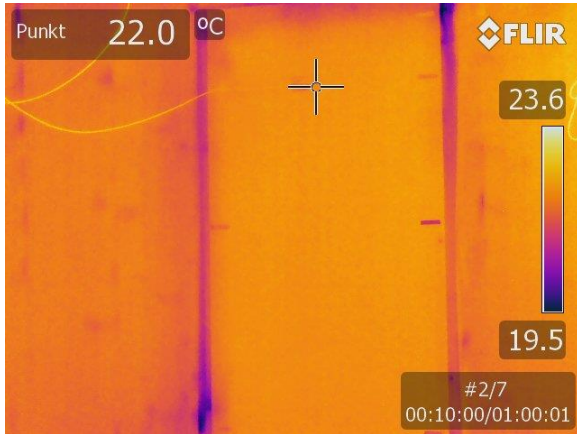
Temperaturutvikling



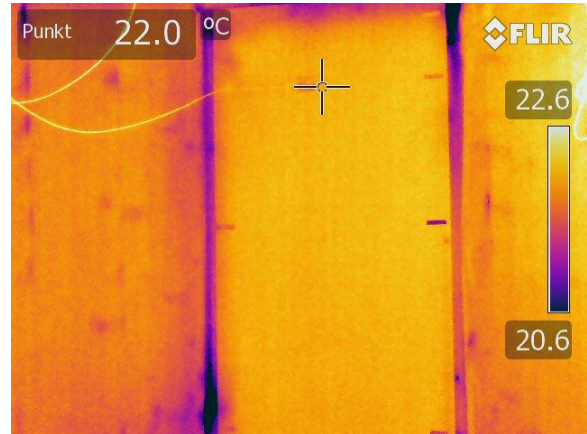
Figur A. 28 Temperaturlogg forsøk 10

Termogram øverste del

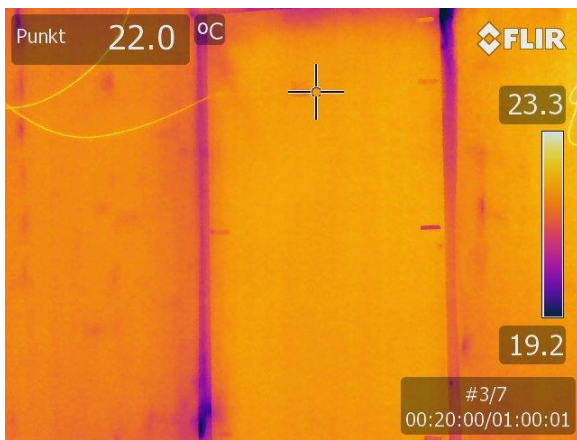




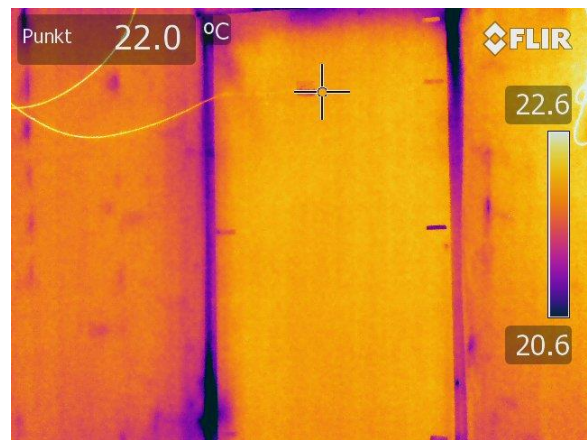
(c)



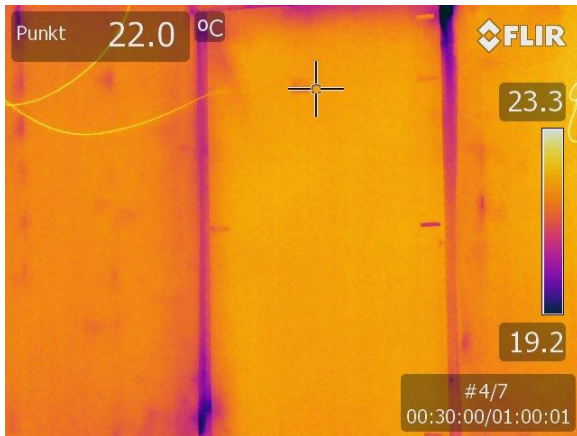
(d)



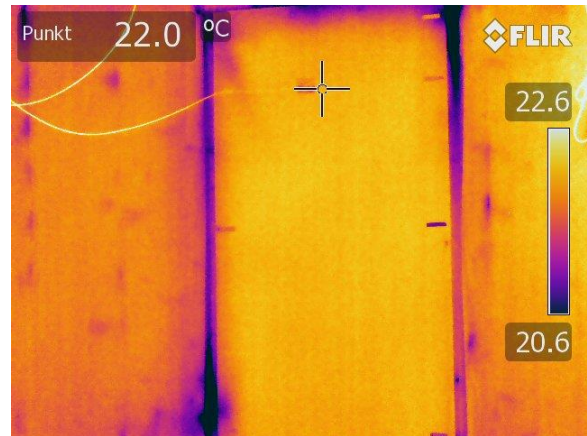
(e)



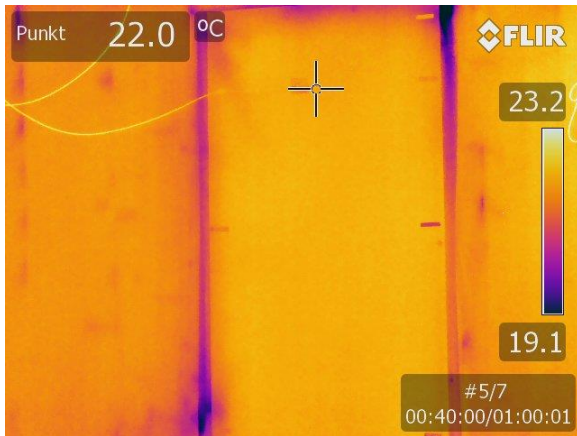
(f)



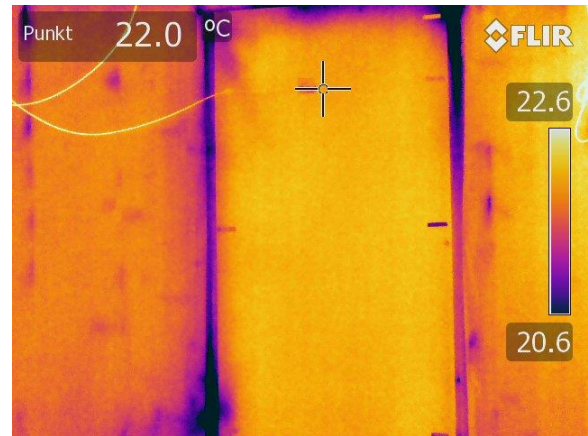
(g)



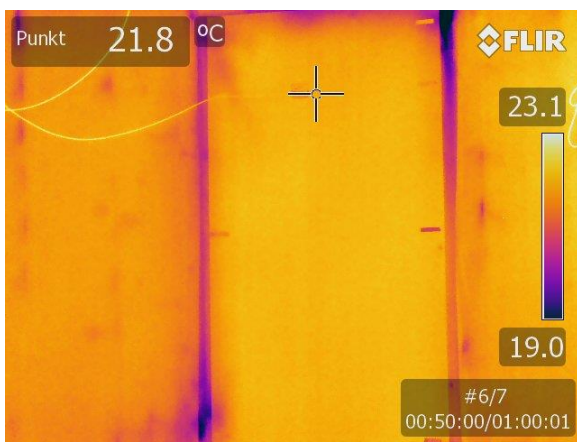
(h)



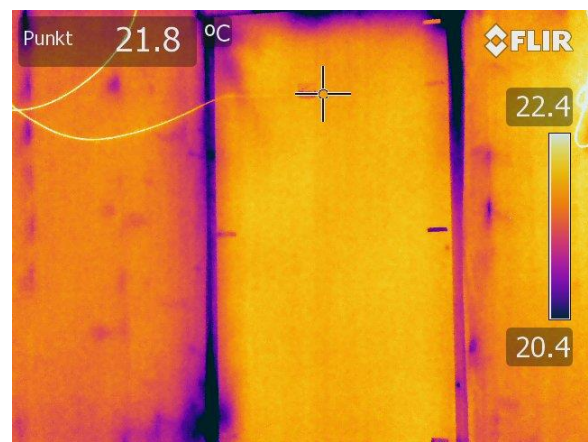
(i)



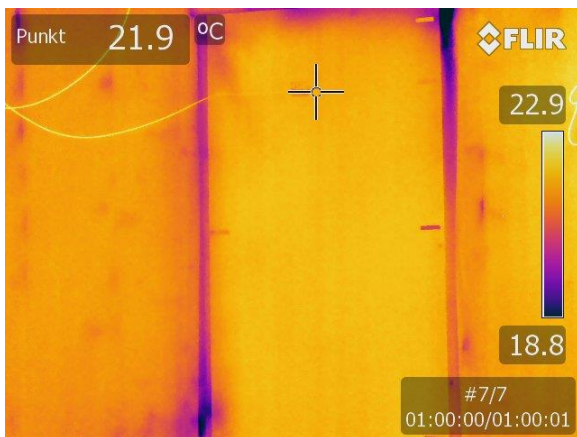
(j)



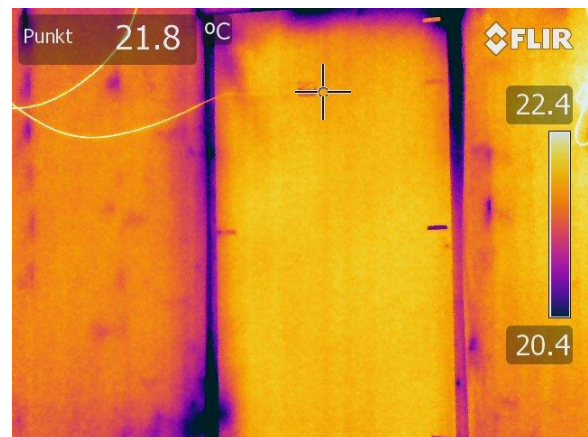
(k)



(l)



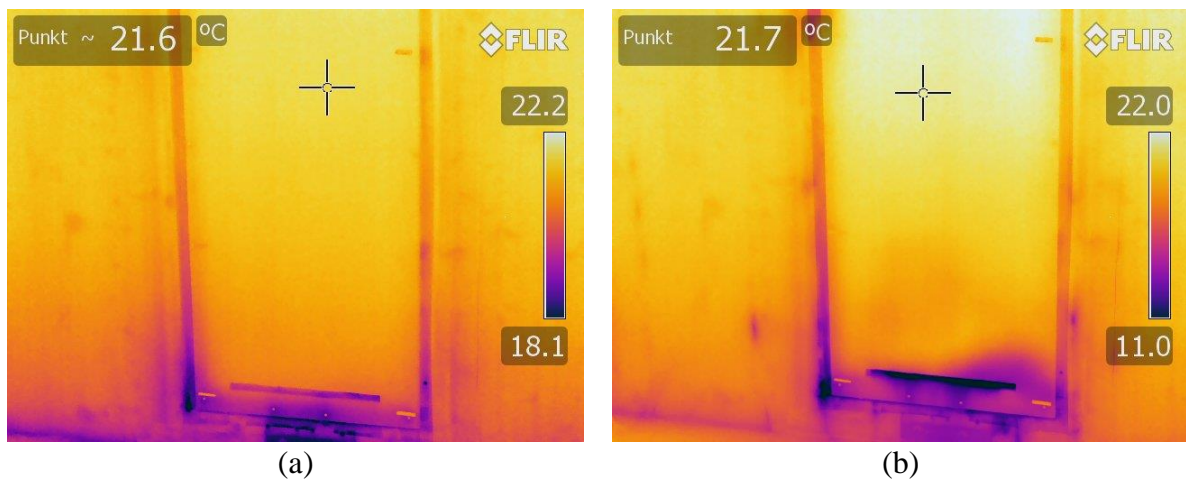
(m)



(n)

Figur A. 29 Termogram fra forsøk 10. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

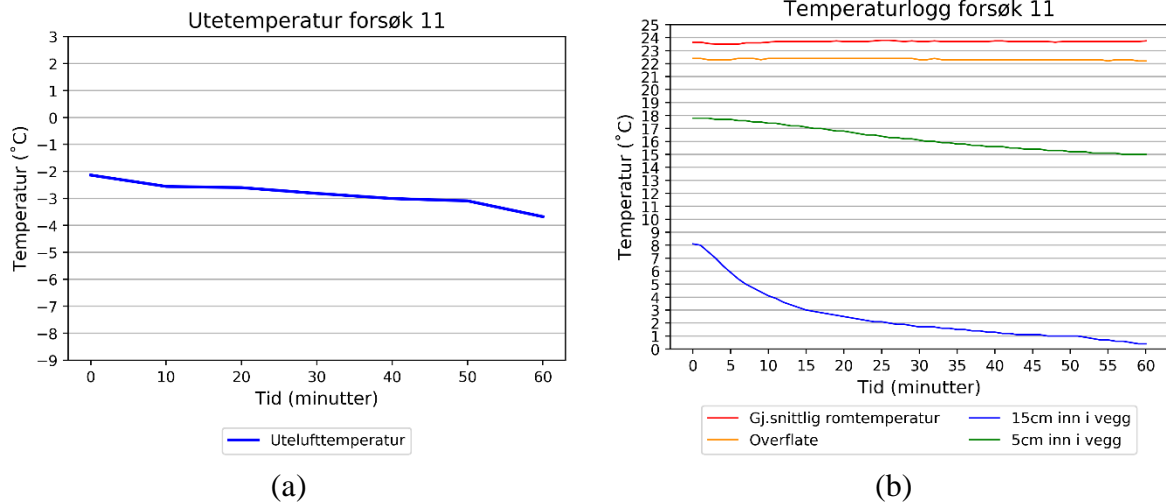
Termogram nederste del



Figur A. 30 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 10

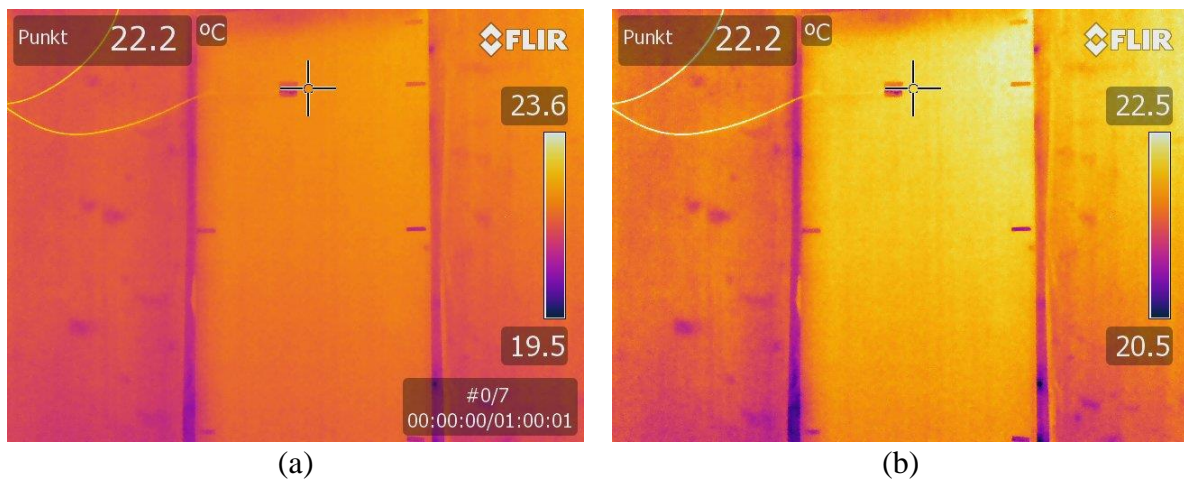
Forsøk 11, Ikke inntrukket dampsperre, 18mm, 50Pa

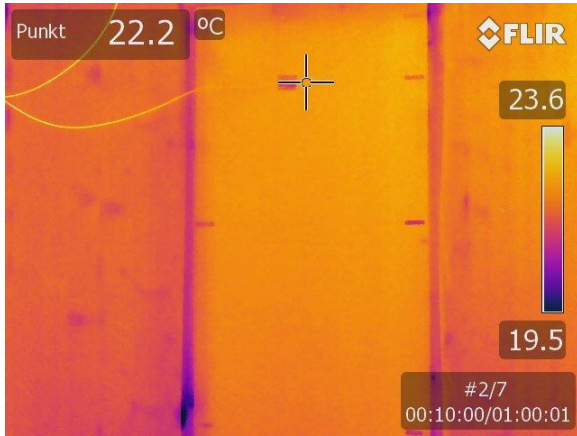
Temperaturutvikling



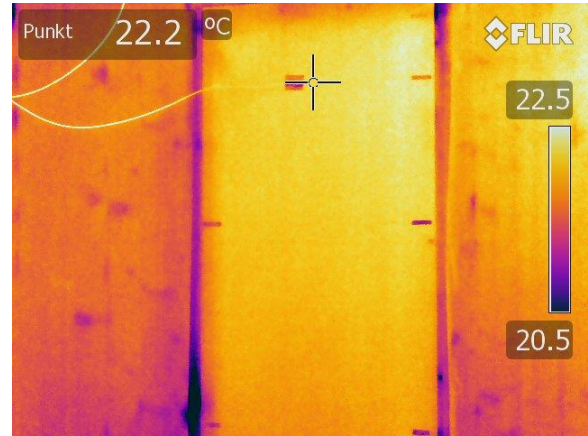
Figur A. 31 Temperaturlogg forsøk 11

Termogram øverste del

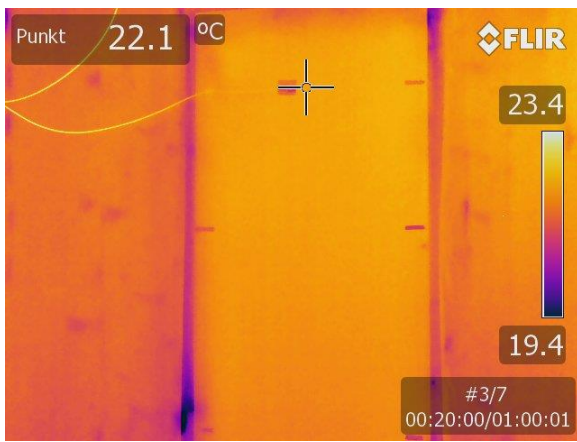




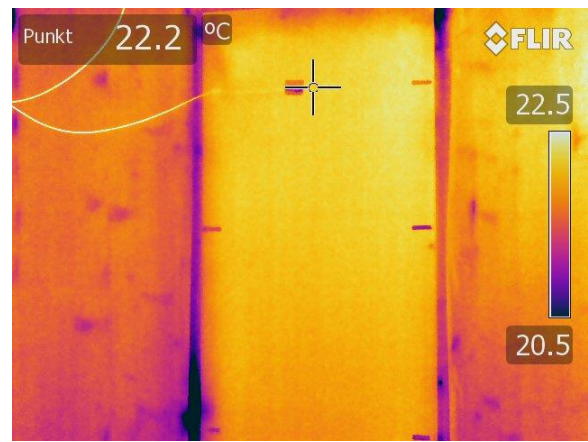
(c)



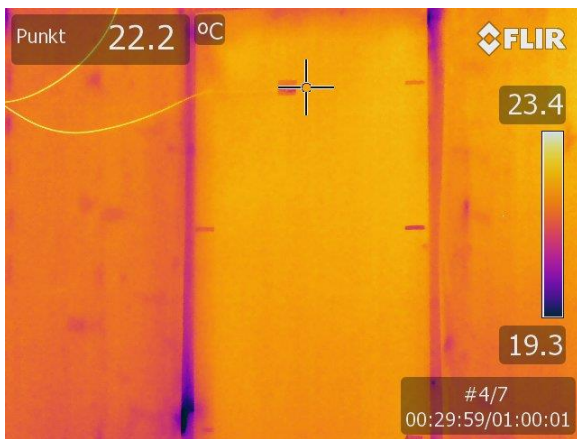
(d)



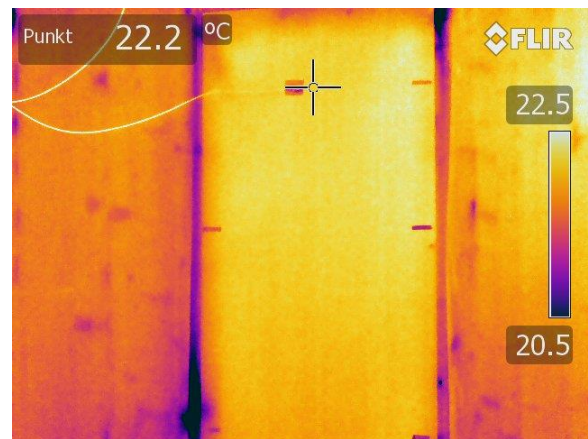
(e)



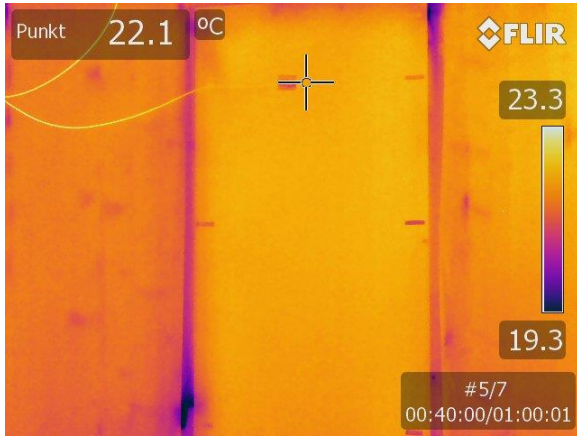
(f)



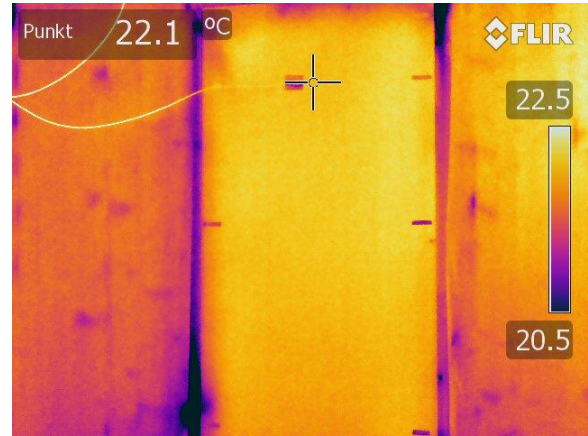
(g)



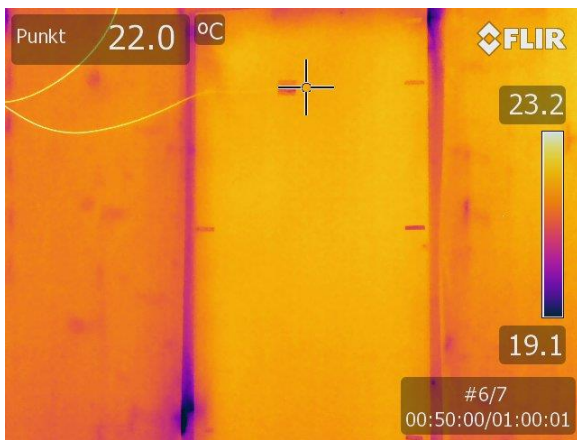
(h)



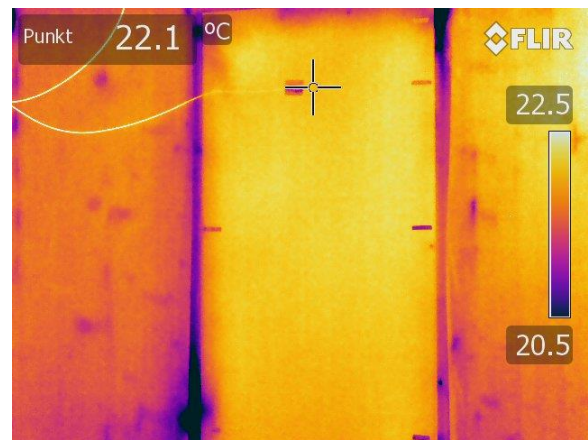
(i)



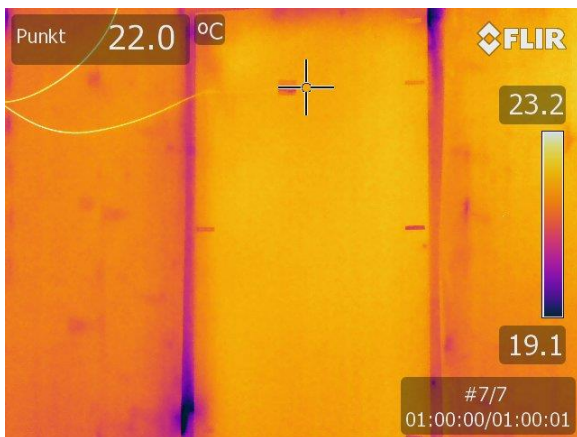
(j)



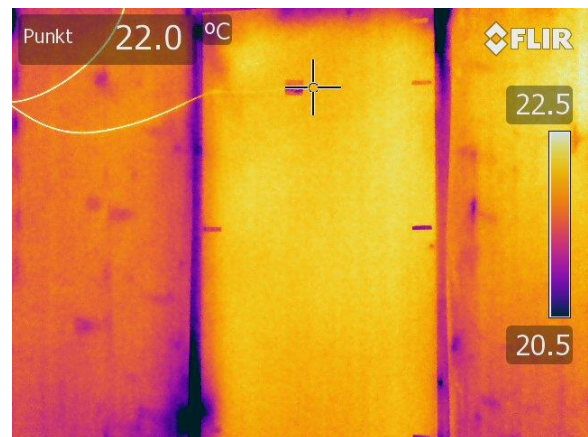
(k)



(l)



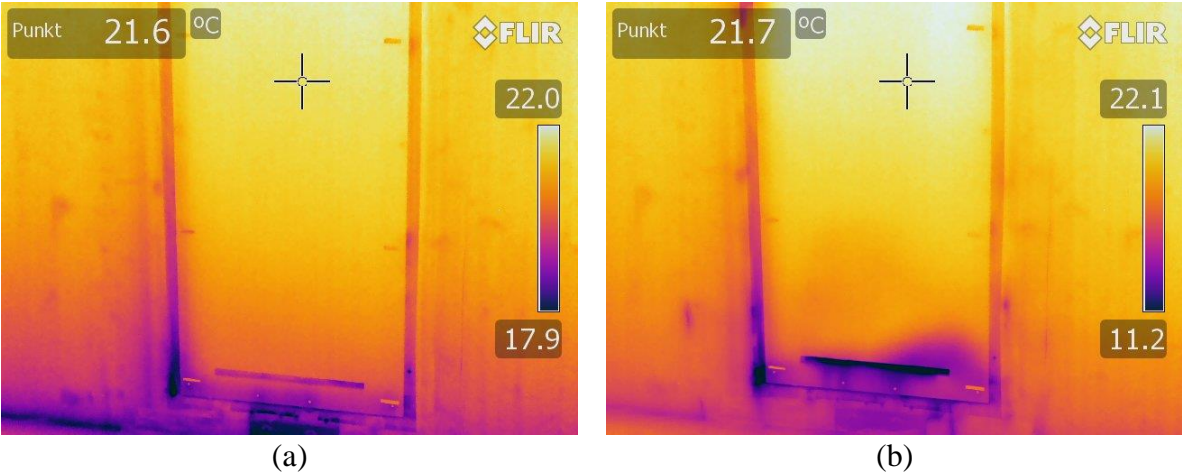
(m)



(n)

Figur A. 32 Termogram fra forsøk 11. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

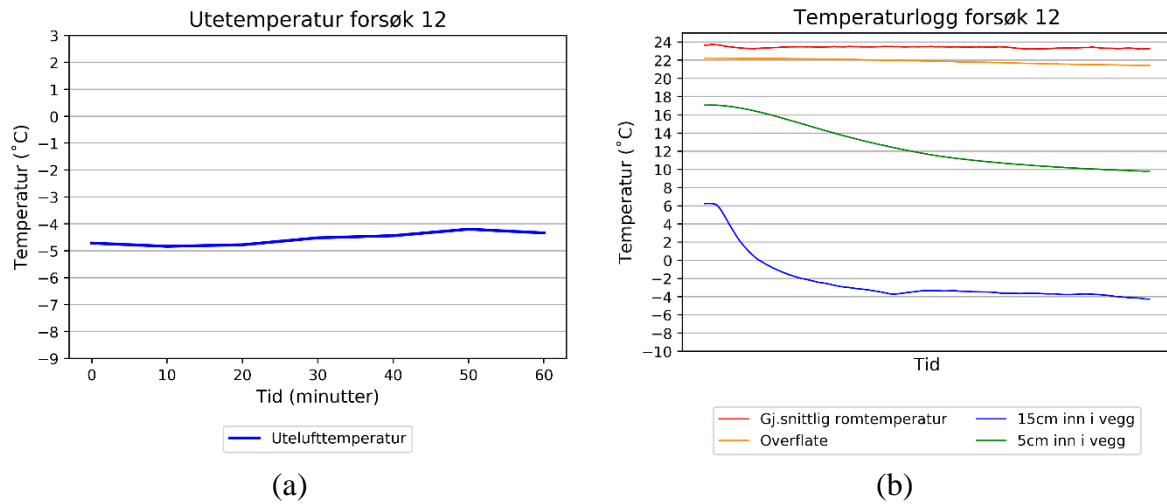
Termogram nederste del



Figur A. 33 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 11

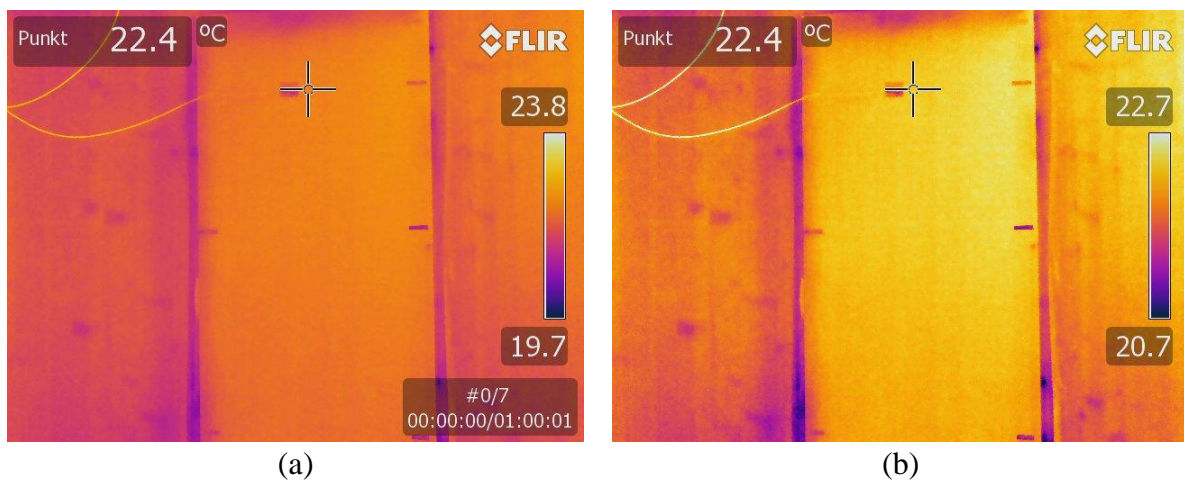
Forsøk 12, Ikke inntrukket dampsperre, 18mm, 75Pa

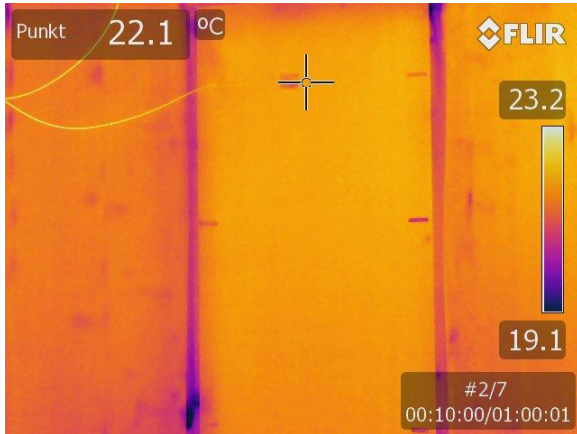
Temperaturutvikling



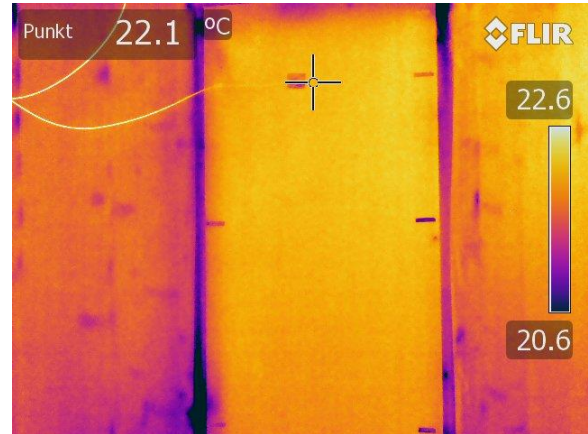
Figur A. 34 Temperaturlogg forsøk 12

Termogram øverste del

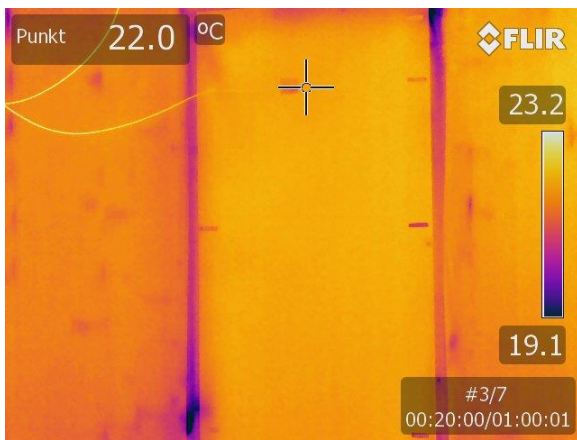




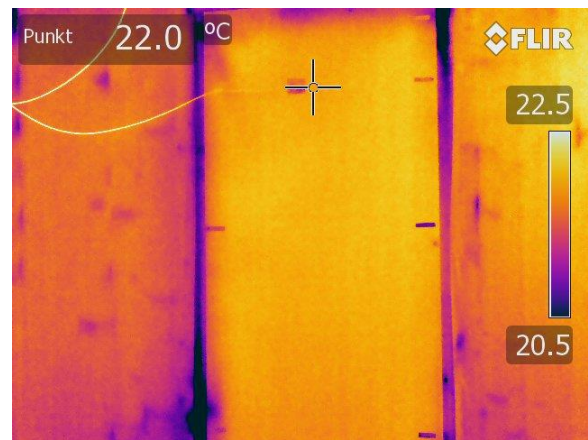
(c)



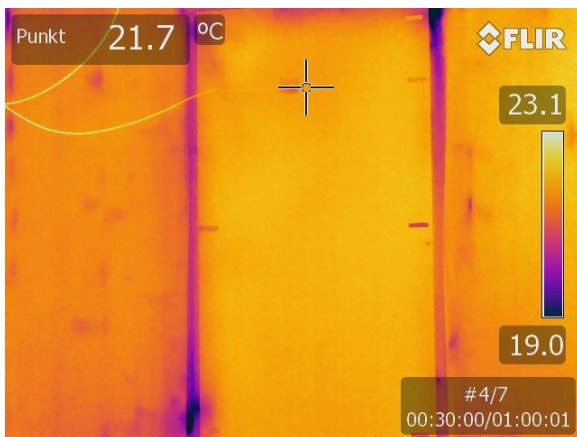
(d)



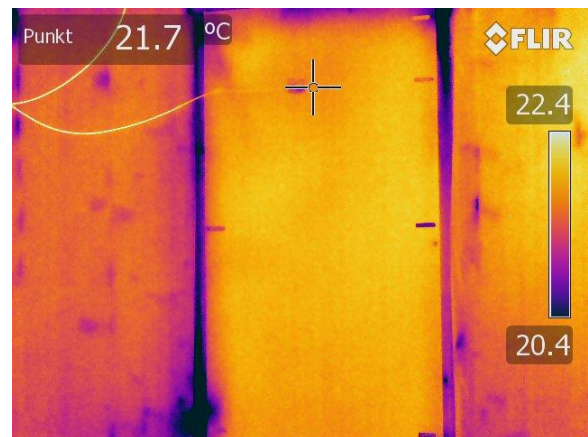
(e)



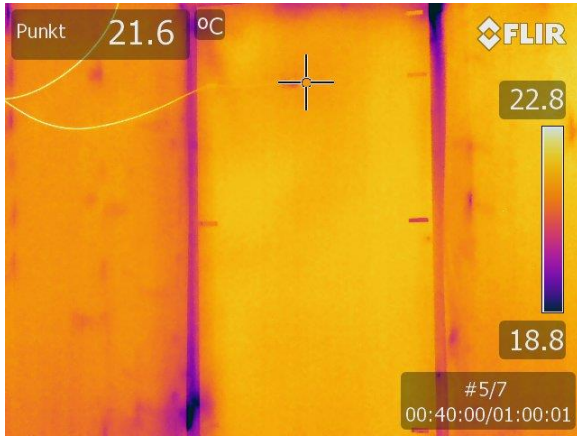
(f)



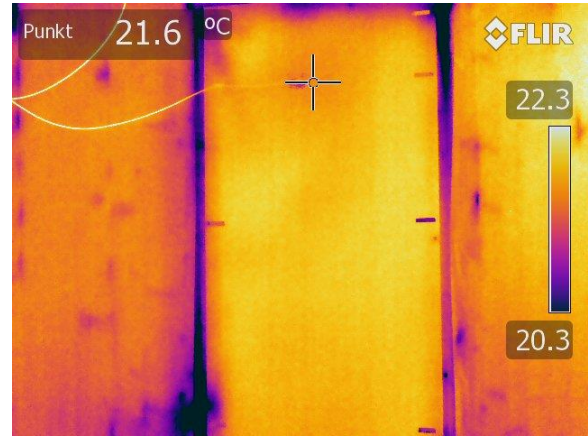
(g)



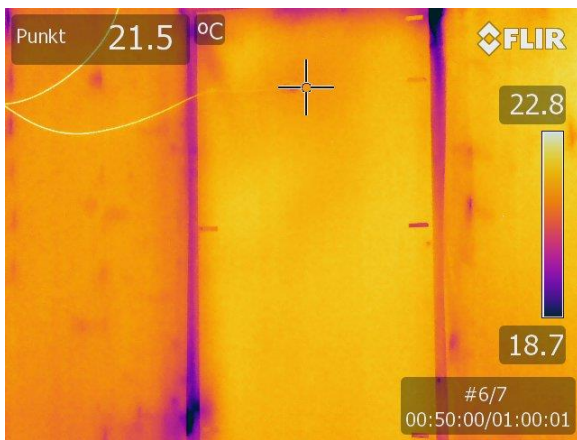
(h)



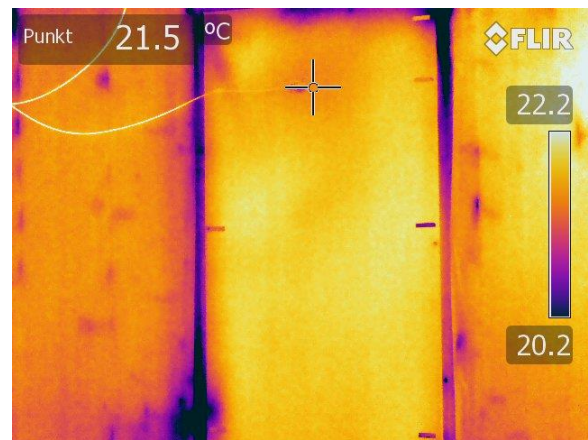
(i)



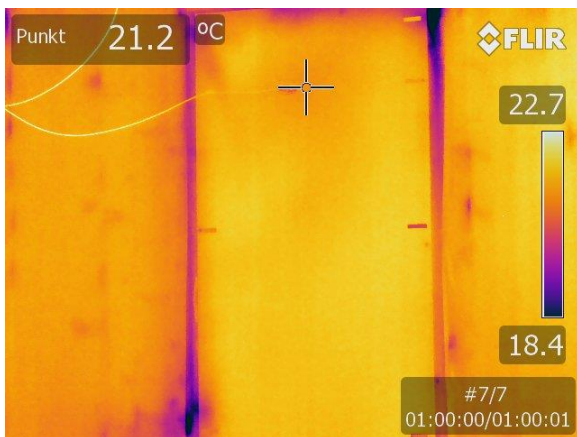
(j)



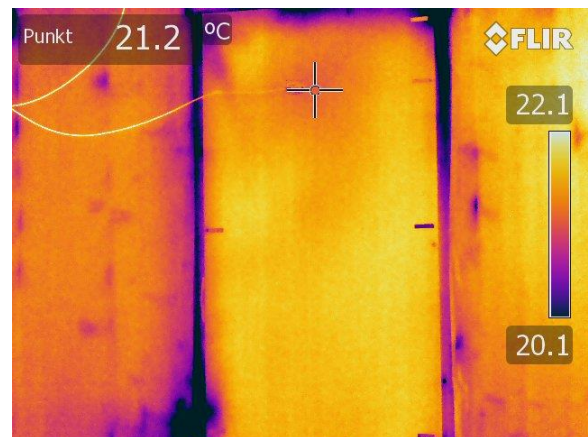
(k)



(l)



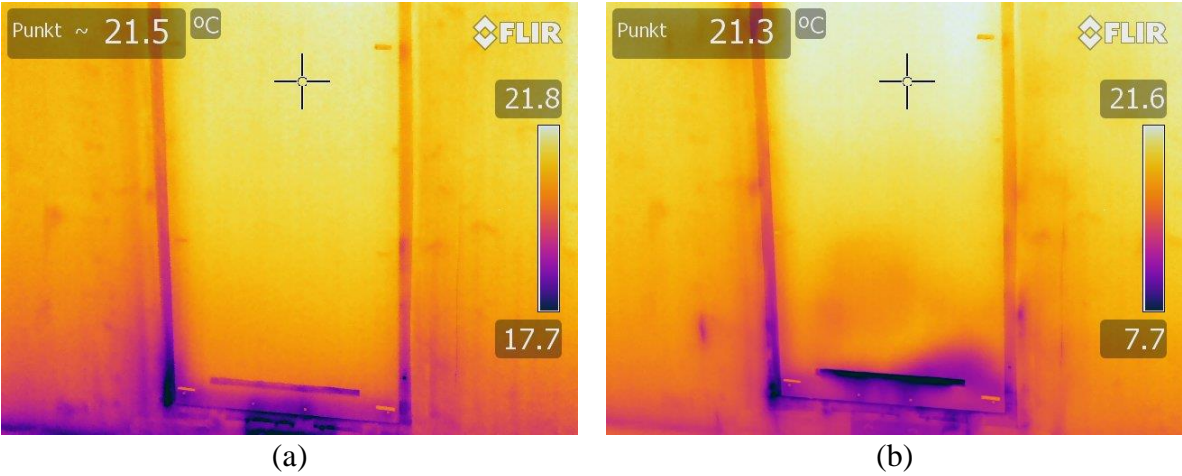
(m)



(n)

Figur A. 35 Termogram fra forsøk 12. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

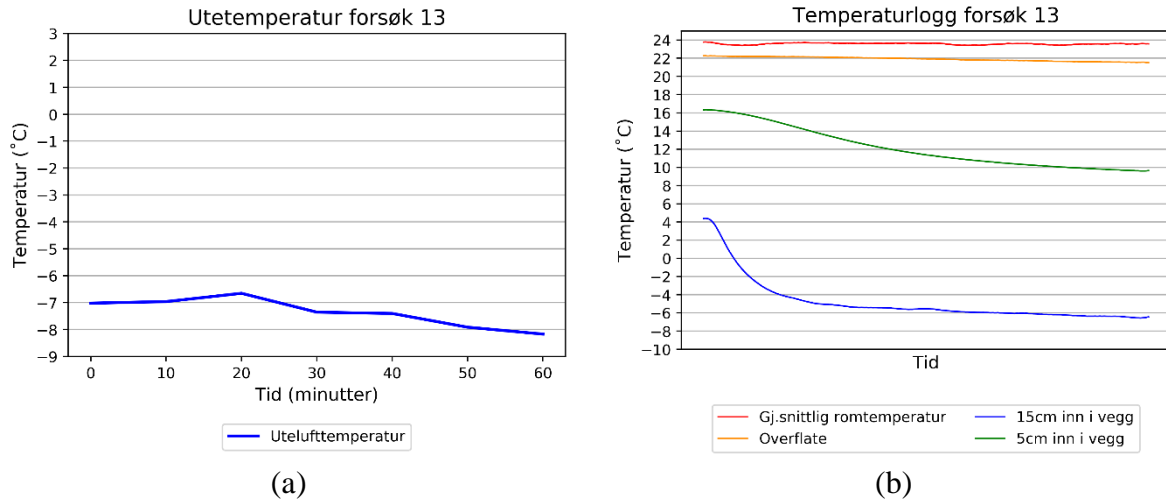
Termogram nederste del



Figur A. 36 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 12

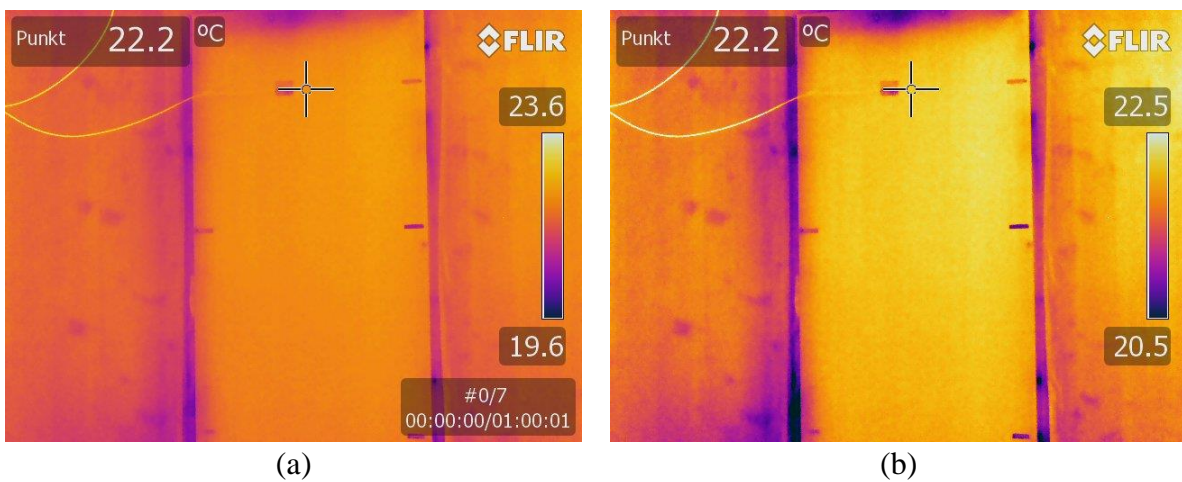
Forsøk 13, Ikke inntrukket dampsperre, 30mm, 50Pa

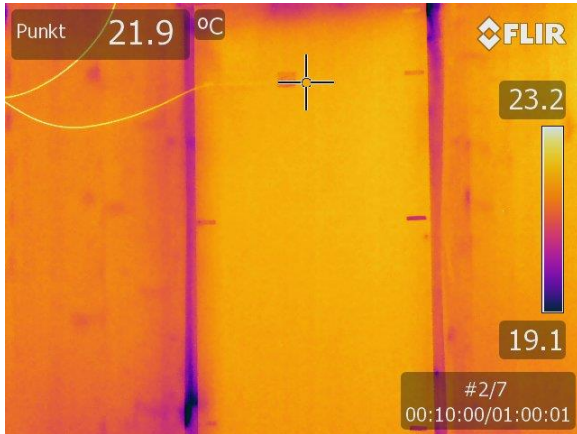
Temperaturutvikling



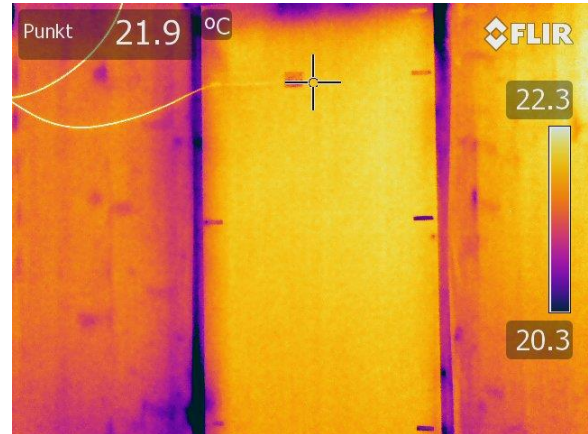
Figur A. 37 Temperaturlogg forsøk 13

Termogram øverste del

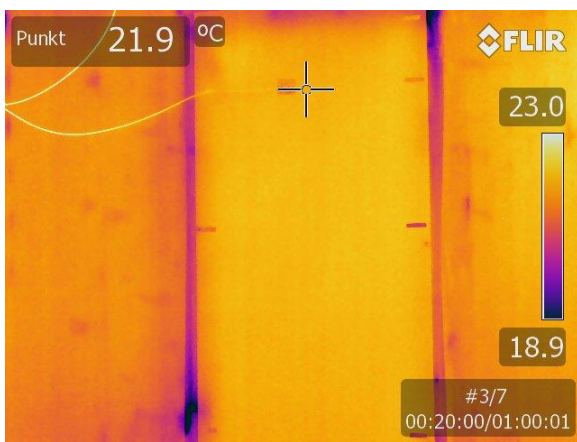




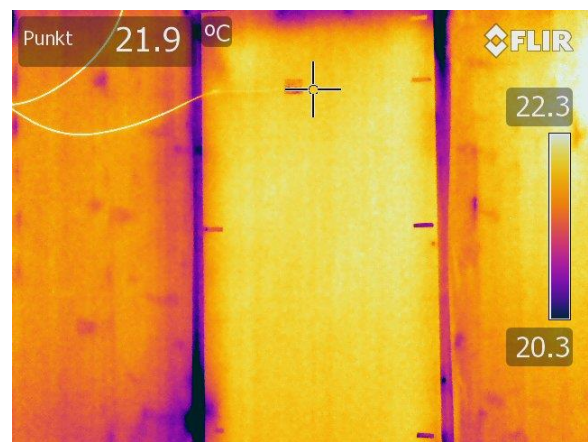
(c)



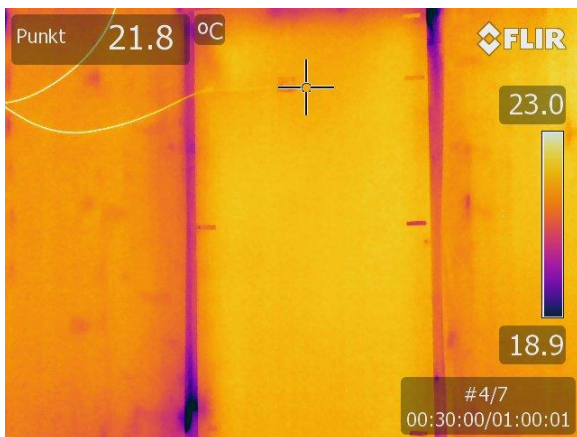
(d)



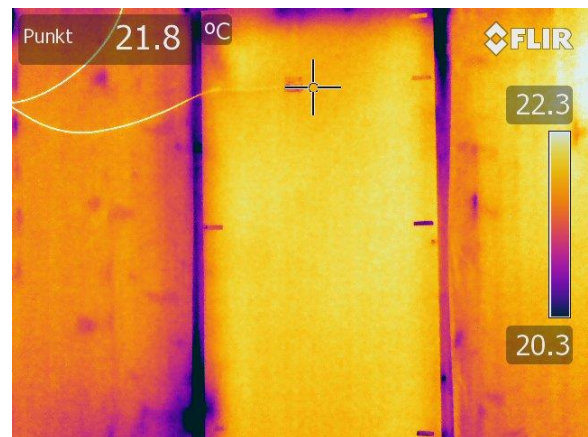
(e)



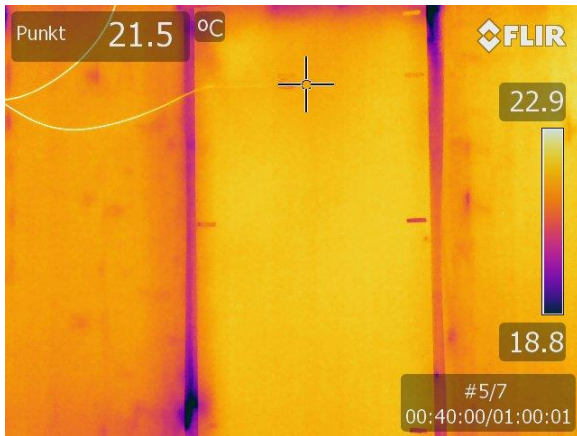
(f)



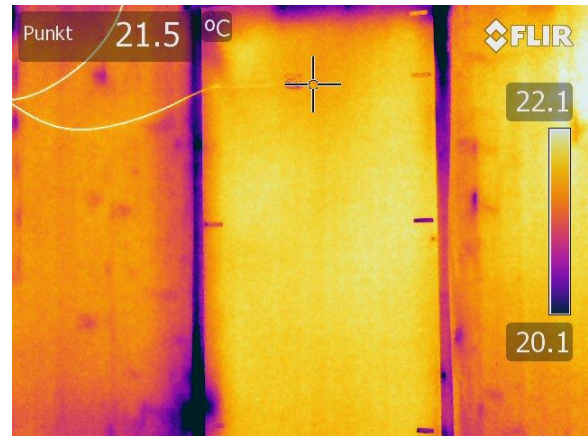
(g)



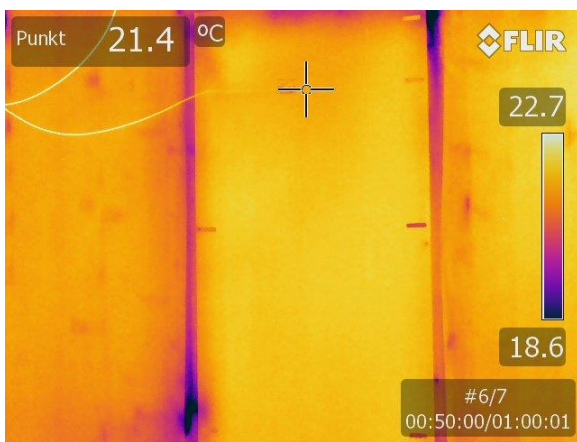
(h)



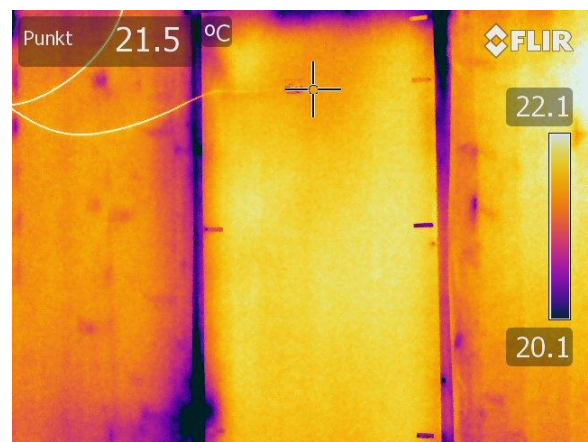
(i)



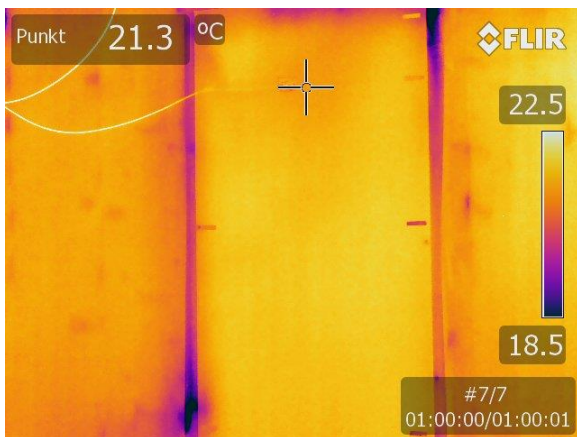
(j)



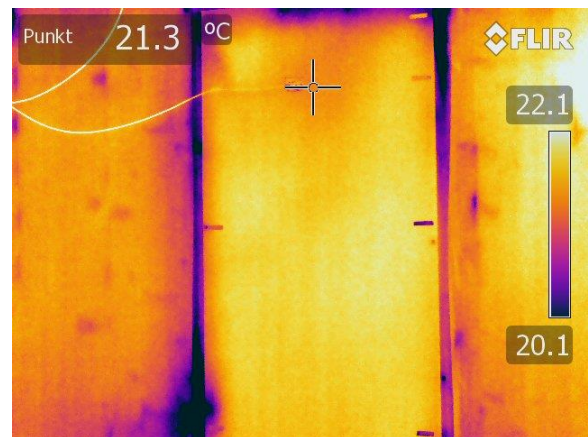
(k)



(l)



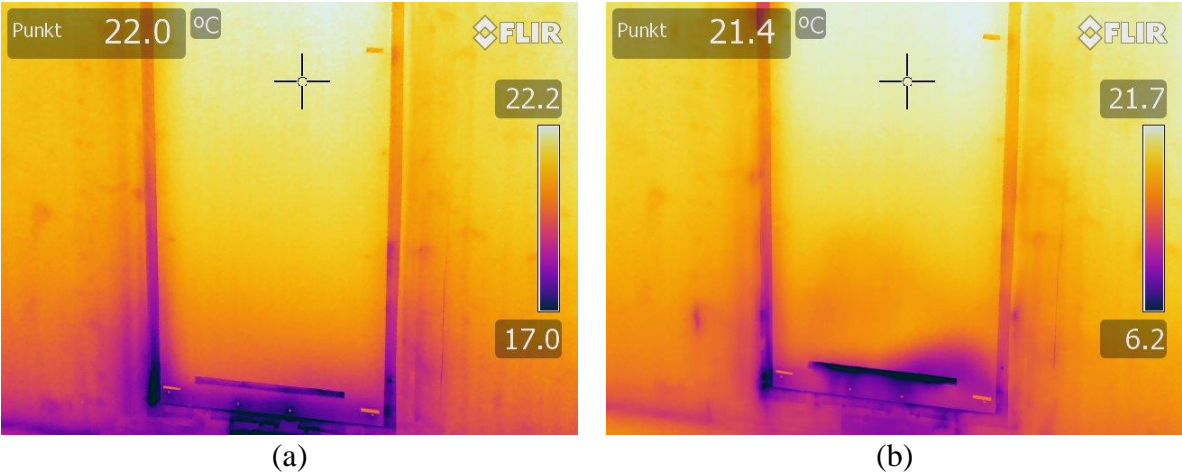
(m)



(n)

Figur A. 38 Termogram fra forsøk 13. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

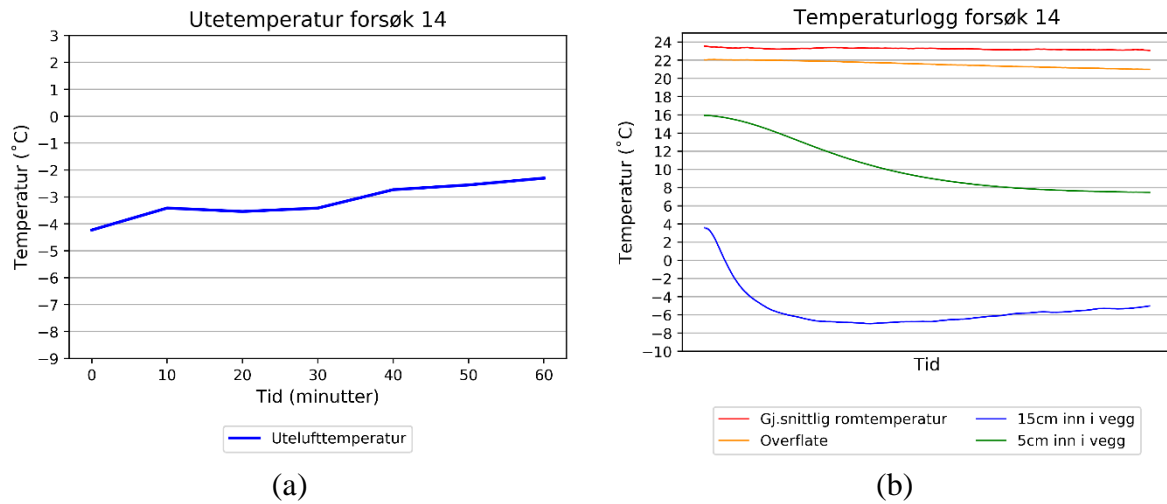
Termogram nederste del



Figur A. 39 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 13

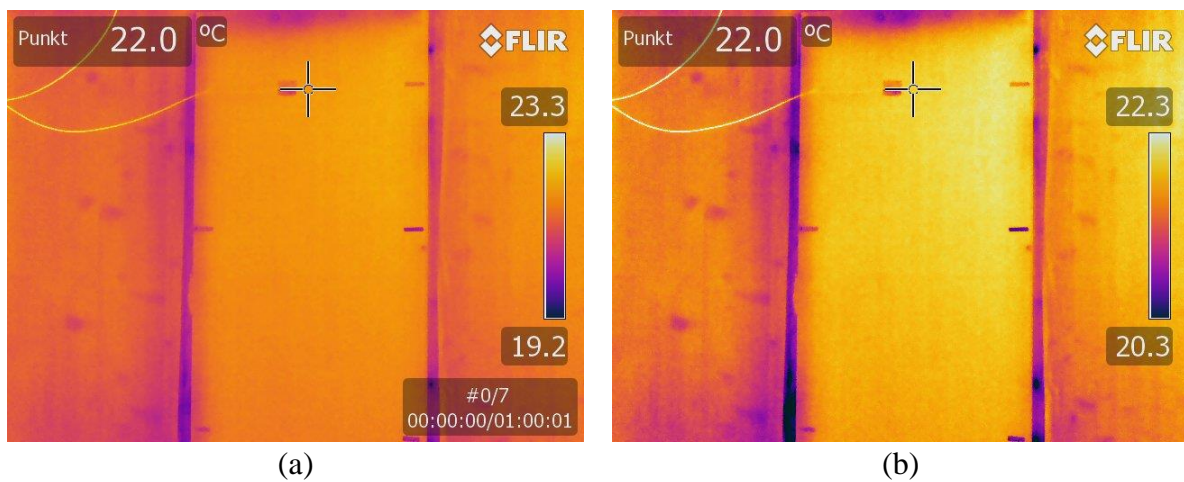
Forsøk 14, Ikke inntrukket dampsperre, 30mm, 75Pa

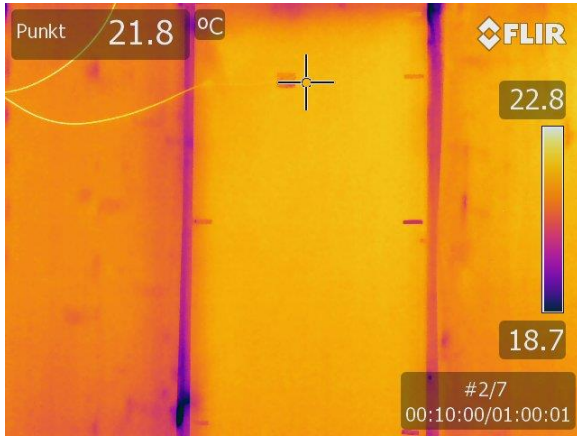
Temperaturutvikling



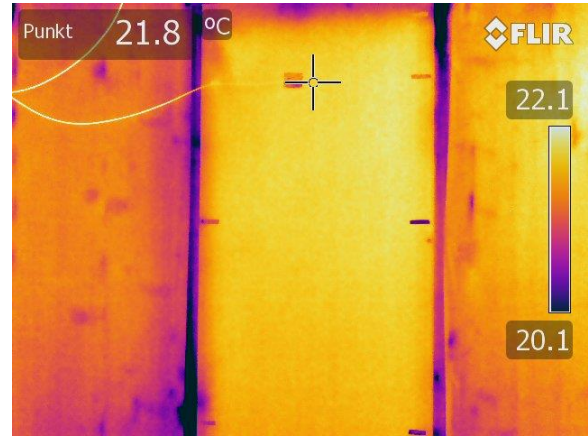
Figur A. 40 Temperaturlogg forsøk 14

Termogram øverste del

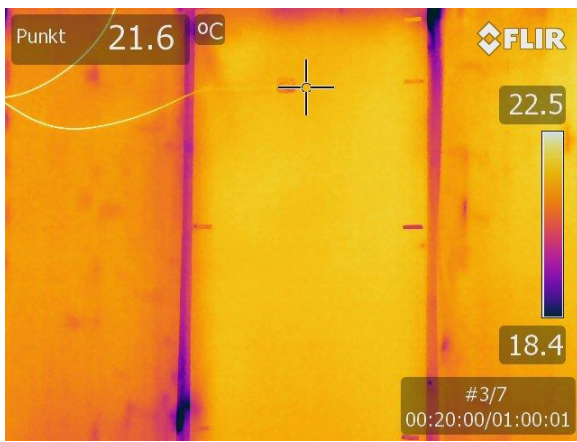




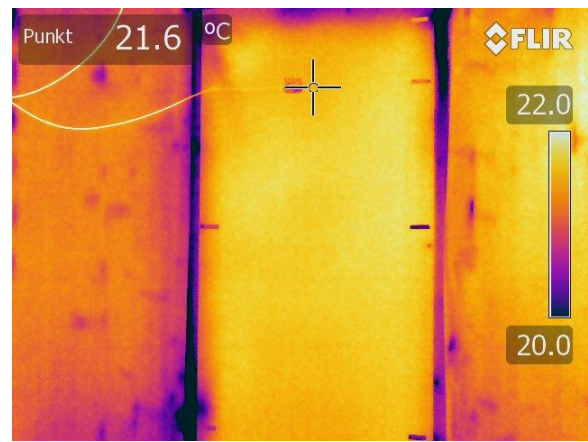
(c)



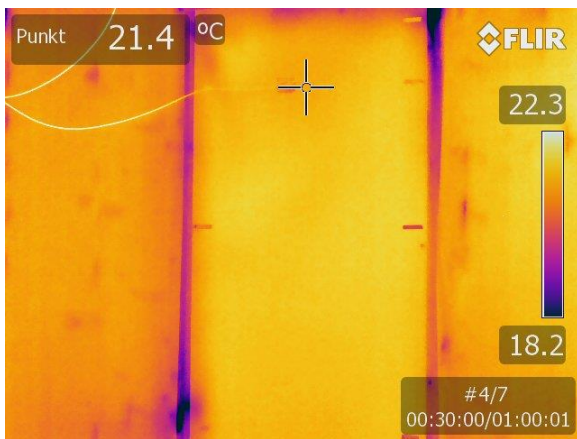
(d)



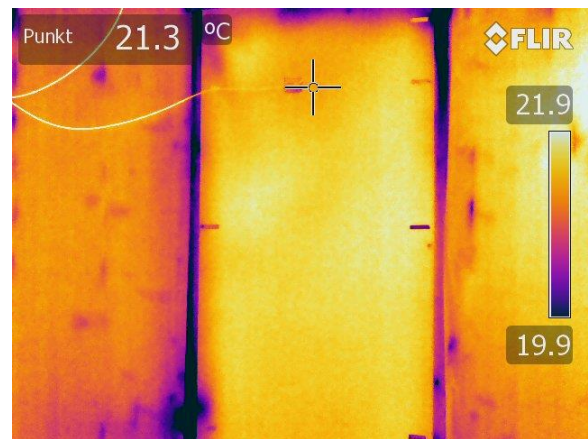
(e)



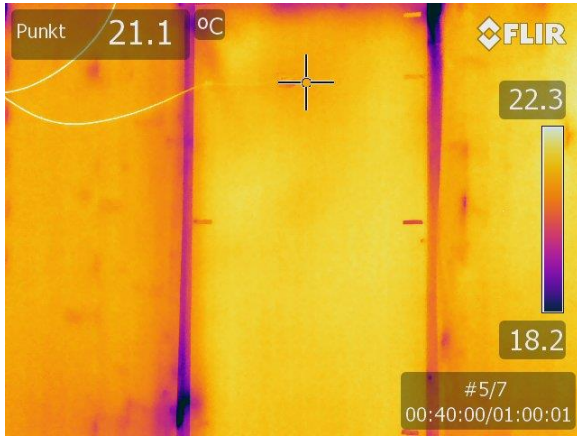
(f)



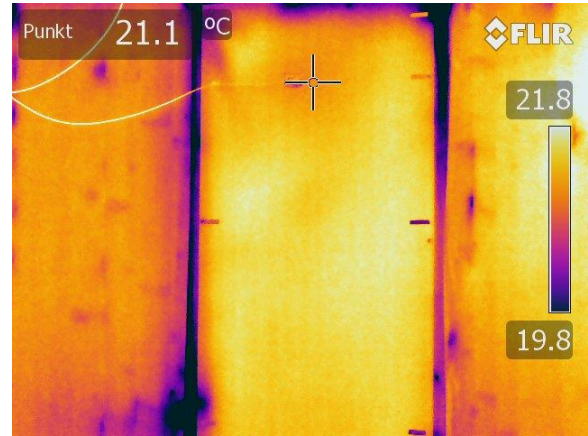
(g)



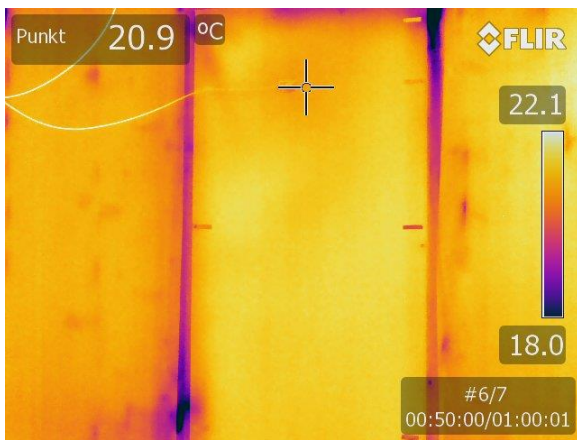
(h)



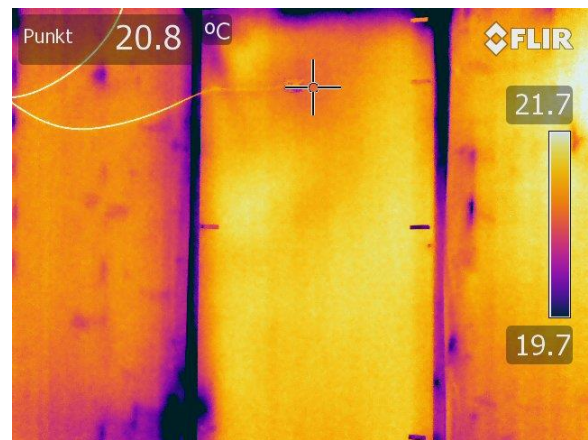
(i)



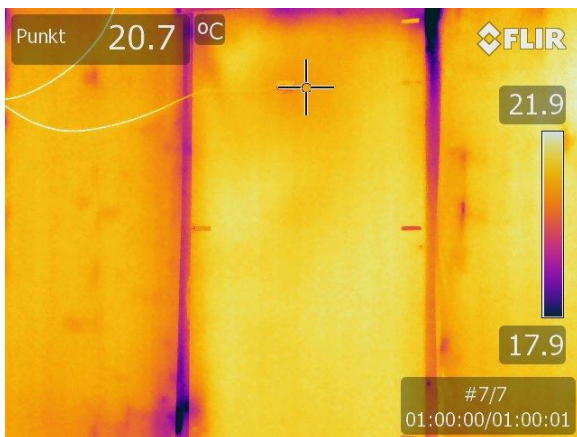
(j)



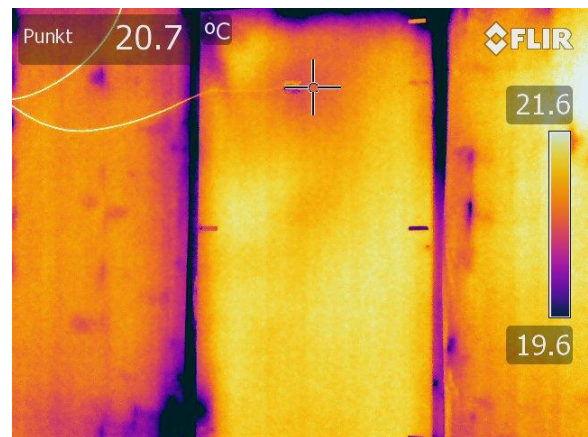
(k)



(l)



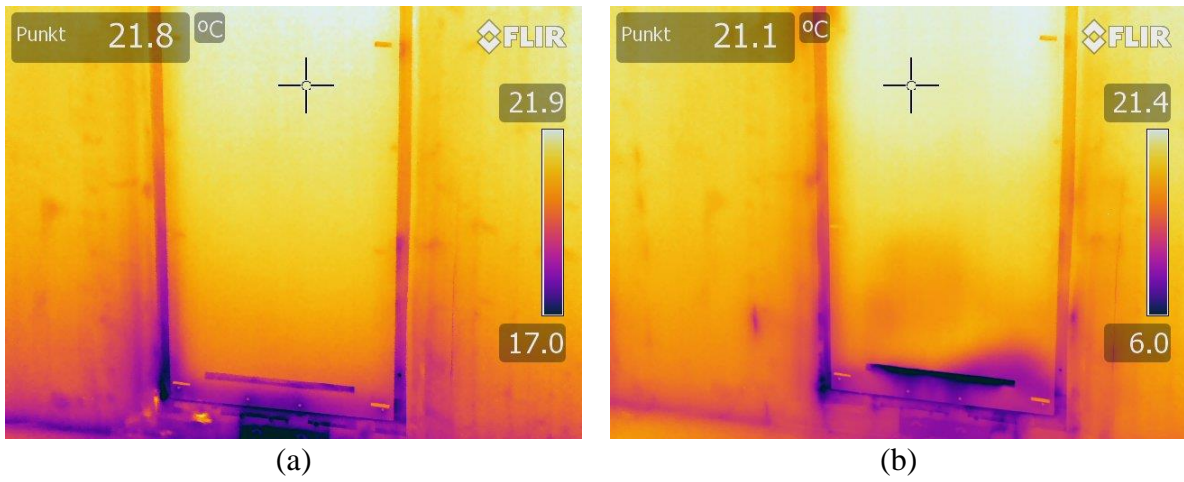
(m)



(n)

Figur A. 41 Termogram fra forsøk 14. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

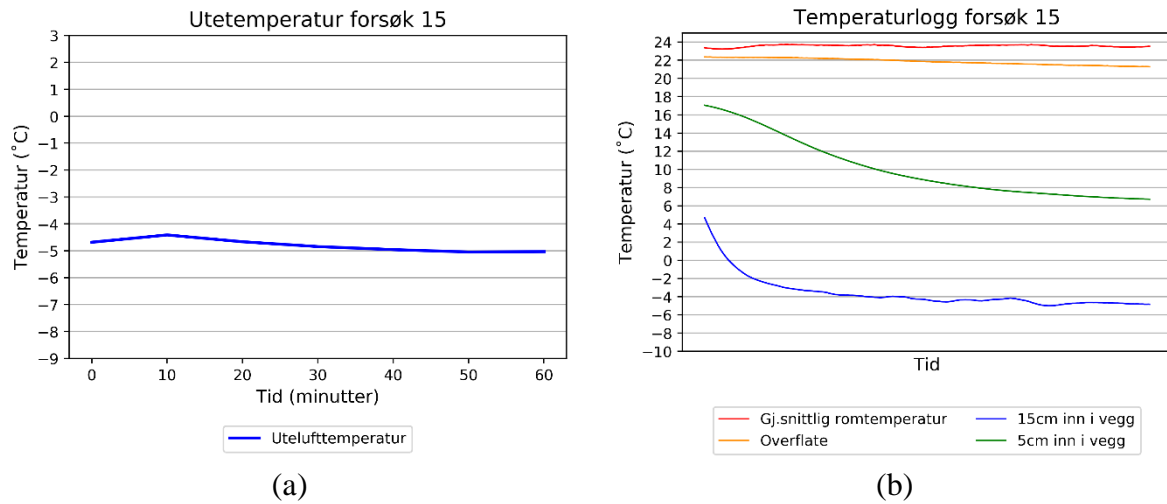
Termogram nederste del



Figur A. 42 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 14

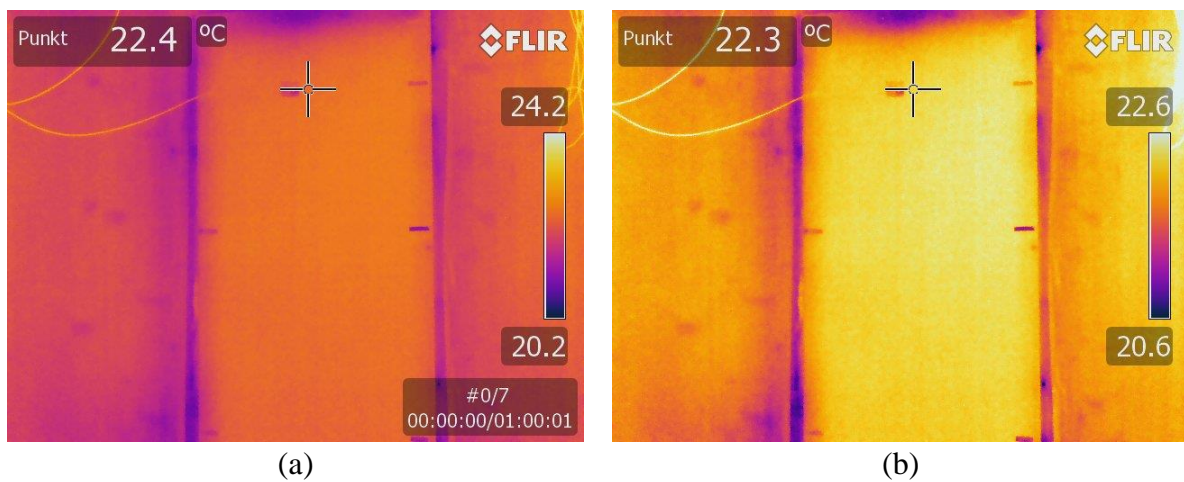
Forsøk 15, Ikke inntrukket dampsperre, 75mm, 50Pa

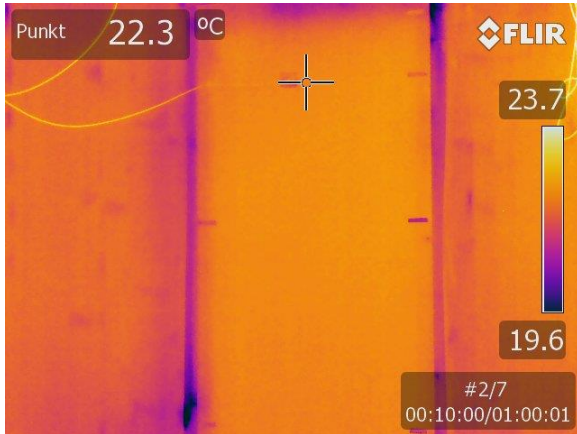
Temperaturutvikling



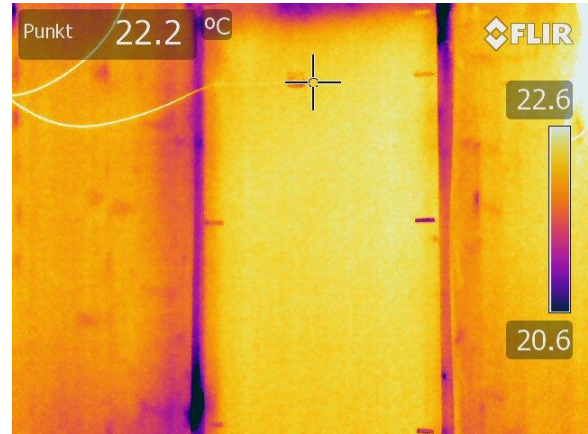
Figur A. 43 Temperaturlogg forsøk 15

Termogram øverste del

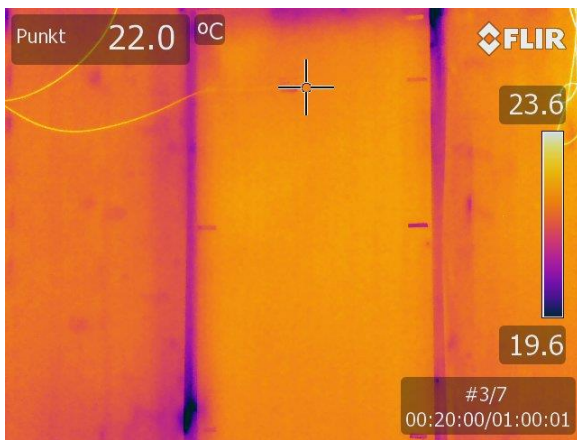




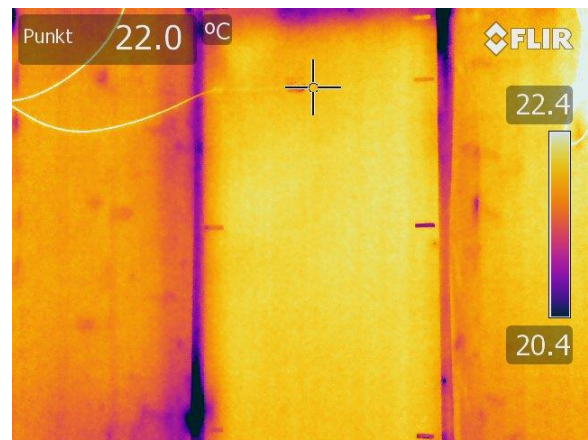
(c)



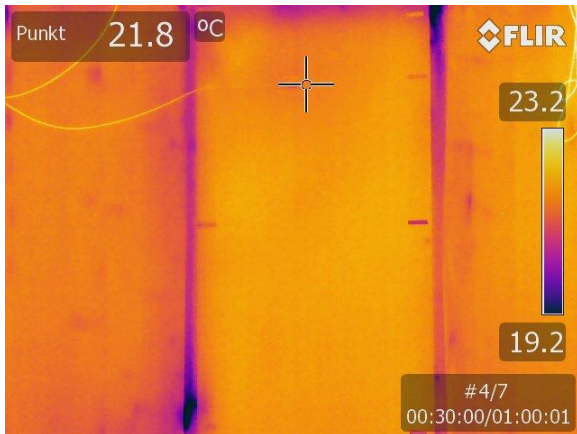
(d)



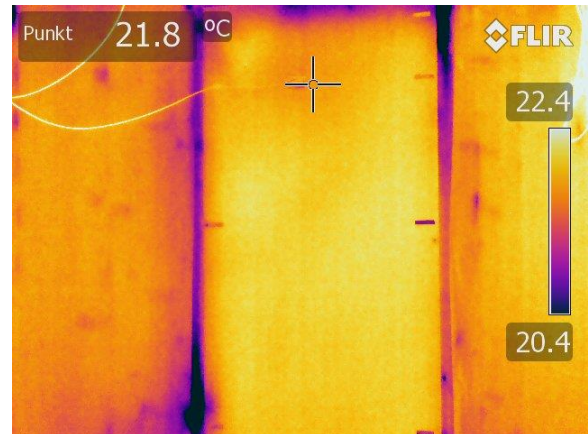
(e)



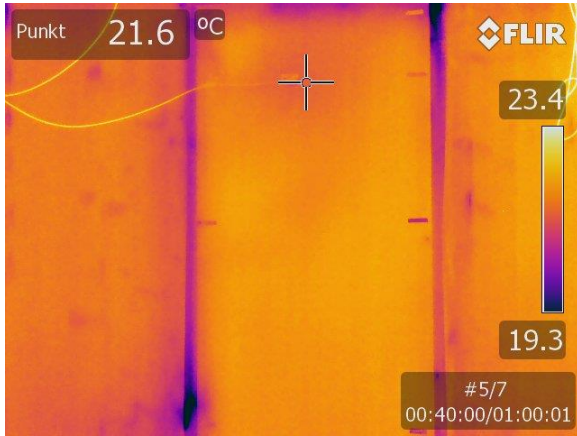
(f)



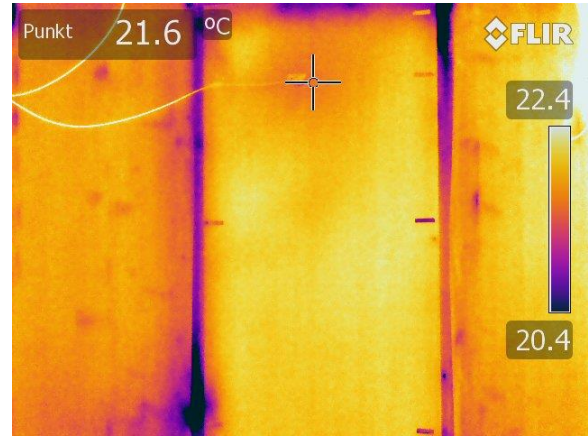
(g)



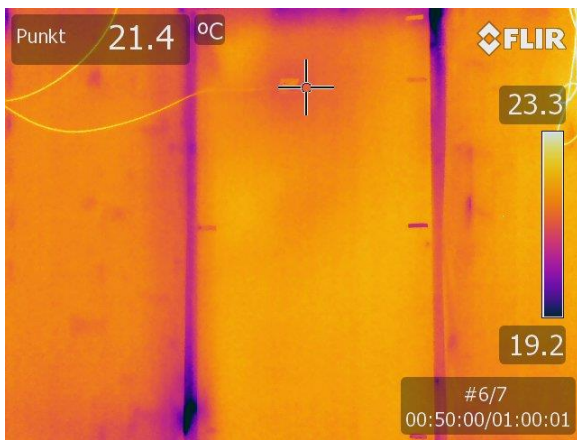
(h)



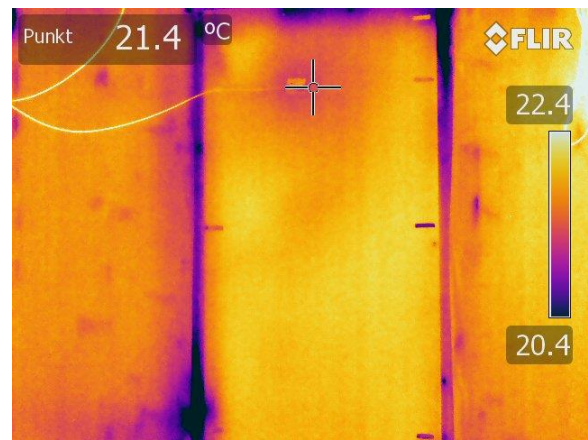
(i)



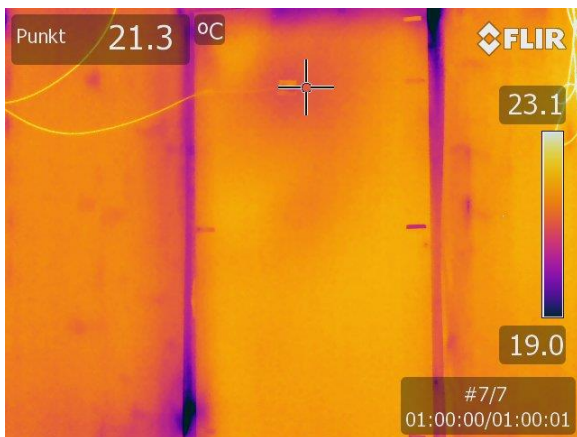
(j)



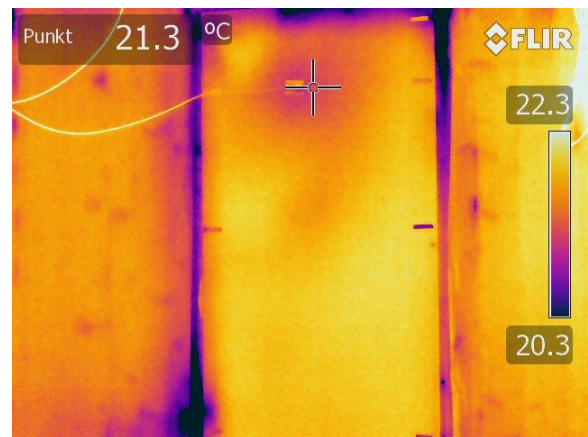
(k)



(l)



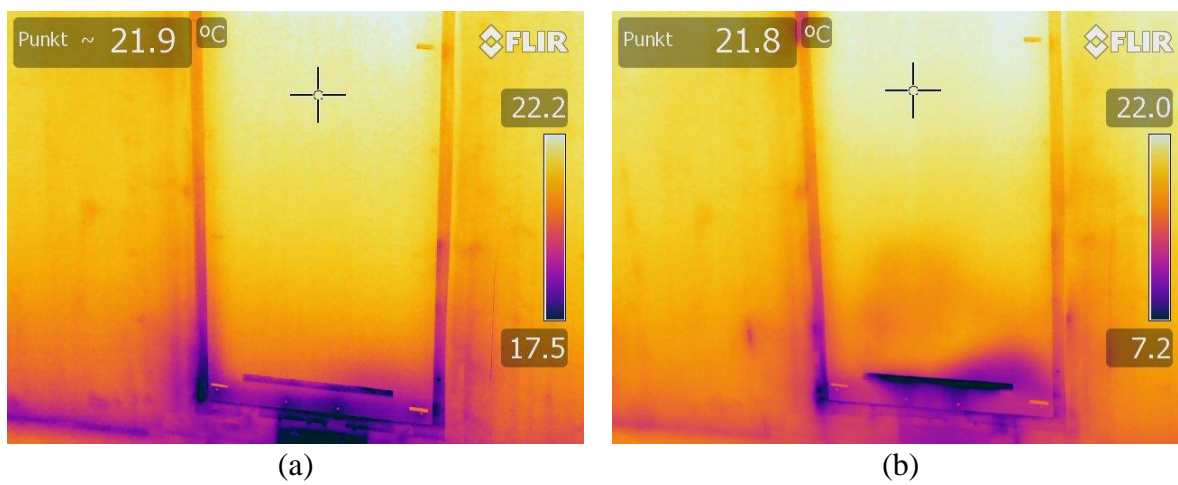
(m)



(n)

Figur A. 44 Termogram fra forsøk 15. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

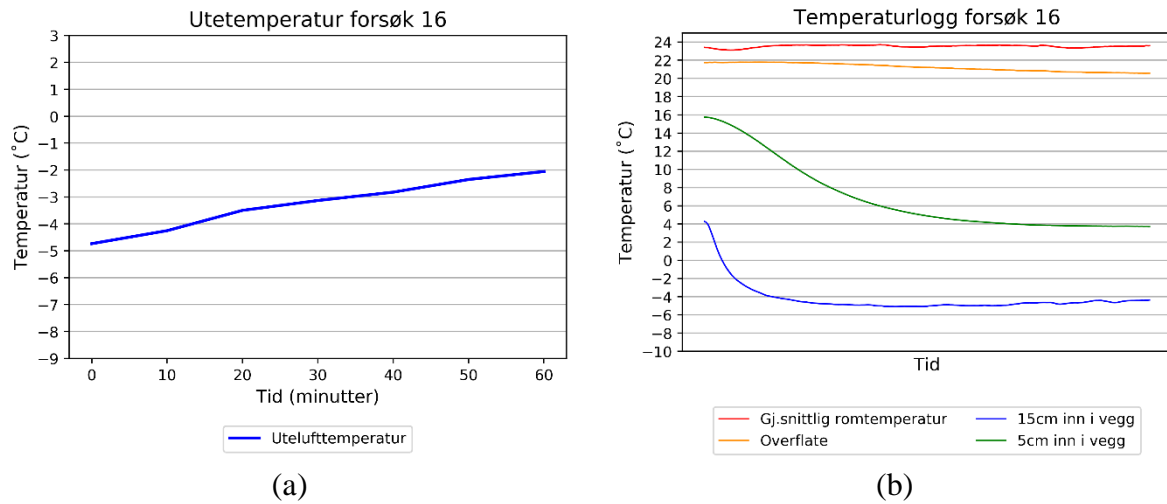
Termogram nederste del



Figur A. 45 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 15

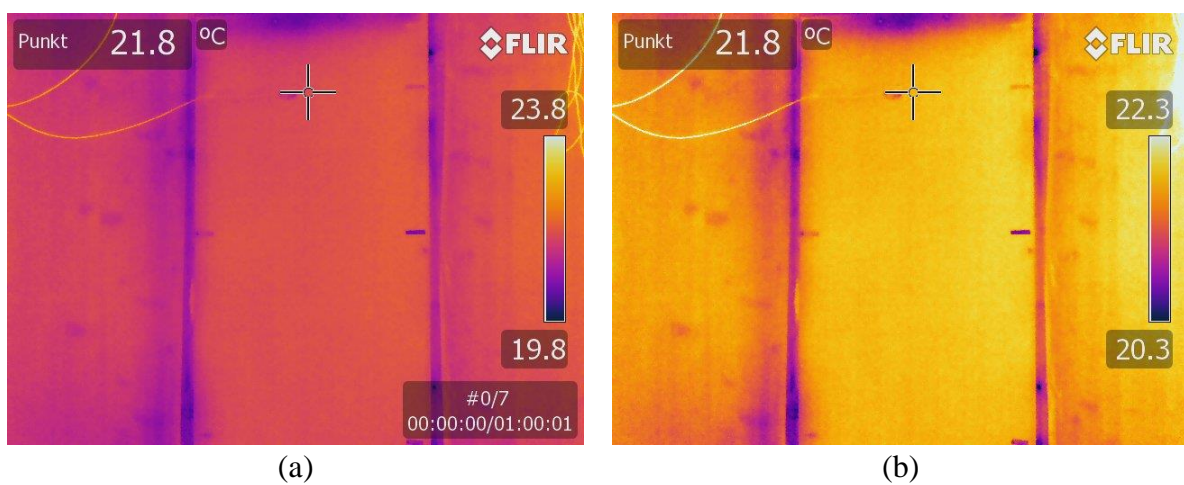
Forsøk 16, Ikke inntrukket dampsperre, 75mm, 75Pa

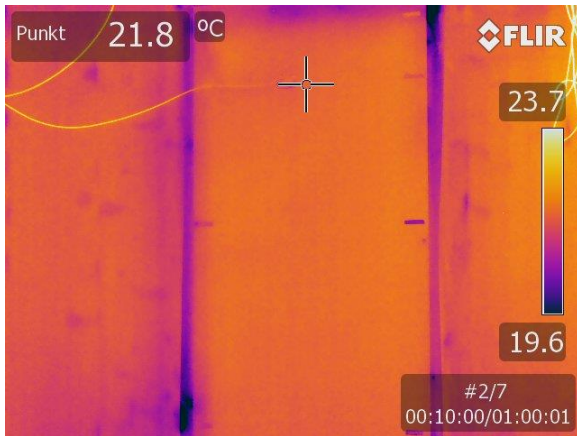
Temperaturutvikling



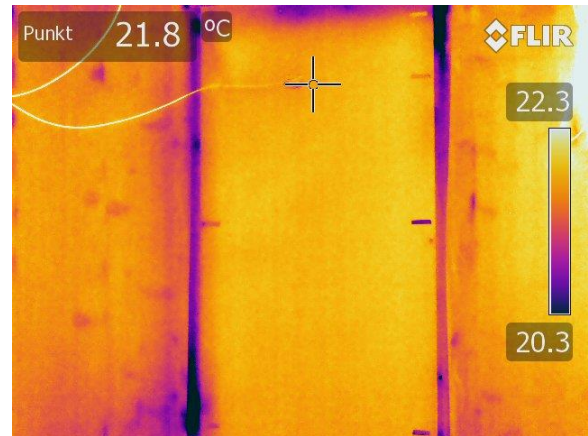
Figur A. 46 Temperaturlogg forsøk 16

Termogram øverste del

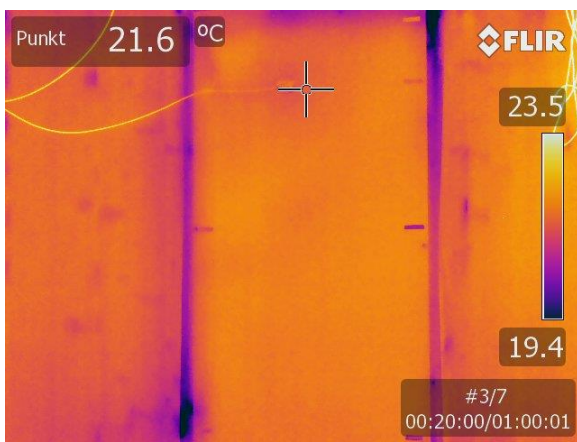




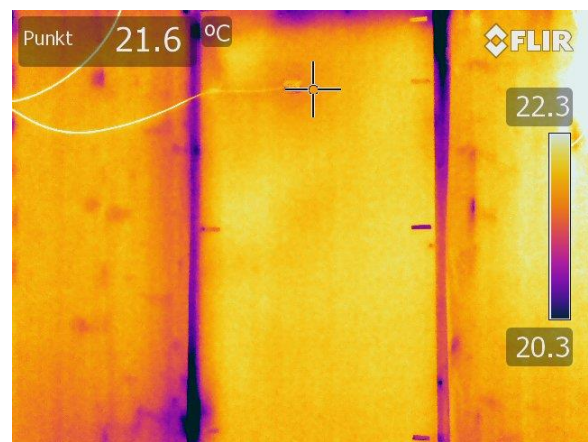
(c)



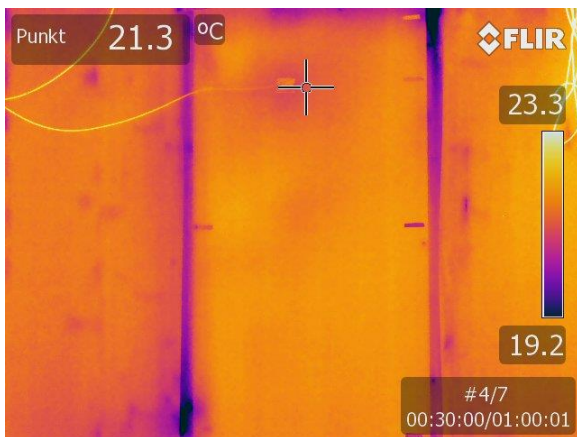
(d)



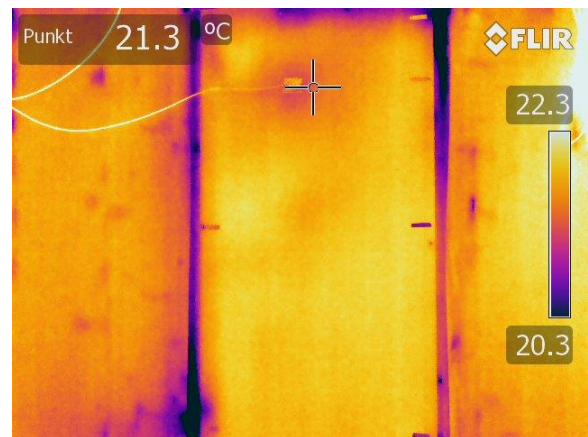
(e)



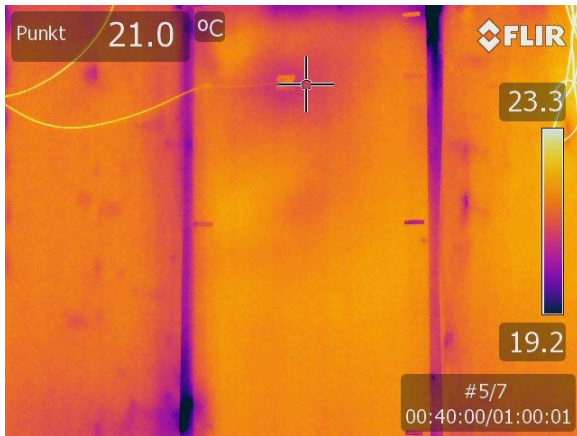
(f)



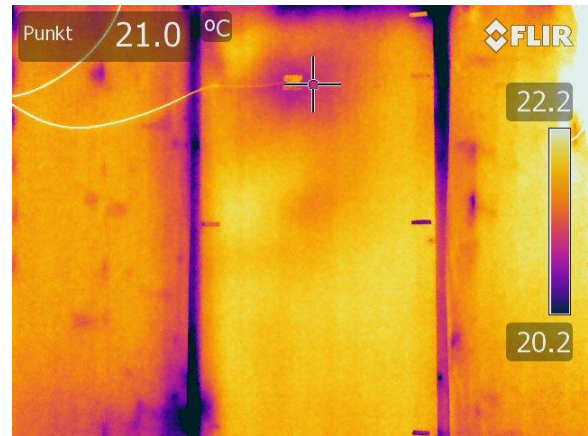
(g)



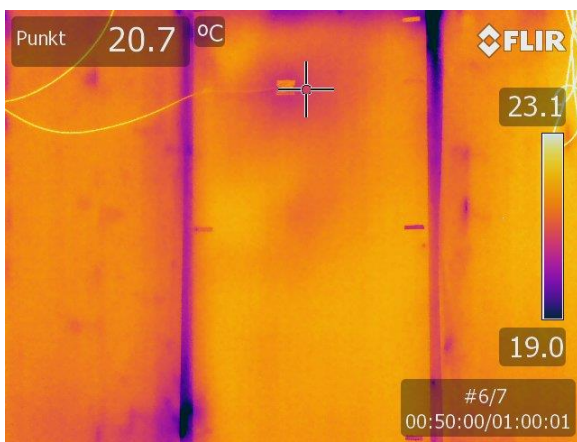
(h)



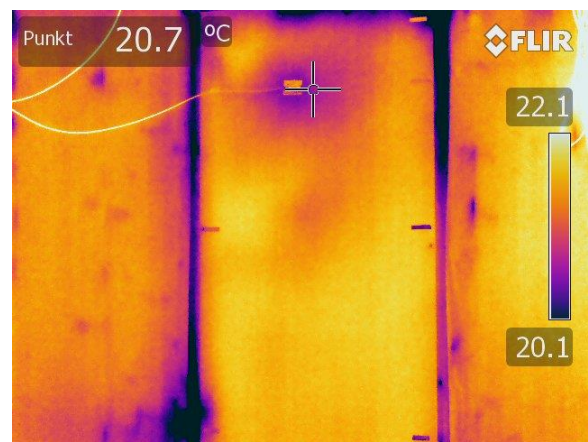
(i)



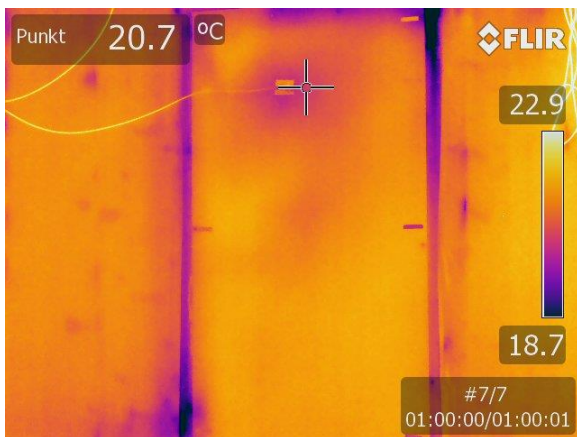
(j)



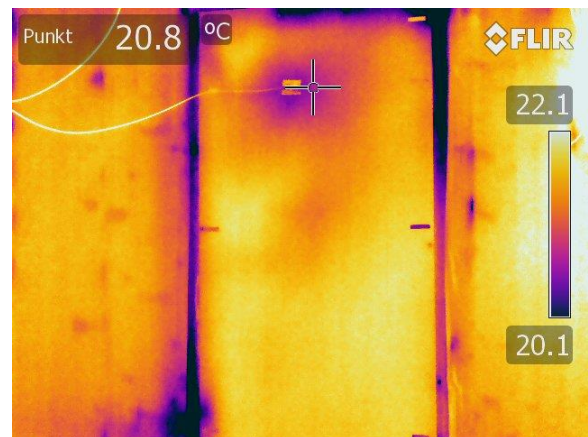
(k)



(l)



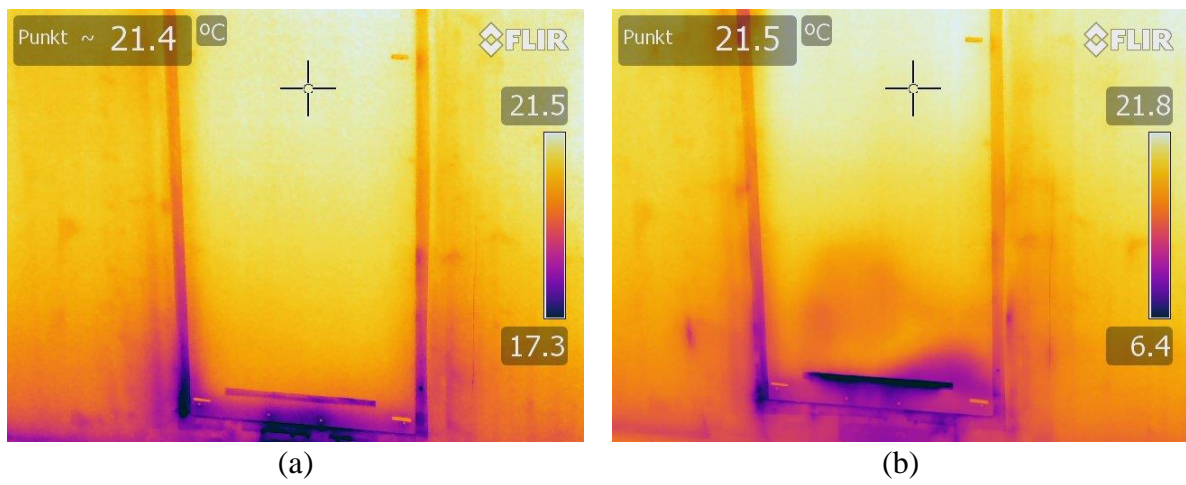
(m)



(n)

Figur A. 47 Termogram fra forsøk 16. Autojusterte med tidsintervall til venstre. Manuelt justerte termogram til høyre

Termogram nederste del



Figur A. 48 Termogram nedre del a) før og b) etter forsøk 16

Vedlegg 2: Håndberegninger

Volumstrøm gjennom kun isolasjon

$R = -A * \frac{k}{\eta} * \frac{dP_a}{dx} [m^3/s]$			k	3,70E-09
			P50	50,00
Volumstrøm gjennom isolasjon			P75	75,00
			η	1,73E-05
	R50	R75	d	1,73
	m3/h	m3/h	Ainn	0,11
inntrukket	-2,45	-3,68	Auinn	0,1375
ikke inntrukket	-3,07	-4,60	c	0,85

Figur A. 49 Håndberegnet maksimal volumstrøm gjennom isolasjon

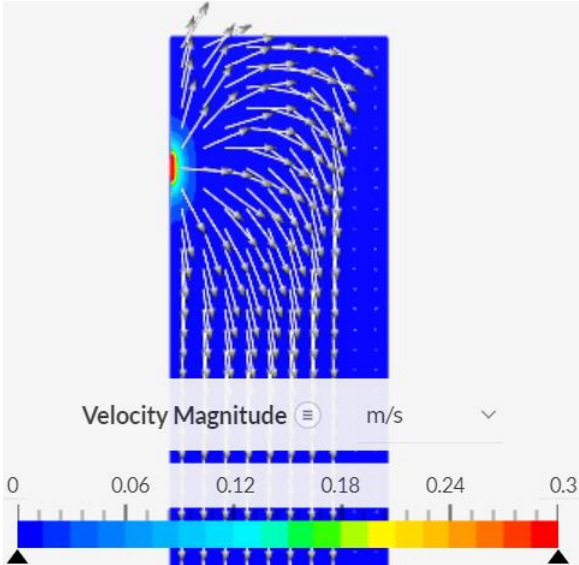
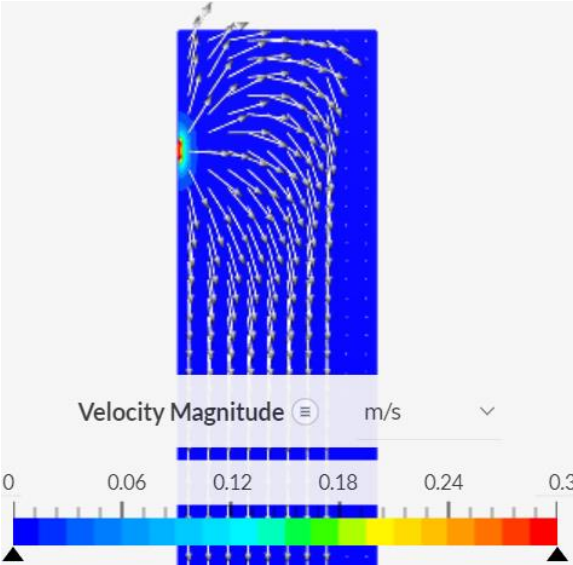
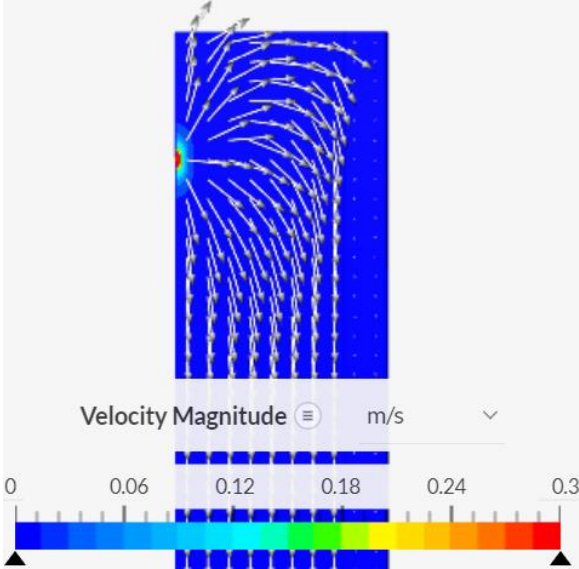
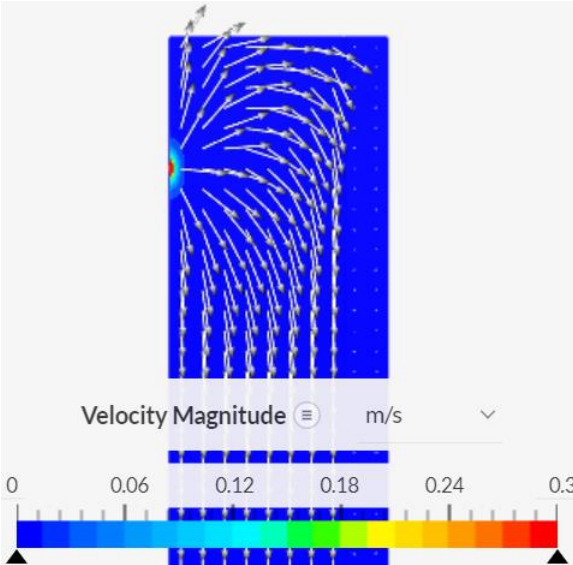
Hullbegrensning for volumstrøm

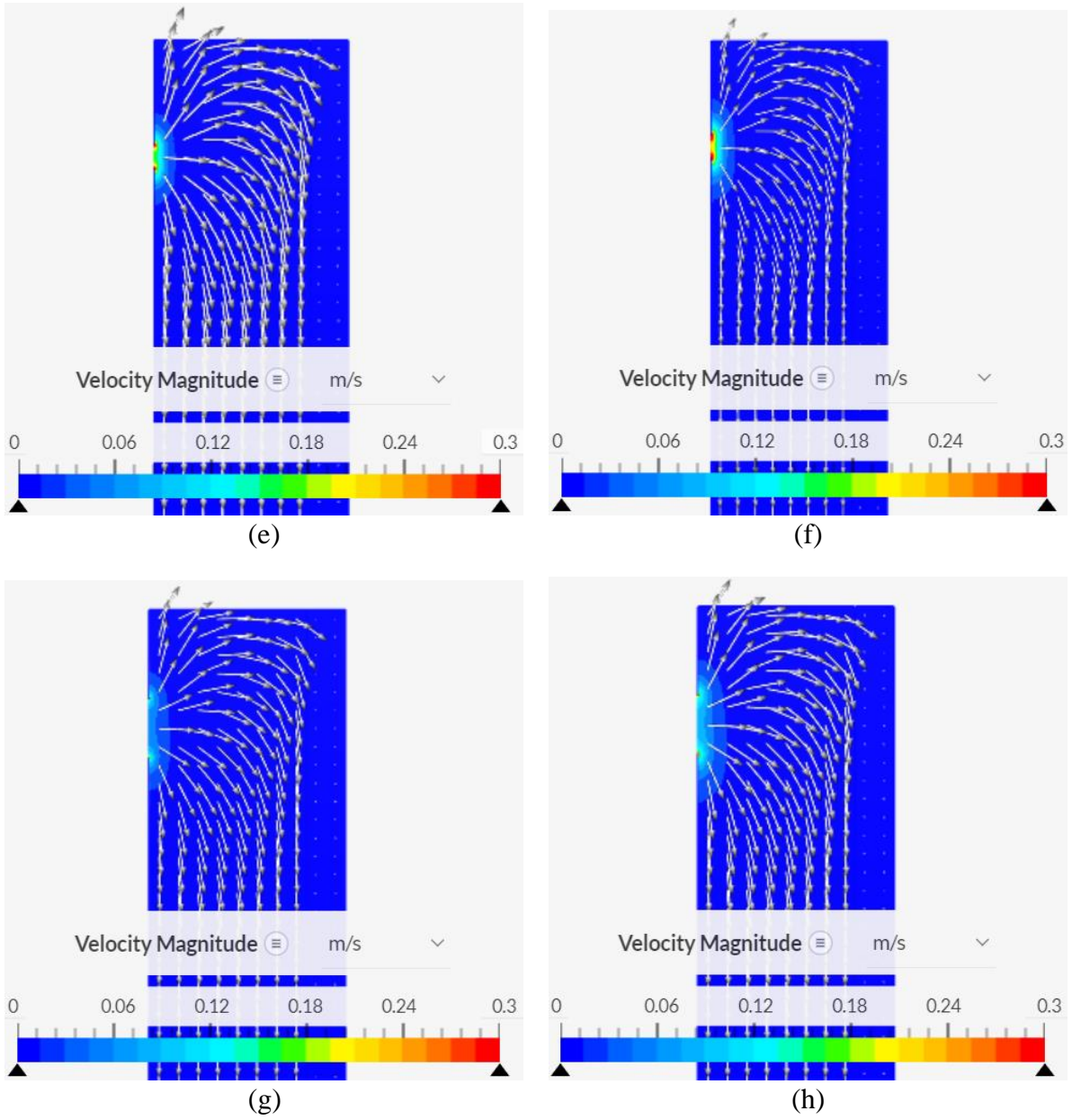
$R = c * A * \sqrt{\Delta P} [m^3/s]$			k	3,70E-09		
			P50	50,00		
Hullbegrensning			P75	75,00		
			η	1,73E-05		
	R50	R75	d	1,73		
Hulldiameter	m3/h	m3/h	Ainn	0,11		
0,008	1,09	1,33	Auinn	0,1375		
0,018	5,51	6,74	c	0,85		
0,03	15,29	18,73	Areal av hull			
0,075	95,59	117,08			5,03E-05	mm2
					2,54E-04	mm3
					7,07E-04	mm4
			4,42E-03	mm5		

Figur A. 50 Håndberegnet maksimal volumstrøm gjennom hull

Vedlegg 3: Simulering

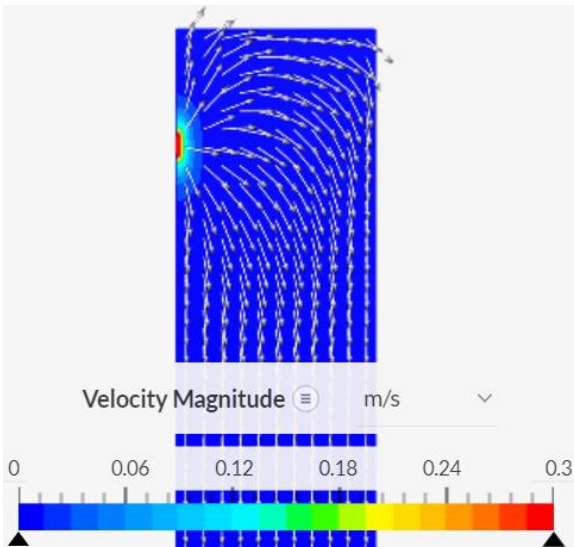
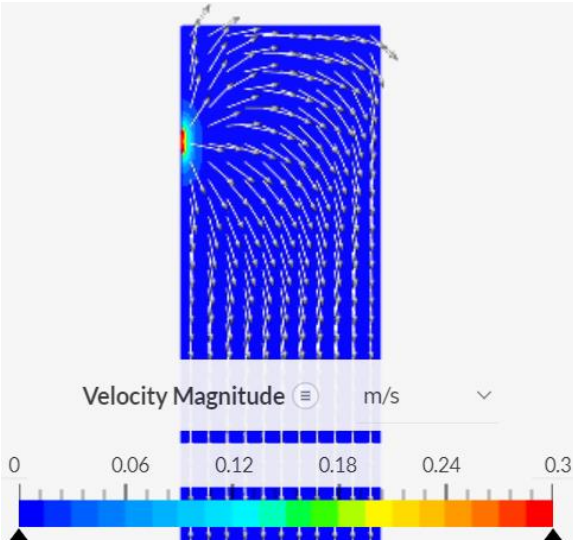
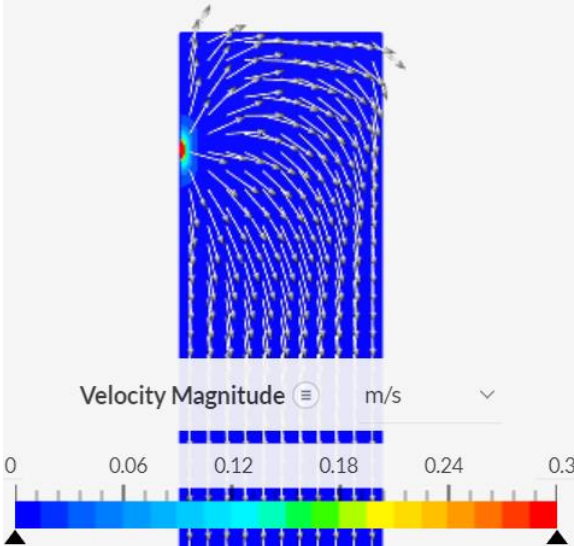
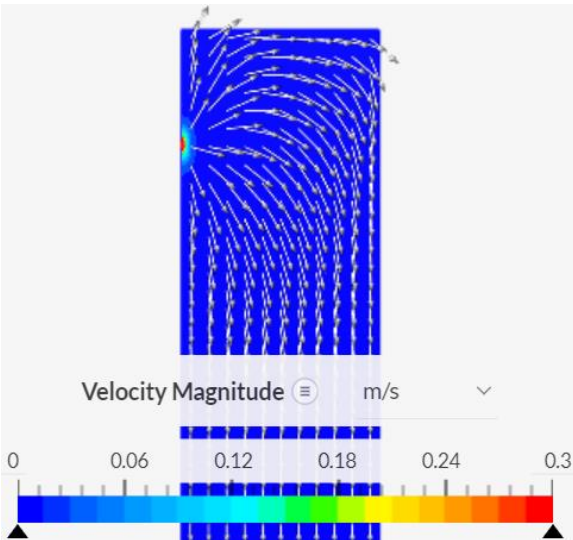
Simuleringer med inntrukket dampsperre

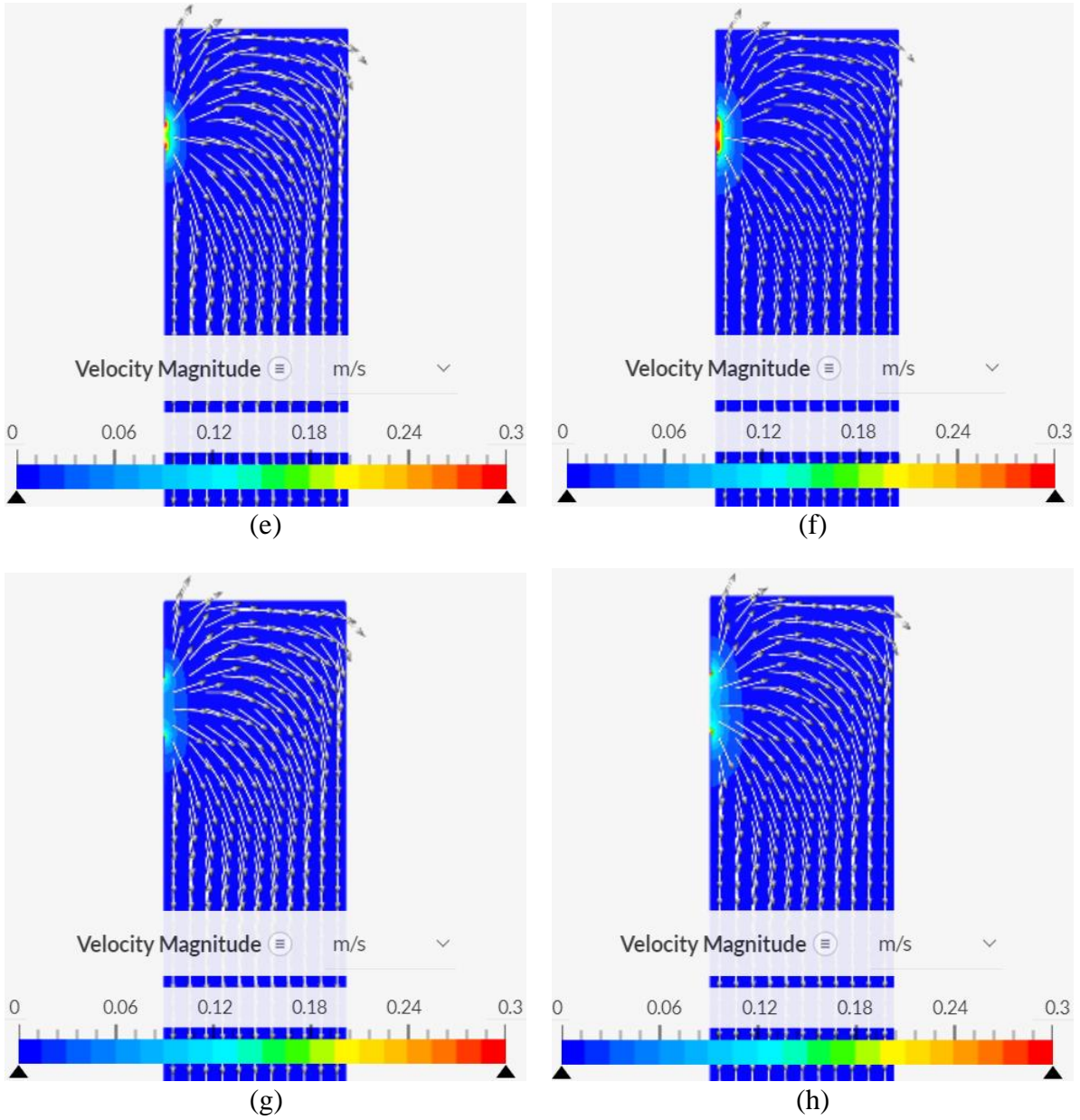




Figur A. 52 Simulering med inntrukket dampsperre. Til venstre 50Pa, til høyre 75Pa. a) og b) 8mm, c) og d) 18mm, e) og f) 30mm, g) og h) 75mm

Simuleringer uten inntrukket dampsperre





Figur A. 53 Simulering uten inntrukket dampspærre. Til venstre 50Pa, til høyre 75Pa. a) og b) 8mm, c) og d) 18mm, e) og f) 30mm, g) og h) 75mm

Vedlegg 4: Tetthetsmålinger

Under finnes alle gjennomførte tetthetsmålinger i rapportform.

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 8mm teipet, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	97 (+/- 0.9 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	1.71
q _{F50} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	3.83
q _{E50} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0029 (+/- 0.9 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001168
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

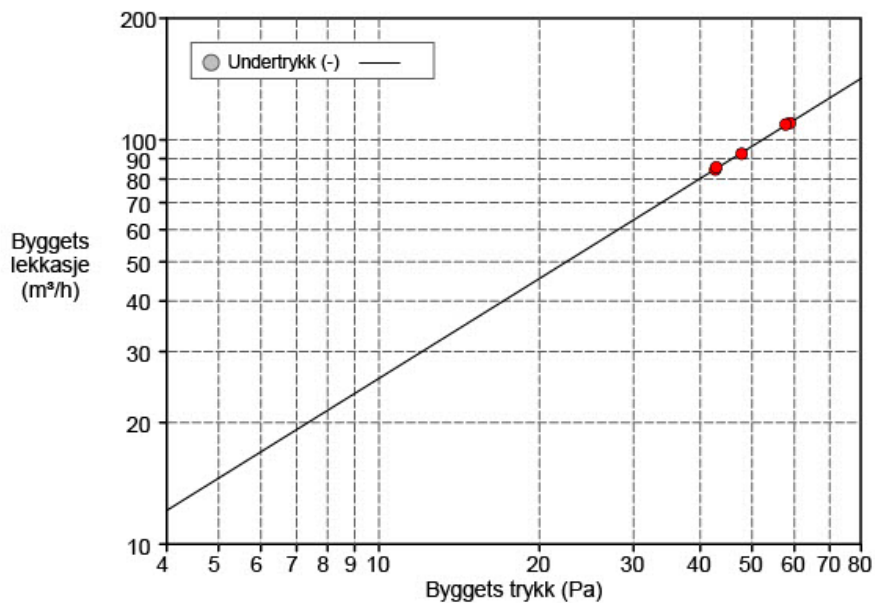
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 3.8 m³/(h·Paⁿ) (+/- 25.7 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 3.9 m³/(h·Paⁿ) (+/- 25.7 %)
Eksponent (n) = 0.821 (+/- 0.066)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99809

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.8	-2.6	99900.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.7	0.0	-0.7	-0.7	0.0	-0.7

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-59.5	-58.8	33.4	118	109	110	-0.3	Ring C
-58.5	-57.8	33.0	117	108	109	0.5	Ring C
-48.5	-47.8	23.8	99	91	92	-0.7	Ring C
-43.3	-42.7	20.1	91	84	85	-0.2	Ring C
-43.5	-42.8	20.5	92	85	86	0.6	Ring C
-0.7	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 8mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampspærre, 8mm åpent, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	99 (+/- 1.8 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	1.74
qF ₅₀ : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	3.91
qE ₅₀ :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0030 (+/- 1.8 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001192
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

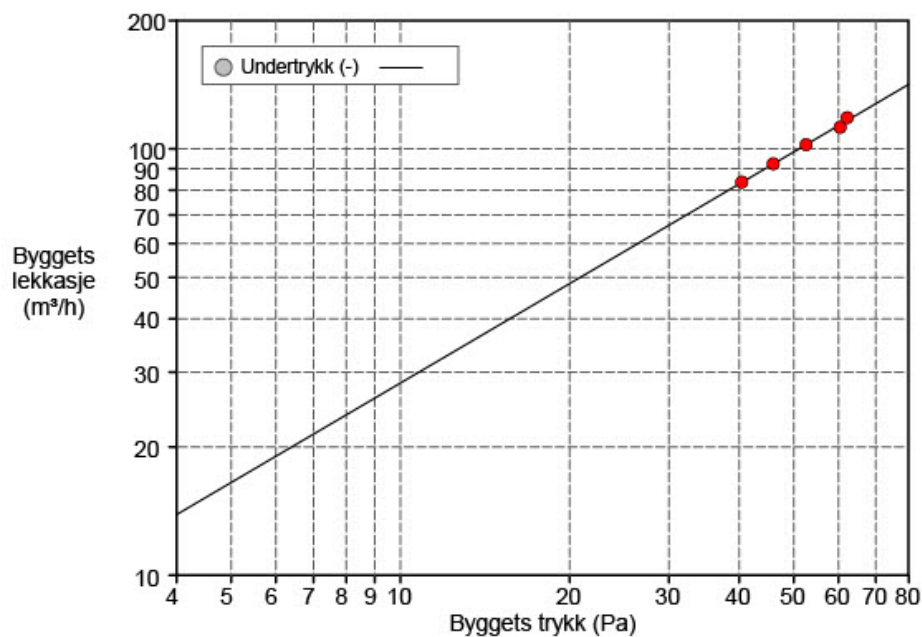
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 41.9 %)
Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 4.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 41.9 %)
EkspONENT (n) = 0.776 (+/- 0.106)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99449

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.5	-1.7	99900.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.8	0.0	-0.8	-0.8	0.0	-0.8

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-61.2	-60.5	34.4	120	111	112	-1.5	Ring C
-63.0	-62.2	38.1	126	117	118	1.5	Ring C
-53.4	-52.6	28.7	109	101	102	-0.1	Ring C
-46.7	-45.9	23.5	98	91	92	0.1	Ring C
-41.2	-40.4	19.4	89	82	84	0.0	Ring C
-0.8	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 8mm hull, ikke intrukket dampspærre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 8mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	135 (+/- 2.9 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.38
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	5.35
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0034 (+/- 2.9 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001331
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

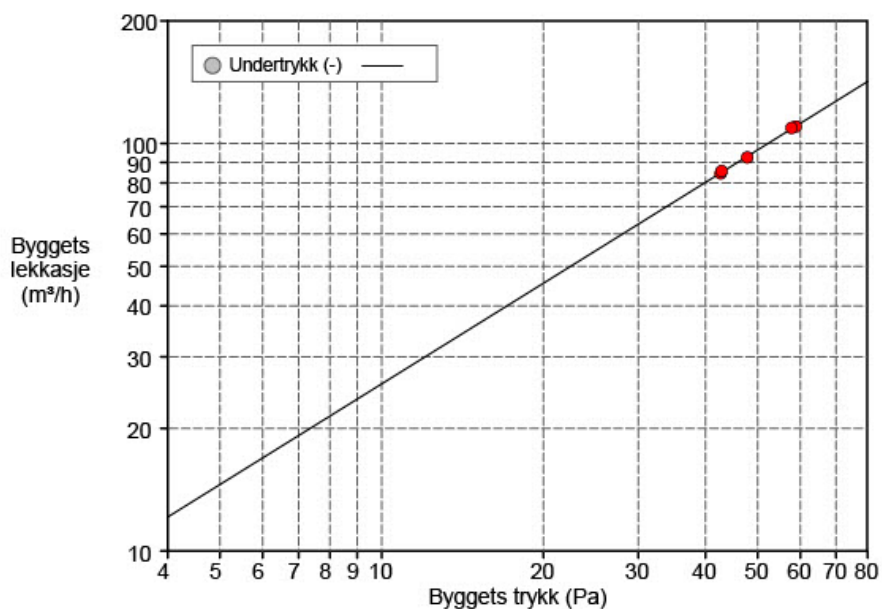
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 3.8 m³/(h·Paⁿ) (+/- 25.7 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 3.9 m³/(h·Paⁿ) (+/- 25.7 %)
Eksponent (n) = 0.821 (+/- 0.066)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99809

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.8	-2.6	99900.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.7	0.0	-0.7	-0.7	0.0	-0.7			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-59.5	-58.8	33.4	118	109	110	-0.3	Ring C
-58.5	-57.8	33.0	117	108	109	0.5	Ring C
-48.5	-47.8	23.8	99	91	92	-0.7	Ring C
-43.3	-42.7	20.1	91	84	85	-0.2	Ring C
-43.5	-42.8	20.5	92	85	86	0.6	Ring C
-0.7	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.30 teipet 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 8mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampspærre, 8mm åpent, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 135 (+/- 4.3 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.39

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 5.36

q_{E75} :

Lekkasjeareal:

ELA₇₅: m² 0.0034 (+/- 4.3 %)

ELA_{F75}: m²/m² 0.0001333

ELA_{E75}:

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 41.9 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 4.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 41.9 %)

Eksponent (n) = 0.776 (+/- 0.106)

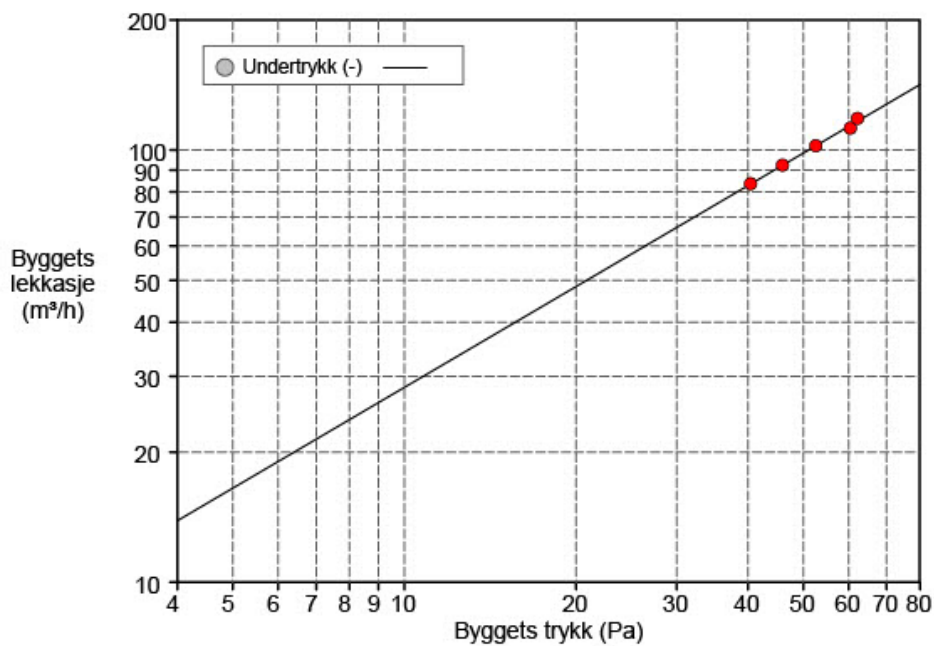
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99449

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.5	-1.7	99900.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.8	0.0	-0.8	-0.8	0.0	-0.8

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-61.2	-60.5	34.4	120	111	112	-1.5	Ring C
-63.0	-62.2	38.1	126	117	118	1.5	Ring C
-53.4	-52.6	28.7	109	101	102	-0.1	Ring C
-46.7	-45.9	23.5	98	91	92	0.1	Ring C
-41.2	-40.4	19.4	89	82	84	0.0	Ring C
-0.8	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 03.10 åpent 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 8mm hull, ikke intrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 18mm teipet, 50Pa.



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q₅₀ : m³/h (Luftmengde) 97 (+/- 0.1 %)

n₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi) 1.72

Q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 3.86

Q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA₅₀ : m² 0.0030 (+/- 0.1 %)

ELA_{F50} : m²/m² 0.0001176

ELA_{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 3.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 2.0 %)

Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 3.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 2.0 %)

EkspONENT (n) = 0.836 (+/- 0.005)

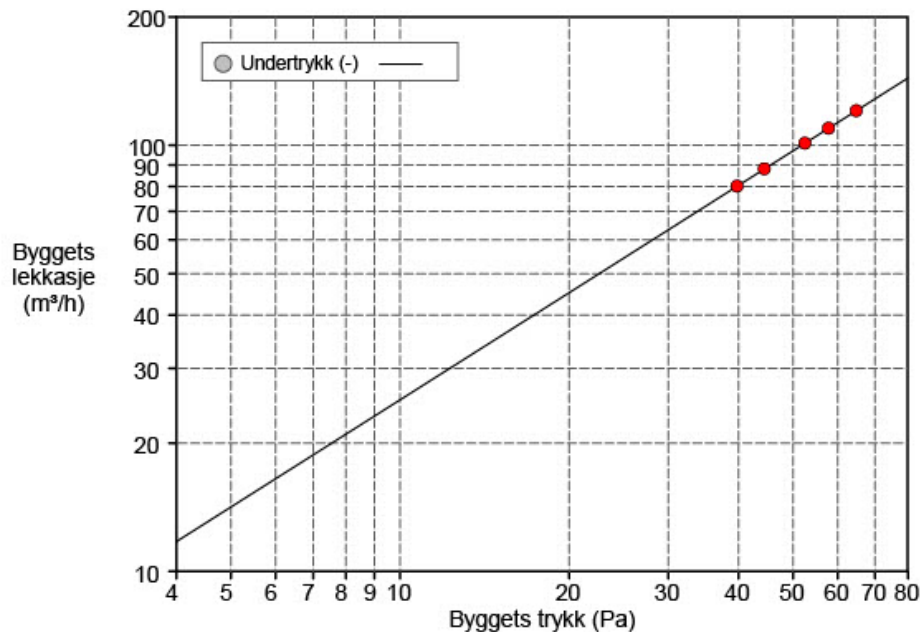
Bestemmelseskoeffisient (r²) = 0.99999

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett bris

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
22.1	-0.8	99700.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.4	0.0	-0.4	-0.8	0.0	-0.8			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.4	n/a	n/a					
-65.4	-64.8	39.3	128	120	121	0.1	Ring C
-58.4	-57.8	32.6	116	109	110	-0.1	Ring C
-53.1	-52.5	27.9	107	100	101	-0.0	Ring C
-45.1	-44.5	21.4	94	87	88	0.0	Ring C
-40.4	-39.8	17.8	85	79	80	-0.0	Ring C
-0.8	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 18mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampspærre, 8mm åpent, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q₅₀ : m³/h (Luftmengde) 101 (+/- 0.9 %)

n₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi) 1.79

qF50 : m³/(h·m² Gulvareal) 4.01

qE50 :

Lekkasjeareal:

ELA 50 : m² 0.0031 (+/- 0.9 %)

ELA F50 : m²/m² 0.0001223

ELA E50 :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.2 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)

Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 4.2 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)

Eksponent (n) = 0.811 (+/- 0.046)

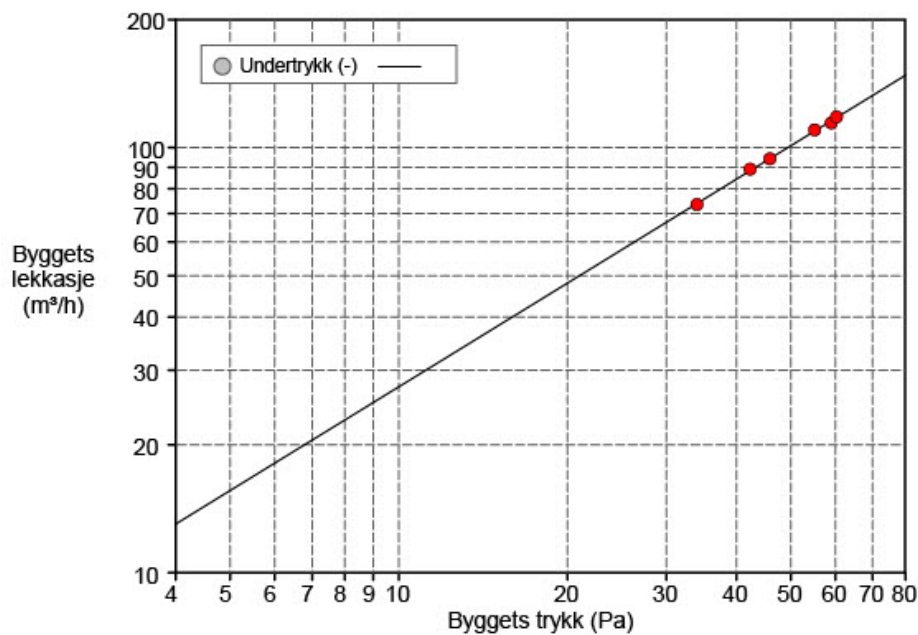
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99835

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.7	-4.8	99900.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.8	0.0	-0.8	-1.3	0.0	-1.3			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-60.1	-59.0	36.4	123	113	114	-1.1	Ring C
-61.4	-60.3	38.8	127	117	118	0.4	Ring C
-56.2	-55.2	33.8	119	109	110	0.6	Ring C
-46.9	-45.9	24.9	101	93	94	-0.2	Ring C
-43.3	-42.3	22.4	96	88	89	0.9	Ring C
-35.0	-34.0	15.5	79	73	74	-0.5	Ring C
-1.3	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 18mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 18mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q₇₅ : m³/h (Luftmengde) 136 (+/- 0.2 %)

n₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi) 2.41

qF75 : m³/(h·m² Gulvareal) 5.41

qE75 :

Lekkasjeareal:

ELA₇₅ : m² 0.0034 (+/- 0.2 %)

ELA_{F75} : m²/m² 0.0001347

ELA_{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 3.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 2.0 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 3.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 2.0 %)

EkspONENT (n) = 0.836 (+/- 0.005)

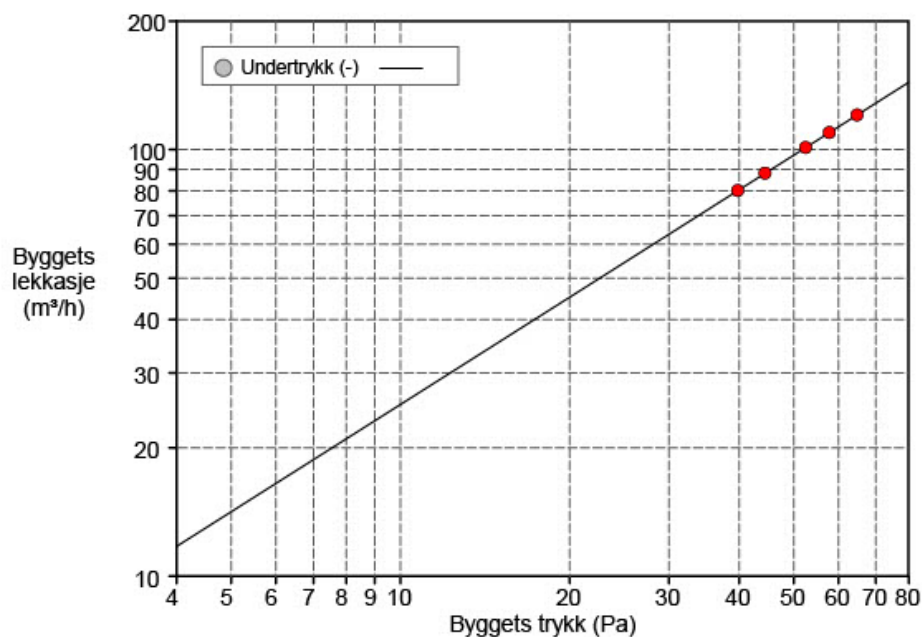
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99999

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett bris

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
22.1	-0.8	99700.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.4	0.0	-0.4	-0.8	0.0	-0.8

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.4	n/a	n/a					
-65.4	-64.8	39.3	128	120	121	0.1	Ring C
-58.4	-57.8	32.6	116	109	110	-0.1	Ring C
-53.1	-52.5	27.9	107	100	101	-0.0	Ring C
-45.1	-44.5	21.4	94	87	88	0.0	Ring C
-40.4	-39.8	17.8	85	79	80	-0.0	Ring C
-0.8	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 21.30 teipet 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 18mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 18mm åpent, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	141 (+/- 2.2 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.49
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	5.58
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0035 (+/- 2.2 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001388
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

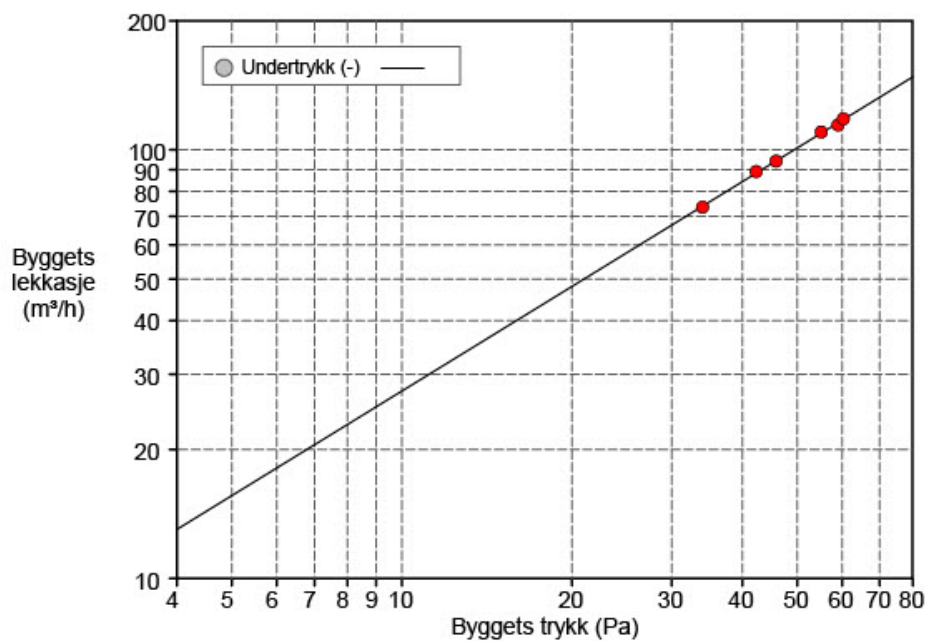
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.2 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 4.2 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)
EkspONENT (n) = 0.811 (+/- 0.046)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99835

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 2 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.7	-4.8	99900.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.8	0.0	-0.8	-1.3	0.0	-1.3			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-60.1	-59.0	36.4	123	113	114	-1.1	Ring C
-61.4	-60.3	38.8	127	117	118	0.4	Ring C
-56.2	-55.2	33.8	119	109	110	0.6	Ring C
-46.9	-45.9	24.9	101	93	94	-0.2	Ring C
-43.3	-42.3	22.4	96	88	89	0.9	Ring C
-35.0	-34.0	15.5	79	73	74	-0.5	Ring C
-1.3	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 02.30 åpent 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 18mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 30mm teipet, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	99 (+/- 1.6 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	1.75
qF ₅₀ : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	3.92
qE ₅₀ :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0030 (+/- 1.6 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001196
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 38.3 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 38.3 %)

EkspONENT (n) = 0.788 (+/- 0.097)

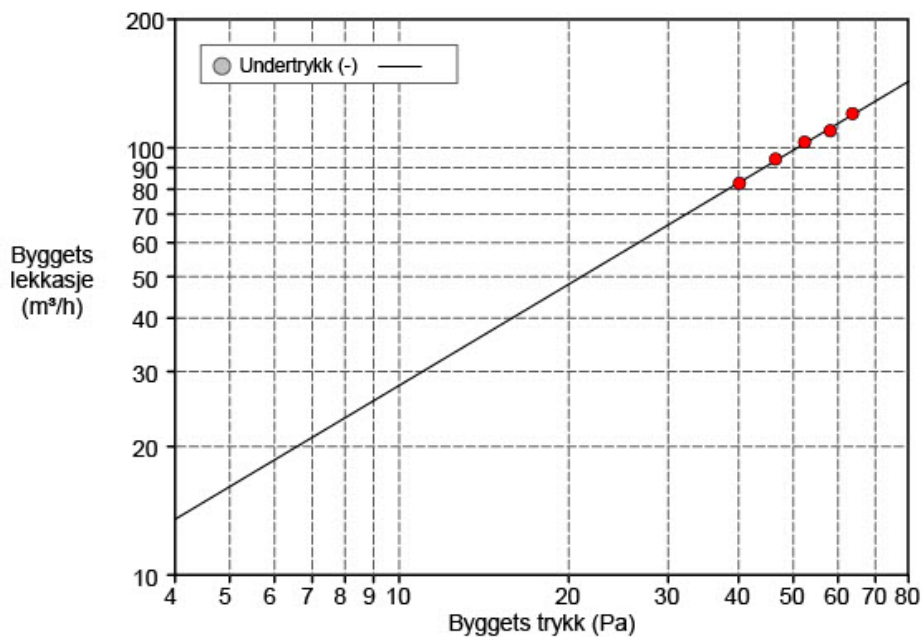
Bestemmelseskoeffisient (r²) = 0.99552

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 2 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.3	-4.2	99900.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.7	0.0	-0.7	-1.1	0.0	-1.1

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-59.0	-58.1	33.4	118	108	110	-1.4	Ring C
-64.6	-63.7	39.8	129	118	120	0.5	Ring C
-53.2	-52.4	29.6	111	102	103	0.6	Ring C
-47.4	-46.5	24.8	101	93	94	0.9	Ring C
-41.0	-40.2	19.3	89	81	83	-0.6	Ring C
-1.1	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 4 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 30mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 30mm åpent, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q_{50} : m³/h (Luftmengde) 103 (+/- 1.5 %)

n_{50} : 1/h (Luftskifteverdi) 1.83

Q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 4.11

Q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m² 0.0032 (+/- 1.5 %)

ELA _{F50} : m²/m² 0.0001251

ELA _{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 29.0 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 4.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 29.0 %)

EkspONENT (n) = 0.798 (+/- 0.075)

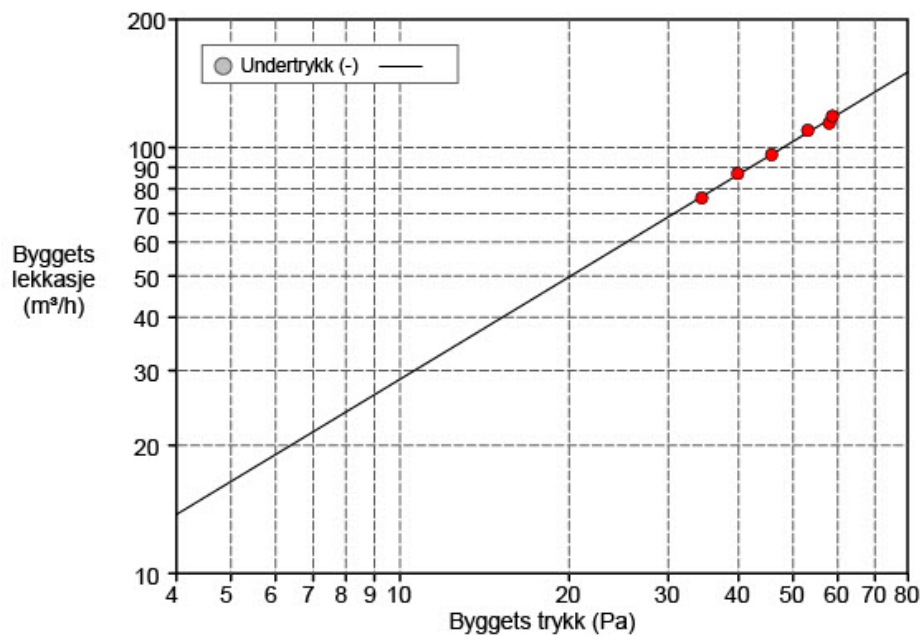
Bestemmelseskoeffisient (r^2) = 0.99542

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.4	-4.2	100000.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.8	0.0	-0.8	-1.5	0.0	-1.5			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-59.1	-58.0	36.1	123	113	114	-1.9	Ring C
-59.9	-58.8	38.9	127	117	119	0.8	Ring C
-54.3	-53.1	33.5	118	108	110	1.2	Ring C
-46.9	-45.8	25.9	103	95	96	-0.2	Ring C
-41.0	-39.9	21.3	93	86	87	0.8	Ring C
-35.6	-34.4	16.5	82	75	76	-0.7	Ring C
-1.5	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 30mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 30mm teipet, 75Pa



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	136 (+/- 4.0 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.41
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	5.40
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0034 (+/- 4.0 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001344
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

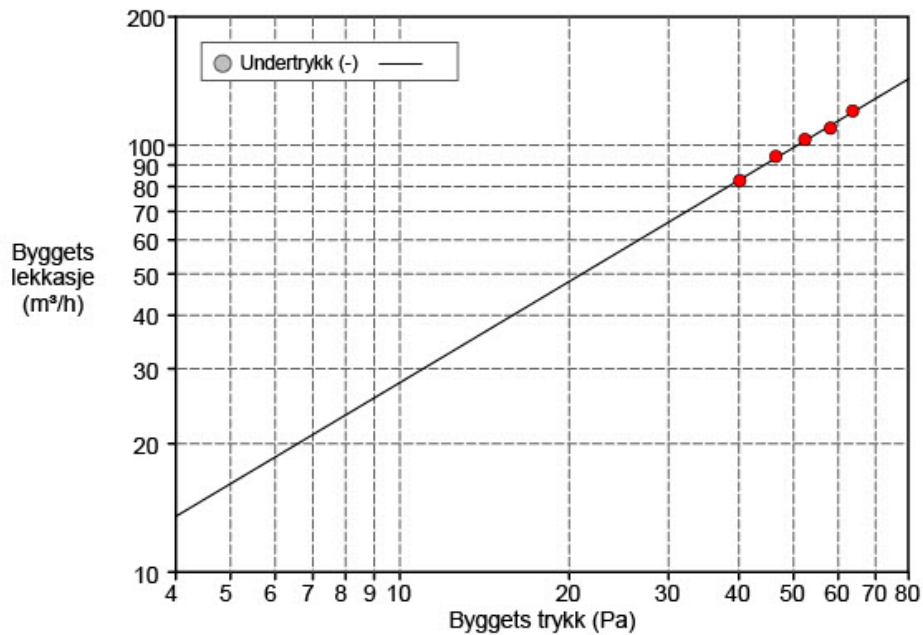
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 38.3 %)
Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 38.3 %)
Eksponent (n) = 0.788 (+/- 0.097)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99552

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 2 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.3	-4.2	99900.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.7	0.0	-0.7	-1.1	0.0	-1.1

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-59.0	-58.1	33.4	118	108	110	-1.4	Ring C
-64.6	-63.7	39.8	129	118	120	0.5	Ring C
-53.2	-52.4	29.6	111	102	103	0.6	Ring C
-47.4	-46.5	24.8	101	93	94	0.9	Ring C
-41.0	-40.2	19.3	89	81	83	-0.6	Ring C
-1.1	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 03.10 teipet 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 30mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 30mm åpent, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	143 (+/- 3.8 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.53
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	5.68
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0036 (+/- 3.8 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001412
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

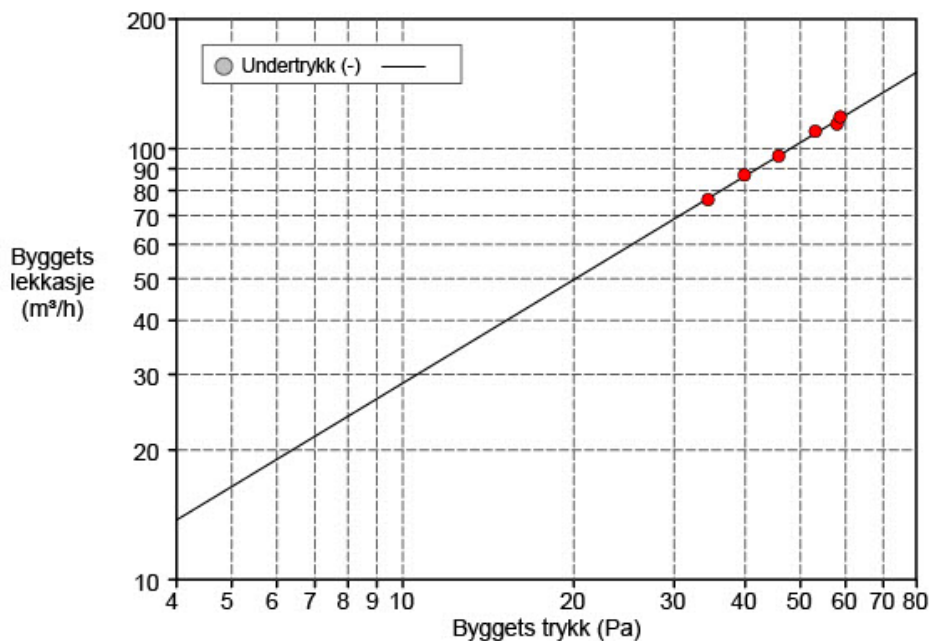
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 29.0 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 4.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 29.0 %)
EkspONENT (n) = 0.798 (+/- 0.075)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99542

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.4	-4.2	100000.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.8	0.0	-0.8	-1.5	0.0	-1.5			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-59.1	-58.0	36.1	123	113	114	-1.9	Ring C
-59.9	-58.8	38.9	127	117	119	0.8	Ring C
-54.3	-53.1	33.5	118	108	110	1.2	Ring C
-46.9	-45.8	25.9	103	95	96	-0.2	Ring C
-41.0	-39.9	21.3	93	86	87	0.8	Ring C
-35.6	-34.4	16.5	82	75	76	-0.7	Ring C
-1.5	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 30.03.2022 Testfil: Trykktest 3003 08.20 åpent 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 30mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 75mm teipet, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	98 (+/- 1.0 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	1.74
qF ₅₀ : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	3.91
qE ₅₀ :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0030 (+/- 1.0 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001191
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

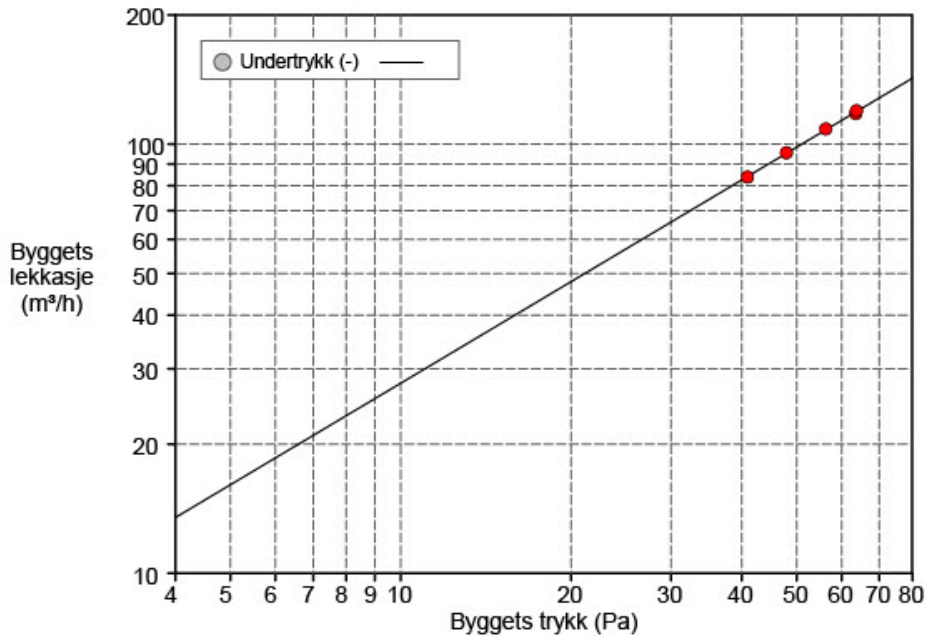
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 21.5 %)
Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 21.5 %)
EkspONENT (n) = 0.787 (+/- 0.054)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99861

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.9	-3.5	99900.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.7	0.0	-0.7	-0.9	0.0	-0.9			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-64.3	-63.5	38.2	126	116	118	-0.8	Ring C
-64.6	-63.8	39.3	128	118	120	0.4	Ring C
-57.1	-56.3	32.6	116	107	109	0.5	Ring C
-48.8	-48.0	25.5	102	94	96	0.3	Ring C
-41.8	-41.0	19.8	90	83	84	-0.3	Ring C
-0.9	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 75mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampspærre, 75mm åpent, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	106 (+/- 0.5 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	1.88
q _{F50} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	4.21
q _{E50} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0032 (+/- 0.5 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001284
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

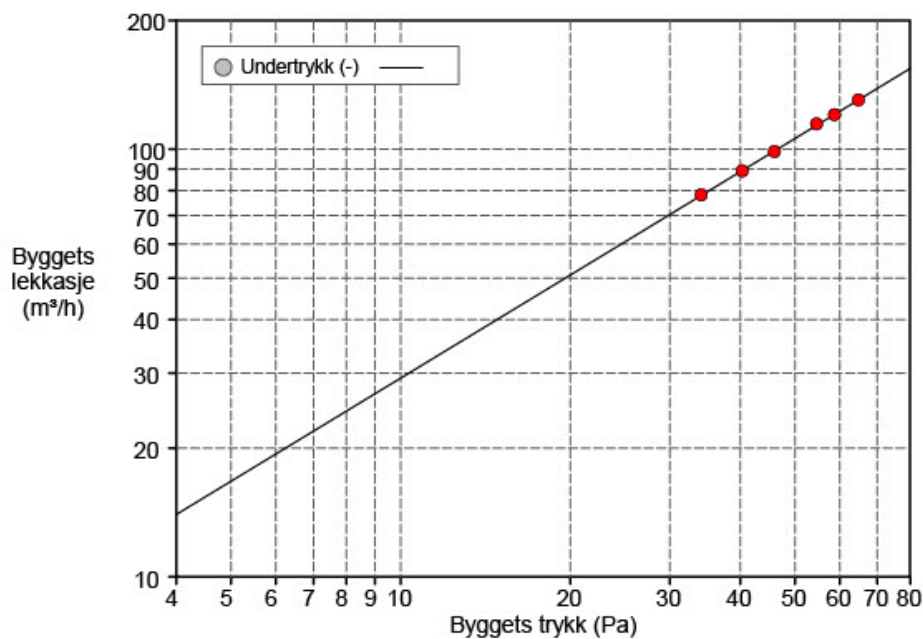
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 9.0 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 4.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 9.0 %)
EkspONENT (n) = 0.802 (+/- 0.023)
Bestemmelseskoeffisient (r²) = 0.99957

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.5	-4.7	99800.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.9	0.0	-0.9	-0.6	0.0	-0.6			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.9	n/a	n/a					
-65.5	-64.8	46.8	140	129	130	-0.1	Ring C
-59.5	-58.8	40.1	129	119	121	-0.2	Ring C
-55.3	-54.6	36.5	123	113	115	0.7	Ring C
-46.7	-46.0	27.3	106	97	99	-0.3	Ring C
-41.0	-40.3	22.3	96	88	89	-0.2	Ring C
-34.9	-34.1	17.4	84	77	78	0.2	Ring C
-0.6	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 75mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 75mm teipet, 75Pa



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	135 (+/- 2.0 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.40
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	5.38
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0034 (+/- 2.0 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001338
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

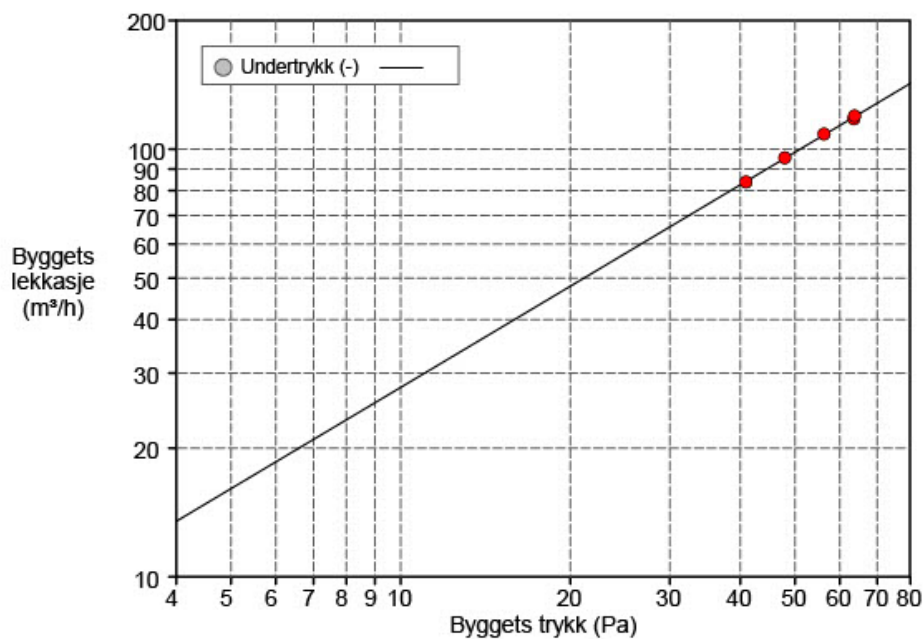
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 21.5 %)
Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 21.5 %)
EkspONENT (n) = 0.787 (+/- 0.054)
Bestemmelseskoeffisient (r^2) = 0.99861

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.9	-3.5	99900.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.7	0.0	-0.7	-0.9	0.0	-0.9			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-64.3	-63.5	38.2	126	116	118	-0.8	Ring C
-64.6	-63.8	39.3	128	118	120	0.4	Ring C
-57.1	-56.3	32.6	116	107	109	0.5	Ring C
-48.8	-48.0	25.5	102	94	96	0.3	Ring C
-41.8	-41.0	19.8	90	83	84	-0.3	Ring C
-0.9	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 04.00 teipet 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 75mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling uten inntrukket dampsperre, 75mm åpent, 75Pa



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	147 (+/- 1.1 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.60
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	5.83
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0037 (+/- 1.1 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001451
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

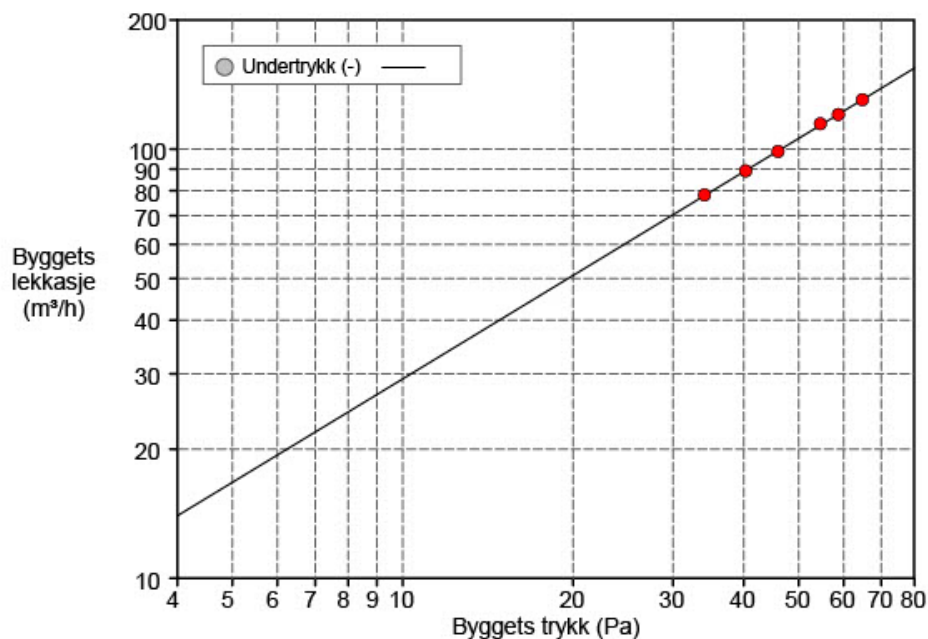
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 4.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 9.0 %)
Luftlekkasjekoefisient (C_L) = 4.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 9.0 %)
EkspONENT (n) = 0.802 (+/- 0.023)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99957

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.5	-4.7	99800.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.9	0.0	-0.9	-0.6	0.0	-0.6			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.9	n/a	n/a					
-65.5	-64.8	46.8	140	129	130	-0.1	Ring C
-59.5	-58.8	40.1	129	119	121	-0.2	Ring C
-55.3	-54.6	36.5	123	113	115	0.7	Ring C
-46.7	-46.0	27.3	106	97	99	-0.3	Ring C
-41.0	-40.3	22.3	96	88	89	-0.2	Ring C
-34.9	-34.1	17.4	84	77	78	0.2	Ring C
-0.6	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 29.03.2022 Testfil: Trykktest 2903 08.00 åpent 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 75mm hull, ikke inntrukket dampsperre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 8mm teipet, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	115 (+/- 1.3 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.04
q _{F50} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	4.57
q _{E50} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0035 (+/- 1.3 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001393
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

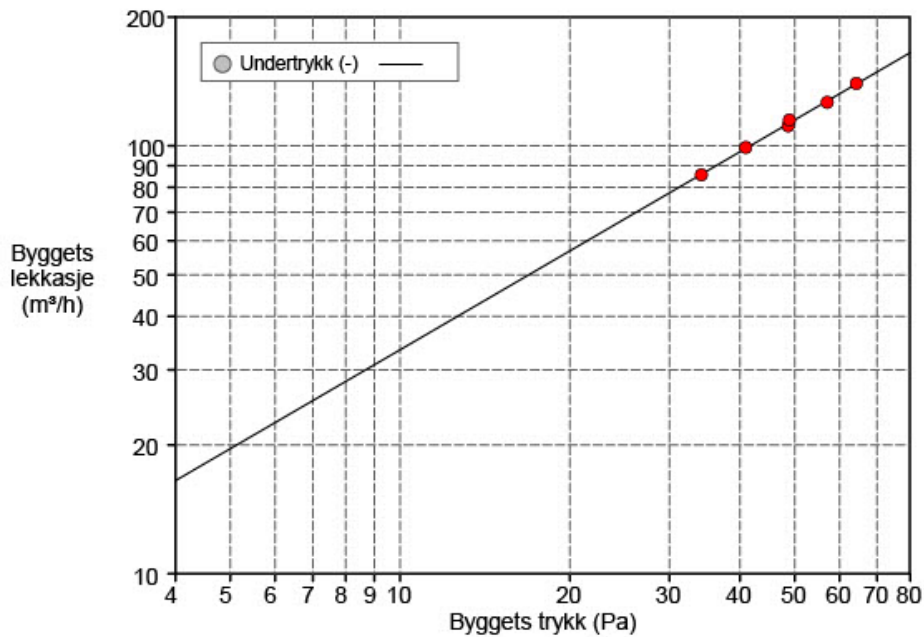
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 23.4 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 23.4 %)
EkspONENT (n) = 0.768 (+/- 0.060)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99680

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Stille

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
24.4	-2.0	102200.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.0	n/a	n/a					
-65.3	-64.3	53.5	150	137	140	0.3	Ring C
-58.1	-57.1	43.9	136	124	127	-0.7	Ring C
-49.7	-48.7	34.4	119	109	111	-1.2	Ring C
-49.9	-48.9	36.5	123	113	115	1.5	Ring C
-42.0	-41.0	27.5	106	97	99	0.5	Ring C
-35.2	-34.2	20.6	92	84	86	-0.3	Ring C
-1.0	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 8mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampspærre, 8mm åpent, 50Pa



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	117 (+/- 0.5 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.07
qF ₅₀ : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	4.64
qE ₅₀ :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0036 (+/- 0.5 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001413
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

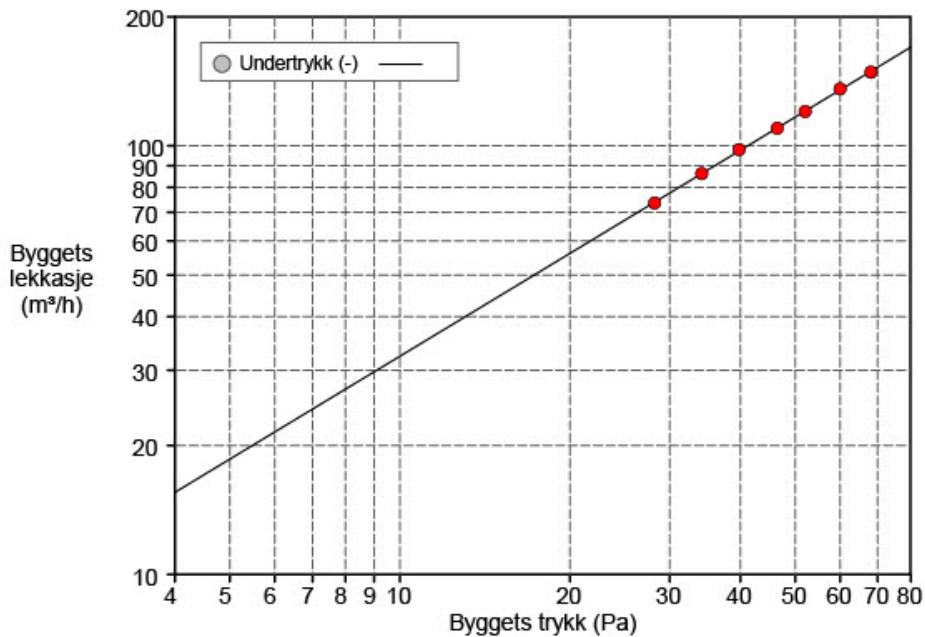
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.0 m³/(h·Paⁿ) (+/- 6.7 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.1 m³/(h·Paⁿ) (+/- 6.7 %)
EkspONENT (n) = 0.798 (+/- 0.018)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99963

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Stille

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.5	-4.2	102200.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.8	0.0	-0.8	-1.1	0.0	-1.1

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-69.0	-68.1	60.9	161	146	149	-0.5	Ring C
-61.0	-60.0	51.2	147	133	136	0.5	Ring C
-53.0	-52.0	40.4	130	118	120	-0.2	Ring C
-47.4	-46.4	33.9	119	108	110	-0.2	Ring C
-40.7	-39.8	27.2	106	96	98	0.8	Ring C
-35.1	-34.2	21.2	93	85	86	0.1	Ring C
-29.2	-28.2	15.6	80	72	74	-0.5	Ring C
-1.1	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 8mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 8mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	157 (+/- 3.0 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.78
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	6.24
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0039 (+/- 3.0 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001553
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

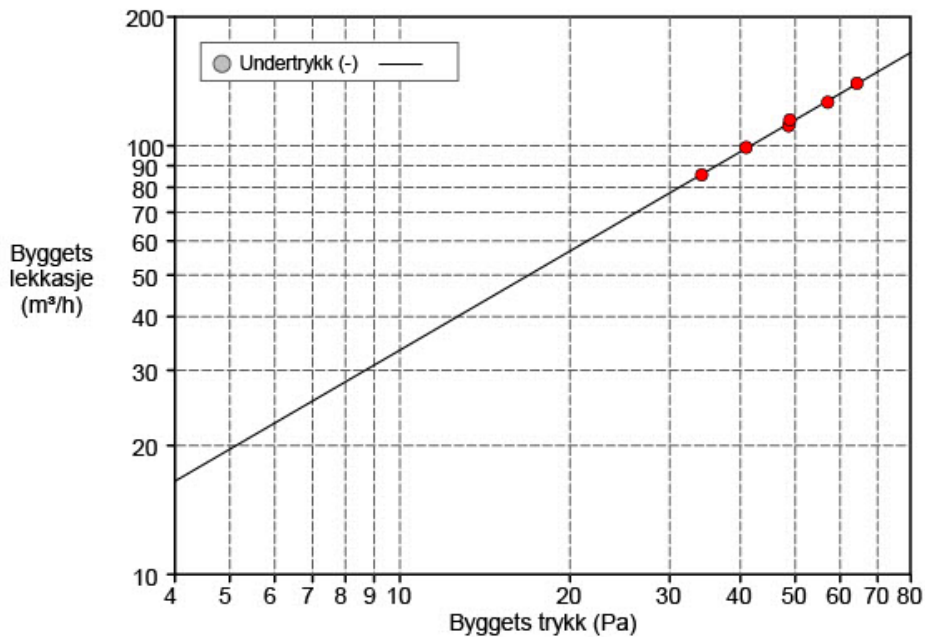
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 23.4 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 23.4 %)
EkspONENT (n) = 0.768 (+/- 0.060)
Bestemmelseskoefisient (r²) = 0.99680

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Stille

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 3 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
24.4	-2.0	102200.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.0	n/a	n/a					
-65.3	-64.3	53.5	150	137	140	0.3	Ring C
-58.1	-57.1	43.9	136	124	127	-0.7	Ring C
-49.7	-48.7	34.4	119	109	111	-1.2	Ring C
-49.9	-48.9	36.5	123	113	115	1.5	Ring C
-42.0	-41.0	27.5	106	97	99	0.5	Ring C
-35.2	-34.2	20.6	92	84	86	-0.3	Ring C
-1.0	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 4 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 01.00 Teipet 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 8mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampspærre, 8mm åpent, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q ₇₅ : m ³ /h (Luftmengde)	161 (+/- 1.0 %)
n ₇₅ : 1/h (Luftskifteverdi)	2.86
q _{F75} : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	6.41
q _{E75} :	

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m ²	0.0040 (+/- 1.0 %)
ELA _{F75} : m ² /m ²	0.0001595
ELA _{E75} :	

Bygningens lekkasjekurve:

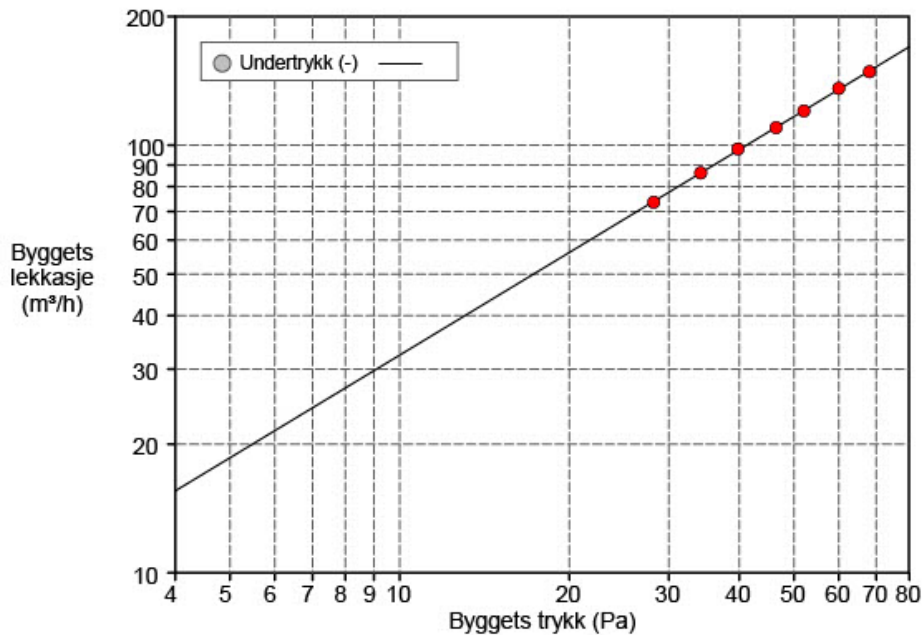
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.0 m³/(h·Paⁿ) (+/- 6.7 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.1 m³/(h·Paⁿ) (+/- 6.7 %)
EkspONENT (n) = 0.798 (+/- 0.018)
Bestemmelseskoeffisient (r²) = 0.99963

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Stille

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.5	-4.2	102200.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.8	0.0	-0.8	-1.1	0.0	-1.1			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a	n/a					
-69.0	-68.1	60.9	161	146	149	-0.5	Ring C
-61.0	-60.0	51.2	147	133	136	0.5	Ring C
-53.0	-52.0	40.4	130	118	120	-0.2	Ring C
-47.4	-46.4	33.9	119	108	110	-0.2	Ring C
-40.7	-39.8	27.2	106	96	98	0.8	Ring C
-35.1	-34.2	21.2	93	85	86	0.1	Ring C
-29.2	-28.2	15.6	80	72	74	-0.5	Ring C
-1.1	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 06.00 åpent 8mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 8mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 18mm teipet, 50Pa



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q ₅₀ : m ³ /h (Luftmengde)	111 (+/- 1.0 %)
n ₅₀ : 1/h (Luftskifteverdi)	1.96
qF50 : m ³ /(h·m ² Gulvareal)	4.39
qE50 :	

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m ²	0.0034 (+/- 1.0 %)
ELA _{F50} : m ² /m ²	0.0001338
ELA _{E50} :	

Bygningens lekkasjekurve:

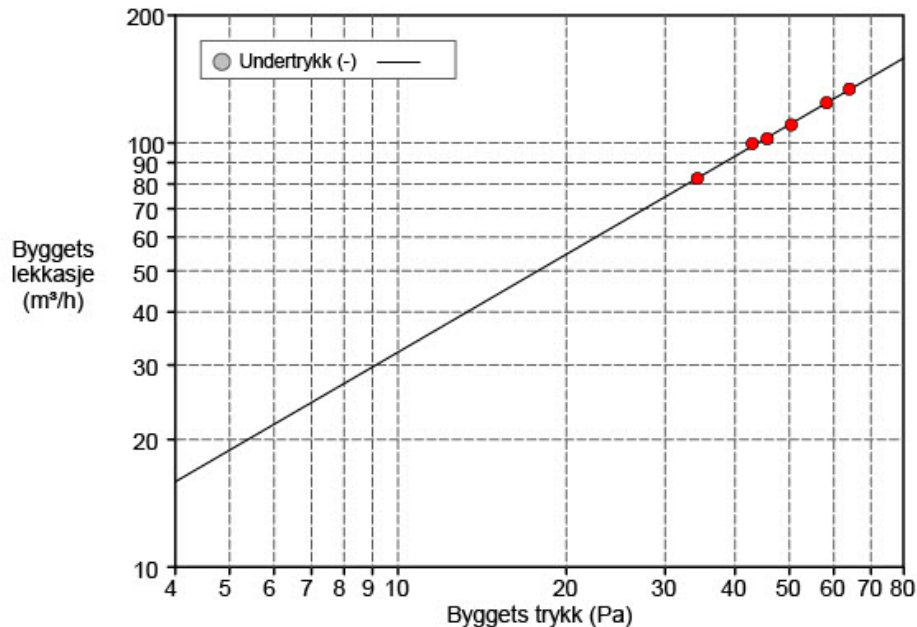
Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.4 m³/(h·Paⁿ) (+/- 18.8 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 18.8 %)
Eksponent (n) = 0.767 (+/- 0.048)
Bestemmelseskoeffisient (r²) = 0.99794

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
24.4	1.5	102100.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-1.0	0.0	-1.0	-0.8	0.0	-0.8			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.0	n/a	n/a					
-64.9	-64.0	48.2	142	132	134	0.3	Ring C
-59.2	-58.3	41.7	132	122	125	0.1	Ring C
-51.3	-50.4	33.1	117	109	110	-0.8	Ring C
-46.5	-45.6	28.6	109	101	102	-0.7	Ring C
-43.8	-42.9	27.2	106	98	100	1.4	Ring C
-35.1	-34.2	18.8	88	81	83	-0.2	Ring C
-0.8	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 18mm hull, intrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 18mm åpent, 50Pa



BlowerDoor GmbH
MessSysteme für Luftdichtheit

TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q_{50} : m³/h (Luftmengde) 114 (+/- 0.9 %)

n_{50} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.02

q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 4.54

q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA₅₀ : m² 0.0035 (+/- 0.9 %)

ELA_{F50} : m²/m² 0.0001384

ELA_{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.3 m³/(h·Paⁿ) (+/- 20.3 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.4 m³/(h·Paⁿ) (+/- 20.3 %)

EkspONENT (n) = 0.779 (+/- 0.052)

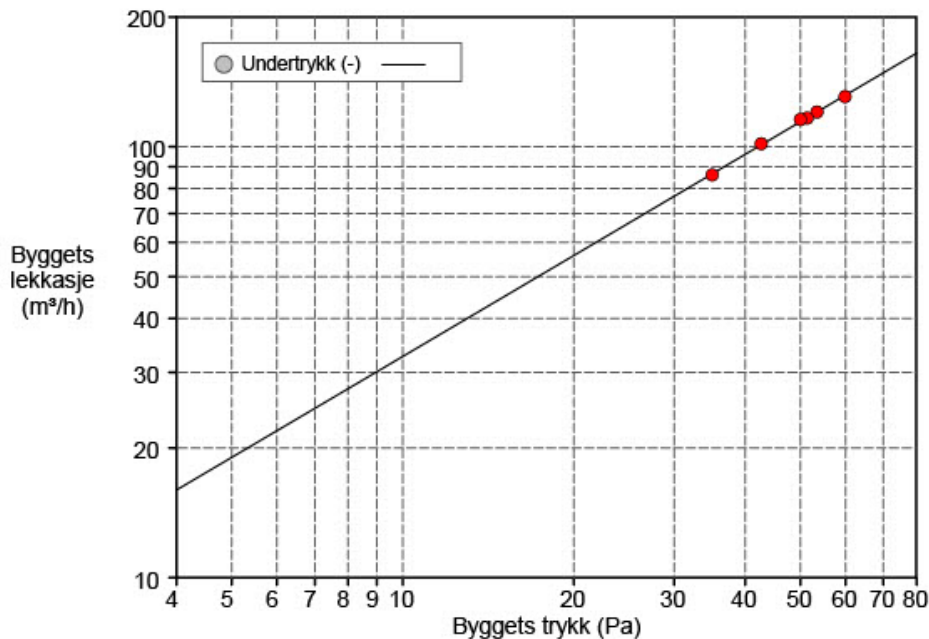
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99766

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.8	-2.2	102200.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.7	0.0	-0.7	-0.6	0.0	-0.6			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-60.5	-59.9	46.9	140	128	131	-0.7	Ring C
-54.1	-53.5	40.0	129	118	121	-0.1	Ring C
-52.0	-51.4	37.5	125	114	117	-0.2	Ring C
-50.6	-50.0	37.0	124	114	116	1.1	Ring C
-43.3	-42.7	28.8	109	100	102	0.6	Ring C
-35.6	-35.0	20.8	92	84	86	-0.7	Ring C
-0.6	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 18mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 18mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 151 (+/- 2.4 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.67

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 5.99

q_{E75} :

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m² 0.0038 (+/- 2.4 %)

ELA _{F75} : m²/m² 0.0001492

ELA _{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.4 m³/(h·Paⁿ) (+/- 18.8 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.5 m³/(h·Paⁿ) (+/- 18.8 %)

EkspONENT (n) = 0.767 (+/- 0.048)

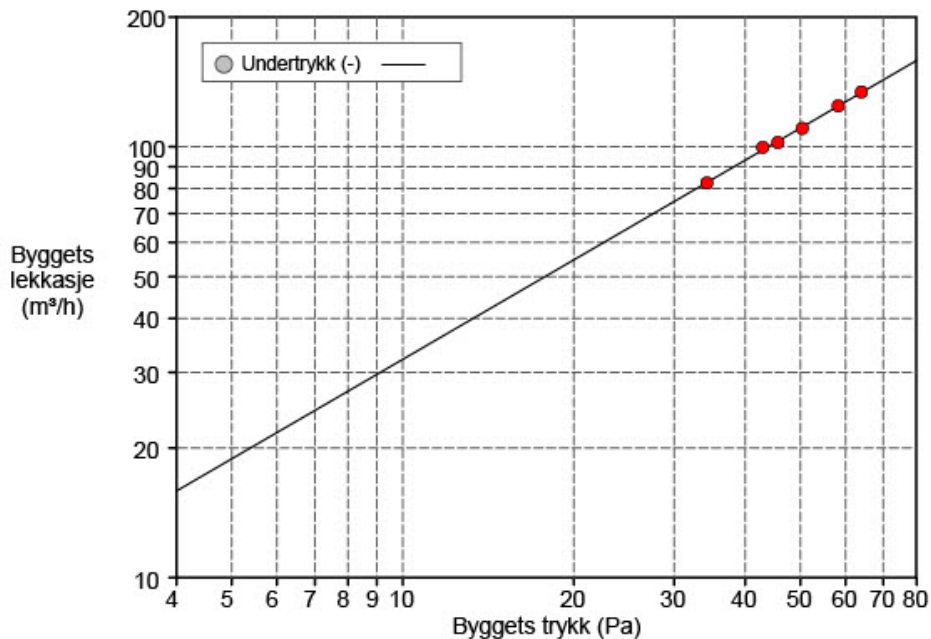
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99794

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
24.4	1.5	102100.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-1.0	0.0	-1.0	-0.8	0.0	-0.8			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.0	n/a	n/a					
-64.9	-64.0	48.2	142	132	134	0.3	Ring C
-59.2	-58.3	41.7	132	122	125	0.1	Ring C
-51.3	-50.4	33.1	117	109	110	-0.8	Ring C
-46.5	-45.6	28.6	109	101	102	-0.7	Ring C
-43.8	-42.9	27.2	106	98	100	1.4	Ring C
-35.1	-34.2	18.8	88	81	83	-0.2	Ring C
-0.8	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 20.30 Teipet 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 18mm hull, intrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 18mm åpent, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 157 (+/- 2.5 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.78

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 6.23

q_{E75} :

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m² 0.0039 (+/- 2.5 %)

ELA _{F75} : m²/m² 0.0001550

ELA _{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.3 m³/(h·Paⁿ) (+/- 20.3 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.4 m³/(h·Paⁿ) (+/- 20.3 %)

EkspONENT (n) = 0.779 (+/- 0.052)

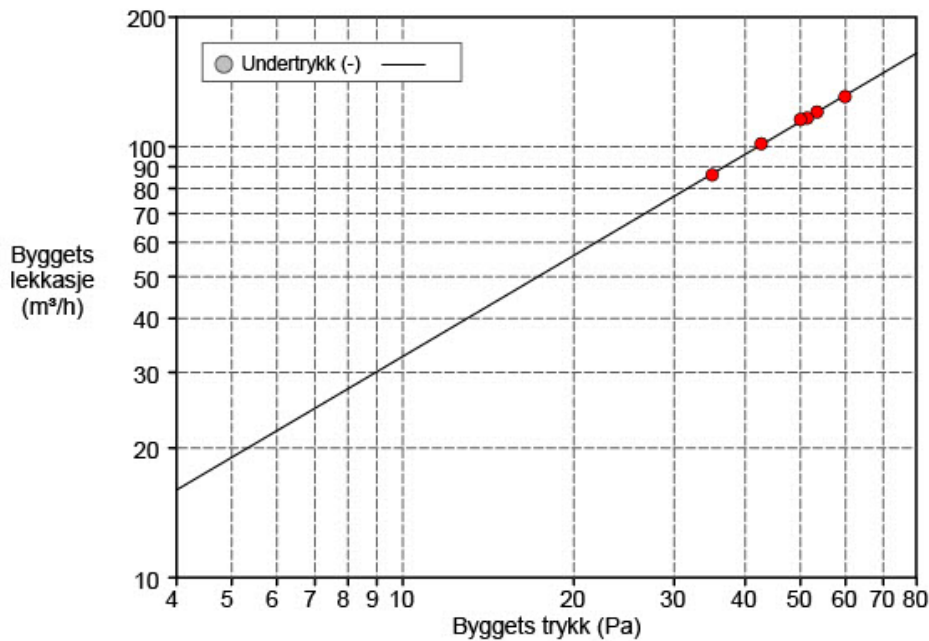
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99766

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 3 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.8	-2.2	102200.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-0.7	0.0	-0.7	-0.6	0.0	-0.6			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.7	n/a	n/a					
-60.5	-59.9	46.9	140	128	131	-0.7	Ring C
-54.1	-53.5	40.0	129	118	121	-0.1	Ring C
-52.0	-51.4	37.5	125	114	117	-0.2	Ring C
-50.6	-50.0	37.0	124	114	116	1.1	Ring C
-43.3	-42.7	28.8	109	100	102	0.6	Ring C
-35.6	-35.0	20.8	92	84	86	-0.7	Ring C
-0.6	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 22.03.2022 Testfil: Trykktest 2203 01.00 Åpent 18mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 18mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 30mm teipet, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q_{50} : m³/h (Luftmengde) 118 (+/- 0.7 %)

n_{50} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.09

q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 4.68

q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA₅₀ : m² 0.0036 (+/- 0.7 %)

ELA_{F50} : m²/m² 0.0001427

ELA_{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.0 m³/(h·Paⁿ) (+/- 11.3 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.1 m³/(h·Paⁿ) (+/- 11.3 %)

EkspONENT (n) = 0.804 (+/- 0.029)

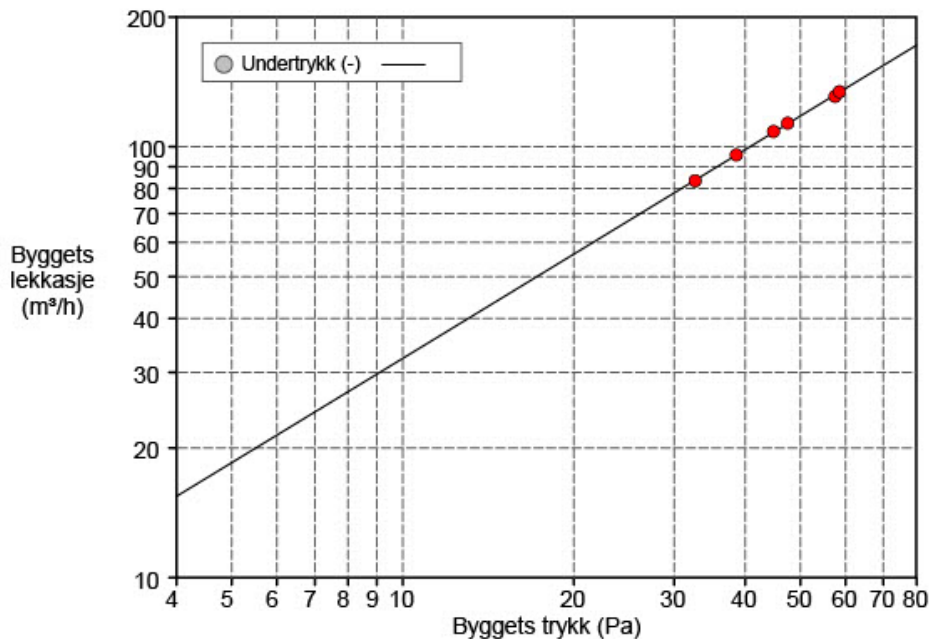
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99930

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.8	2.1	101800.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-1.5	0.0	-1.5	-2.0	0.0	-2.0			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.5	n/a	n/a					
-59.3	-57.5	45.9	139	129	131	-0.8	Ring C
-60.3	-58.5	48.3	142	133	134	0.3	Ring C
-49.2	-47.5	34.8	120	112	114	0.3	Ring C
-46.6	-44.9	32.0	115	107	109	0.5	Ring C
-40.3	-38.6	25.1	102	95	96	0.0	Ring C
-34.4	-32.7	19.2	89	82	83	-0.3	Ring C
-2.0	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 30mm hull, intrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 30mm åpent, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q_{50} : m³/h (Luftmengde) 124 (+/- 1.2 %)

n_{50} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.20

q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 4.94

q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA ₅₀ : m² 0.0038 (+/- 1.2 %)

ELA _{F50} : m²/m² 0.0001505

ELA _{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 6.8 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 6.9 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)

EkspONENT (n) = 0.738 (+/- 0.047)

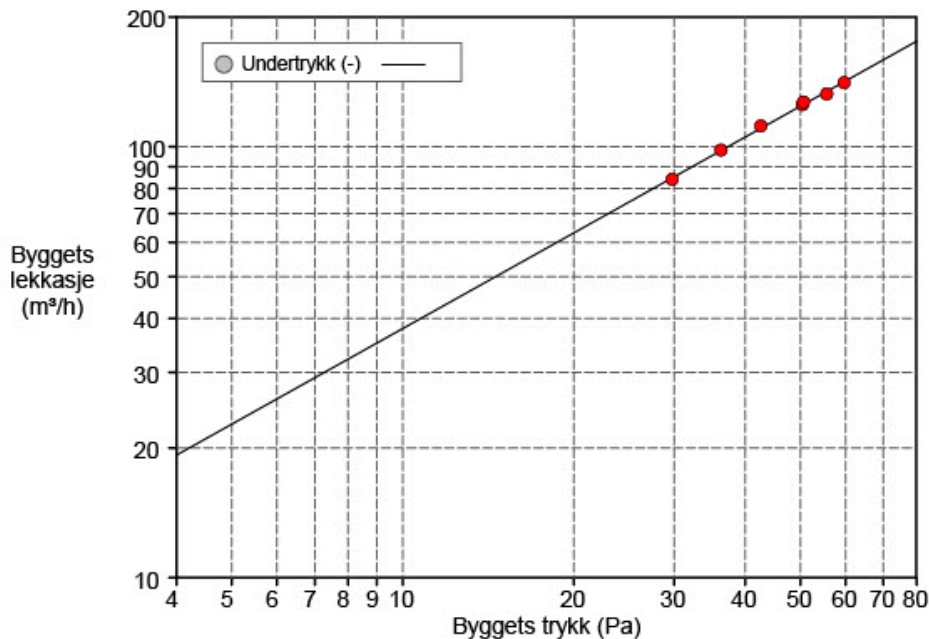
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99700

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.4	1.9	101700.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.8	0.0	-1.8	-2.3	0.0	-2.3

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.8	n/a	n/a					
-61.7	-59.7	52.5	149	139	141	-0.5	Ring C
-57.7	-55.6	46.7	140	130	133	-1.3	Ring C
-52.5	-50.4	41.8	132	123	125	0.2	Ring C
-52.7	-50.6	43.0	134	125	127	1.3	Ring C
-44.6	-42.6	33.5	118	110	112	1.2	Ring C
-38.3	-36.3	26.1	104	97	98	0.2	Ring C
-31.8	-29.8	19.3	89	83	84	-0.9	Ring C
-2.3	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 30mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 30mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 163 (+/- 1.6 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.89

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 6.49

q_{E75} :

Lekkasjereal:

ELA₇₅ : m² 0.0041 (+/- 1.6 %)

ELA_{F75} : m²/m² 0.0001615

ELA_{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.0 m³/(h·Paⁿ) (+/- 11.3 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.1 m³/(h·Paⁿ) (+/- 11.3 %)

EkspONENT (n) = 0.804 (+/- 0.029)

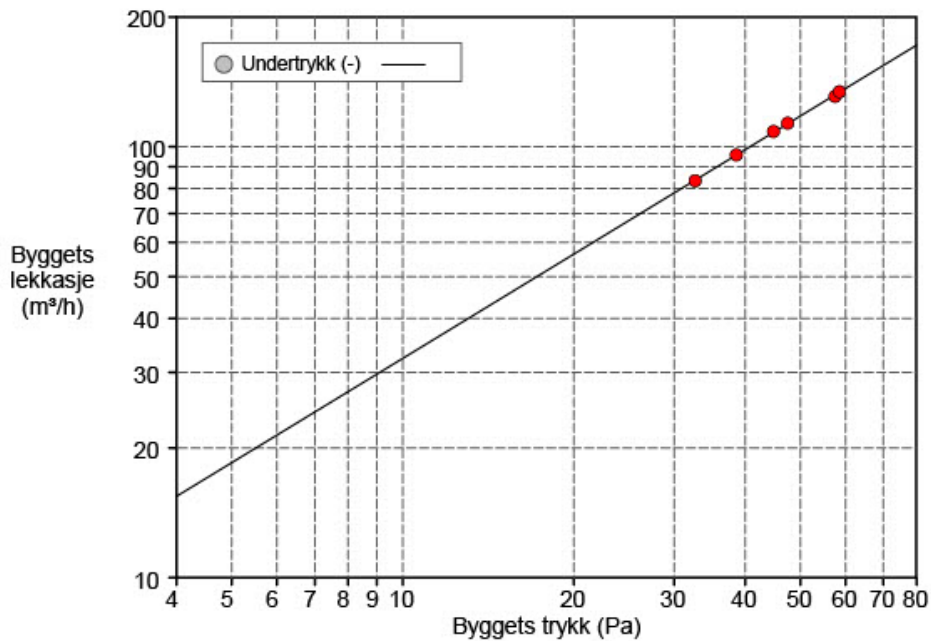
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99930

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.8	2.1	101800.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.5	0.0	-1.5	-2.0	0.0	-2.0

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.5	n/a	n/a					
-59.3	-57.5	45.9	139	129	131	-0.8	Ring C
-60.3	-58.5	48.3	142	133	134	0.3	Ring C
-49.2	-47.5	34.8	120	112	114	0.3	Ring C
-46.6	-44.9	32.0	115	107	109	0.5	Ring C
-40.3	-38.6	25.1	102	95	96	0.0	Ring C
-34.4	-32.7	19.2	89	82	83	-0.3	Ring C
-2.0	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 23.03.2022 Testfil: Trykktest 2303 20.30 Teipet 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 30mm hull, intrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 30mm åpent, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 168 (+/- 2.6 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.97

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 6.66

q_{E75} :

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m² 0.0042 (+/- 2.6 %)

ELA _{F75} : m²/m² 0.0001657

ELA _{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 6.8 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 6.9 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.8 %)

EkspONENT (n) = 0.738 (+/- 0.047)

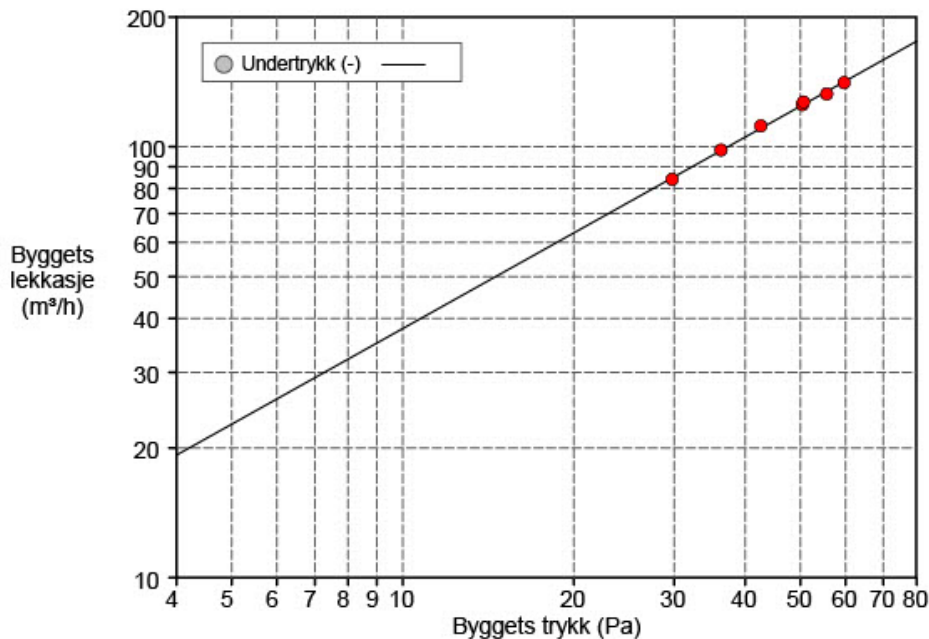
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99700

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.4	1.9	101700.0

Før test			Data for baseline			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$			
-1.8	0.0	-1.8	-2.3	0.0	-2.3			

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.8	n/a	n/a					
-61.7	-59.7	52.5	149	139	141	-0.5	Ring C
-57.7	-55.6	46.7	140	130	133	-1.3	Ring C
-52.5	-50.4	41.8	132	123	125	0.2	Ring C
-52.7	-50.6	43.0	134	125	127	1.3	Ring C
-44.6	-42.6	33.5	118	110	112	1.2	Ring C
-38.3	-36.3	26.1	104	97	98	0.2	Ring C
-31.8	-29.8	19.3	89	83	84	-0.9	Ring C
-2.3	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 01.30 Åpent 30mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 30mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 75mm teipet, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q_{50} : m³/h (Luftmengde) 120 (+/- 0.6 %)

n_{50} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.12

q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 4.77

q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA₅₀ : m² 0.0037 (+/- 0.6 %)

ELA_{F50} : m²/m² 0.0001453

ELA_{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 7.9 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 7.9 %)

EkspONENT (n) = 0.782 (+/- 0.021)

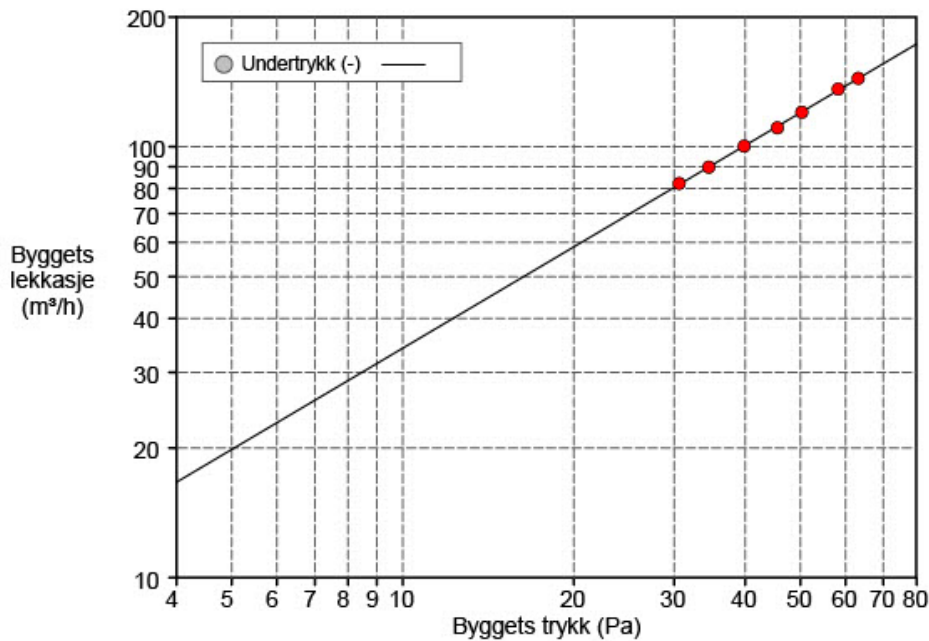
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99947

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Stille

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.0	1.8	101600.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.5	0.0	-1.5	-1.6	0.0	-1.6

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.5	n/a	n/a					
-64.7	-63.2	55.1	153	142	144	-0.0	Ring C
-59.8	-58.3	49.4	144	134	136	0.7	Ring C
-51.8	-50.3	38.8	127	119	120	-0.2	Ring C
-47.1	-45.5	33.1	117	109	111	-0.8	Ring C
-41.4	-39.8	27.3	106	99	100	-0.1	Ring C
-36.0	-34.5	22.0	95	89	90	-0.0	Ring C
-32.2	-30.6	18.5	87	81	82	0.4	Ring C
-1.6	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 75mm hull, intrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 75mm åpent, 50Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 50 Pascal:

q_{50} : m³/h (Luftmengde) 125 (+/- 1.0 %)

n_{50} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.21

q_{F50} : m³/(h·m² Gulvareal) 4.95

q_{E50} :

Lekkasjeareal:

ELA₅₀ : m² 0.0038 (+/- 1.0 %)

ELA_{F50} : m²/m² 0.0001510

ELA_{E50} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.6 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.6 %)

EkspONENT (n) = 0.789 (+/- 0.045)

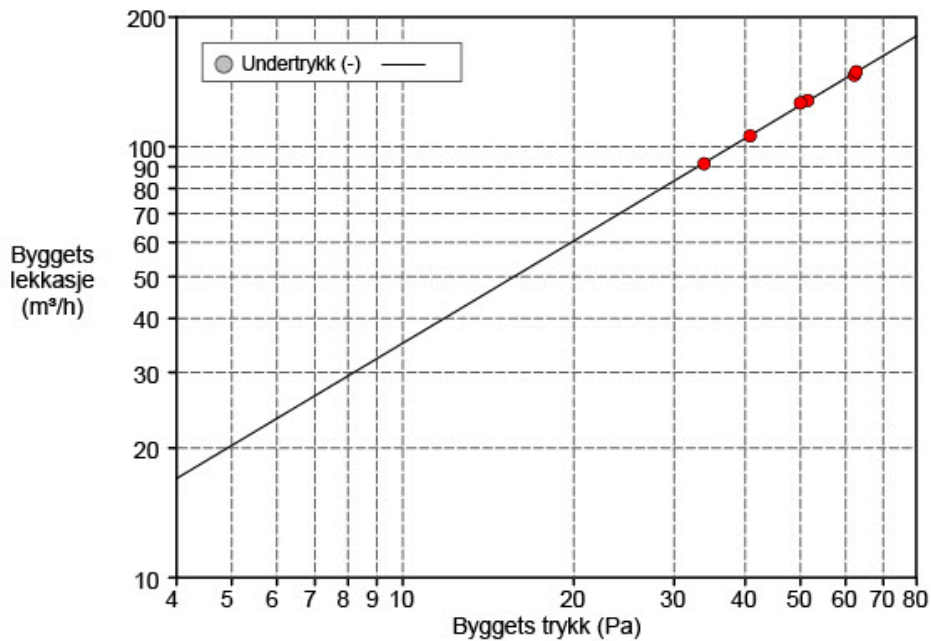
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99830

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 3 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.3	1.4	101500.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.3	0.0	-1.3	-1.8	0.0	-1.7

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.3	n/a	n/a					
-63.7	-62.2	57.2	156	145	147	-1.0	Ring C
-64.2	-62.7	59.2	158	147	149	0.1	Ring C
-53.0	-51.5	43.9	136	126	128	0.3	Ring C
-51.5	-50.0	42.9	134	125	126	1.3	Ring C
-42.3	-40.8	30.5	112	105	106	-0.2	Ring C
-35.4	-33.9	22.9	97	90	91	-0.4	Ring C
-1.7	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 75mm hull, inntrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 75mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 165 (+/- 1.2 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 2.92

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 6.54

q_{E75} :

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m² 0.0041 (+/- 1.2 %)

ELA _{F75} : m²/m² 0.0001628

ELA _{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 7.9 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 7.9 %)

EkspONENT (n) = 0.782 (+/- 0.021)

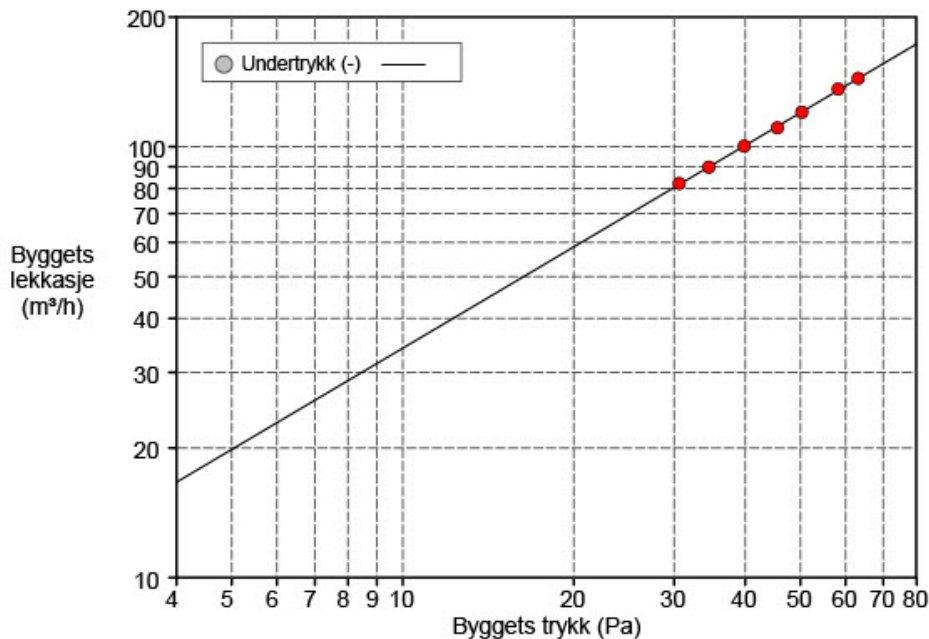
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99947

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Stille

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.0	1.8	101600.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.5	0.0	-1.5	-1.6	0.0	-1.6

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.5	n/a	n/a					
-64.7	-63.2	55.1	153	142	144	-0.0	Ring C
-59.8	-58.3	49.4	144	134	136	0.7	Ring C
-51.8	-50.3	38.8	127	119	120	-0.2	Ring C
-47.1	-45.5	33.1	117	109	111	-0.8	Ring C
-41.4	-39.8	27.3	106	99	100	-0.1	Ring C
-36.0	-34.5	22.0	95	89	90	-0.0	Ring C
-32.2	-30.6	18.5	87	81	82	0.4	Ring C
-1.6	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 02.30 Teipet 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med teipet 75mm hull, intrukket dampspærre

Tetthetsmåling med inntrukket dampsperre, 75mm teipet, 75Pa



TEST AV BYGNINGERS TETHET

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Testet av: Torstein Hagen

Prosjektnummer:

Kunde:

Bygningens adresse:

Testresultat ved 75 Pascal:

q_{75} : m³/h (Luftmengde) 172 (+/- 2.2 %)

n_{75} : 1/h (Luftskifteverdi) 3.04

q_{F75} : m³/(h·m² Gulvareal) 6.82

q_{E75} :

Lekkasjeareal:

ELA ₇₅ : m² 0.0043 (+/- 2.2 %)

ELA _{F75} : m²/m² 0.0001698

ELA _{E75} :

Bygningens lekkasjekurve:

Luftmengdekoefisient (C_{env}) = 5.6 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.6 %)

Luftlekkasjekoeffisient (C_L) = 5.7 m³/(h·Paⁿ) (+/- 17.6 %)

EkspONENT (n) = 0.789 (+/- 0.045)

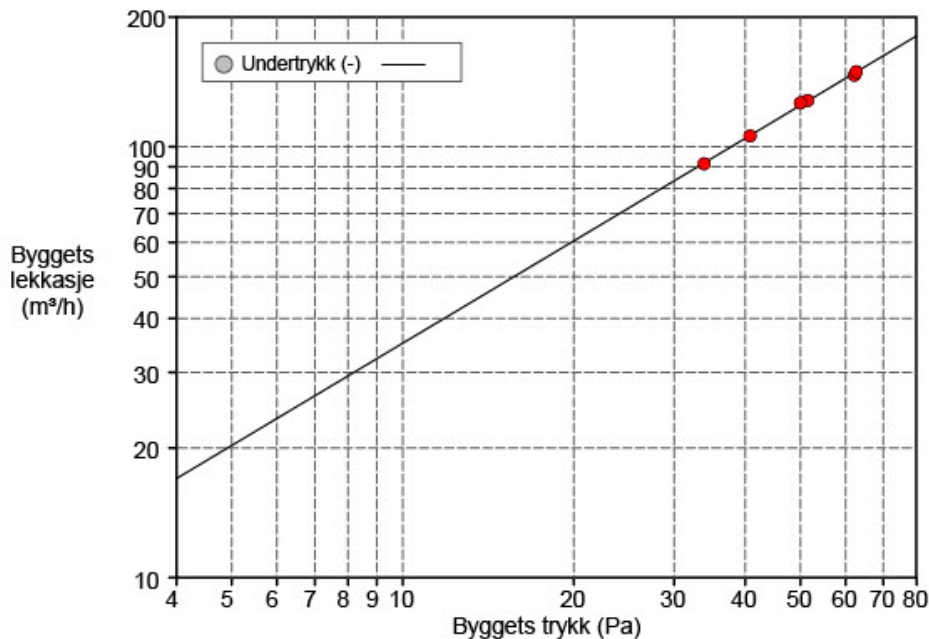
Bestemmelseskoefisient (r^2) = 0.99830

Teststandard: ISO 9972

Testmetode: Undertrykk

Testmetode:

Formålet med testen:



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Informasjon om bygget

Internt volum, V (m ³) (I henhold til ISO)	56.54
Netto gulareal, A_F (m ²) (I henhold til ISO)	25.2
Areal av klimaskallet, A_E (m ²) (I henhold til ISO)	
Høyde (m)	2.23
Usikkerhet ved målingen (%)	
Byggeanmeldt år	
Type oppvarming	
Type klimaanlegg	
Type ventilasjon	Ingen
Bygningen er utsatt for vind	Ubeskyttet bygning
Vindstyrke	Lett vind

Opplysninger om utstyret

Type	Produsent	Modell	Serienummer	Kalibreringsdato
Vifte	Energy Conservatory	Modell 4 (230V)		-
Mikromanometer	Energy Conservatory	DG700	60645	16.08.2010

TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 3 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Undertrykkstest:

Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
23.3	1.4	101500.0

Før test

Data for baseline

Etter test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.3	0.0	-1.3	-1.8	0.0	-1.7

Data - Automatisk test (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q_r (m ³ /h)	Juster mengde q_{env} (m ³ /h)	Juster mengde q_L (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.3	n/a	n/a					
-63.7	-62.2	57.2	156	145	147	-1.0	Ring C
-64.2	-62.7	59.2	158	147	149	0.1	Ring C
-53.0	-51.5	43.9	136	126	128	0.3	Ring C
-51.5	-50.0	42.9	134	125	126	1.3	Ring C
-42.3	-40.8	30.5	112	105	106	-0.2	Ring C
-35.4	-33.9	22.9	97	90	91	-0.4	Ring C
-1.7	n/a	n/a					

TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 4

Testdato: 24.03.2022 Testfil: Trykktest 2403 07.00 Åpent 75mm hull

Kommentarer

Trykktest med åpent 75mm hull, inntrukket dampspærre



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway