

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for matematiske og teknologiske fag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven er gjennomført våren 2015 som avslutning av det femårige masterprogrammet Byggeteknikk og arkitektur. Vår interesse for bygningsfysikk og veileder Tormod Aurlien sine innspill gjorde at vi endte opp med å skrive om bygningsinterne luftlekkasjer.

Utgangspunktet for problemstillingen var å undersøke ulike utfordringer og konsekvenser knyttet til bygningsinterne luftlekkasjer. Dette er et tema det er forsket lite på per i dag og vi har måttet benytte oss av internasjonale studier samt fagpersoner i byggenæringen i Norge med erfaring på emnet. Opparbeidingen av denne kunnskapen har gitt oss en formening om hvordan dagens krav til lufttetthet i bygninger fungerer i praksis. I sammenheng med mulig revidering av byggteknisk forskrift ser vi at bygningsinterne luftlekkasjer er et aktuelt tema som de nye forskriftene burde si noe mer om.

I løpet av våren har vi vært i kontakt med mange fagpersoner som har hjulpet oss. Først vil vi takke Skanskas ansatte som har hjulpet oss under målingene i Finstad Park. Spesielt vil vi takke prosjektleder Espen Rudshaug for å la oss få mulighet til å gjøre målinger på en byggeplass i full drift og som også har vist stor interesse for oppgaven. Vi må takke alle som har tatt seg tid til å møte oss – enten det har vært i planleggingsfasen av avhandlingen eller ved intervjusamtaler. Tilbakemeldingene vi har fått fra bransjen har gitt oss ekstra motivasjon, gode innspill og en mer nyansert oppfatning av tematikken.

Vi vil rette en stor takk til veileder Tormod Aurlien for å ha introdusert oss for et spennende emne vi har hatt stor glede av å arbeide med. Han har hele tiden vist stort engasjement og bidratt med faglig kunnskap og kontakter vi ikke kunne vært foruten.

Sist, men ikke minst, vil vi takke for all støtte og motivasjon fra venner og familie.

Ås, 15. mai 2015

Henrik Fluge Iden

Ola Sandeggen

Sammendrag

Byggteknisk forskrift stiller i dag kun krav til lufttettheten til bygningers klimaskjerm og bygningsinterne luftlekkasjer blir dermed neglisjert. I denne oppgaven undersøkes hvilke konsekvenser bygningsinterne luftlekkasjer har og hvorvidt det bør stilles krav til disse luftlekkasjene. Det blir også undersøkt ulike utfordringer man møter på når man skal dokumentere lufttetthet der bygningsinterne luftlekkasjer inngår.

Gjennom syv intervjuer med personer som har erfaring med lufttetthet fra sitt arbeid konkluderer oppgaven med at konsekvensene av bygningsinterne luftlekkasjer er så alvorlige at de ikke bør ignoreres i forskriftene.

Lufttetthetsmålinger på to case-prosjekter er blitt gjennomført; et laboratorium på NMBU og en boligblokk i Finstad Park i Ski. På laboratoriet ble endeseksjonens lufttetthet målt ved hjelp av støttetrykksmålinger og målingene viser at laboratoriet er svært utett. I Finstad Park ble samtlige 14 leiligheter i en oppgang trykktestet og ni interne leilighetsskillende veggens lufttetthet ble målt ved bruk av støttetrykksmålinger. I tillegg ble hele oppgangen trykktestet.

Eksemplifisert gjennom disse case-prosjektene tar denne oppgaven for seg ulike utfordringer knyttet til gjennomføring og dokumentasjon ved delmåling av lufttetthet. En stor utfordring ved en slik dokumentering er å få målt et utvalg som er representativt for bygningen. Gjennom resultater fra case-prosjektet i Finstad Park presenterer oppgaven hvordan utvalget man gjør kan påvirke måleresultatene. En konkretisering av utvalgskriterier som ikke åpner for like stor grad av tolkning vil kunne hindre både forsøk på og spekulasjoner om manipulasjon av måleresultater. En av erfaringene fra arbeidet med case-prosjektene er at støttetrykksmålinger er en egnet metode for kvantifisering av bygningsinterne luftlekkasjer, men så ressurskrevende at det i praksis ikke er fornuftig å benytte til

dokumentasjon av forskriftskrav. Ved å stille samme krav til interne overflater som til klimaskjermen, kan man gjennomføre delmålinger uten støttetrykk der man likevel tar hensyn til de interne luftlekkasjene. Ved bruk av en slik metode vil ikke dagens normaliseringsmetode av lekkasjeluftmengdene være tilstrekkelig og kravene bør bli evaluert der det tas hensyn til overflateareal-volum-forholdet i området som testes.

Abstract

Norway's regulation of buildings has the same requirements for energy performance in buildings as the EU implementation by Energy Performance of Buildings Directive of 2010, despite Norway not being a member of EU. In the EPBD, airtightness requirements are set only for airtightness of the building envelope, not internal building leakages, and therefore internal leakages are ignored. This thesis examines which consequences internal building air leakages have and whether the Norwegian building regulation should set requirements for these air leakages. The European standard EN ISO 13829 allows separate measurements on individual parts of the building, which is necessary when documenting internal air leakages. The separate measurement method raises a series of challenges linked to interpretation of the results, which is presented in this thesis.

By conducting seven interviews with persons experienced in the field of airtightness, the thesis states that the consequences of the internal air leakages may be so severe that it should not be ignored by the building regulation.

Airtightness measurements have been conducted in two case projects; a laboratory on the University of Life Sciences (NMBU) and an apartment building in Finstad Park, Ski. The laboratory's end section's airtightness was measured, as well as the airtightness of the adjoining wall between two laboratories by inducing pressure in the adjoining section. The result shows significant air leakages both out of the building envelope and through to the adjoining section. In Finstad Park, the airtightness was measured separately for 14 apartments connecting to the same common area and for the whole common area combined with all the apartments. The adjoining walls between the apartments on the same floor were also measured by inducing pressure in one of the adjoining apartments at a time.

These case projects exemplify different challenges encountered when conducting and documenting partial measurements. One of the challenges by doing separate individual measurements is finding an appropriate sampling method that is representative for the whole building. Chapter 4 presents how different sampling methods can affect the end result of separate measurements. By making a more specific sampling method one could reduce the interpretation of the standard and decrease variation in the end results.

The case projects has led to the conclusion that doing measurements with pressure in adjoining spaces is an optimal method of quantifying building internal leakages, but because of practical limitations it is not an appropriate way of documenting. By setting the same requirements for internal surfaces as for surfaces in the building envelope it enables the possibility of doing partial measurements without pressurizing the adjoining spaces and still acknowledging the internal air leakages. In the context of such a method, the air change rate n_{50} does not attain enough information about the surface's quality and therefore such requirements should be evaluated in relation to the surface-area-to-volume ratio.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	13
1.1 Bakgrunn og problemstilling	13
1.2 Avgrensning	14
2 Teori	15
2.1 Lufttetthet i bygninger	15
2.1.1 Hvorfor bygge lufttett?	15
2.1.2 Hva er lufttetthet?	16
2.1.3 Hvorfor bygge tette bygg?	19
2.2 Energi i bygninger	24
2.2.1 Generelle krav om energi	25
2.2.2 Energiltak	26
2.2.3 Energirammer	28
2.2.4 Minimumskrav	30
2.2.5 Beregning av varmetransport på grunn av infiltrasjon	30
2.2.6 Historisk utvikling av krav til lufttetthet	32
2.2.7 Lavenergiboliger og passivhus	33
2.2.8 ZEB	35
2.2.9 Fremtidens krav til energieffektivitet	36
2.3 Normaliserte begreper	37
2.4 Internasjonal praksis	39
2.4.1 Sverige	39
2.4.2 Danmark	40
2.4.3 Finland	41
2.4.4 Tyskland	41
2.4.5 Frankrike	42
2.5 Byggeprosessen	44
2.5.1 Fokus på tett og fuktsikker bygning	44
2.5.2 Aktørers roller	46
2.6 Kontroll av lufttetthet	47
2.7 Byggematerialer	53
2.7.1 Dampsperrer	53
2.7.2 Vindsperrer	55
2.7.3 Tette materialer for fuger og overganger	56
2.8 Tett bygg og innemiljø	57
2.8.1 Termisk komfort	58
2.8.2 Bruk av bolig med lavt lekkasjetall	62
3 Metode og prosjekter	63
3.1.1 Utstyr	63
3.2 Litteraturstudier	66
3.3 Intervjuer	66
3.4 Finstad Park	69
3.4.1 Byggeteknikk	70

3.4.2	Hypoteser	71
3.4.3	Utstyr benyttet	73
3.4.4	Trykktest av leiligheter	73
3.4.5	Forberedelser	76
3.4.6	Usikkerhetsmomenter	76
3.5	Fløy 4 – TF-kvartalet	77
3.5.1	Hypotese	78
3.5.2	Utstyr benyttet	79
3.5.3	Trykktest av laboratoriet	79
3.5.4	Forberedelser	80
3.5.5	Usikkerhetsmomenter	81
4	Resultater	82
4.1	Fløy 4 – TF-kvartalet	82
4.2	Finstad Park	83
4.3	Intervjuer – et sammendrag	91
5	Analyse og diskusjon	100
5.1	Analyse	100
5.2	Diskusjon	108
6	Konklusjon	110
7	Videre arbeid	112
8	Referanseliste	114
9	Vedlegg	117
	Vedlegg 1: Oppgang E	118
	Vedlegg 2: E2101	122
	Vedlegg 3: E2101 med støttetrykk	124
	Vedlegg 4: E2102	126
	Vedlegg 5: E2103	128
	Vedlegg 6: E2103 med støttetrykk	130
	Vedlegg 7: E2201	132
	Vedlegg 8: E2201 med støttetrykk	134
	Vedlegg 9: E2202	136
	Vedlegg 10: E2203	138
	Vedlegg 11: E2203 med støttetrykk	140
	Vedlegg 12: E2301 undertrykk	142
	Vedlegg 13: E2301 overtrykk	144
	Vedlegg 14: E2301 med støttetrykk	146
	Vedlegg 15: E2302	148
	Vedlegg 16: E2303	150
	Vedlegg 17: E2303 med støttetrykk	152
	Vedlegg 18: E2401	154

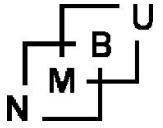
Vedlegg 19: E2401 med støttetrykk	156
Vedlegg 20: E2402	158
Vedlegg 21: E2403	160
Vedlegg 22: E2403 med støttetrykk	162
Vedlegg 23: E2501	164
Vedlegg 24: E2501 med støttetrykk	166
Vedlegg 25: E2504	168
Vedlegg 26: Fløy 4 uten støttetrykk	170
Vedlegg 27: Fløy 4 med støttetrykk	172

Figurer

Figur 2.1 Eksempel på effekten av å forbedre en bygnings lekkasjetall (A) sammenliknet med effekten av å øke isolasjonstykkelsen i veggene (B) (Hole & Aurlien 2013)	15
Figur 2.2 Eksempel på luftlekkasjer (Holøs & Aurlien 2014)	16
Figur 2.3 Vindtrykk rundt bygninger (Quirouette 2004)	17
Figur 2.4 Skorsteinseffekten i bygninger (Quirouette 2004).....	19
Figur 2.5 Oppholdssone (Blom 1999)	20
Figur 2.6 Eksempel på en bygning med tilsvarende strømningsnettverk (Tormod Aurlien 2003)	32
Figur 2.7 Hentet fra Byggdetaljblad 474.624	38
Figur 2.8 Dampsperre (Illustrasjon: NORTETT).....	53
Figur 2.9 SIGA-teip (Illustrasjon: www.siga-store.com)	57
Figur 2.10 Vegetasjon som solskjerming (Bryn et al. 2012)	59
Figur 3.1 BlowerDoor koblet til PG-700 og PC med Tectite, innsatt i balkongdør (Foto: Henrik Fluge Iden)	63
Figur 3.2 TSI VelociCalc Plus (Foto: Ola Sandeggen)	64
Figur 3.3 Frekvensregulator (Foto: Ola Sandeggen).....	65
Figur 3.4 Finstad Park. Situasjonsplan (Illustrasjon: Skanska Bolig)	69
Figur 3.5 Finstad Park, bygning E (Foto: Ola Sandeggen)	70
Figur 3.6 Planløsninger i blokk E av de målte etasjene 25.-26. februar (Illustrasjon: Henrik Fluge Iden)	74
Figur 3.7 Planløsningen for 3. og 4. etasje som ble målt 11. mars (Illustrasjon: Henrik Fluge Iden)	75
Figur 3.8 Fløy 4 (Foto: Ola Sandeggen).....	77
Figur 3.9 BlowerDoor koblet til DG-700 og PC med Tectite (Foto: Henrik F. Iden) ...	79
Figur 3.10 Bilde tatt under forberedelser til trykktest på fløy 4. Viften og den provisoriske veggene er installert (Foto: Henrik Fluge Iden).....	80
Figur 4.1 Prinsippsnitt av leilighetene i oppgang E2	83
Figur 4.2 n_{50} -verdier for alle leiligheter, leilighetenes gjennomsnittsverdi og oppgang E2 sammen med kravet til hele bygning E	86
Figur 4.3 q_{50} -verdier for alle leiligheter, leilighetenes gjennomsnittsverdi og oppgang E2 sammen med kravet til hele bygning E	86
Figur 4.4 Overflateareal-volum-ratioene til alle leilighetene, oppgang E2 og bygning E	87
Figur 4.5 Beste og dårligste n_{50} -resultater for ulike utvalgs-kriterier.....	88
Figur 4.6 Beste og dårligste q_{50} -resultater for ulike utvalgs-kriterier.....	88
Figur 4.7 Relativ variasjon mellom beste og dårligste resultat for ulike utvalgs-kriterier	89
Figur 4.8 q_{50} -verdier for leilighetsskillende vegger	90
Figur 4.9 q_{50} -verdier for leiligheter og leilighetsskillende vegger	91
Figur 5.1 Illustrasjon av hvordan infiltrasjonsmengde avhenger av bygningsinterne luftlekkasjer (Rusten & Wilhelmsen 2011)	103
Figur 5.2 Eksempel på to like store arealer, én med kompakt(A) og én med utflytende(B) utforming.....	105

Tabeller

Tabell 2.1 Minstekrav lekkasjetall, hentet fra NS-EN 3700:2010	33
Tabell 4.1 Data for VA-laboratoriets geometri	82
Tabell 4.2 Måleresultater fra trykktester i VA-laboratoriet	82
Tabell 4.3 Resultater for skillevegg	82
Tabell 4.4 Innvendige volumer, overflateareal og overflate- volum-ratioen til alle målte objekter og hele bygning E	84
Tabell 4.5 Testresultat for alle leiligheter og oppgang E2	85
Tabell 4.6 Antall målte enheter, samt beste og dårligste n50- og q50-resultater for ulike utvalgsriter	87
Tabell 4.7 Relativ variasjon mellom beste og dårligste resultat for ulike utvalgsriterier	89
Tabell 4.8 Målte og beregnede resultater for leilighetsskillende vegger	90



1 Innledning

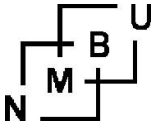
1.1 Bakgrunn og problemstilling

Energieffektivisering ses i dag på som et av de viktigste tiltakene for å redusere klimagassutslipp og dermed bremse opp den globale oppvarmingen. Bygningsmassen er beregnet til å stå for 40% av landets stasjonære energiforbruk. En energieffektivisering av bygningsmassen vil dermed være et vesentlig bidrag til å skape et mer bærekraftig samfunn.

Gjennom bygningsenergidirektivet har Norge forpliktet seg til å sette som mål å kreve at nye bygninger skal bygges på passivhusnivå i 2015 og nullutslippsnivå innen 2020. Som en del av å redusere energiforbruk til oppvarming stilles det krav til infiltrasjonsvarmetap i form av et krav til lufttetthet i bygninger.

I dagens modell for å beregne infiltrasjonsvarmetap tas det kun hensyn til luftlekkasjer gjennom klimaskallet. Dette har ført til et sterkt fokus på utførelse og detaljer i yttervegger og tak for å sikre lufttette konstruksjoner. I denne oppgaven rettes fokuset mot luftlekkasjer mellom enheter innenfor klimaskallet-bygningsinterne luftlekkasjer.

Denne oppgaven vil ta for seg ulike konsekvenser av bygningsinterne luftlekkasjer. På bakgrunn av denne undersøkelsen gjøres det en vurdering av om det bør stilles krav til bygningsinterne luftlekkasjer. Siden det i dag ikke finnes noen spesifikke krav, finnes det heller ingen egen metode for å dokumentere og evaluere bygningsinterne luftlekkasjer. Oppgaven vil derfor også ta for seg ulike utfordringer og muligheter knyttet til dokumentasjon av bygningsinterne luftlekkasjer.



Problemstillingen oppgaven ser nærmere på er:

Bør det stilles krav til bygningsinterne luftlekkasjer og hvordan bør bygningsinterne luftlekkasjer dokumenteres?

1.2 Avgrensning

I denne oppgaven er det ikke gjort noen vurdering av økonomi. Verken økonomiske konsekvenser av store bygningsinterne luftlekkasjer eller hvilke kostnader et eventuelt krav til bygningsinterne luftlekkasjer vil medføre er vurdert.

I oppgaven vil konsekvenser av bygningsinterne luftlekkasjer bli vurdert, uavhengig av hvor de befinner seg. Det er av den grunn ikke utført lekkasjesøk i forbindelse med tetthetsmålingene i case-prosjektene. Det er heller ikke gjort noen vurdering av hvordan byggeteknikken påvirker lufttettheten.

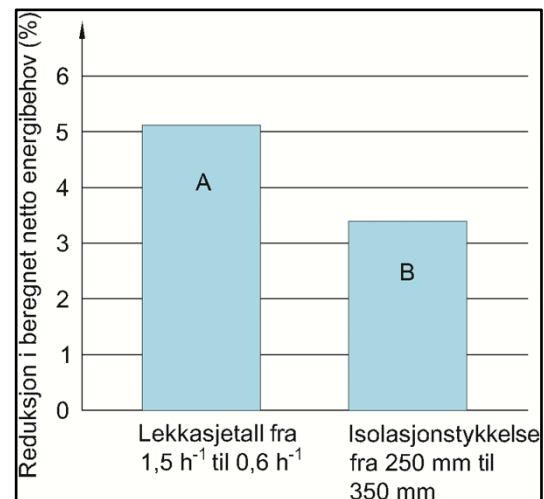
2 Teori

2.1 Lufttetthet i bygninger

2.1.1 Hvorfor bygge lufttett?

Tidligere har man ment at utettheter i bygningskroppen bidrar til bedre innelima og luftutskiftning, men det er nå i en større del av byggenæringen enighet om at en slik byggemetode er en usunn måte å ventilere bygninger på. Denne formen for innelima krever en veldig utett klimaskjerm som er lite gunstig i vårt klima, da utilsiktede luftlekkasjer gir tilførsel av kald uteluft som må varmes opp og dermed øker energibehovet (Holøs & Aurlien 2014). Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) sier at man er nødt til å bygge tett for at energikravene skal oppnås. Norges bygningsmasse står for 40 % av landets stasjonære energiforbruk (DiBK 2015) og en reduksjon av energiforbruket er derfor en nødvendighet for at både Norge og EU skal nå målene Bygningsenergidirektivet har satt. Direktivets hovedmål er at alle nye bygninger skal være "nesten nullenergibygninger" innen 2020, et ambisiøst mål, som har gitt medlemsland i EU strengere krav for minimumsstandarder for energiytelse. Norge innførte i sin tid Bygningsenergidirektivet fra 2002 og følger deres krav selv om EØS ennå ikke offisielt har innlemmet disse kravene (Lavenergiprogrammet 2012).

I prinsippet bør lekkasjetallet altså være så lavt som mulig. Det er mulig å bygge tettere enn hva minimumskravet i byggeforskriften sier, men det kan være utfordrende og det er dermed viktig å sette fokus på det også i tidligfasen av prosjektet. Ved et utett bygg forringes rett og slett bygningens levetid og er sammen med god



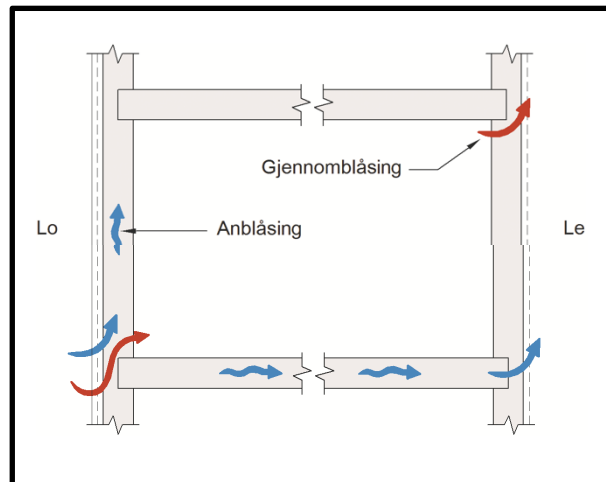
Figur 2.1 Eksempel på effekten av å forbedre en bygnings lekkasjetall (A) sammenliknet med effekten av å øke isolasjonstykkelsen i veggene (B) (Hole & Aurlien 2013)

kvalitet på inn klima, årsak til hvorfor det stilles krav til lufttetthet i bygninger.

2.1.2 Hva er lufttetthet?

Infiltrasjonsvarmetap

Teknisk forskrift har satt grenser for infiltrasjonsvarmetap ut av en bygningskropp ved å sette krav til lufttetthet i form av lekkasjetall. Her skiller man mellom to typer luftlekkasjer: gjennomblåsing og anblåsing (Lavenergiprogrammet 2013). Ved gjennomblåsing strømmer luft gjennom både vindsperre og dampsperre. Det skjer i begge retninger, ved infiltrasjon og eksfiltrasjon. Anblåsing er luftstrøm som strømmer gjennom åpninger i veggens ytre tettesjikt, altså vindspærren, og inn i isolasjonen et sted i konstruksjonen og strømmer deretter ut gjennom vindspærren et annet sted. Denne typen luftlekkasje oppstår på grunn av varierende vindtrykk oppover langs vindspærren. Anblåsing vil føre til varmetap, da den tilførte luften reduserer konstruksjonens varmeisolasjonsevne, men har ikke nødvendigvis innflytelse på lekkasjetallet. For å hindre slik infiltrasjon er det viktig at både vindsperr materialet og skjøtene er lufttette (Holøs & Aurlien 2014).



Figur 2.2 Eksempel på luftlekkasjer (Holøs & Aurlien 2014)

Interne luftlekkasjer

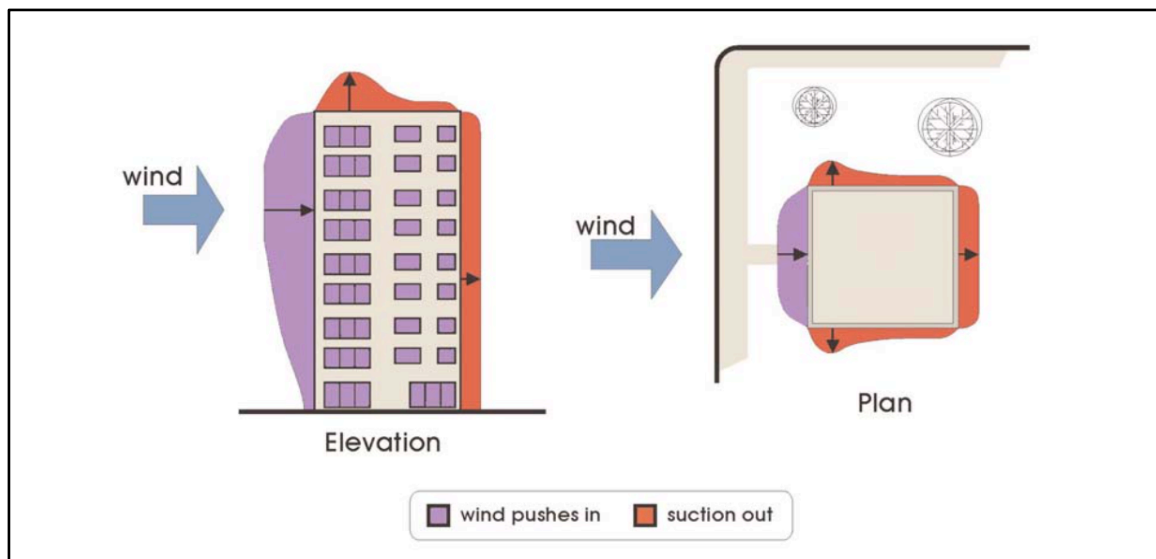
Interne luftlekkasjer er utettheter innenfor klimaskjermen av en bygningskropp. Slike lekkasjer kan forekomme mellom bruksenheter eller brannceller, og også til tilstøtende rom, som korridorer, og til sjakter eller tilstøtende tekniske volumer. Ved måling av lufttetthet i en avgrenset del av bygningen vil lekkasjetallet også inkludere interne luftlekkasjer mellom enheter (Blom & Uvsløkk 2012).

Drivkrefter

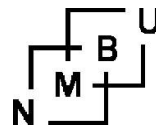
For at det skal oppstå en luftstrøm på grunn av utettheter må det være trykkforskjell i skillekonstruksjonen mellom de to gjeldende volumene. Det er tre typer drivkrefter som skaper slik trykkforskjell (Blom & Uvsløkk 2012):

- Vind
- Vifter i ventilasjonsanlegg
- Temperaturforskjeller

Når vind treffer en bygning vil vindens hastighet stanse opp og medføre en økning i trykk på fasaden, gjerne kalt stagnasjonstrykk (Quirouette 2004). På le side vil det være et overtrykk. Denne stagnerte vinden på le side vil gi økt vindhastighet på sidene og på lo side av bygningen, som skaper undertrykk, se figur 2.3. Disse eksterne trykkforskjellene forårsaker luftlekkasjer gjennom klimaskjermen dersom den ikke er tett. Vinden gir som oftest et lite undertrykk inne, men dersom det er flest lekkasjer i konstruksjonen på losiden, kan det bli overtrykk inne (Quirouette 2004). Undersøkelser viser at vind ikke er den dominerende drivkraften til luftlekkasjer, men kan likevel være utslagsgivende for ukontrollerte



Figur 2.3 Vindtrykk rundt bygninger (Quirouette 2004)

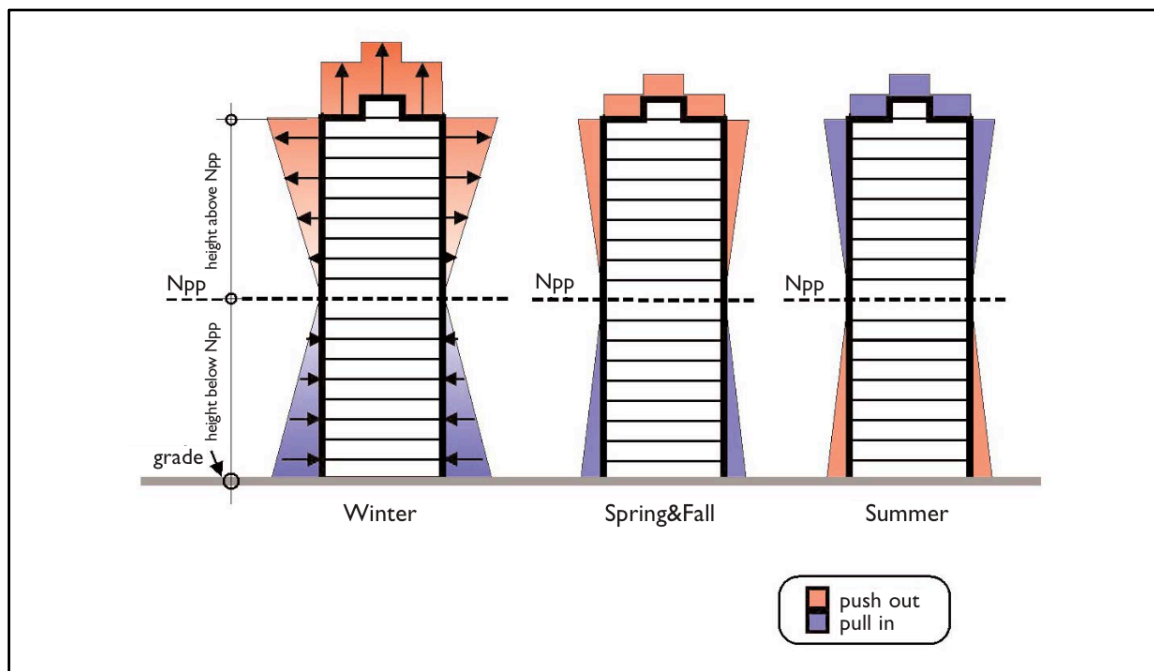


luftutskiftninger (Quirouette 2004). Det interne lufttrykket vil altså øke eller minke på grunn av variasjon i vindens intensitet og retning den treffer bygget på.

Hvordan en bygning er ventilert vil påvirke luftstrømmene inn og ut av bygningen. Et volum som kun har avtrekksvifter vil gi volumet et lite undertrykk i motsetning til et volum med bare tilluft, som da vil gi overtrykk. Mekanisk avtrekksventilasjon gir et større undertrykk (Holøs & Aurlien 2014). Forsert mekanisk avtrekk, som kjøkkenhetter, vil gi større trykkforskjeller dersom det ikke tilføres nok luft. I dag anbefales balansert mekanisk ventilasjon, som kan gi like store tillufts- og avtrekksmengder. Slik ventilasjon vil ikke gi trykkforskjeller så lenge luftmengdene inn og ut er like. Forsert avtrekk eller feil innregulerte ventilasjonsanlegg kan medføre trykkforskjeller mellom bruksenheter og vil være en drivkraft for interne luftlekkasjer.

Temperaturforskjeller, eksempelvis mellom inne- og uteluft eller mellom tilstøtende bruksenheter, vil gi trykkforskjeller. Det kommer av at kald luft har høyere tetthet enn varm luft. Når innetemperaturen er høyere enn utetemperaturen vil internluften presses oppover innad i klimaskjermen i den høyere delen av bygningen og skape overtrykk, samtidig som at det oppstår undertrykk i den lavere delen av bygningen, se figur 2.4. Denne oppdriften blir gjerne kalt skorsteinseffekten, som er fenomenet som for eksempel gir oppdrift i en varm pipe (Geving 2005; Quirouette 2004). Ved lave temperaturer vil trykkforskjellen være større og man får større luftstrøm ut av de øvre deler av bygningen der det er overtrykk. I den nedre delen av bygningen vil undertrykket føre til at luft suges inn gjennom utettheter i konstruksjonen. I kjellere eller underetasjer kan fuktig luft fra grunnen komme inn i konstruksjonen og gi kondens (Geving 2005). Trykkforskjellen mellom inne og ute er proporsjonal med temperaturforskjellen mellom inne og ute og med høydeforskjellen fra nøytralaksen (Quirouette 2004). I Norge vil innendørstemperaturen være høyere enn uteluften i fyringssesongen, en

periode som i Sør-Norge varer fra september til mai, og skorsteinseffekten er derfor en veldig reell årsak til luftlekkasjer. Ved interne luftlekkasjer kan denne typen luftstrøm også være aktuell, for eksempel dersom tilstøtende leiligheter har en markant temperaturforskjell (Geving 2005).



Figur 2.4 Skorsteinseffekten i bygninger (Quirouette 2004)

2.1.3 Hvorfor bygge tette bygg?

God inneluft

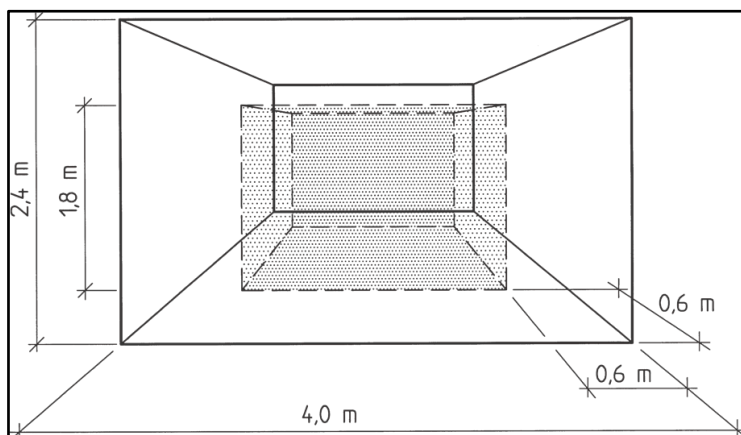
Det er en nødvendighet og en forutsetning for energieffektive bygninger at inn klimaet er godt. For at man skal sikre god nok inneluft, må man ha kontroll på tilførsel og avtrekk av lufta. Derfor er det viktig å ha et riktig dimensjonert ventilasjonsanlegg som sikrer riktig mengde luftutskiftning. Samtidig er det nødvendig at klimaskjermen og branncellene er så lufttette som mulig for å opprettholde mest mulig kontroll. At en bygning har dårlig inneluft skyldes ikke et for tett bygg, men for dårlig ventilasjon.

Ventilasjon

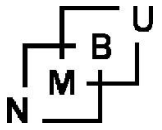
TEK 10 beskriver at årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg skal være minimum 70 %. Skal man følge passivhusnivå, er kravet for midlere temperaturvirkningsgrad minimum 80 % for varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg, i følge NS 3700. Disse kravene gjør det tilnærmet umulig å bygge med luftåpen klimaskjerm, da luftlekkasjene vil gi ekstra varmetap ettersom energien i denne lufta ikke blir gjenvunnet. Bedre lufttetthet gir òg en mer stabil innetemperatur, som kan hindre at man kompenserer for sjenerende trekk med å øke innetemperaturen. I tillegg kreves det at ventilasjonsanlegget er utformet slik at det minimerer energiforbruket.

Komfort

Høy lufthastighet innendørs kan gi nedsatt komfort i form av trekk (Blom 1999). Ved siden av kaldras og for mye tilluft fra ventilasjonsanlegget skyldes høy lufthastighet utettheter i bygningen. Ved små bruksarealer, for eksempel i mindre leiligheter, er viktigheten av å unngå trekk spesielt stor for å kunne ha optimal komfort i hele bruksarealet, se figur 2.5. En tett klimaskjerm hindrer ubehag i nærsoner av yttervegg og gjør det mer komfortabelt å benytte seg av dette arealet. Har man et ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner, vil det resterende arealet også ha høyere komfort og det er derfor viktig at ventilasjonsanlegget fungerer optimalt.



Figur 2.5 Oppholdssone (Blom 1999)



Forurensning i innelufta

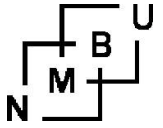
I løpet av vår levetid holder vi oss inne omtrent 85-90 % og kvaliteten på innelufta er derfor viktig for vår helse, trivsel og funksjon (Aas 2010b). Ukontrollerte mengder med uteluft som trekker inn i bygningen har partikler i seg som gir helseplager ved for høye mengder. Disse partiklene kan være kjemiske stoffer fra industri og trafikk, men også naturlige stoffer, som pollen, alger og muggsopp. Andre årsaker til dårlig inneluft kommer av matlaging, avgasser i vaskemidler og parfymer, for mange mennesker i forhold til luftvolum, svevestøv og annet (Aas 2010a). Høyt partikkelinnhold av forurensninger kan provosere frem for eksempel astma og pollenallergier, og særlig mennesker med lunge- og hjertesykdommer er utsatte i slik miljø. De fleste ventilasjonsanlegg i dag har filtre som filtrerer forurensningene til en godkjent mengde – også pollenkorn (Aas 2010a). For allergikere er det en stor fordel at inneluft kommer fra et godkjent ventilasjonsanlegg og ikke gjennom utettheter.

Fuktsikring

Luftlekkasjer gir økt risiko for fuktskader i konstruksjonen. Slagregn og kondensering er de to faktorene som gir slike skader og mulige konsekvenser er råte, muggsopp og nedsatt isolasjonsevne.

Ved slagregn vil det være vindtrykk på ekstern side av konstruksjonen som er større enn trykket inne. Denne trykkforskjellen vil føre regnvannet inn i konstruksjonen gjennom utetthetene. Ved større mengder regnvann inn i konstruksjonen kan det utvikles soppskader og mugg som gir dårlig inneklima og som ødelegger konstruksjonen. I områder med hardt vær, for eksempel Vestlandet, er dette et større problem.

Kondens oppstår når luftstrømmen kjøles ned på vei mot kald side av konstruksjonen. Fuktskader opptrer vanligvis på grunn av overtrykk inne, der det vanligvis er høyere temperatur og høyere vanndampinnhold (Geving 2005; Kvande



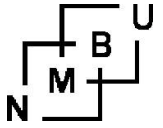
et al.). På yttervegg kondenserer fukten på vindsperra på varm side. Ved kalde perioder, når temperaturforskjellen inne og ute er stor, er konstruksjonen mer utsatt for fuktproblematikk, da luftstrømmen vil være høyere enn ved mindre temperaturforskjeller. Takkonstruksjonen er imidlertid mest utsatt fordi det innvendige overtrykket er størst oppunder varm side av takkonstruksjonen på grunn av skorsteinseffekten og dermed er det her risikoen for luftlekkasjer er størst (Blom & Uvsløkk 2012). I kalde årstider dannes det rim som ved mildere vær smelter og renner ned i isolasjon og i verre tilfeller gjennom himlingen.

Redusert oppvarmingsbehov

Hovedårsaken til at det stilles krav til lufttetthet er at man ønsker å holde infiltrasjonsvarmetapet på et akseptabelt nivå. I Norge varierer årsmiddeltemperaturer fra et par grader minus og til pluss åtte grader celsius (Kvande et al. 2012) og avviket til gjennomsnittlig innetemperatur er dermed ganske stor – også i mildere strøk. Dermed er oppvarmingsbehovet stort og for at energiforbruket til oppvarming skal være innenfor kravene er det essensielt at luftlekkasjer holder seg til et minimum i bygningskroppen. Luftlekkasjer medfører et større luftskifte som fører til større ventilasjonsvarmetap. Dagens ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner vil ikke fungere slik det skal, da lekkasjeluften vil strømme utenom inntak til gjenvinneren. Fukt eller luftstrøm inn i klimaskjermen på grunn av utettheter reduserer isolasjonsevnen til isolasjonsmaterialet og gir et større oppvarmingsbehov.

Sjenerende trekk, som kan komme fra utettheter, oppleves av mange som at det er kjølig og man velger gjerne å øke temperaturen og dermed energibehovet for å kompensere for ubehaget.

Andre faktorer som påvirker varmetapet i en bygning ved større lekkasjer er lokalklima, bygningens plassering i terrenget, antall etasjer og hvilken type ventilasjonsanlegg som benyttes.



Radon

Radon er en radioaktiv gass som tilføres hovedsakelig gjennom utettheter mot berggrunnen under bygningen. For høy eksponering for radon kan føre til sykdom, som lungekreft (Bjaanes & Aarseth 2012). Teknisk forskrift sier at bygninger beregnet for varig opphold skal ha radonsperre. I områder hvor konsentrasjonen av radongass er høy, er lufttettheten svært viktig. Ved gjennomføringer i radonsperren eller utettheter fra eksempelvis skader under bygging som ikke tettes, kan maksimumsverdien for radon overstiges, selv om det ikke er i de mest utsatte områdene. God lufttetthet i vegger og tak vil også virke forebyggende fordi trykkforskjellen over gulvet blir redusert.

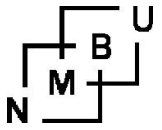
Lukt

Et enkelt merkbart problem som raskt kan bli ubehagelig for brukeren er lukt, som kommer fra eksterne kilder eller fra tilstøtende enheter. Vedvarende vond lukt vil redusere trivsel og livskvaliteten og kan i verre tilfeller være helseskadelig. Vanlige tilfeller er mat- eller røyklukt fra naboileigheter eller fellesområder. Eksos fra parkeringskjeller kan også forekomme og gi helseskadelige effekter. Utettheter er kritiske for slike tilfeller og det er tilfeller av klagesaker der kjøperen ønsker å få hevet kjøpet på grunn av sterkt ubehagelige luktproblemer. Særlig er det viktig at skillekonstruksjoner mellom leiligheter er lufttette slik at interne luftlekkasjer holder seg til et minimum. I tillegg bør ventilasjonsanlegget reguleres slik at det er minimal trykkforskjell i tilstøtende bruksenheter.

Lydisolasjon

God lufttetthet er en essensiell faktor for god lydisolasjon, fra både interne og eksterne støykilder. Norsk institutt for by- og regionforskning (NIBR) utførte i 2008 en undersøkelse om tilfredshet med nybygde boliger. Rapporten forteller at 17 prosent av husholdningene er misfornøyde med lydisoleringen mot naboileighet (Barlindhaug et al. 2012). Dette er under byggeforskriftens krav om maksimalt 20 % misfornøyde i forhold til lyd, men belyser likevel et ofte forekommende problem.

Lyd overføres på flere måter, for eksempel som luftlyd eller trinnlyd, og kan gjøre



det vanskelig å separere problemområdene når man gjør målinger. Det er gjerne høyfrekvente lyder som blir hindret ved god lufttetting.

Brannsikkerhet

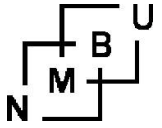
En meget alvorlig konsekvens og et viktig argument for å minimere interne luftlekkasjer er brannsikkerheten. Utettheter mellom brannceller eller ut til trapperom som benyttes som rømningsvei kan være avgjørende for om skader eller liv går tapt. Selv om flammer ikke spres gjennom slike lekkasjer, vil røyk og gasser fra en brann kunne strømme gjennom. I de fleste tilfeller av liv tapt relatert til brann er røykdannelse påfulgt av røykforgiftning årsaken. Røyktettheten er derfor like viktig å ta hensyn til som gjennombrenningstiden for skillekonstruksjoner. 2. tertialrapport fra Oslo beskriver at i 18 prosent av brannene spredte brannen seg ut fra startbranncellen (Dalen 2014). I statistikken om røyk i rømningsvei blir utettheter, blant annet rundt gjennomføringer, nevnt som årsak.

2.2 Energi i bygninger

Om energi i bygninger

Den gjennomsnittlige levetiden for bygninger er svært lang sammenliknet med andre investeringer. Det som bygges i dag vil stå i de bygde omgivelsene i flere tiår. Ettersom energi benyttet i bygninger i dag estimeres til stå for nærmere 40% av landets samlede, stasjonære energiforbruk, er potensialet for effektivisering er stort. Tiltak som gjøres på nye bygninger i dag vil ha positive konsekvenser i et langsiktig perspektiv (Regjeringen Stoltenberg II 2012b).

Bygningsenergidirektivet (Bygningsenergidirektivet 2010) definerer krav om energieffektivisering av bygg. Kravene fokuserer på nye minimumsstandarder for energiytelsen energimerking og energieffektiv rehabilitering av bygg. Europakommisjonen anslår at en vellykket implementering av direktivet kan bidra



til en reduksjon på 5-6% av EUs totale energiforbruk. Bygningsenergidirektivet er implementert i Norge gjennom TEK10 (Lavenergiprogrammet 2012).

2.2.1 Generelle krav om energi

Her til lands blir krav til energieffektivitet i bygninger regulert gjennom teknisk forskrift i Plan og bygningsloven. Nedenfor er krav til bygninger gjengitt fra gjeldende forskrift, TEK10.

§ 14-1. Generelle krav om energi

(1) Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at lavt energibehov og miljøriktig energiforsyning fremmes. Energikravene gjelder for bygningens oppvarmede bruksareal (BRA).

(2) Beregninger av bygningers energibehov og varmetapstall skal utføres i samsvar med *Norsk Standard NS 3031 Beregning av bygninger energiytelse - Metode og data*. U-verdier skal beregnes som gjennomsnittsverdi for de ulike bygningsdeler.

Veiledning

Til første ledd

Hensyn til miljø, privatøkonomi og forsyningssikkerhet tilsier at lavt energibehov bør prioriteres når byggverk prosjekteres og oppføres. Energibehov til oppvarming og varmtvann bør i størst mulig grad dekkes med annen energiforsyning enn elektrisitet og/eller fossile brensler.

For å oppfylle kravene i § 14-1 skal bygninger ifølge § 14-2 enten tilfredsstillende krav angitt i § 14-2 Energiltak, eller ha totalt netto energibehov mindre enn kravene angitt i § 14-4 Energirammer. Minstekrav angitt i § 14-5 skal oppfylles enten krav til energiltak eller energirammer legges til grunn.

2.2.2 Energiltak

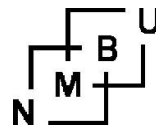
§ 14-3. Energiltak

(1) Bygning skal ha følgende energikvaliteter:

- a. Transmisjonsvarmetap:
 1. Andel vindus- og dørareal ≤ 20 % av oppvarmet BRA
 2. U-verdi yttervegg $\leq 0,18$ W/(m²K)
 3. U-verdi tak $\leq 0,13$ W/(m²K)
 4. U-verdi gulv $\leq 0,15$ W/(m²K)
 5. U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme $\leq 1,2$ W/(m²K)
 6. Normalisert kuldebroverdi, der m² angis i oppvarmet BRA:
 - småhus $\leq 0,03$ W/(m²K)
 - øvrige bygninger $\leq 0,06$ W/(m²K).
- b. Infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap:
 1. Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell:
 - småhus $\leq 2,5$ luftvekslinger pr. time
 - øvrige bygninger $\leq 1,5$ luftvekslinger pr. time.
 2. Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg:
 - boligbygning, samt arealer der varmegjenvinning medfører risiko for spredning av forurensning/smitte ≥ 70 %
 - øvrige bygninger og arealer ≥ 80 %.
- c. Øvrige tiltak:
 1. Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP)
 - boligbygning $\leq 2,5$ kW/(m³/s)
 - øvrige bygninger $\leq 2,0$ kW/(m³/s)
 2. Mulighet for natt- og helgesenking av innetemperatur
 3. Tiltak som eliminerer bygningens behov for lokal kjøling.

(2) For boligbygning kan energiltak i bokstav a og b fravikes, forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker.

(3) For øvrige bygninger kan energiltak i bokstav a fravikes, forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker.



Veiledning

Til første ledd

Energiltakene grupperes i tre kategorier; transmisjonsvarmetap, infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap samt øvrige tiltak. Inndelingen er valgt for å kunne utforme presise omfordelingsregler.

Kravet til en bygnings lekkasjetall gjelder vanligvis for hele bygningen. Dersom det er vanskelig å måle hele bygningen, kan en representativ andel bruksenheter måles. Resultatene fra målingene skal tilfredsstillende de samme kravene som stilles til hele bygningen.

Til annet ledd

Omfordeling mellom tiltak knyttet til transmisjonstap, infiltrasjonstap og ventilasjonstap godtas for boligbygninger. Robuste og langvarige løsninger knyttet til klimaskjermen bør gis prioritet. Tillatt omfordeling dokumenteres ved å vise at varmetapstallet, som angir bygningens samlede spesifikke varmetap, ikke øker

Til tredje ledd

Det tillates omfordeling kun mellom tiltak knyttet til transmisjonsvarmetap. Tillatt omfordeling dokumenteres ved å vise at varmetapstallet, som angir bygningens samlede spesifikke varmetap, ikke øker.

2.2.3 Energirammer

§ 14-4. Energirammer

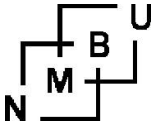
(1) Totalt netto energibehov for bygning skal ikke overstige rammer gitt i følgende tabell:

Tabell: Energirammer

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

(2) Kravene gitt i parentes gjelder for arealer der varmegjenvinning av ventilasjonsluft medfører risiko for spredning av forurensning/smitte.

(3) I flerfunksjonsbygninger skal bygningen deles opp i soner ut fra bygningskategori og de respektive energiramme oppfylles for hver sone.



Veiledning

Til første ledd

Det må gjennomføres en kontrollberegning som viser at samlet netto energibehov ikke overskrider fastsatt energiramme for aktuell bygningskategori, angitt i kWh/m² oppvarmet BRA per år. Alle energiposter knyttet til ordinær drift av bygningen skal inngå i kontrollberegningen. Energiforbruk til industrielle prosesser, kjølelagre o.l. tas ikke med i kontrollberegningen. Tap i varmesystemet medregnes ikke i netto energibehov.

Veiledning om tekniske krav til byggverk:

Energirammen for småhus (kWh/m² oppvarmet BRA per år) er uttrykt ved formelen: $120 + 1600 / m^2$ oppvarmet BRA.

Arealleddet er lagt til primært for å ta høyde for at småhus har relativt større ytterflate og tilhørende større varmetap per m² oppvarmet BRA enn større bygninger.

Kontrollberegningen skal gjøres etter reglene i NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data . I praksis kan man bruke beregningsprogrammer basert på eller validert i henhold til denne standarden.

2.2.4 Minimumskrav

§ 14-5. Minstekrav

(1) Følgende minstekrav skal oppfylles:

Tabell: Minstekrav

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

(2) Rør, utstyr og kanaler knyttet til bygnings varme- og distribusjonssystem skal isoleres for å hindre unødig varmetap.

(3) I tillegg gjelder følgende minstekrav, med unntak for småhus:

- U-verdi for glass/vindu/dør inkludert karm/ramme multiplisert med andel vindus- og dørareal av bygningens oppvarmede BRA skal være mindre enn 0,24
- Total solfaktor for glass/vindu(gt) skal være mindre enn 0,15 på solbelastet fasade, med mindre det kan dokumenteres at bygningen ikke har kjølebehov.

2.2.5 Beregning av varmetransport på grunn av infiltrasjon

I Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK 10) stilles det krav til bygningens lekkasjetall, da lufttettheten er en forutsetning for at kravene til energiberegningen oppfylles. Luftlekkasjers innvirkning på netto energibehov beregnes på følgende måte etter NS 3031:

6.1.1.5 Beregning av varmetransport på grunn av infiltrasjon

$$H_{inf} = 0,33 \times n_{inf} V. \quad [W/K]$$

Merknad: Faktoren 0,33 er luftens varmekapasitet per volum, i Wh/(m³*K)

Luftskifte for infiltrasjon beregnes som:

$$n_{inf} = n_{50} e / (1+f/e * ((V'_1 - V'_2) / (V * n_{50}))^2) \quad [h^{-1}]$$

der

- e, f er terrengskjermingskoeffisienter. For kontrollberegning mot offentlige krav er normerte verdier gitt i tabell A.5. Veiledende verdier er gitt i tabell B.6;
- n_{50} er lekkasjetall ved 50 Pa[h⁻¹].
- V er oppvarmet volum, i m³
- V'_1 er tilluftsmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i m³/h
- V'_2 er avtrekksluftmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i m³/h

Beregnet varmetap forårsaket av infiltrasjon gjennom ett år beregnes som:

$$E_{inf} = \sum_{i=1}^{12} Q_{inf,i} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{inf,i} = H_{inf} * (\theta_{set,H} - \theta_{e,i}) * t_i \quad [\text{kWh}]$$

$\theta_{set,H}$ er settpunkt-temperaturen for oppvarming, i °C

$\theta_{e,i}$ er gjennomsnittlig utetemperatur for måned i , i °C

t_i er antall timer i måneden delt på 1000 for omregning til kWh

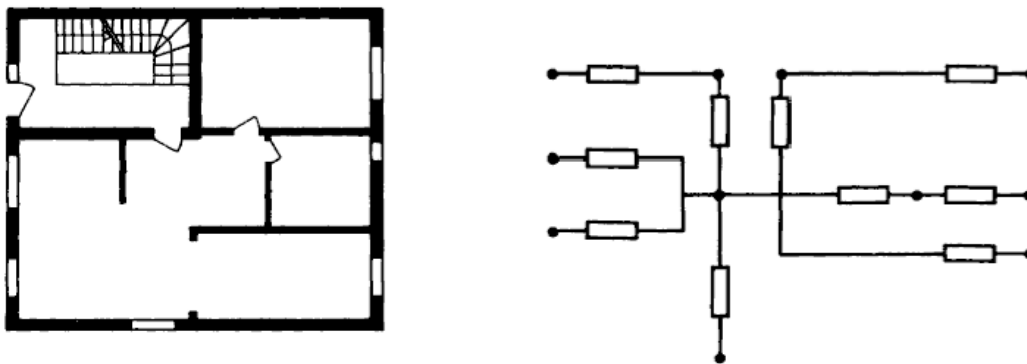
Tabell A.5 – Standardverdier for terrengskjermingskoeffisientene e og f

Beskrivelse	Koeffisient, e	Koeffisient, f
Alle bygningstyper og skjermingsklasser	0,07	15

Tabell A.5 – Standardverdier for terrengskjermingskoeffisientene e og f

Koeffisient	Skjermings-klasse	Beskrivelse	Mer enn én utsatt fasade	Én utsatt fasade
e	Ingen skjerming	Bygninger i åpent landskap, Høyblokker i bysentre	0,10	0,03
	Moderat skjerming	Bygninger på landet eller i forsteder med trær eller andre bygninger rundt	0,07	0,02
	Høy skjerming	Bygninger av middels høyde i bysentre eller i skogsområder	0,04	0,01
f	Alle klasser		15	20

Beregningsmodellen i NS 3031 er en metode som beskrives som en semiempirisk metode og som et kompromiss mellom enkelhet og nøyaktighet, og gir resultater som ligner på resultater beregnet med mer avanserte modeller. Et eksempel på en avansert metode for å beregne infiltrasjon er dataprogrammet COMIS. I programmet bygger man opp et luftstrømningsnettverk som representerer lekkasjene og åpningene mellom rommene og gjennom klimaskjermen. Programmet bruker virkelige værdata og regner ut, time for time, trykkforholdene utvendig og innvendig i alle rom, samt tilført friskluftmengde og luftskifte mellom rom (Tormod Aurlien 2003). I en modell som dette vil bygningsinterne luftlekkasjer påvirke infiltrasjonsluftmengden.



Figur 2.6 Eksempel på en bygning med tilsvarende strømningsnettverk (Tormod Aurlien 2003)

2.2.6 Historisk utvikling av krav til lufttetthet

Kvantifiserbare krav til lekkasjetall ble for første gang introdusert i Byggeforskriften i 1981 etter et utført prosjekt i regi av Norges Bygningsforskningsinstitutt gjort i 1979 hvor 70-talls eneboliger ble trykktestet. Byggeforskriftens kapittel 54 fra 1981 beskriver følgende (Grimnes 2010):

- Småhus med høyst to boliger i hvert hus, $n_{50} \leq 4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$
- Bygninger for øvrig med høyst to etasjer, $n_{50} \leq 3,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$
- Bygninger med tre eller flere etasjer, $n_{50} \leq 1,5 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$

I 1985 ble gjeldende forskrift oppdatert, der Byggeforskriftenes kap. 53:1 beskriver: "Bygning skal være så tett at lekkasjer målt etter NS 8200 ikke overstiger 3,0 m³ luft i timen pr. m³ oppvarmet volum for bygninger i høyst 2 etasjer, og 1,5 m³ for øvrige bygninger. Volum i kjeller regnes ikke med. Kravet gjelder når trykkforskjellen mellom inneluft og uteluft er 50 Pa" (Grimnes 2010).

Disse kravene var de samme helt frem til 2009, da kravene for småhus ble skjerpet.

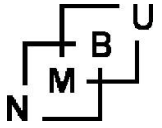
I dag gjelder kravene angitt i TEK10, se kap. 2.2.2-2.2.4. I tillegg angir NS 3700, sist revidert i 2013, kriterier for passivhus og lavenergibygninger, se tabell 2.1 under.

Egenskap	Passivhus	Lavenergibygning	
		klasse 1	klasse 2
Lekkasjetall ved 50 Pa, n_{50}	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
MERKNAD 1 I tillegg til krav satt her skal bygningen oppfylle minstekrav satt i Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK) til Plan- og bygningsloven			

Tabell 2.1 Minstekrav lekkasjetall, hentet fra NS-EN 3700:2010

2.2.7 Lavenergiboliger og passivhus

Passivhus er et begrep som opprinnelig kommer fra Tyskland. Konseptet bak passivhus er å lage bygninger med vesentlig lavere energibehov enn vanlige bygninger. I Norge er begrepet adoptert og kravene tilpasset norske forhold i standarden NS 3700. I tillegg til passivhus er begrepet lavenergiboliger definert i den nevnte standarden.



Lavenergiboliger og passivhus er planlagt og bygget etter prinsippet om passiv energidesign. Grunnlaget for dette prinsippet er at den mest lønnsomme og miljøvennlige energien er den som ikke blir brukt. Passiv energidesign består av fem trinn som i kronologisk rekkefølge beskriver hvordan man skal gå frem for å redusere boligens netto energibehov (Husbanken 2013):

Trinn 1. Reduser varmetapet

Ved å bygge tette og godt isolerte hus vil man redusere bygningens energibehov til oppvarming

Trinn 2. Effektiviser EL-forbruket

Ved å installere sparepærer og energieffektive hvitevarer vil man redusere strømforbruket.

Trinn 3. Utnytt solenergien

Solenergi er en gratis og fornybar energikilde som enkelt kan utnyttes til varmtvann og oppvarming av boligen. Dette kan gjøres ved å eksponere elementer med høy termisk masse eller investere i solceller, solvarmeanlegg eller vinduer med spesielle vindusbelegg.

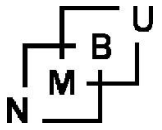
Trinn 4. Vis og kontroller energibruken

Ved å synliggjøre energiforbruket gjør man forbrukeren i stand til å enkelt se hvordan bruken av bygget påvirker energibruken. Ved å synliggjøre energiforbruket kan man redusere energibruken med opp mot fem prosent.

Trinn 5. Velg energikilde

Velg en energikilde som i størst mulig grad er basert på fornybar energi. Varmepumper, bioenergi, solvarmeanlegg, fjernvarme eller kombinasjoner av disse er gode alternativer.

For passivhus og lavenergiboliger settes det krav til varmetapstall, oppvarmingsbehov, fornybarandel for energiforsyning samt minimumskrav til



bygningdeler og komponenter. Disse kravene er definert i standarden NS 3700. Der ser man at forskjellen på passivhus og lavenergiboliger ligger i kravnivået.

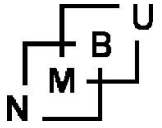
Det reelle oppvarmingsbehovet til en bygning er sterkt klimaavhengig. Dette er tatt hensyn til i passivhusstandarden ved at oppvarmingsbehovet må beregnes med klimadata for bygningens geografiske plassering. Dette gjør at det på steder med særlig kaldt klima settes strengere krav til bygningdeler og komponenter i passivhus enn for en tilsvarende bygning plassert et sted med varmere klima.

I motsetning til energimerkeordningen som setter krav til levert energi settes det for passivhus og lavenergiboliger ikke krav til oppvarmingssystemets virkningsgrad.

2.2.8 ZEB

Zero Emission Building (ZEB) er et nasjonalt forskningscenter med målsetning om å forske på og utvikle innovative produkter og løsninger for bygninger med svært lavt energibehov og uten netto klimabelastninger. I tillegg til å utvikle løsninger og produkter er en av målsetningene å sette fokus på og skape et marked for bygninger med null klimagassutslipp. Der et nullutslippsbygg skal produsere like mye energi som det forbruker hvert eneste år skal en ZEB-bygning ikke bare gå i null; det skal produsere så mye fornybar energi at regnskapet for klimagassutslipp skal gå i null gjennom hele livsløpet, fra produksjon, drift og til slutt rivning. Som verktøy for å oppnå ZEB skal arbeidet fokuseres innenfor fem arbeidspakker som alle avhenger av hverandre (The Research Centre on Zero Emission Buildings):

1. Avanserte materialer
2. Teknologier for adaptive og energiproduserende klimaskall
3. Energiforsyning og tekniske installasjoner
4. Bruk, drift og implementering



5. Konsepter og strategier for nullutslippsbygg

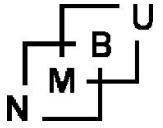
Sammen med flere aktører, blant andre, Enova, FutureBuilt, Skanska og Husbanken arbeider senteret med flere forbildeprosjekter og ZEB - pilotprosjekter. Disse har som mål å bidra med kompetanseutvikling og konseptutvikling for fremtidige prosjekter med høye ambisjoner innenfor områdene energieffektivitet og klimagassutslipp.

2.2.9 Fremtidens krav til energieffektivitet

Lavenergiutvalget ble i mars 2009 konstituert av Olje- og Energidirektoratet. I mandatet sies det at energieffektivisering er en av de viktigste satsningsområdene for å oppnå reduksjon av klimagassutslipp. Utvalget fikk i oppgave å drøfte hvilke virkemidler som er best egnet for å fremme energieffektivisering innen stasjonær energibruk. I utvalgets sluttrapport foreslås det å sette mål om halvering av byggsektorens energibruk i løpet av 30 år. For å nå disse målene listes det opp en rekke anbefalte tiltak.

Følgende sett virkemidler anbefales for byggsektoren (Reinås 2009):

1. Nasjonal handlingsplan for energieffektivisering i byggsektoren
2. Storstilt kompetanseplan for byggebransjen
3. Forhåndsannonsert trinnvis skjerpelse av byggeforskriftene
4. Strengere energikrav ved rehabilitering
5. Forbildeprosjekter og demonstrasjonsbygg
6. Revidert energimerkeordning med energiplan for eksisterende bygg
7. Forenkle, utvide og øke investeringsstøtten fra Enova
8. Statlig låneordning for energitiltak
9. Hvite sertifikater for energisparing og skatteincentiver for energieffektive bygg



10. Krav til offentlig bygg
11. Informasjon og bestillerkompetanse

Flere av disse virkemidlene er allerede man i ferd med å se resultater av. Kravene i TEK er blitt skjerpet inn, offentlige bygninger har blant annet fått krav om tilknytning til fjernvarme og forbildeprosjekter som er blitt bygd viser vei for resten av byggebransjen.

I klimameldingen (Regjeringen Stoltenberg II 2012a) varslet regjeringen at kravene i teknisk forskrift skal skjerpes til passivhusnivå i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020. I høringsnotatet *Forslag til endringer i tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift) av 26. mars 2010 nr. 489* (Regjeringen Solberg 2015) foreslås nye energikrav som er på nivå med passivhus. I notatet påpekes det at mye arbeid fortsatt gjenstår og at man skal jobbe mot målet i klimameldingen "nesten nullenerginivå" i 2020.

Fokuset klimautfordringene brer om seg i samfunnet. Flere og flere tror nå på at klimaendringene er menneskeskapt, og ønsker å bidra for å stanse utviklingen. Flere ønsker å bo i miljøvennlige boliger og bedrifter ønsker å leie kontorlokaler som passer til deres grønne profil. I byggebransjen gjenspeiler dette ønsket seg gjennom at stadig flere prosjekter bygges etter det grønne prinsippet, som innebærer gjenbruk av materialer, grønne byggeplasser, miljøvennlige materialer og energieffektive bygg. Lavenergihus, passivhus og prosjekter som BREEAM-sertifiseres er alle eksempler på prosjekter med en grønn profil, da de på flere områder har strengere krav enn hva forskriften stiller.

2.3 Normaliserte begreper

Ved bestemmelse av en bygnings lufttetthet målt med differansetrykkmetoden, er det nødvendig å normalisere de målte verdiene. Dette gjøres for å kunne

sammenlikne bygninger av forskjellig størrelse, slik at det er mulig å sette standardiserte krav til lufttettheten. NS-EN 13829 angir tre definisjoner som beskriver hvor tett et bygg er: luftveksling n_{50} , luftlekkasje q_{50} og spesifikk lekkasjeluftmengde w_{50} . Den målte lekkasjeluftmengden ved differansetrykkmetoden normaliseres ved å dividere på en referanseverdi for den aktuelle bygningen. Differansetrykkmetoden angir den samlede volumstrømmen som blåses gjennom vifta for at en trykkforskjell på 50 Pa skal opprettholdes.

n_{50}

I Norge benytter man lekkasjetall n_{50} for å dokumentere lufttetthet. Kravet til lekkasjetall gjelder oppvarmet volum av ferdig bygning og angis som:

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (\text{h}^{-1})$$

hvor:

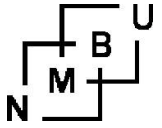
- \dot{V}_{50} er samlet lekkasjeluftmengde (m^3/h) ved 50 Pa.
- V er innvendig volum (m^3). Innvendig volum er det samme som oppvarmet volum i NS 3031 og måles i henhold til NS 3940.

Figur 2.7 Hentet fra Byggetaljblad 474.624

I henhold til NS-EN 13829 beregnes det innvendige volumet V ved å multiplisere netto gulvareal med midlere netto høyde på himling. Dette er volumet av luft inne i den målte bygningen eller i en del av bygningen.

q_{50}

Luftlekkasjen ved 50 Pa, q_{50} , beregnes ved å dividere midlere lekkasjeluftmengde ved 50 Pa med klimaskjermarealet ved følgende likning:



$$q_{50} = V'_{50} / A_E$$

Klimaskjermarealet A_E er det totale arealet av alle gulv, vegger og himlinger som grenser til det innvendige volumet som trykkmåles. Dette omfatter vegger og gulv under utvendig bakkenivå (Standard Norge 2010). Klimaskjermarealet i en leilighet i en fleretasjes bygning omfatter gulv, vegger og himlinger til tilstøtende leiligheter (Standard Norge 2010).

Denne normaliseringen gir et direkte mål på hvor tett selve klimaskjermen er.

w_{50}

Den spesifikke lekkasjeluftmengden beregnes ved å dividere midlere lekkasjeluftmengde ved 50 Pa med netto gulvareal ved følgende likning:

$$w_{50} = V'_{50} / A_F$$

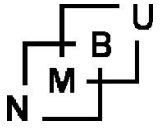
Netto gulvareal A_F er det totale gulvarealet av alle gulv som hører til det innvendige volumet som trykkmåles.

2.4 Internasjonal praksis

Dette kapitlet tar for seg krav og anbefalinger for noen land med klimatiske likheter, som også følger Bygningsenergidirektivets retningslinjer.

2.4.1 Sverige

I Sverige benytter man q_{50} for å angi bygningers lufttetthet. I 2007 ble normkravet til tetthet fjernet fra forskriftene. Før det ble fjernet var kravet $q_{50} < 0,8 \text{ l/m}^2\text{s}$. Nå er kravet tetthet innbakt i kravet til bygningens energieffektivitet. I *Boverkets byggregler* heter det at "bygningens klimaskall skal være så tett at krav til



bygningens spesifikke energibehov og installert effekt til oppvarming oppfylles” (Boverket 2015).

Ansatte ved SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut formidler gjennom nettstedet www.fuktsakerhet.se informasjon til byggebransjen. På nettstedet anbefaler de byggherren å sette krav til målt lufttetthet. Avhengig av hva slags ambisjonsnivå man velger å legge seg på anbefales følgende verdier til q_{50} :

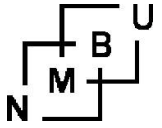
- Ambisjonsnivå 1. Lufttetthet $\leq 0,2 \text{ l/m}^2\text{s}$
Luftlekkasjer har liten påvirkning på ventilasjon, energibruk, termisk klima mm.
- Ambisjonsnivå 2. Lufttetthet $\leq 0,4 \text{ l/m}^2\text{s}$
Luftlekkasjer har en viss påvirkning på ventilasjon, energibruk, termisk klima mm.
- Ambisjonsnivå 3. Lufttetthet $\leq 0,6 \text{ l/m}^2\text{s}$
Luftlekkasjer har påvirkning på ventilasjon, energibruk, termisk klima mm.

Det tillegges at kravet til lufttetthet for passivhus i Sverige er $0,3 \text{ l/m}^2\text{s}$ ved 50 Pa trykkforskjell.

2.4.2 Danmark

I Danmark benyttes i utgangspunktet w_{50} for å angi bygningers lufttetthet, men for bygninger med høye rom settes det minimumskrav til q_{50} .

I Bygningsreglementet heter det at ”luftskiftet gjennom utettheter i klimaskjermen må ikke overstige $1,5 \text{ l/m}^2\text{s}$ opvarmet etasjeareal ved trykkprøving med 50 Pa. For lavenergibygnings må luftskiftet gjennom klimaskjermen ikke overstige $1,0 \text{ l/m}^2\text{s}$. Resultatet av trykkprøvingen uttrykkes ved gjennomsnittet av måling med over- og undertrykk. For bygninger med høye rom, hvor klimaskjermens overflate



dividert med etasjearealet er større enn 3,0, må luftskiftet ikke overstige 0,5 l/m²s klimaskjerm og for lavenergibygninger 0,3 l/m²s" (Energistyrelsen 2014).

Kommunen krever det i byggetillatelsen dersom måling kreves. Kommunen skal kreve at lufttetthet måles i minst fem prosent av byggesakene.

2.4.3 Finland

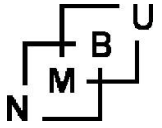
I Finland benyttes q_{50} for å angi bygningers lufttetthet. Minimumskravet til tetthet er 4,0 m³/m²h. Tettheten kan dog være høyere dersom bruken av bygningen krever konstruksjonsløsninger som innebærer at lufttettheten forverres. Ved energiberegninger brukes i utgangspunktet en tetthet på 4,0 m³/m²h, men dersom man ved måling kan dokumentere tettere bygg får man benytte den målte verdien i beregningene. For blokker og boligbygninger kreves det av minimum 20 prosent av leilighetene måles (Miljöministeriet 2012).

2.4.4 Tyskland

I følge DIN 4108-7 benyttes det i Tyskland både n_{50} og q_{50} . Minstekravet til lekkasjetall avhenger om det er naturlig eller mekanisk ventilasjon, hvor n_{50} -kravet er henholdsvis 3,0 h⁻¹ og 1,5 h⁻¹. Ved store bygninger med volum $V \geq 1500$ m³ er det et tilleggskrav til at q_{50} skal være mindre eller lik 3,0 m³/m²h fasade (Erhorn-Kluttig et al. 2009; Simons & Rolfsmeier 2013). I Tyskland må trykktest gjennomføres dersom mekanisk ventilasjon blir benyttet og er en del av energiregnskapet ved energimerking av bygningen. En reduksjon av ventilasjonstap kan bare bli tatt med i regnestykket når lufttetthetsmåling har blitt dokumentert (Erhorn-Kluttig et al. 2009).

Postulate for airtightness limits in large buildings

Simons og Rolfsmeier (2013) har tatt for seg normaliseringsmetodene n_{50} og q_{50} for store bygninger i *Postulate for airtightness limits in large buildings*, presentert under AIVC-konferansen i 2013. Ved lufttetthetsmålinger av 82 store bygninger nådde



samtligte bygninger minimumskravet på $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$. Rapporten forteller at erfaringer fra disse målingene har ført til konklusjonen om at volumbasert beregning med n_{50} ikke er en egnet normaliseringsmetode for store bygninger. På grunn av en lav overflateareal-til-volum-ratio (SA:V-ratio) i store bygninger, er det mer fornuftig å stille krav til klimaskjermbasert normaliseringsmetode, q_{50} .

2.4.5 Frankrike

Franske myndigheter påla at nybygg skal ha lavenerginivå eller bedre fra 1. januar 2013. Med det er det blitt påbudt å gjøre lufttetthetsmålinger i boligbygninger, særlig i flerfamiliehus. I Frankrike stiller man krav til luftlekkasje " $Q_{4\text{Pa-Surf}}$ ", som er luftlekkasjen ved 4 Pa per klimaskjermareal, ekskludert gulvarealet. For småhus er grenseverdien satt til $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ og for flerfamiliehus $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

Ved delmålinger av boligblokker kreves følgende:

- 3 leiligheter i bygninger med inntil 30 leiligheter
- 6 leiligheter i bygninger med mer enn 30 leiligheter

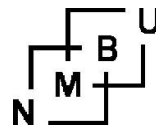
Valgkriterier er:

- Leiligheter med høyest andel løpemeter med gulv- og vinduslengde
- Leiligheter med beliggenhet i toppen, midtseksjon og på grunnetasje.

Kravet for delmålingene er at vektet gjennomsnittlig luftlekkasje skal være bedre (lavere) enn minimumsnivået (Moujalled et al. 2011).

MININFIL tâche 3: rapport final (Moujalled et al. 2011)

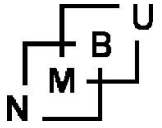
MININFIL er et fransk forskningsprosjekt hvor nasjonale institusjoner og forsøkslaboratorier samarbeider for å øke kunnskapen om luftlekkasjer og dens innflytelse på energiregnskapet i bygninger, samt for å hjelpe utførende med å sikre tettere klimaskjerm ved bygging. Fordi delmålinger ofte er nødvendig ved etterprøving i brukstid, er det blitt en økt interesse blant organisasjoner om mer



spesifiserte regler knyttet til valg av punktprøver. Dette gjelder; a) til å velge hvilke enheter som skal bli trykktestet; og b) velge de kriteriene som skal ligge til grunn for valg av enheter.

MININFIL har gjennomført målinger i ti boligblokker i Frankrike for å identifisere delmålingsmetoder som kan karakterisere lufttettheten for hele bygningen på en optimal måte, der man gjør et begrenset antall delmålinger. Bygningstettheten er evaluert gjennom delmålinger i leiligheter av hver bygning ved hjelp av punktprøving, altså ved tilfeldig utvalg av en viss andel leiligheter i bygningen. I tillegg har det blitt målt lufttetthet til hele bygningen, samt fellesarealer, det vil si trappeoppgang, heis, parkeringskjeller m.m.

Resultatene viser at punktprøving gir gode resultater kun i de tilfellene der bygningen har uniforme delmålingsresultater, det vil si i de bygningene der hver enkelt leilighets luftlekkasje q_4 er innenfor et lite intervall. I de bygningene der det er heterogene delmålinger viser resultatet av tilfeldig utvalgte leiligheter veldig forskjellig luftlekkasje, det er altså store avvik i q_4 -verdiene for de tilfeldig utvalgte leilighetene. "GA P50-784", et nasjonalt tillegg til NF EN 13829, evaluerer luftlekkasjen av hele bygningen ved å benytte vektet gjennomsnitt av de (tilfeldig) utvalgte målingene. Valgkriterier basert på dette tillegget klarer ikke identifisere de leilighetene med høyest risiko for lekkasjer. Klimaskjermarealet har vist seg å være det beste valgkriteriet for målemetode til lufttetthet, med andre ord den parameteren med størst korrelasjon til lufttetthet, i følge rapporten. Analysen forteller også at lekkasjer i fellesarealer kan ha en signifikant innvirkning på luftlekkasjen av hele bygningen, spesielt i de tilfellene hvor det er heissjakt og parkeringskjeller. Disse lekkasjene burde bli tatt hensyn til hvis man benytter delmålinger som dokumentasjon på bygningens lufttetthet, konkluderer rapporten.



2.5 Byggeprosessen

2.5.1 Fokus på tett og fuktsikker bygning

Dersom de satte målene om lufttetthet og energieffektivitet skal nås er det viktig at alle aktører har bevissthet om hva målene er og hvordan de skal oppnås, men med fokus på god planlegging og utførelse er det fullt oppnåelig. Å klargjøre en rollefordeling i prosjektet i tidligfasen bør gjøres for å sikre at resultatet blir optimalt. Spesielt viktig er å sikre fuktsikker bygning gjennom hele byggeprosessen, da fuktighet er i større grad et kritisk moment når man skal bygge boliger med så strenge krav til lufttetthet. Spesielt er byggfukt kritisk, som er den vannmengden byggematerialer må avgi for at de skal komme i fuktlikevekt med omgivelsene når bygningen er i normal bruk (Geving et al. 2002). Passiv- og lavenergihus har bedre isolerte konstruksjoner som kan gi tregere uttørking, de har vanligvis også kaldere ytre deler av konstruksjonen som medfører høyere relativ fuktighet (Lavenergiprogrammet 2013).

Det er fire prinsipper for å unngå byggfukt i konstruksjonen, i følge Lavenergiprogrammet (2013):

- prefabrikkering
- bygge vind- og værtett
- benytte telt
- bruk av uorganiske materialer

Prefabrikkering betyr at alle eller deler av bygningselementene er ferdigstilt på fabrikk før det oppføres på byggeplass. I ytterkonstruksjoner skal vindsperre og utvendig kledning være ferdig montert. Konstruksjonen trenger i utgangspunktet ingen uttørking, så lenge materialene ikke blir påført byggfukt på byggeplass og de blir levert med riktig fuktighetsmengde fra produsent.

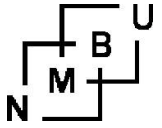
Å bygge vind- og værtett er prinsippet mest benyttet i Norge. Det innebærer å sette opp råbygget, for deretter å tette tak og vegger mot vær og vind. Når konstruksjonen har tørket ut, kan konstruksjonen isoleres og tettes innvendig. Så må det tørkes innvendig når konstruksjonen er tettet, enten naturlig eller ved hjelp av vifte(Lavenergiprogrammet) . Ved bruk av en slik byggemetode er det viktig at byggfukten holdes lav, hvis ikke kan tørketiden bli lang og man risikerer forsinkelser og overskuddsfukt i den tette konstruksjonen. For å sikre rask uttørking av denne fukten, må vindsperren ha lav dampmotstand ($s_d \leq 0,1$ m) (Blom & Uvsløkk 2012). Det kan være en fordel å sette krav til maksimalt fuktinnhold til materialene fra produsenten. Å lagre materialene tørt på byggeplass og begynne tidlig med uttørking ved hjelp av vifte er andre tiltak som reduserer fuktproblematikken (Geving et al. 2002).

Weather Protection System (WPS) er å bruke eksempelvis telt eller værbeskyttet stillas som beskyttelse av bygningen i produksjonsfasen og er en forutsetning dersom man benytter konstruksjoner som isoleres fra innsiden og utover (Lavenergiprogrammet 2013). Det er et veldig effektivt tiltak som gir en stabil byggeprosess hvor materialer ikke blir påført



Figur 2.7 Eksempel på bruk av telt, her fra Urbygningen på NMBU (Foto: NMBU)

byggfukt. Man får et kontrollert klima og fremdriften i produksjonsfasen blir mer forutsigbar, da man unngår uventet lang uttørking. I tillegg er det et mer stabilt arbeidsklima for de utførende som øker komforten – særlig på vinterstid.



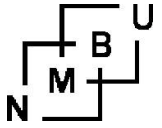
Fuktfølsomme materialer, som trevirke, sponplater og gipsplater, kan kreve uttørkingstid dersom byggfukten er for høy. Ved å benytte uorganiske materialer kan man unngå fukt i konstruksjonen og korte ned på produksjonstiden. Eksempler på uorganiske materialer er betong, plast og stål. Betonggulv er likevel viktig at tørkes ut dersom det skal få et limt plastbelegg, da fukt i betongunderlang kan føre til nedbryting av limet som avgir kjemiske gasser (Nilsen 2007).

Det er også viktig å unngå kondens når ytterkonstruksjonen er isolert. Kondens oppstår når fukt fra innelufta trekker inn i konstruksjonen på grunn av luftlekkasjer eller vanndampdiffusjon (Geving et al. 2002). Når isolering er påbegynt må dampspærre påføres konstruksjonen før inneluften varmes opp. Dampspærren bør ha høy vanndampmotstand og det er viktig at dampsjiktet er kontinuerlig i konstruksjonen.

2.5.2 Aktørers roller

En avklaring av aktørers roller og ansvarsområder er viktig om man skal nå tetthetskravene og en slik ansvarsfordeling bør gjøres allerede i tidligfasen av prosjektet. Gode detaljer og en forståelse av hva som skal gjøres og hvorfor det skal gjøres er viktig for de involverte, spesielt i prosjekterings- og produksjonsfasen. Å sette slike krav må gjøres tidlig for å unngå forandringer senere i prosessen, som kan øke kostnadene betraktelig (Hole 2013).

Tiltakshaver må sette krav til ambisjonsnivå for lufttetthet og energinivå i oppstartsfasen og tildele ansvar til både prosjekterende og utførende. I større prosjekter er det vanlig med en rådgivende ingeniør i bygningsfysikk som pålegger seg ansvaret for lufttetthet i prosjekteringen. Bygningsfysikeren har blant annet ansvar for å definere egenskaper som er nødvendig for å oppnå kravet og må utarbeide detaljtegningene som trengs. Ved passivhus- og lavenergihusstandard kan det være nødvendig med tegninger som er mer detaljerte enn ved lavere energikrav.



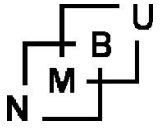
Andre fag må involveres tidlig, som arkitekten, fordi kravene påvirker utformingen av bygningen, både med tanke på form, uttrykk og plassering på tomte (Hole 2013).

I produksjonsfasen er entreprenør som oftest ansvarlig for oppfølging av lufttetthet. Det er essensielt at alle utførende har forståelse av hva som er målet og hvordan det nås, hvor et tiltak er å arrangere et oppstartsmøte før byggestart for utførende med eventuelle andre underentreprenører. De fleste underentreprenører, som elektrikere og rørleggere, må også underrettes om de satte kravene, da deres arbeid avgjør om lekkasjetallet blir lavt nok. Viktigheten av at arbeidet blir utført riktig og til riktig tid er kritisk og derfor må detaljtegningene være forståelige og fungere i praksis. Gjennomføringer gjennom vindsperren må være installert i vindsperrefasen før dampsperran og isolasjonen er montert (Lavenergiprogrammet 2013). Perforeringer gjennom dampsperrer skal generelt unngås. Nødvendig tetting er også viktig enten det er i rørføringer, drenshull i betongdekket eller andre åpninger i konstruksjonen. Kvalitetssikring av arbeidet bør bli gjort før neste steg i byggeprosessen, slik at feil og mangler blir rettet på før potensielle ekstrakostnader og unødig tidsbruk oppstår. Dersom sluttproduktet skal klare de satte kravene må nøyaktighet fra idéfase til overtakelsen være tilstede.

Forskrift om byggesak (SAK 10) stiller krav til uavhengig kontroll av lufttettheten i nye boliger. Tiltakshaver må tilsette en ansvarlig kontrollerende som skal kontrollere at tetthetsmåling er gjennomført av utførende, og kontrollere at resultatet av tetthetsmålingen ligger innenfor forskriftskravet (DiBK 2010). Det stilles krav til hva som skal kontrolleres avhengig av tiltaksklassen bygget har. Det stilles ikke krav til valg av metode.

2.6 Kontroll av lufttetthet

For å tilfredsstille kravene i teknisk forskrift må bygningers tetthet dokumenteres med en tetthetsmåling. Tetthetsmåling med differansetrykkmetoden er beskrevet i



standarden NS-EN 13829. Differansetrykkmetoden går ut på å fremprovosere luftstrømmer gjennom klimaskjermens utettheter ved å skape over- eller undertrykk i bygningen.

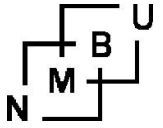
Differansetrykkmetoden

Standarden beskriver to typer prøvingsmetoder, A og B, avhengig av formålet. For metode A er formålet prøve bygningen i bruk, for metode B er formålet å prøve klimaskjermens tetthet. Som dokumentasjon av bygningens tetthet er det metode B som benyttes. Ved bruk av metode B er det viktig at alle tilsiktede åpninger i klimaskjermen tettes før testing.

For å fremprovosere en trykkforskjell over bygningens klimaskjerm har standarden beskrevet to ulike metoder, måling med trykktestingsutstyr og måling med ventilasjonsanlegget. Trykktestingsutstyr består gjerne av en vifte som kan plasseres i en åpning i klimaskjermen og et apparat som kan måle luftstrøm gjennom viften. I tillegg består ofte trykktestingsutstyr av trykkmålere og programvare som kan gjennomføre en fullverdig trykktest med sampling av data og beregning av lekkasjetall. Ved bruk av trykktestingsutstyr er det viktig å påse at fugen mellom åpningen i klimaskjermen og utstyret tettes for å unngå lekkasjer. Typiske åpninger er dører, vinduer og ventilasjonsåpninger. Når man benytter ventilasjonsanlegget til måling er det viktig at vifter og spjeld justeres slik at luftmengden inn eller ut kan måles. I tillegg er man avhengig av eksterne manometre for å måle trykkforskjellen over klimaskjermen.

Forberedelser før måling

Gode forberedelser før man utfører tetthetsmålingen er viktig for å få et korrekt resultat med så liten usikkerhet som mulig. Når man tester klimaskallets tetthet, altså metode B er det viktig at alle tilsiktede åpninger i klimaskallet, som ventilasjonsåpninger og skorsteiner tettes før prøving. Det er også viktig at alle

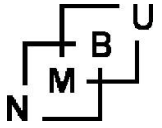


vannlåser er fylt med vann eller tettet igjen. Før å sørge for at bygningen eller den delen av den som skal testes reagerer som én trykksone må alle interne dører holdes åpne. Man må påse at alle dører og vinduer i klimaskallet er lukket, dører låses gjerne for ikke å få ulike resultater når døren presses opp eller suges igjen av trykket. Som en forutgående kontroll går man over klimaskjermen ved tilnærmet den største trykkdifferansen som skal benyttes i prøvingen, og kontrollerer med hensyn til store lekkasjer eller feil i de midlertidige tetningene. Dersom feil oppdages skal de registreres, feil eller mangler i de midlertidige tetninger rettes opp i før prøvingen utføres.

For å korrigere luftmengdemålinger for luftdensitet måles temperaturen på utsiden og innsiden av bygningen før, under og etter måling. For å sikre at målingene ikke påvirkes av den naturlige trykkforskjellen over klimaskjermen registreres vindhastighet før- og den naturlige trykkforskjellen før og etter målingene. Vindhastigheten kan oppgis på bakgrunn av Beaufort-skalaen.

Måling

Prøvingen utføres ved å måle luftmengden og trykkdifferansen mellom inne og ute over en rekke påførte trykkdifferanser i økninger på høyst 10 Pa. Den minste trykkdifferansen skal være 10 Pa eller fem ganger den naturlige trykkdifferansen (størst av positiv og negativ middelvei), avhengig av hvilken som er størst. Den største trykkdifferansen som prøves, kan avhenge av størrelsen på bygningen. For eneboliger og andre små bygninger skal den største trykkdifferansen være på minst 50, men det anbefales at avlesningene tas ved ± 100 Pa, dette for å oppnå best mulig nøyaktighet. For store bygninger, definert som volum større enn ca. 4000 m³, anbefales det der det er mulig å følge de samme kravene som for små bygninger. På grunn av begrenset kapasitet på bærbart måleutstyr og stort volum på enkelte bygninger kan det være vanskelig å oppnå en trykkdifferanse på 50 Pa. I disse tilfellene er målinger gyldig dersom man klarer å oppnå en differanse på 25 Pa.



Dersom høyeste trykkdifferanse er mellom 25 og 50 Pa skal dette tydelig angis i prøvingsrapporten med en erklæring om at ikke alle kravene i standarden er oppfylt, og en redegjørelse over årsakene til dette.

Luftmengdene gjennom klimaskjermen, korrigert med tanke på trykk og temperaturforhold, plottes mot trykkforhold. Det anbefales å gjøre to sett med målinger, en med trykksetting og en med trykkavlastning for deretter å beregne resultatet som en middelvei av disse. Kravene i standarden er likevel oppfylt ved prøving med enten trykksetting eller trykkavlastning.

Beregninger

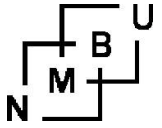
Når data fra alle delmålingene er registrert gjøres kurvetilpassing etter minste kvadraters metode for å estimere luftlekkasjekoeffisienten C og luftmengdeeksponenten n i likningen for luftmengde gjennom klimaskjermen:

$$V'_{\text{env}} = C_{\text{env}} (\Delta p)^n$$

Luftmengdeeksponenten kan antyde hva slags utettheter som dominerer i bygningskroppen. Normalt vil eksponenten ligge rundt 0,7. Høyere verdier enn dette kan antyde smale sprekker og hull, eller lekkasje gjennom porøse materialer. Lavere verdier enn 0,7 kan antyde store åpninger og hull. Eksponenten n kan også påvirkes av vind på måletidspunktet og feil i målesituasjonen, som at midlertidige tetninger har løsnet.

For å få lekkaseluftkoeffisienten C_L korrigeres luftmengdekoeffisienten C_{env} til standard betingelser, $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ og $1,013 \cdot 10^5$ Pa.

Lekkasjeluftmengden V_L kan da beregnes:



$$V'_L = C_L (\Delta p)^n$$

Luftlekkasjemengden ved referansetrykkdifferansen Δp_r kan da bestemmes:

$$V'_{\text{apr}} = C_L (\Delta p_r)^n$$

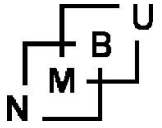
Norske byggeregler setter krav til beregning av tetthet ved 50 Pa. Beregningen vil da bli som følger:

$$V'_{50} = C_L (50 \text{ Pa})^n$$

V'_{50} brukes som kjent til beregning av de normaliserte verdiene n_{50} , w_{50} og q_{50} .

Lokalisering av utettheter

I tillegg til å kvantifisere en bygnings luftlekkasjer ved måling er det smart å samtidig prøve å lokalisere dem. Under en tetthetsmåling kan man skape en mye større trykkforskjell over klimaskjermen enn hva som er naturlig. Dette fremprovoserer unaturlig store luftstrømmer gjennom bygningens utettheter, de kan da lettere kan lokaliseres. For å lokalisere utetthetene finnes det ulike metoder og hjelpemidler. Ved å føle med hånden er det mulig å lokalisere store lekkasjer. Dersom det er en temperaturforskjell over klimaskjermen vil et termograferingskamera kunne lokalisere hvor luftlekkasjer kjøler ned eller varmer opp den omkringliggende overflaten. Utstyr som genererer røyk, eksempelvis en røykampulle benyttes for å se bevegelser i luften. Den kan brukes for å bekrefte eller avkrefte mistanker om luftlekkasje. På samme måte som røyk, vil en lufthastighetsmåler være til nytte dersom man har mistanke om hvor lekkasjene befinner seg.



Måling i tidligfase

Selv om det ikke kan brukes som dokumentasjon, kan en tetthetsprøving i tidligfase være av vesentlig betydning. Med måling i tidligfase menes måling etter at vindtettingssjiktet er ferdig montert og før man har begynt å isolere på innsiden. Man har ved måling i tidligfase mulighet til å lokalisere og utbedre eventuelle feil eller mangler i vindtettingen. En innvendig dampsperre vil bidra til tettheten i ferdig bygg, det er dermed ikke sikkert at eventuelle feil i vindtettingssjiktet vil føre til at man ikke tilfredsstillter kravet til tetthet. Utettheter i vindsperra kan likevel føre til redusert isolasjonsevne på grunn av anblåsing og bør derfor unngås. Før isolasjonen er montert i vegg vil det være liten eller ingen temperaturdifferanse mellom inne og ute. Dette fører til at lokalisering av lekkasjer med termograferingskamera vil bli krevende og kvaliteten ofte ikke god nok. Testvolumet må forhåndsoppvarmes, og uten isolasjon vil temperaturdifferansene utjevnes relativt raskt. Ved en tetthetsprøving i tidligfase er det kontroll av detaljer og utførelsen av disse som bør være i fokus.

Dersom det er vanskelig å måle hele bygningen åpner forskriftene for å måle "en representativ andel bruksenheter". Dette gjøres med delmålinger. Byggforsk har følgende anbefaling for hva som bør måles (Relander 2014):

- Minimum 10 % av BRA eller antall leiligheter, rundet av oppover
- Minimum to ulike soner. For boligblokker eller små hus med fire eller færre enheter, er det tilstrekkelig med én enhet per bygning. Det bør da være den enheten som har størst areal av ytterkonstruksjoner. Ved måling av flere soner rapporteres et volumveid gjennomsnittlig lekkasjetall av de ulike sonene, og gjennomsnittet må være innenfor kravnivå.
- Øverste etasje og hjørne ved måling av store bygninger.

En stor utfordring ved delmålinger er at man må forholde seg til de bygningsinterne luftlekkasjene. I følge NS-EN 13829, pkt. 5.1.2 merknad 2, krever god praksis at det

fremkalles måletrykk i tilgrensende områder for å kunne neglisjere bygningsinterne luftlekkasjer og dermed beregne klimaskallets tetthet. Ved å måle med støttettrykk i tilgrensende områder har man mulighet til å gjøre en vurdering av de bygningsinterne luftlekkasjene og eventuelt jobbe for å lokalisere og utbedre dem dersom de er store. Delmålinger kan også benyttes for å måle tettheten til enkeltkomponenter i bygningskroppen ved å bygge dem inn i mindre volumer ved hjelp av midlertidige vegger. Man bør være nøye i arbeidet med å sette opp og tette rundt disse, utettheter medfører en betydelig måleusikkerhet. Delmålinger er også aktuelt å gjøre i tidligfase av et prosjekt. Da kan det være nødvendig med stort areal av provisoriske vegger, oppfølging og kontroll av disse er da avgjørende for å få gode resultater.

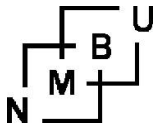
2.7 Byggematerialer

2.7.1 Dampsperrer

En lufttett dampsperrer har som sitt viktigste formål å hindre at fuktig inneluft trenger inn i den isolerte ytterkonstruksjonen og gir kondens (Blom & Uvsløkk 2012). I tillegg skal den sammen med vindsperreren hindre sjenerende trekk og varmetap på grunn av luftlekkasjer. Derfor stilles det krav til både luft- og diffusjonstetthet. SINTEF Byggforsk anbefaler at luftgjennomgangen til dampsperra ikke bør overskride $0,002 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hPa}$. De fleste dampsperreprodukter har veldig gode luftgjennomgangstall og i realiteten er det utførelsen av skjøter og gjennomføringer som avgjør hvor tett dette sperresjiktet blir. Dampsperrer bør leveres i store bredder, slik at de kan monteres med minimalt av skjøter (Edvardsen & Ramstad 2014).



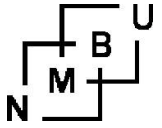
Figur 2.8 Dampsperrer (Illustrasjon: NORTETT)



Dampsperrers diffusjonsmotstand måles i ekvivalent luftlagstykkelse, s_d , som er et mål på et materiales vandampdiffusjonsmotstand sammenliknet med tykkelsen på stillestående lufts diffusjonsmotstand. Enheten måles i meter og Byggforsk anbefaler en minimumsmotstand s_d på 10 m. Generelt bør den samlede vandampmotstand på varm side være minst ti ganger større enn samlet dampmotstand på kald side (Edwardsen & Ramstad 2014). Mens små hull i dampsperra kan ha stor betydning for lufttettheten, har tilsvarende hull relativt liten betydning for diffusjonstettheten (Geving et al. 2002). Man finner dampsperrer med forskjellige egenskaper på markedet i dag og følgende avsnitt gir en forklaring på noen av dem.

PE-folie er en dampsperre av polyetylen med ekvivalent luftlagstykkelse lik 70 m. Det er den mest benyttede dampsperran (i yttervegger av bindingsverk) da den produseres i store formater, som minimerer mengden skjøter. Den produseres i ulike tykkelser, men det anbefales å benytte en tykkelse på minimum 0,15 mm, for å unngå skader ved montering.

Dampbrems er et produkt som er mer dampåpen enn minimumsanbefalingen og mer damptett enn vindsperran, altså en ekvivalent luftlagstykkelse mellom 0,5-10 m. Fordelen med en dampbrems er at vandamp kan strøme ut i begge retninger av konstruksjonen, i motsetning til bruk av polyetylenfolie hvor uttørking kun foregår utover gjennom vindsperrsjiktet. Formålet ved bruk av dampbrems er å hindre kondens i konstruksjonen vinterstid, samtidig som man har en uttørking innover sommerstid. Uttørking av ytterkonstruksjoner krever først og fremst en vindsperre med lav dampmotstand ($s_d < 0,1$ m) og ved bruk av dampbrems må vindsperran være betydelig mer dampåpen enn det som anbefales (Edwardsen & Ramstad 2014).

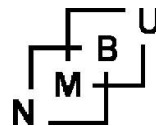


En smart dampsperre (SDS) bygger på samme prinsipp som dampsperreren om at sjiktet skal hindre vanndamp fra innsiden vinterstid, samtidig som den er dampåpen og muliggjør innadrettet uttørking i sommerperioden. SDS skal fungere som en ordinær dampsperre bortsett fra ved høy RF på kald side, hvor den da skal få redusert vanndampmotstand, slik at den kan tørke innover (Geving et al. 2010). S_d-verdien vil altså variere med differansen i relativ fuktighet mellom inne- og utelufta. En av fordelene er at ved luftlekkasjer vil den smarte dampsperreren bli mer dampåpen slik at konstruksjonen kan tørke mot innsiden.

Varmereflekterende, varmeisolerende folier består av et tynt metallsjikt og ett eller flere lag polyetylenfolie på begge sider. Denne typen folie har høy vanndampmotstand og også et høyt varmerefleksjonstall, som gir den en viss varmemotstand dersom den benyttes sammen med stillestående luft. For eksempel kan en inntrukket varmereflekterende folie med hulrom mellom folie og innvendig kledning gi en viss isolasjon, en isolasjon tilsvarende den mengden mineralull som eventuelt kan fylle hulrommet (Blom & Uvsløkk 2012). Dette hulrommet kan også benyttes til å trekke el-kabler i, slik at perforeringer i dampsperreren unngås.

2.7.2 Vindsperrer

Vindsperreren har sitt formål både i byggeprosessen og i driftsfasen. Under bygging skal vindsperreren fungere som beskyttelse mot slagregn og vind for elementer innenfor sjiktet, før utvendige kledninger er på plass. Noen vindsperrer har også stor nok mekanisk styrke til å tilføre en bygning ekstra vindavstiving (Geving et al. 2002). I driftsfasen skal vindsperreren hindre at luft entrer inn i isolasjonen, samtidig som den skal beskytte mot nedbør som har kommet innenfor kledningen. Det er viktig at dette sjiktet har lav vanndampmotstand, for at eventuell byggfukt eller annen fukt i konstruksjonen skal kunne tørkes ut (Blom & Uvsløkk 2012). Dampmotstanden bør være mindre enn $1 \times 10^{10} \text{ m}^2 \text{ sPa/kg}$, tilsvarende en ekvivalent



luftlagstykkelse lik 2 m. En tommelfingerregel er at samlet dampmotstand på varm side skal være minst ti ganger så stor som kald side (Geving et al. 2002).

Vindsperren skal hindre gjennomblåsing og anblåsing, se kapittel 2.1.2. SINTEF Byggforsk anbefaler at samlet luftgjennomgang for en ferdig montert vindsperre med normalt antall skjøter er mindre enn $0,050 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hPa}$, men for bygninger som skal ha ekstra høy lufttetthet, må luftgjennomgangstallet ikke overstige $0,010 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hPa}$, tilsvarende en luftlagstykkelse s_d på 0,4 m (Blom & Uvsløkk 2012). I realiteten er det skjøter som avgjør hvor lufttett vindsperresjiktet blir. Varierende fukt- og temperaturforhold, særlig i byggeprosessen, kan føre til krymp og svelling i både materialet og skjøtene og kan gi mer utettheter over tid (Uvsløkk 2003).

2.7.3 Tettematerialer for fuger og overganger

For at en bygning skal bli så tett som mulig er det viktig at også tettematerialer som blir benyttet i fuger tilfredsstiller kravene og samtidig blir brukt riktig. En fuge er et mellomrom eller en forbindelse mellom elementer eller komponenter i konstruksjon, men brukes også som betegnelse på selve fugetetningen (Johansen & Kvande 2001). Sperresjiktene i en konstruksjon ligger ofte godt over kravet til tettheten og det er nettopp slike overganger og skjøter som avgjør den endelige lufttettheten. Det fins mange typer tettematerialer for fuger og ved lufttetting er fugemasser, fugebånd og teip vanlige tettematerialer i dag.

Tetting av fuger kan gjøres med for eksempel fugemasser, fugeskum eller fugebånd. Fugemasse er et organisk materiale som har en pastaliknende konsistens ved påføring (Johansen & Kvande 2001). Når massen er utherdet er den noe plastisk og elastisk som gjør at det kan benyttes ved fugebevegelser. Det fungerer som luft- og/eller damptetning, men siden det brytes ned av sollys bør det beskyttes av dekkplaster ved bruk i ytre sperresjikt (Edvardsen & Ramstad 2014). Fugemasser kan for eksempel brukes rundt vinduer og dører og ved gjennomføringer. Fugeskum har

liknende bruksområder som fugemasser, men er mer nyttig ved tetting av sprekker og utettheter som er vanskelig å komme til. Skummet sprayes ut og ekspanderer når skummet kommer i kontakt med fuktig luft. Både fugemasser og fugeskum kan avgi forurensninger og derfor bør bruken begrenses, særlig til internt bruk. Et alternativ til fugemasser og –skum er fugebånd. Ved lufttetting kan ekspanderende fugebånd benyttes, men det er da viktig at båndet komprimeres tilstrekkelig (Johansen & Kvande 2001).

Teip er et stadig mer benyttet produkt i skjøter, gjennomføringer og overganger, og blir først og fremst benyttet i vindsperre- og dampsperrsjiktet, samt på undertak. Klebing kan fungere som primær tette-/skjøtemetode og også som forsterkning av klemte skjøter (Blom & Uvsløkk 2012). Ved skader på vind- eller dampsperra fungerer teip godt som tettemateriale. I gjennomføringer benyttes vanligvis elastiske mansjetter som tetter overgang mellom kanal og sperrsjikt.

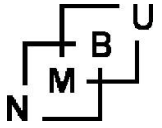


Figur 2.9 SIGA-teip (Illustrasjon: www.siga-store.com)

Klebprodukter er stadig mer benyttet i overgang vegg og dekke som sikkerhet for lufttettheten og blir også brukt som festemiddel av dører og vinduer til vind- og dampsperra.

2.8 Tett bygg og innemiljø

Klimatisering av bygninger er den største energikostnaden til de fleste bygninger i Norge (Bryn et al. 2012). Klimatiseringen må til for at størst andel brukere skal bli fornøyde, men de siste årene med stadig strengere krav til energieffektivitet har ført til diskusjoner om effektiviseringen går ut over beboernes helse og trivsel. Hovedmomentene for en vellykket brukeropplevelse av et tett bygg ligger i hvordan



tekniske løsninger fungerer i driftsfasen og hvordan brukeren klarer å benytte seg av disse løsningene.

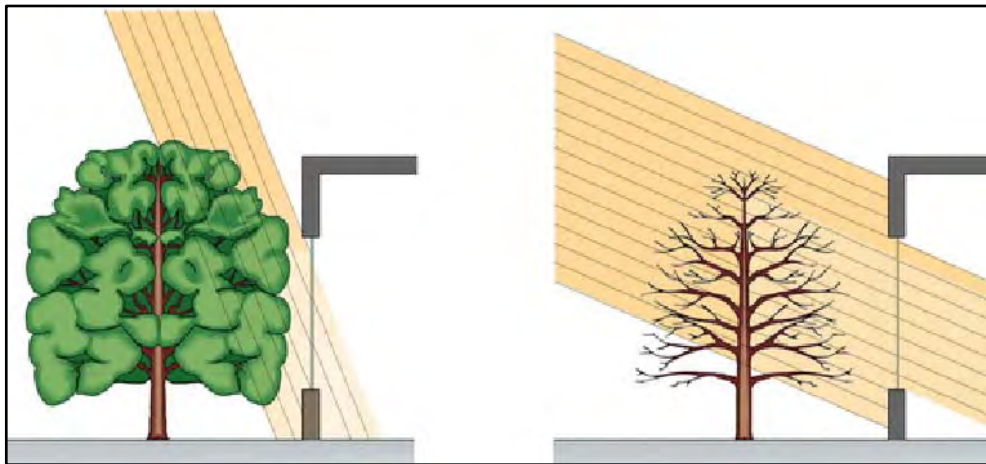
2.8.1 Termisk komfort

Termisk komfort defineres som en tilstand hvor mennesket er tilfreds med de termiske omgivelsene og ikke ønsker at omgivelsene verken skal være kaldere eller varmere (Bryn et al. 2012) Termisk inneklime er fysiske faktorer som påvirker den termiske komforten og inkluderer lufttemperatur, temperatur på omgivende flater og strålingstemperatur, lufthastighet og luftfuktighet (Blom 1999). Bygninger som følger kriteriene gitt i NS 3700 om passivhus eller lavenergibygninger har erfart at termiske forhold har vært både gode og dårlige ved bruk (Bryn et al. 2012). Dette er godt isolerte bygg med hensikt å hindre at utvendig klima påvirker den interne komforten negativt, men ved høy utendørstemperatur samt høy solstrålingstemperatur har den interne temperaturen lett for å bli påvirket. Ventilasjonsanlegget vil ikke klare å regulere slike overtemperaturer og man må dermed ha alternative løsninger i form av solskjerming og muligheter for utlufting. I (Bryn et al. 2012) er det kategorisert tre punkter for å unngå overtemperatur i en bygning:

- Forhindre varmetilførsel til rom
- Planlegge metode for å fjerne varmeoverskudd
- Sørge for tilstrekkelig varmelagring

Forhindre varmetilførsel til rom

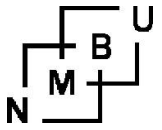
Det første punktet kan oppnås ved solskjerming. Varmetilskudd fra solen kan hindres ved bruk av vegetasjon eller omgivende miljø som naturlig skjerming (Bryn et al. 2012). Løvtrær er et godt alternativ, da det på sommeren har løv som skjærmer og som samtidig tillater varmetilskudd på vinterstid da det ikke er løv på trærne, se figur 2.10 (Bryn et al. 2012).



Figur 2.10 Vegetasjon som solskjerming (Bryn et al. 2012)

Vegetasjon som skjerming krever planlegging og tid, noe som kan gjøre det nødvendig å installere et solskjermingssystem i bygningen. Man kan skille mellom utvendig, mellomliggende og innvendig solskjerming, hvor utvendig er den beste metoden fordi den hindrer at kortbølget solstråling treffer glassruten og transmitterer solvarmen inn i rommet (Bryn 2000). For innvendig solskjerming er det viktig at glassruten kan reflektere denne strålingen, hvis ikke vil innetemperaturen kunne øke betraktelig og lettere gi overtemperatur. En dynamisk utvendig solskjerming er et bedre alternativ enn statiske system med tanke på energibehov og overtemperaturer, og muliggjør også å kunne regulere utsyn og dagslys. Ved valg av utvendig skjerming er det viktig det bestemmes tidlig i prosjekteringsfasen, da det påvirker blant annet den estetiske utformingen, bygningens energibehov og dagslys.

Bygningens form og orientering kan ha innvirkning på inneklimate. En kompakt bygningskropp har en mindre overflate og ved å tilpasse bygningen til topografien eller omkringliggende miljø kan solinnstrålingen reduseres. Sør- og vestvendte glassflater kan gi økt oppvarming og på samme måte kan nord- og østvendte glassflater redusere nedkjølingsbehovet (Hole 2013). Orientering og størrelsen av



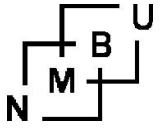
slike flater kan tilpasses slik at man får optimale forhold hele året og ikke minst kan en fordeling av glassarealene mellom fasadene gi bedre dagslysforhold i bygningen fordi lyset blir bedre fordelt mellom rommene (Bryn et al. 2012).

Planlegge metode for å fjerne varmeoverskudd

Når det er gjort tiltak for å forhindre at overtemperatur skal oppstå i bygningen er neste steg å fjerne det eventuelle varmeoverskuddet som har oppstått. Et passivt tiltak er nattventilasjon, som prinsipielt betyr at kald uteluft tilføres i bygningskroppen i løpet av natten og reduserer overtemperaturen. Dette prinsippet avhenger av at det er en signifikant temperaturdifferanse mellom ute og inne for å oppnå effektiv kjøling av bygningsmassen (Bryn et al. 2012). Et annet enkelt tiltak er lufting med vinduer, som kan gi god og effektiv tilførsel av kald luft ved lavere utetemperatur, men som kan være problematisk for allergikere. Samtidig kan det være en problematisk metode med tanke på støy, trekk og forurensninger. Ved bruk av slike tiltak er det viktig at brukeren er bevisst over konsekvensene, som at ventilasjonsanlegget ikke skal være aktivt når vinduer er åpne og at varmetilførsel i form av panelovner eller liknende gir energitap ved bruk. Slike alternative løsninger for å fjerne varmeoverskudd må integreres i tidligprosjekteringen da det kan ha direkte innvirkning på bygningens energiforbruk.

Sørge for tilstrekkelig varmelagring

Varmelagring kan defineres som at varme produsert på et tidspunkt kan lagres i et materiale og avgis ved et annet tidspunkt (Duer et al. 2001). Varmetilførsel eller varmeavgivelse kan foregå aktivt eller passivt. Ved aktiv tilførsel eller avgivelse benyttes det et medium for å transportere varmen, som for eksempel vann eller luft. Ved passiv tilførsel eller avgivelse foregår transporten uten et varmeoverførende medium, for eksempel ved varmeledning eller stråling, men et varmelagringsystem kan riktignok være både aktivt og passivt (Duer et al. 2001). Hvor mye energi en termisk masse kan lagre avhenger blant annet av massens varmekapasitet og volum.



Ved bruk av termisk masse i bygninger er hensikten at den lagrer tilført varme på dagtid og avgir varmen på natten, hvor den vil kunne redusere innnetemperaturen på sommerstid ved at den absorberer den tilførte varmen på dagtid og bidrar til redusert temperatur på dagtid. På samme måte kan den termiske massen på vinterstid absorbere varme og gradvis avgi den absorberte varmen på natten slik at temperatursvingningene er lavere og gir mindre behov for oppvarming (Bryn et al. 2012). Det er en forutsetning at den termiske massen er eksponert mot romlufta og at den ligger innenfor isolasjonssjiktet, samtidig som at varmelagringsmediet kan eksponeres for nattventilasjon eller mekanisk ventilasjon, da det er viktig at den termiske massen får avgitt den lagrede varmen før ny varme blir tilført (Østreng et al. 2008). Betong og murverk er gode materialer som varmelagringsystem fordi de har god varmekapasitet og konduktivitet (varmeledningsevne), noe som gjør at lageret kan tømmes i samsvar med døgnsyklusen. Trematerialer har også god varmekapasitet, men dårlig konduktivitet, og derfor avgir materialet varme for sent til at det kan utnyttes som varmelagring. Såkalte faseendringmaterialer (Phase Change Materials, PCM) har den egenskapen at den kan ta opp eller avgir varme etter behov og ved å integrere slik teknologi i bygningselementer kan mengden varmelagring økes.

Anbefalinger for å unngå overtemperatur i henhold til TEK 10

§ 13-4 i TEK 10 angir eksempler på passive tiltak som kan bidra til å unngå overtemperaturer:

- redusert vindusareal i solbelastede fasader,
- eksponert termisk masse,
- utvendig solskjerming,
- åpningsbare vinduer som gir mulighet for gjennomlufting og
- plassering av luftinntak/utforming av ventilasjonsanlegg slik at temperaturstigning i anlegget på grunn av høy utetemperatur blir minimal (<2 °C).

Videre heter det at "for boligbygninger vil kravet til termisk inneklime vanligvis være oppfylt dersom minst to av ovennevnte passive tiltak er gjennomført". Det stilles altså krav til tilfredsstillende inneklime, hvor minst to av disse fem tiltakene må dokumenteres som oppnådd.

2.8.2 Bruk av bolig med lavt lekkasjetall

Så lenge det ventileres rett er det ikke noe problem å bygge tett nok. Med å ventilere rett medfører også godt vedlikehold, som for eksempel at beboerne må skifte filter. Behovsstyrt ventilasjon kan være effektivt for å redusere energibruk hvor mengden tilført friskluft tilpasses de periodene rommene er i bruk. I de tilfellene man har lavenergi- eller passivhus, bør man ha funksjonelle styringssystemer og et brukergrensesnitt som er tilpasset bruken og brukerne (Hole 2013).

3 Metode og prosjekter

I denne masteroppgaven har vi benyttet både kvalitative og kvantitative metoder. Vi har valgt å gjøre kvalitative intervju med en strukturert intervjuform for å lettere kunne sammenlikne informantenes respons. Valget av kvalitativ forskning begrunnes med formålet om å belyse relevante fagpersoners meninger og bevissthet rundt problemstillingen om interne luftlekkasjer i bygninger. Gjennom våre litteraturstudier og intervjuer har vi skaffet vi oss et grunnlag for å sette opp ulike deduktive hypoteser som utdypende spørsmål til vår problemstilling. Disse hypotesene har vi med kvantitativ forskning testet i to case-prosjekter.

3.1.1 Utstyr

BlowerDoor

Minneapolis BlowerDoor er en av de mest brukte viftesystemene for tetthetsmåling i bygninger på markedet i dag mye på grunn av dens brukervennlighet. Vi har benyttet BlowerDoor Standard, med kapasitet på 19-7200 m³/h. Ved behov for flere vifter har vi også brukt BlowerDoor MiniFan, som har tilsvarende egenskaper som BlowerDoor Standard, bare med en kapasitet på 5-2300 m³/h. Sammen med vifta medfølger en regulerbar ramme med



Figur 3.1 BlowerDoor koblet til PG-700 og PC med Tectite, innsatt i balkongdør (Foto: Henrik Fluge Iden)

tett duk som kan tilpasses de fleste døråpninger. For å kunne få presise målinger på lekkasjetall vil det være nødvendig å benytte ringer i forskjellige størrelser som festes på vifta for å regulere luftmengden gjennom vifta. Viftehastigheten kan reguleres manuelt eller automatisk ved å koble til DG-700. DG-700 er et apparat som presist kan bestemme og styre luftstrøm gjennom vifta og trykkforskjellen mellom området som skal måles og det omkringliggende området.

Når man skal gjennomføre automatiske trykktester kan DG-700-apparatet kobles til en PC med programvaren Tectite. Dette programmet måler og registrerer luftstrøm ved forhåndsdefinerte trykkforskjeller. Programmet krever utvendig og innvendig temperatur, vindforhold og må måle baseline, som gjøres ved å måle trykkforskjell mellom ute og inne mens vifta er dekket til, i programvaren. I følge NS-EN 13829 skal minimum fem målepunkter rundt 50 Pa registreres. Tectite har forhåndsinnstilt ti målepunkter i intervallet 25-70 Pa. Programmet stilles inn til å kjøre på enten under- eller overtrykk – avhengig av hvilken retning man har satt vifta inn i døråpningen. Når man har gjennomført målingen, beregner programvaren blant annet lekkasjetall n_{50} og luftlekkasje q_{50} dersom man har definert volum og overflateareal til det aktuelle området.

Multimeter

Et multifunksjonsmeter er et måleinstrument som kan måle flere forskjellige verdier som lufttemperatur, trykk og lufthastighet. Når Tectite krever lufttemperatur ute og inne, samt vindforhold, er



Figur 3.2 TSI VelociCalc Plus (Foto: Ola Sandeggen)

multimeteret nyttig. Det kan også brukes til å måle trykkforskjeller. I våre forsøk har vi benyttet TSI VelociCalc Plus, et apparat med disse egenskapene.

Vifte

En ventilatordør er i mange land en godkjent innretning for å måle luftlekkasje (ref. NS 13829). Konstruksjonen omfatter en dørinstallasjon forbundet med en vifte, som det er mulig å variere hastigheten på. En vanlig vifte er et alternativ til BlowerDoor. Den aktuelle viften brukt i et av våre forsøk er en vifte med dimensjoner 1,3x1,3 m og effekt på 1-2 kW. Ved å koble den til en frekvensregulator (se beskrivelse nedenfor), kan man manuelt kontrollere luftmengden gjennom viften.

Frekvensregulator

En frekvensregulator er et elektrisk apparat som kan regulere frekvensen på vekselstrøm. I vårt tilfelle har den blitt brukt til å regulere omdreiningshastigheten til den store vifta. Regulatoren kobles til viften og kan stilles inn på en spesifikk frekvens slik at luftstrømmen gjennom vifta kan kontrolleres og man kan oppnå ønsket trykkforskjell.

Laser-avstandsmåler

Ved oppmåling av areal og volum til områdene som skal trykksettes, kan en elektronisk avstandsmåler benyttes. Vi har brukt Leica Disto Classic.



Figur 3.3 Frekvensregulator (Foto: Ola Sandeggen)

3.2 Litteraturstudier

Litteraturstudiets formål har vært å opparbeide kunnskap for å ha et godt grunnlag for utførelsen av intervjuer og målinger. Temaet i seg selv er lite dokumentert og det har vært nødvendig å skaffe en oversikt over omkringliggende tematikk innen blant annet bygningsfysikk for å kunne opparbeide et helhetlig bilde av hva bygningsinterne luftlekkasjer er.

Vi har i hovedsak benyttet følgende søkemotorer og nettsteder:

- SINTEF Byggforsk sitt kunnskapssystem
- BIBSYS – Bibliotek tjenesten for NMBU
- Google scholar – søkemotor for vitenskapelige utgivelser
- Google – søkemotor for offentlig tilgjengelig litteratur

Siden tematikken har vist seg å være lite dokumentert i Norge, har det vært nødvendig å også søke etter internasjonal litteratur.

3.3 Intervjuer

Vi har hatt intervju med syv informanter som alle har erfaringer med lufttetthet i bygninger. Interne luftlekkasjer er et tema det foreligger lite teorigrunnlag om per i dag, men det er et tema i nær tilknytning til luftlekkasjer i bygningsskallet og dermed var tanken at de utvalgte intervjuobjektene ville ha relevante meninger om temaet. Målet med intervju prosessen har vært å få innsikt i relevante fagpersoners forståelse og tanker rundt bygningsinterne luftlekkasjer. Bruk av kvalitative intervjuer er et godt egnet metode for å skape forståelse av hvordan intervjuobjektene opplever og forholder seg til temaet. Utvalget av intervjuobjekter ble vurdert på bakgrunn av erfaringer med luftlekkasjer i bygninger og informantens rolle i byggenæringen. Sistnevnte begrunnes med at meninger om temaet kan være påvirket av denne personen sin arbeidsgivers interesser. Vi har hatt ønske om å få en nyansert tilbakemelding fra informantene for å selv kunne

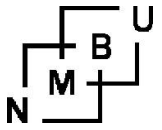
reflektere rundt temaet med større innsikt og dette har vi gjort ved å intervjuere personer med forskjellige roller i byggenæringen.

Følgende personer har blitt intervjuet:

Intervjuobjekt	Bakgrunn
Omega Energi AS, repr. ved Aage Aune og Joachim Hellstrøm	Aune er salgssjef og termografør i Omega Energi AS. Har arbeidet med termografering og tetthetsmålinger siden 2001. Hellstrøm har vært bygginspektør i Omega siden 2011. Begge er sertifiserte termografører.
Tom Farstad	Stabssjef i AF Bygg Oslo og hovedansvarlig for lufttetthet i AF-gruppen.
Karl H. Grimnes	Seniortermografør og ingeniør i Termografi og Måleteknikk AS. En av de aller første i Norge innen byggtermografering med diplom fra 1977.
Sverre Holøs	Utdannet biolog og seniorforsker i SINTEF Byggforsk i avdeling Bygninger og installasjoner. Prosjektleder på flere større prosjekter knyttet til lufttetthet i bygninger.
Lars Myhre	Teknisk sjef i Boligprodusentenes Forening. Tidligere jobbet i Byggforsk og Mesterhus.
Thor-Oskar Relander	Bygningsfysiker i NorConsult med PhD i lufttetthet i trehus. Forfatter av detaljblad <i>474.621 Framgangsmåte ved luftlekkasjemåling av bygninger</i> .
Sivert Uvsløkk	Seniorforsker i SINTEF Byggforsk i avdeling Arkitektur, byggematerialer og konstruksjoner. En av de første sertifiserte termografører i Norge med diplom fra 1977 og dermed mange års erfaring med lufttetthet i bygninger.

Oppbygning av intervjuet

Intervjuet ble delt inn i tre hovedtemaer: generelt om lufttetthet, interne luftlekkasjer og delmålinger. I tillegg ble informanten innledningsvis spurt om bakgrunn og erfaring med lufttetthet i bygninger. Tanken har vært å få en flyt slik at spørsmålene har en sammenheng og at det er en rød tråd gjennom hele intervjuet.



Intervjuet begynte med spørsmål om lufttetthet generelt, for å gi oss en oversikt over kunnskapen og meninger til intervjuobjektet rundt dette temaet. Deretter dreide temaet seg over til interne lekkasjer, før spørsmål knyttet til delmålinger ble stilt.

Gjennomføring

Intervjuene ble gjennomført ansikt til ansikt med hvert intervjuobjekt individuelt. Fire av de syv intervjuene ble gjennomført på intervjuobjektets arbeidsplass, ett på vårt institutt IMT og to på nøytrale møteplasser. Vi hadde ikke spesifikke preferanser til møtested og praktiske hensyn var hovedårsak til disse møtestedene. Årsakene til at vi har gjennomført intervjuene ansikt til ansikt er flere; et direkte møte gir lettere mulighet for *probing*, som betyr at moderator kan følge opp utsagn ved i si: "Kan du si mer om det?" og liknende (Askheim & Grenness 2008). Et direkte møte har også gitt oss et mer helhetlig inntrykk av informanten og det har også vært av egeninteresse å få hilse på informantene delvis på grunn av å få et ansikt knyttet til litteraturen vi har benyttet oss av.

Samtidig har det vært viktig å ikke påvirke informantens respons. For å opprettholde mest mulig validitet i responsen er det viktig å unngå at *bias* oppstår, altså en skjevhet i responsen på grunn av innflytelse fra moderatoren (NOVA 2015). Vi har unngått å fortelle om egne erfaringer og meninger rundt temaet så lenge intervjuet har foregått.

I kapittel 4.3 presenteres et sammendrag av intervjuene der de mest sentrale besvarelsene er trukket frem. I de spørsmålene der alle responsene er presentert, er svarene gjengitt i tilfeldig rekkefølge.

3.4 Finstad Park

Adresse: Midtskogen, 1400 Ski
Byggherre: Skanska Bolig
Entreprenør: Skanska Entreprenør Bygg, DK-Øst
Kontaktperson: Espen Rudshaug, prosjektleder



Figur 3.4 Finstad Park. Situasjonsplan (Illustrasjon: Skanska Bolig)

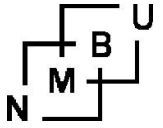
Finstad Park er et boligprosjekt i Ski som både eies og bygges av Skanska, Skanska Bolig er byggherre, mens Skanska Norge er utførende. Det er totalt ti boligblokker som er prosjektert, hvor byggetrinn 2 og 3 skal være ferdigstilt i løpet av våren 2015. Vi har fått gjøre lekkasjemålinger i blokk E, som er en del av byggetrinn 2. Blokken har lavenergistandard som mål og dermed krav til lekkasjetall på $1,0 \text{ h}^{-1}$. Blokk E har 28 leiligheter med BRA mellom $52\text{-}133 \text{ m}^2$ fordelt på fem etasjer. Dersom det er stor nok interesse, vil neste byggetrinn bli igangsatt så snart byggetrinn 3 er ferdig, som vil bestå av de tre siste prosjekterte blokkene F, G og J.



Figur 3.5 Finstad Park, bygning E (Foto: Ola Sandeggen)

3.4.1 Byggeteknikk

Bærekonstruksjonen består av stålkonstruksjon og prefabrikkerte veggelementer og hulldekker i betong. Klimaskallet er bygget opp av prefabrikkerte veggelementer i bindingsverk isolert med blåseisolasjon. Utvendig vindtetting er utført med gipsplater og diffusjonssperre av plast, overganger i begge disse sjiktene er tettet med teip. Innvendig i bygningen er det nedsenket himling i entré og boder i alle leiligheter, alle bad er prefabrikkerte baderomskabiner og leilighetsgulvene er oppført med granabsystem. Det er et sentralt ventilasjonsaggregat for hver av oppgangene, i leilighetene er ventilasjonskanaler skjult i sjakter og over nedsenkede himlinger. Alle leiligheter er sprinklet, vannrør er skjult i sjakter, bak nedsenket himling og i kanalkasser.



3.4.2 Hypoteser

En forutsetning for å kunne dokumentere lufttetthet hvor bygningsinterne luftlekkasjer inngår er at denne dokumentasjonen gjøres ved delmålinger. Gjennom litteraturstudier og intervjuer har vi kommet over utfordringer knyttet til delmålinger som vi har ønsket å studere gjennom å prøve ulike hypoteser.

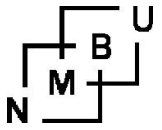
Simons og Rolfsmeier (2013) og flere av informantene i våre intervjuer har pekt på utfordringen knyttet til n_{50} når det gjelder måling av særlig små og særlig store volumer. Måler man store nok volumer vil man ofte få et godt resultat, måler man særlig små volumer vil man sjelden få et godt resultat. Dette forklares med overflateareal-volum-forholdet som er lavt for store volumer og stort for små volumer. Når det skal det gjøres delmålinger kan man havne i en situasjon hvor man skal dokumentere tettheten til en stor bygning ved å gjøre delmålinger i små volumer. Dersom dette skal gjøres med n_{50} alene kan det bli veldig utfordrende. Vi har registrert et ønske om en formulering hvor overflateareal-volum-forholdet inngår som en del av beregningen til en bygnings lufttetthet. Siden q_{50} kan avledes direkte fra n_{50} gjennom bruk av overflate-volum-forholdet har vi utformet følgende hypotese.

Hypotese 1: q_{50} egner seg bedre enn n_{50} til å dokumentere tetthet ved delmålinger.

Dersom man skal dokumentere lufttettheten til en leilighet- eller hybelbygning gjennom delmålinger vil en naturlig avgrensning være å måle enkelthybler eller leiligheter. (Moujalled et al. 2011) peker på at dersom lufttettheten til enhetene varierer vil utvalget man gjør ha stor betydning for resultatet.

Hypotese 2: Utvalget vil påvirke resultatet når man dokumenterer lufttetthet ved delmålinger.

En utfordring ved å gjøre delmålinger er at lekkasjene man måler kan bestå av både lekkasjer gjennom deler av klimaskallet og bygningsinterne lekkasjer. De bygningsinterne lekkasjene kan komme fra ulike soner av bygningen, eksempelvis



naboleiligheter, trappeoppgang og sjakter. For å identifisere hvor store lekkasjene fra de ulike sonene er kan man benytte støttetrykksmålinger.

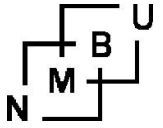
Hypotese 3: *Støttetrykksmålinger er en egnet metode for å lokalisere og kvantifisere bygningsinterne luftlekkasjer.*

Metode for å teste hypotesene

Hypotese 1: Trykkteste alle leilighetene i en hel oppgang. Hver enkelt leilighets lekkasjeluftmengde ved 50 Pa benyttes til å beregne leilighetenes n_{50} - og q_{50} -verdier. Deretter vil vi finne oppgangens lekkasjeluftmengde ved 50 Pa og beregne n_{50} og q_{50} . Da har vi mulighet til å sammenligne resultatene for n_{50} og q_{50} til leilighetene opp mot de samme verdiene tilhørende hel oppgang.

Hypotese 2: Benytte resultatene n_{50} og q_{50} for hver enkelt leilighet. Vi vil beregne gjennomsnittverdien til de x antall dårligste og de x antall beste leilighetene. Hvor mange leiligheter som skal sammenliknes varierer ut i fra følgende valgkriterier: 10% av bygningen totale antall leiligheter - avrundet opp, 20% av bygningen totale antall leiligheter - avrundet opp, 30% av bygningen totale antall leiligheter - avrundet opp. I tillegg vil vi bruke anbefalingen fra detaljblad BKS 474.621: 10% av bygningens totale antall leiligheter avrundet opp, med leiligheter fra to ulike soner der den ene leiligheten er øverst i et hjørne.

Hypotese 3: Måle og beregne hvor mye lekkasjeluftmengden ved 50 Pa til leilighetene reduseres ved å gjøre en ny trykktest av leiligheten hvor det opparbeides støttetrykk i en av de tilstøtende leilighetene. Denne luftmengden antas da å være lekkasjeluftmengden over den leilighetsskillende veggen ved 50 Pa trykkforskjell. Ved å dividere lekkasjeluftmengden med arealet av veggen vil vi få veggens q_{50} -verdi. Ved å beregne q_{50} til alle leilighetsskillende vegger ønsker vi se hvordan støttetrykksmålinger kan brukes til kvantifisere lufttetthet mellom ulike soner i hver etasje.



3.4.3 Utstyr benyttet

Til tetthetsmålingene ble Minneapolis BlowerDoor Standard og programvaren Tectite benyttet. I første runde med målinger, 25.-26. Februar, ble Minneapolis BlowerDoor MiniFan benyttet til støttetrykksmålingene. I andre runde ble benyttet Minneapolis BlowerDoor, Standard til støttetrykksmålinger. Lufthastighet og temperaturer ble målt med multimeteret TSI VelociCalc Plus.

3.4.4 Trykktest av leiligheter

Etter å ha gjort målinger i to runder er alle leilighetene i oppgang E2 trykktestet. For begge rundene var leilighetene tilnærmet innflyttingsklare, med unntak av to leiligheter var alle ryddet og vasket etter byggearbeidene. Gjenstående arbeid var hovedsakelig flikking av små overflateskader samt montering av komponenter på kjøkken. Det ble utført målinger av hver enkelt leilighet med både overtrykk og undertrykk. I tillegg ble luftstrømmen over leilighetskillende vegger målt ved å utføre undertrykksmålinger med støttetrykk i tilstøtende leiligheter på samme plan. Hele oppgangen ble testet ved å gjøre både overtrykk- og undertrykksmåling.

Runde 1: Blokk E, oppgang 2

Dato: 25.-26. februar

I første målerunde ble følgende leiligheter målt: E2101, E2102, E2103, E2201, E2202, E2203, E2501 og E2504. Dette er alle leilighetene i 1., 2. og 5. etasje.

Støttetrykksmålinger ble gjort ved å gjøre undertrykksmåling i E2101 og E2103, med tilsvarende undertrykk i leilighet E2102. Det samme ble gjort i andre etasje, hvor E2201 og 2203 ble testet med tilsvarende undertrykk i 2202.

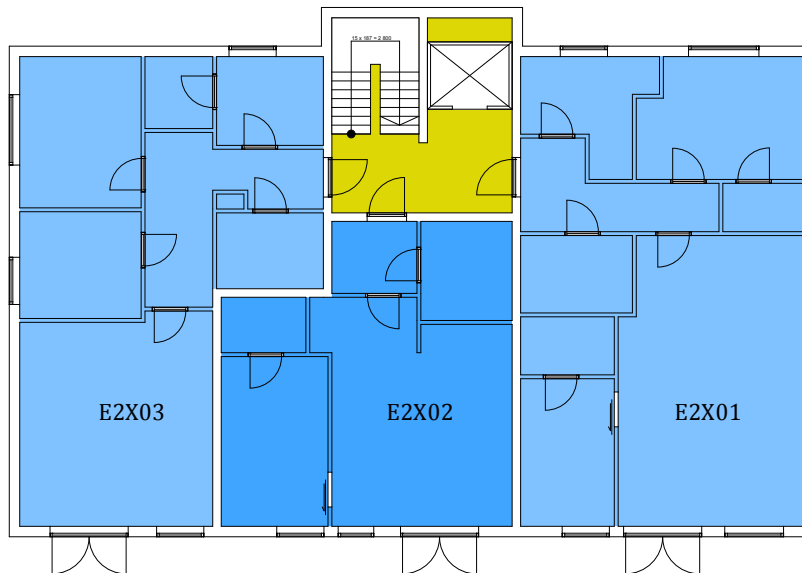


Figur 3.6 Planløsninger i blokk E av de målte etasjene 25.-26. februar
(Illustrasjon: Henrik Fluge Iden)

Runde 2: Blokk E, oppgang 2

Dato: 11. mars

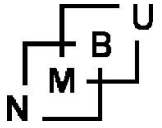
I den andre målerunden ble følgende leiligheter målt: E2301, E2302, E2303, E2401, E2402 og E2403. Dette er alle leilighetene i 3. og 4. etasje.



Figur 3.7 Planløsningen for 3. og 4. etasje som ble målt 11. mars
(Illustrasjon: Henrik Fluge Iden)

Støttetrykksmålinger ble gjort ved å gjøre undertrykksmåling i E2301 og E2303, med tilsvarende undertrykk i leilighet E2302. Det samme ble gjort i fjerde etasje, hvor E2401 og 2403 ble testet med tilsvarende undertrykk i 2402. Skanskas hovedansvarlige tetthetsmåler og termografør, Håkon Brager-Larsen deltok på disse trykktestene.

Klimaskallet tilhørende oppgangen ble prøvd ved å trykkteste oppgangen som én sone. Ved måling av hele oppgangen ble testutstyret montert i balkongdør i leilighet E2202.



3.4.5 Forberedelser

Følgende forberedelser ble utført før trykktesting av leiligheter:

- Alle vinduer og dører i fasaden til testleiligheten ble lukket
- Vinduer i tilstøtende leiligheter på samme plan ble åpnet
- Oppgangens hoveddør og vindu i trappeoppgang på samme plan ble åpnet
- Avtrekk og tilløp til ventilasjon samt avtrekk i kjøkkenventilator i aktuell leilighet ble tettet
- Avløp på toalett og kjøkken ble tettet der vannlåsene var åpne
- Vindhastighet på stedet ble målt
- Temperaturer både inne og ute ble målt

Før trykktesting av hele oppgangen ble følgende forberedelser utført:

- Alle vinduer og balkongdører ble lukket
- Alle innerdører ble åpnet
- Det sentrale ventilasjonsaggregatet ble tettet
- Vannlåsene ble kontrollert lukket
- Utilsiktede hull i forbindelse med gjennomføringer mot P-hus i underetasje ble tettet

Håkon Brager-Larsen tok seg av tettingen av det sentrale ventilasjonsanlegget. Han gjorde oss også oppmerksom på mulige utilsiktede åpninger.

3.4.6 Usikkerhetsmomenter

Alle målingene ble utført på en byggeplass i full drift, med aktivitet i leiligheter både i etasjen over og under leiligheten som ble målt. Det er sannsynlig at både dører og vinduer ble åpnet og lukket i disse leilighetene i testperioden, dette medfører usikkerhet knyttet til trykkforholdene i flere av de tilstøtende leilighetene. Måling av

hele oppgangen ble utført etter at arbeiderne hadde avsluttet for dagen, under denne testen var det da kontroll på alle dører og vinduer.

I andre testrunde ble tilluftsventiler strupt ved å skru dem ingen. Koblingen mellom ventilasjonsrør og ventil som befinner seg over letthimling kan være utett og føre til utilsiktede lekkasjer under testen.

Støttestrykkmålinger ble utført ved å utjevne trykket i tilstøtende leilighet manuelt. Dette medfører en usikkerhet da man må justere trykksvingninger manuelt.

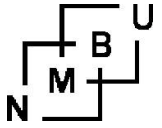
3.5 Fløy 4 - TF-kvartalet

Adresse: Kajaveien 4, Ås

Eier: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)



Figur 3.8 Fløy 4 (Foto: Ola Sandeggen)



Fløy 4 er en universitetsbygning bestående av laboratorier, lesesaler og undervisningsrom. I den nordre enden av bygningen ligger VA-laboratoriet med energilaboratoriet vegg-i-vegg på sørsiden. Noe av forskningen som foregår i VA-laboratoriet handler om rensing av avløpsvann fra studentboliger. Kloakkluften som denne forskningen genererer har i lengre tid smittet over til energilaboratoriet og ført til stor misnøye blant de som studerer og forsker der. For å bli kvitt luktproblematikken ble det installert et ventilasjonsanlegg som skal sørge for at det blir et undertrykk i VA-laboratoriet i forhold til energilaboratoriet.

3.5.1 Hypotese

Siden problemet med luktsmitte virker å være såpass stort antar vi at luktsmitten har en direkte sammenheng med store bygningsinterne luftlekkasjer mellom rommene.

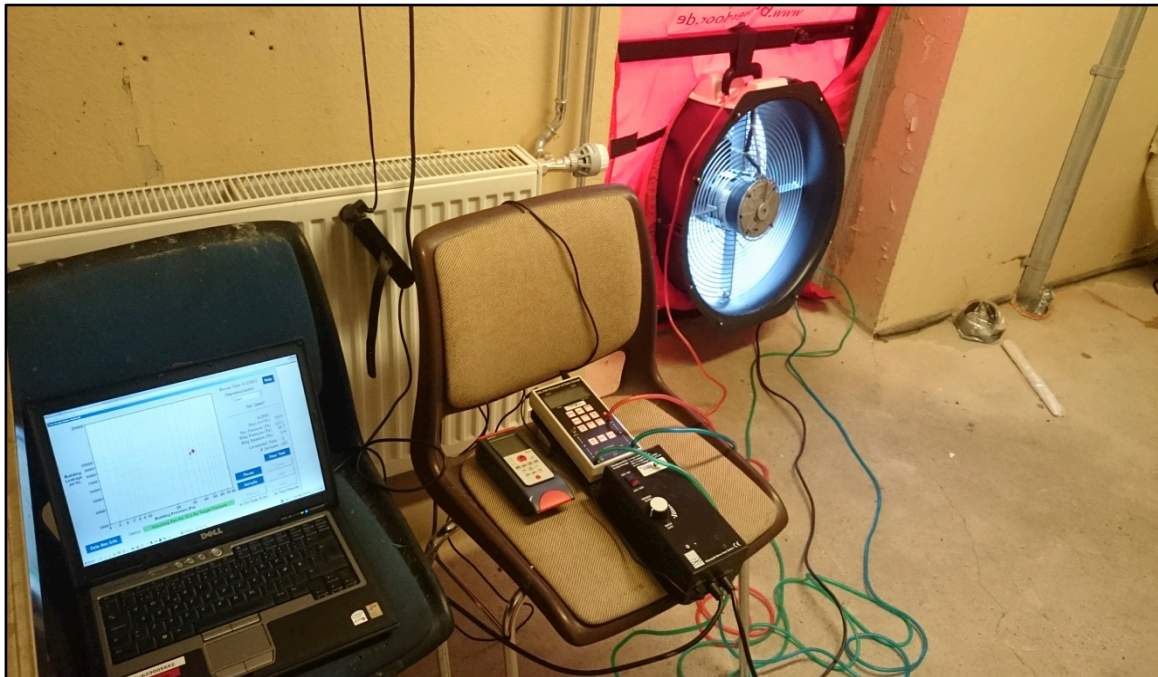
***Hypotese:** Skilleveggen mellom VA-laboratoriet og energilaboratoriet har store luftlekkasjer.*

Metode for å teste hypotesen

Benytte BlowerDoor til å trykkteste VA-laboratoriet og finne bygningens lekkasjeluftmengde ved 50 Pa. Deretter måle og beregne hvor mye lekkasjeluftmengden ved 50 Pa laboratoriet reduseres med ved å gjøre en ny trykktest der det opparbeides støttetrykk i energilaboratoriet. Denne luftmengden antas da å være lekkasjeluftmengden over skilleveggen ved 50 Pa trykkforskjell. Ved å dividere lekkasjeluftmengden med arealet av veggen vil vi få veggens q_{50} -verdi.

3.5.2 Utstyr benyttet

Til tetthetsmålingene ble Minneapolis BlowerDoor Standard og programvaren Tectite benyttet. Til støttetrykkmålingen brukte vi stor vifte sammen med frekvensregulator og manometerfunksjonen til TSI VelociCalc Plus. TSI VelociCalc Plus ble også benyttet til å måle lufttemperatur og vindhastighet. Laser avstandsmåler ble benyttet til å måle størrelsen på rommene.



Figur 3.9 BlowerDoor koblet til DG-700 og PC med Tectite (Foto: Henrik Fluge Iden)

3.5.3 Trykktest av laboratoriet

VA-laboratoriet ble først trykktestet ved å gjøre en undertrykkmåling med BlowerDoor plassert i inngangsdøren. Deretter ble det gjort en tilsvarende undertrykkmåling hvor lufttrykket i energilaboratoriet kontinuerlig ble utjevnet med stor vifte plassert i en av portene til laboratoriet. Differansen mellom disse målingene antas å være luftstrømmen over skilleveggen.



Figur 3.10 Bilde tatt under forberedelser til trykktest på fløy 4. Viften og den provisoriske vegg er installert (Foto: Henrik Fluge Iden)

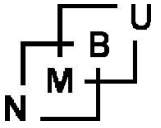
3.5.4 Forberedelser

Følgende forberedende arbeider ble utført før trykktestingen av VA-laboratoriet:

- Alle vinduer og dører i fasaden til testrommet ble kontrollert lukket
- Tilluft- og avtrekksventiler til ventilasjonsanlegget i begge laboratoriene ble tettet
- Vannlåser i begge laboratoriene ble fylt og kontrollert tett
- Port i energilaboratoriet ble åpnet
- Vindhastighet på stedet ble målt
- Temperaturer både inne og ute ble målt

Før støtetrykkmålingen ble i tillegg følgende forberedelser utført:

- Stor vifte ble plassert i den åpne porten i energilaboratoriet
- En provisorisk vegg tekket med plastfolie ble plassert sammen med viften for å tette resten av portåpningen



- Øvre del av portåpningen ble tettet med plastfolie

3.5.5 Usikkerhetsmomenter

- Bruk av en provisorisk vegg til å tette en større utilsiktet åpning medfører usikkerhet da man aldri vet om man får det helt tett.
- Støttetrykksmålinger ble utført ved å utjevne trykket i energilaboratoriet manuelt med manometer, frekvensregulator og vifte. Dette medfører en usikkerhet da man må justere for trykksvingninger manuelt.
- Begge laboratoriene er store og uoversiktlige rom. Vi kan ha gått glipp av utilsiktede åpninger.

4 Resultater

4.1 Fløy 4 – TF-kvartalet

Tabell 4.1 viser data for VA-laboratoriet, målte og beregnede verdier.

Lengde [m]	14,9
Bredde [m]	8,8
Høyde [m]	4,9
A_F [m ²]	131,1
V [m ³]	642,5
A_E [m ²]	494,5
Skillevegg, A [m ²]	73,0

Tabell 4.1 Data for VA-laboratoriets geometri

Tabell 4.2 viser måleresultater fra trykktestene i VA-laboratoriet.

	Uten støtte	Med støtte
V'_{50} [m ³ /h]	8958,0	7777,0
n_{50} [h ⁻¹]	13,9	
q_{50} [m ³ /h/m ²]	18,1	

Tabell 4.2 Måleresultater fra trykktester i VA-laboratoriet

Tabell 4.3 viser målte og beregnede resultater for skilleveggen mellom VA-laboratoriet og energilaboratoriet.

V'_{50} [m ³ /h]	1181,0
q_{50} [m ³ /m ² h]	16,2

Tabell 4.3 Resultater for skillevegg

4.2 Finstad Park

Grunnlag

Figur 4.1 viser et prinsippsnitt av leilighetene i oppgang E2. Leilighetene er navngitt i øvre hjørne, mens leilighetsskillende veggnummer er angitt i parenteser.

E2501 (5.1)		E2504
E2401 (4.1)	E2204 (4.2)	E2403
E2301 (3.1)	E2203 (3.2)	E2303
E2201 (2.1)	E2202 (2.2)	E2203
E2101 (1.1)	E2102 (1.2)	E2103
P-Kjeller		

Figur 4.1 Prinsippsnitt av leilighetene i oppgang E2

Tabellen viser innvendig volum, overflateareal og overflateareal-volum-ratioen til hele bygning E, oppgang E2 og alle leilighetene i oppgang E2.

	V [m ³]	A _E [m ²]	A _E /V
Bygning E	6042	2517	0,42
Oppgang E2	3021	1437	0,48
E2101	220	283	1,29
E2102	125	182	1,45
E2103	156	231	1,48
E2201	220	283	1,29
E2202	124	182	1,47
E2203	193	260	1,35
E2301	220	283	1,29
E2302	124	182	1,47
E2303	193	260	1,35
E2401	220	283	1,29
E2402	124	182	1,47
E2403	193	260	1,35
E2501	220	283	1,29
E2504	319	391	1,23

Tabell 4.4 Innvendige volumer, overflateareal og overflatevolum-ratioen til alle målte objekter og hele bygning E

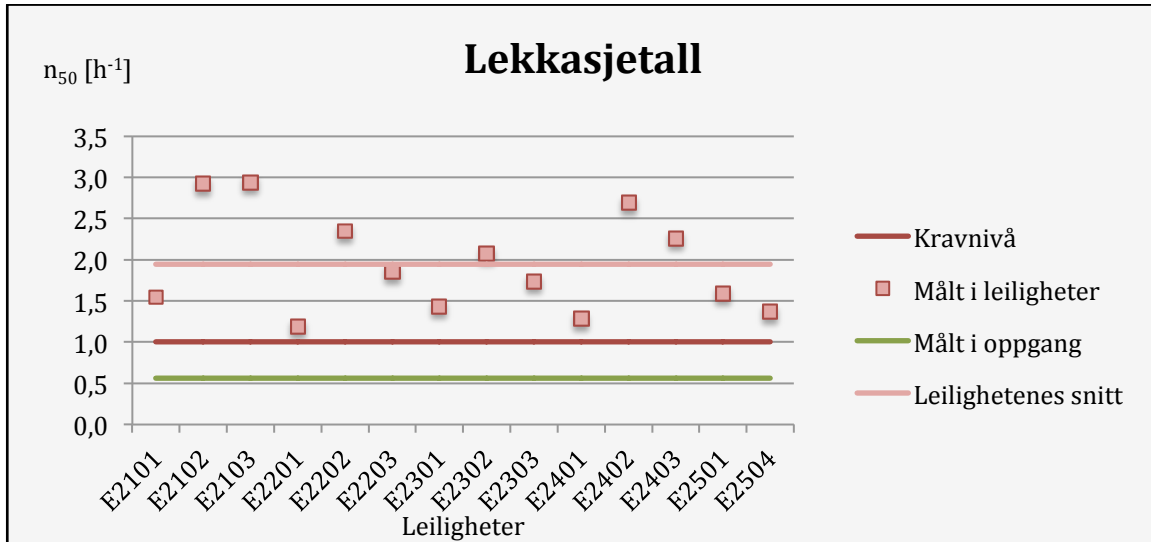
Testresultater for enkeltenheter

Tabellen viser testresultatene for alle leiligheter og oppgang E2. Gjennomsnittlig lekkasjeluftmengde og de normaliserte verdiene n_{50} og q_{50} .

	V'_{50} [m ³ /h]	n_{50} [h ⁻¹]	q_{50} [m ³ /m ² h]
Oppgang E2	1699	0,6	1,2
E2101	340	1,5	1,2
E2102	367	2,9	2,0
E2103	459	2,9	2,0
E2201	261	1,2	0,9
E2202	291	2,3	1,6
E2203	357	1,9	1,4
E2301	315	1,4	1,1
E2302	257	2,1	1,4
E2303	335	1,7	1,3
E2401	282	1,3	1,0
E2402	333	2,7	1,8
E2403	436	2,3	1,7
E2501	350	1,6	1,2
E2504	438	1,4	1,1

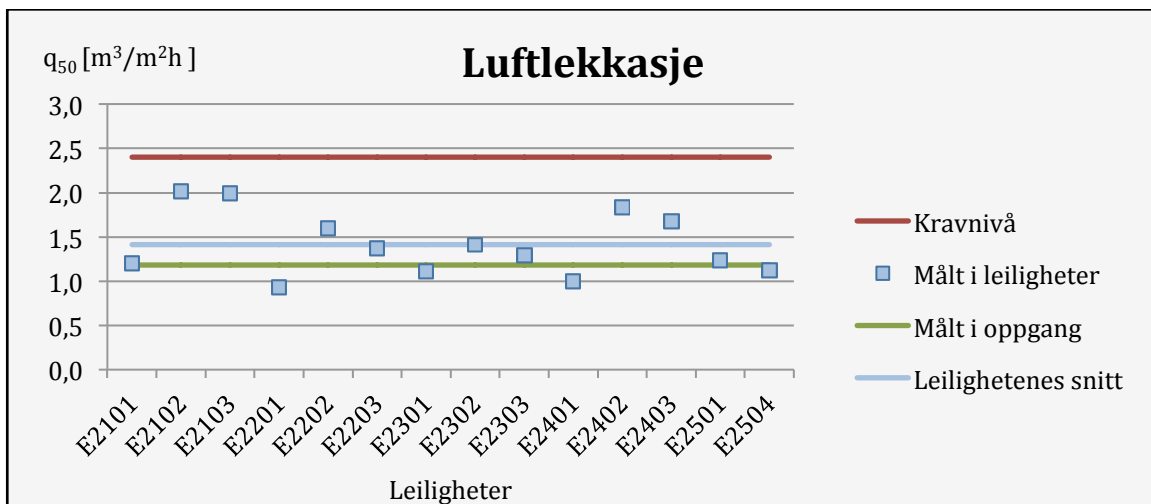
Tabell 4.5 Testresultat for alle leiligheter og oppgang E2

Nedenfor er en grafisk fremstilling av lekkasjetall n_{50} for hver enkelt leilighet, leilighetenes gjennomsnittsverdi og for hele oppgangen. I tillegg er kravet til lekkasjetall på $1,0 \text{ h}^{-1}$ som stilles til bygning E.



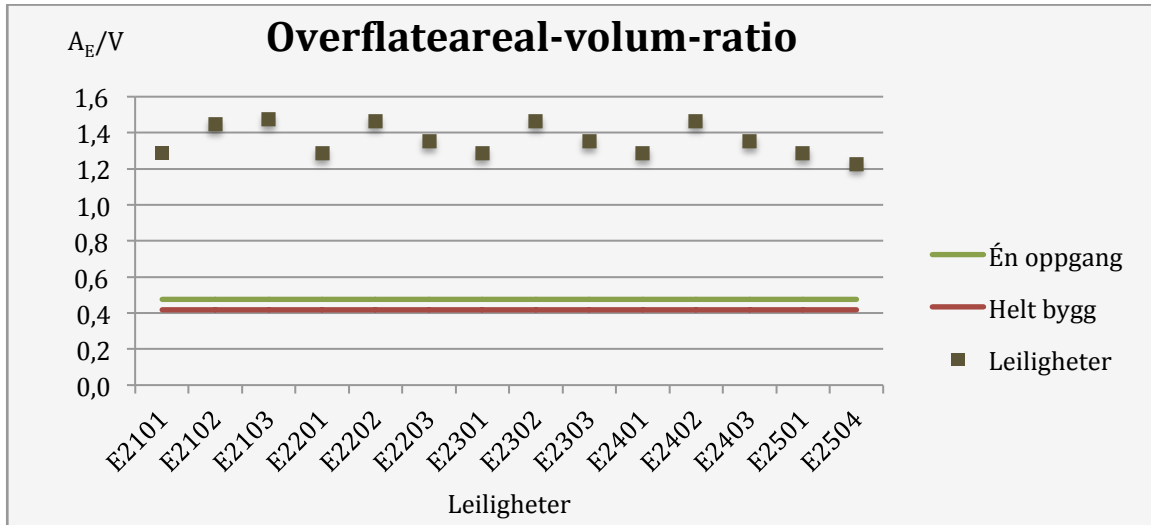
Figur 4.2 n_{50} -verdier for alle leiligheter, leilighetenes gjennomsnittsverdi og oppgang E2 sammen med kravet til hele bygning E

Figur 4.3 fremstiller luftlekkasje q_{50} for hver enkelt leilighet, leilighetenes gjennomsnittsverdi og for hele oppgangen. I tillegg vises q_{50} -verdien som tilsvarende kravet til n_{50} for hel bygning.



Figur 4.3 q_{50} -verdier for alle leiligheter, leilighetenes gjennomsnittsverdi og oppgang E2 sammen med kravet til hele bygning E

Figur 4.4 viser en grafisk fremstilling av overflateareal-volum-ratio for leiligheter, oppgang E2 og hele bygning E.



Figur 4.4 Overflateareal-volum-ratioene til alle leilighetene, oppgang E2 og bygning E

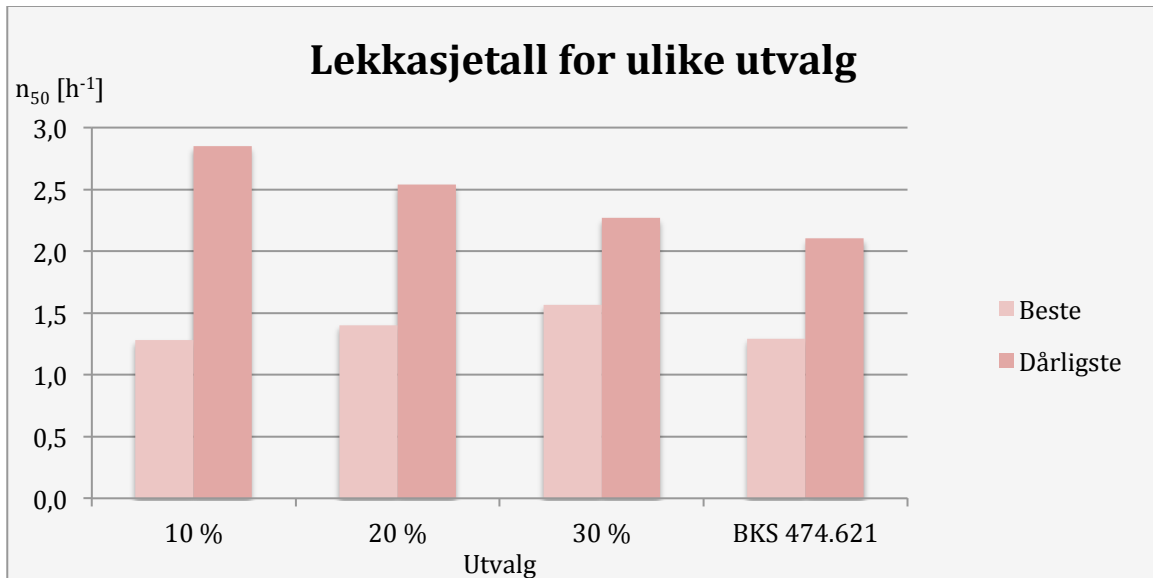
Utvalgsriterier

Tabell 4.6 viser hvor mange leiligheter som tas med i beregningene, samt beste og dårligste n_{50} - og q_{50} -resultat for hver av utvalgsriteriene.

Utvalg	10 %	20 %	30 %	BKS 474.621
Antall	3	6	9	3
n_{50}				
Dårligste	2,8	2,5	2,3	2,1
Beste	1,3	1,4	1,6	1,3
q_{50}				
Dårligste	1,9	1,8	1,6	
Beste	1,0	1,1	1,2	

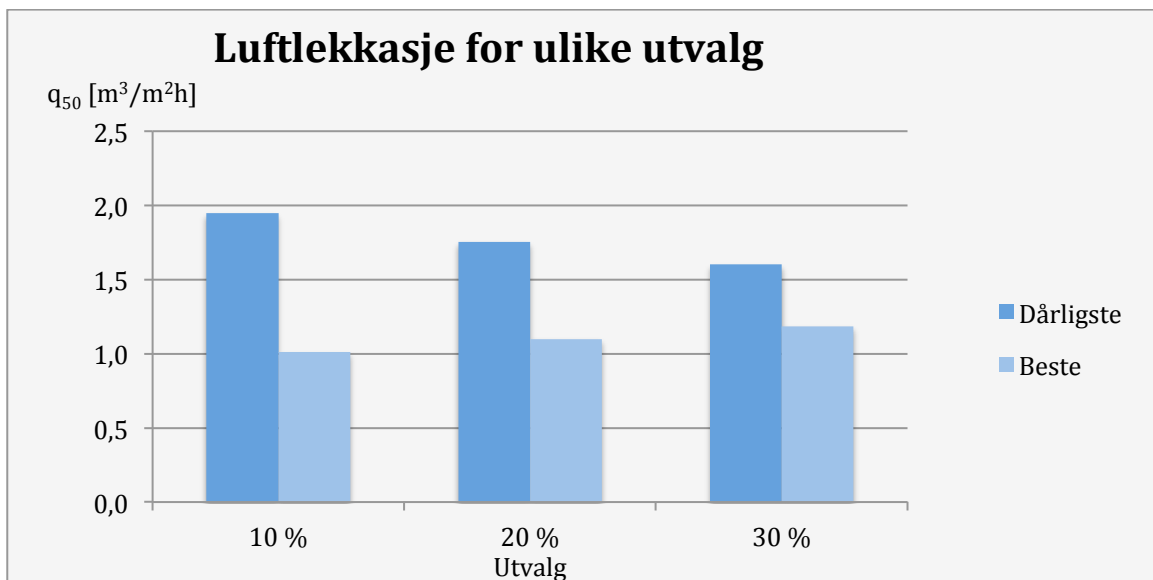
Tabell 4.6 Antall målte enheter, samt beste og dårligste n_{50} - og q_{50} -resultater for ulike utvalgsriterier

Figur 4.5 fremstiller de beste og dårligste n_{50} -resultatene for ulike prosentvise utvalg av antall bruksenheter. Utvalgsriteriet fra BKS 474.621 baserer seg på en utvalgsmengde på 10%, men inneholder tilleggskriterier for utvalget.



Figur 4.5 Beste og dårligste n_{50} -resultater for ulike utvalgskriterier

Figur 4.6 er en grafisk fremstilling av beste og dårligste q_{50} -resultat for ulike prosentvise utvalg av antall bruksenheter.



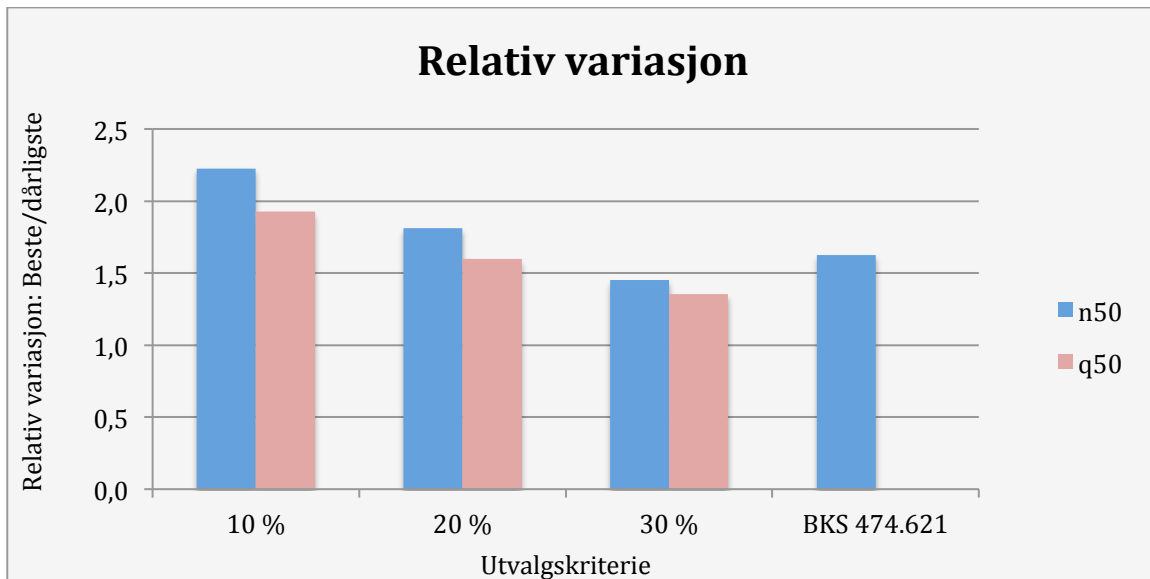
Figur 4.6 Beste og dårligste q_{50} -resultater for ulike utvalgskriterier

I tabell 4.7 fremstilles relativ variasjon mellom de beste og dårligste resultatene (dårligste/beste) for ulike utvalgs-kriterier. Den relative variasjonen viser i hvor stor grad man kan påvirke testresultatene innenfor de ulike utvalgs-kriteriene.

Utvalg	10 %	20 %	30 %	BKS 474.621
n_{50} [h^{-1}]	2,2	1,8	1,5	1,6
q_{50} [m^3/m^2]	1,9	1,6	1,4	

Tabell 4.7 Relativ variasjon mellom beste og dårligste resultat for ulike utvalgs-kriterier

Figur 4.7 er en grafisk fremstilling av den relative variasjonen mellom beste og dårligste resultat for ulike utvalgs-kriterier. Med lav relativ variasjon vil forskjellen mellom beste og dårligste resultat være liten og mulighetene for manipulasjon være begrenset.



Figur 4.7 Relativ variasjon mellom beste og dårligste resultat for ulike utvalgs-kriterier

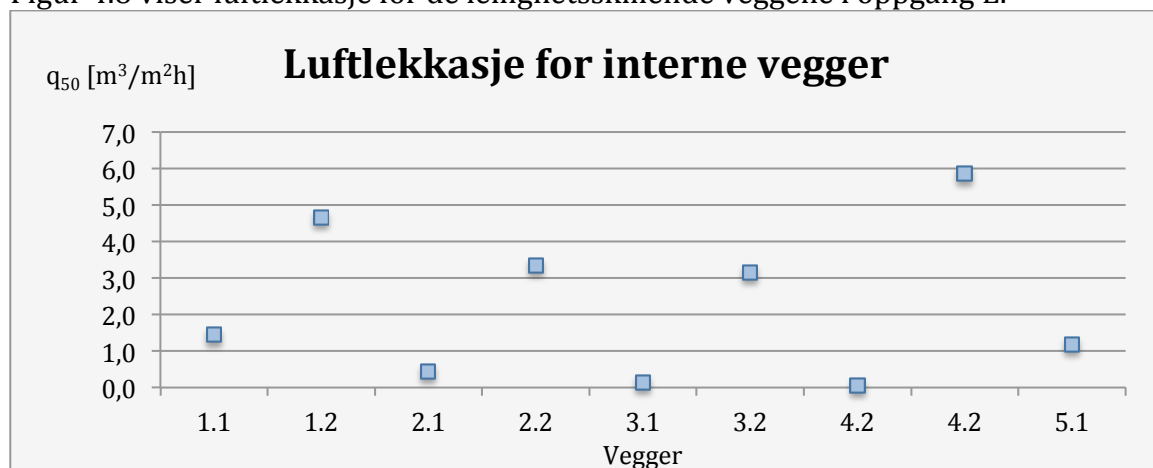
Støtetrykksmålinger

Målte og beregnede resultater for målinger over leilighetsskillende vegger utført med støtetrykksmåling er fremstilt i tabell 4.8.

Målte luftmengder [m ³ /h]									
Leilighet	E2101	E2103	E2201	E2203	E2301	E2303	E2401	E2403	E2501
Uten støtte	399	447	251	348	313	333	275	424	360
Med støtte	370	317	242	255	310	245	274	261	336
Beregnet resultat									
Vegg	E2101	E2102	E2201	E2202	E2301	E2302	E2401	E2402	E2501
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vegg- nummer	E2102	E2103	E2202	E2203	E2302	E2303	E2402	E2403	E2504
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1
Areal [m ²]	20,2	27,8	20,2	27,8	20,2	27,8	20,2	27,8	20,2
Luft- mengde [m ³ /h]	29,0	130,0	9,0	93,0	3,0	88,0	1,0	163,0	24,0
q ₅₀ [m ³ /m ² h]	1,4	4,7	0,5	3,4	0,2	3,2	0,1	5,9	1,2

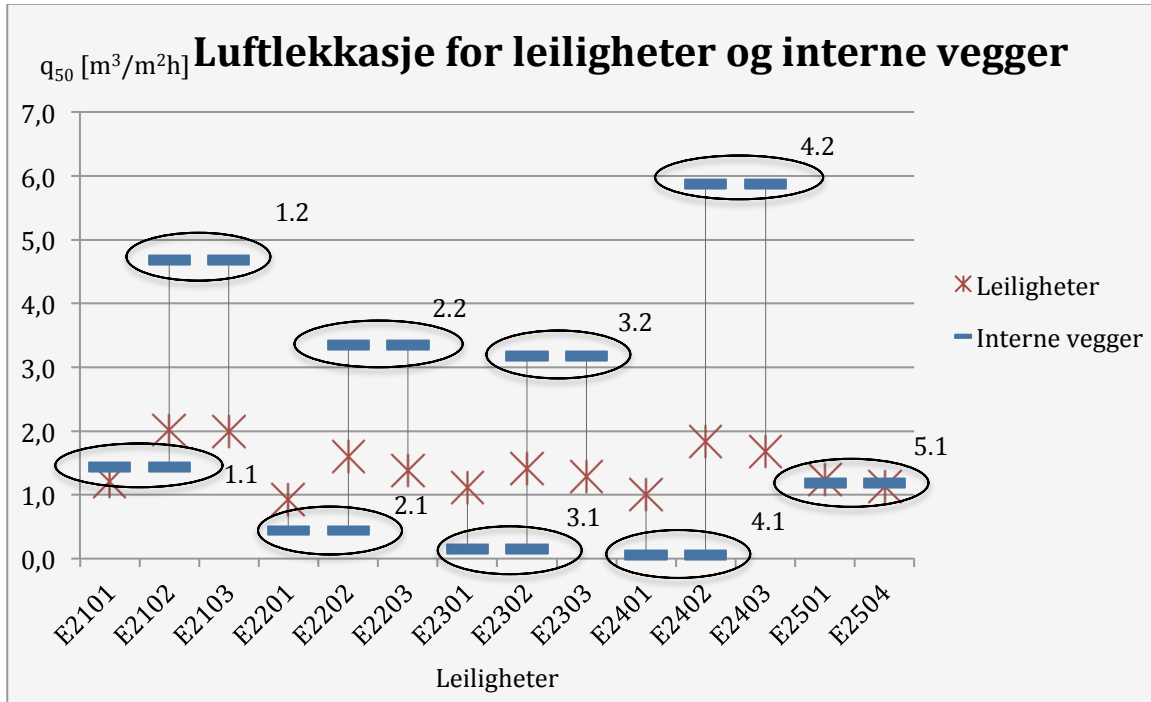
Tabell 4.8 Målte og beregnede resultater for leilighetsskillende vegger

Figur 4.8 viser luftlekkasje for de leilighetsskillende veggene i oppgang E.



Figur 4.8 q₅₀-verdier for leilighetsskillende vegger

Q_{50} -verdier for leiligheter og skillevegger er samlet i figur 4.9. Vertikale streker viser hvilke leiligheter de ulike veggene grenser til. Hver vegg grenser til to leiligheter og er derfor presentert med to streker, begge strekene til hver vegg er for ordens skyld samlet i en sirkel og navngitt.

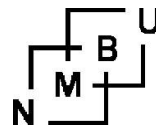


Figur 4.9 q_{50} -verdier for leiligheter og leilighetsskillende vegger

4.3 Intervjuer – et sammendrag

Hvordan vil du si at holdningen til lufttetthet i byggebransjen har endret seg de senere årene?

Informantene er enige om at det store paradigmeskiftet var før og etter TEK07. Bevisstheten rundt luftlekkasjer har hele tiden vært til stede. Men etter at TEK07 ble innført måtte det en holdningsendring til. Farstad forteller at de nye kravene førte til noe skepsis og at mange i bransjen ble tatt litt på senga. Det at man begynte å gjøre tetthetsmålinger førte til en iver blant de utførende og en konkurranse mellom tømrerlag om å oppnå best mulig lekkasjetall. Noen av informantene trekker frem at entreprenører så fordelen av å gjøre tetthetsmålinger i råbyggfasen fordi man



kunne oppdage og rette opp feil tidlig og potensielt spare mye ressurser. Det er enighet blant informantene at mange entreprenører nå vet hva som kreves for å få gode resultater og at lufttetthetsmålinger fungerer mer som en intern kvalitetssikring.

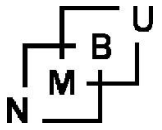
Hvilke faktorer vil du trekke frem for å sikre tett bygg?

Responser fra informantene er ganske enhetlig hvor fokus på planlegging fra dag én og kontinuitet i sperresjiktene blir trukket fram som viktige faktorer. Uvsløkk forteller at det beste er å ha kontinuitet i tettesjiktene, men poengterer at så lenge det er kontroll på at hvert fall ett av sjiktene er utført riktig, helst det ytre tettesjiktet, klarer man oppnå et tett bygg. Aune (Omega Energi AS) poengterer det samme og sier at hans slagord er at "det er bedre med én god vindtetting enn to halvgode".

Flere av informantene trekker frem at god lufttetthet må fokuseres på tidlig i prosjekteringsfasen. Kommunikasjon er viktig, gjerne gjennom et oppstartsmøte med involverte parter, slik at både prosjekterende og utførende vet hvordan man skal oppnå tett bygg. Både Relander og Myhre det er viktig å tegne gode detaljtegninger som håndverkeren kjenner og dermed utfører riktig. Flere av informantene sier at oppfølging av tetthetsmåling i prosjektets byggefase er viktig, da de utførende får en formening om hvordan utførelsen har fungert samtidig som at man får rettet opp i eventuelle systemfeil så tidlig som mulig.

Hva er de største konsekvensene av bygningsinterne luftlekkasjer?

Brann-, lukt- og lydproblematikk blir trukket frem som konsekvenser av alle informantene, hvor flere trekker frem brann- og røykspredning som den mest alvorlige konsekvensen. Uvsløkk sier at med tanke på brann- og røykspredning skal det være så tett at det ikke forekommer smitte mellom enheter. Flere av informantene har vært borti klagesaker relatert til røyklukt fra naboene. Relander nevner at det er strenge krav til isolat på sykehus på grunn av smittefare.



Uvsløkk nevner også at energi er en konsekvens dersom det er en signifikant temperaturforskjell mellom tilstøtende naboenheter.

Hvordan er fokuset på bygningsinterne luftlekkasjer i byggebransjen i dag?

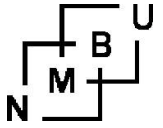
Informantenes tilbakemelding viser at fokuset på interne lekkasjer ikke er veldig stor, men oppadgående. Temaet dukker opp når det gjøres delmålinger, men man har ikke et veldig kritisk forhold til det og det ligger ikke like mye fokus på innervegger som klimaskjermen. Omega Energi poengterer at det er kravene som ofte styrer fokuset i byggeprosjekt.

Grimnes sier at fokuset på klimaskjermens tetthet er stor, men at det samtidig er altfor lite fokus på å oppnå tette innervegger. Konsekvensene av en utett skillekonstruksjon er potensielt mye verre enn en utett klimaskjerm dersom det oppstår brann, han mener det er skremmende at fokuset på energieffektivitet framstår så mye større enn fokus på liv og helse.

Hvorfor stilles det ikke krav til bygningsinterne luftlekkasjer og bør det settes krav til?

De fleste informantene mener at et krav til bygningsinterne luftlekkasjer vil være verdifullt. Hvordan man skal stille et krav og hva slags kvarvnivå som bør fastsettes er det ingen som vil prøve å definere.

Holøs sier at ikke stilles krav til interne luftlekkasjer da tanken er at interne lekkasjer ikke påvirker energiforbruket, noe flere av informantene også forteller. Selv om det er andre konsekvenser enn energi for interne lekkasjer, ivaretar forskriften krav til støy, inneklime og brann gjennom andre paragrafer, påpeker han. Likevel tror han ikke at krav til brann- og røyktetthet ivaretar en intern lufttetthet, da man differensierer mellom såkalt branntetting og lufttetting. Noen branntettende



materialer har den egenskapen at de ekspanderer ved oppvarming, noe som innebærer at den ikke er lufttett ved romtemperatur.

Relander sier interne luftlekkasjer er indirekte tatt hensyn til i leiligheter, fordi man skal stille samme krav til leiligheter som til hele bygget.

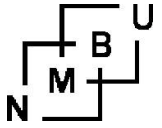
Uvsløkk nevner at veiledningen allerede i 1980 krevde at alle innvendige skillekonstruksjoner skal ha samme tetthet som utvendige vegger og tak. Dette ble gjort helt frem til 10-15 år siden, da man begynte å differensiere det igjen.

Myhre sier at den enkle årsaken er at det er veldig vanskelig å stille et krav interne luftlekkasjer, samtidig som det er for lite kunnskap og statistikk for å kunne komme med slike krav per i dag.

Grimnes, Holøs og Uvsløkk mener det bør være samme krav til skillekonstruksjoner som til ytterkonstruksjoner - og kanskje burde de interne veggene være tettere. Det samme mener Omega Energi, som videre sier at man kanskje heller burde stille krav til q_{50} . Flere av informantene påpeker at støttetrykksmålinger er svært ressurskrevende og ga uttrykk for at det å stille krav som medfører at man blir avhengig av å gjøre støttetrykksmålinger vil være problematisk.

Det stilles krav til tetthet for branncellevegger, er det mulig å trekke paralleller som gjør at lufttetthetsmåling kan benyttes som dokumentasjon for brannkrav?

Flere av informantene uttrykker at å synkronisere lufttetthet og kravene til brann hadde vært ideelt. Det nevnes at det hadde vært veldig nyttig ved etterprøving av branntettingen. Farstad sier blant annet at det vil være verdifullt for å kunne kontrollere branntetterens arbeid, noe som i dag gjerne ikke blir gjort. Å finne et felles lufttetthetskrav som kan si noe om at skillekonstruksjonen er god nok med tanke på lukt, støy og brann hadde vært smart, men å kvantifisere et slikt krav er vanskelig, sier Uvsløkk.



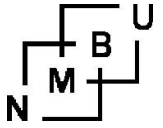
Flere poengterer at det bør være like krav til inner- og yttervegger. Det er vanskelig å skille mellom hva som er en ytterflate og innerflate ved delmålinger og sånn sett bør det være like krav til interne vegger og klimaskjermen, sier Grimnes.

Sverige og Danmark bruker henholdsvis overflateareal og gulvareal til å beregne tetthet. Hvordan vurderer du disse metodene opp mot n_{50} som brukes i Norge?

Flere av informantene sier at overflateareal-volum-ratioen gjør at et krav til n_{50} vil favorisere bygninger med store volumer. Holøs forteller at dersom man stille samme krav til lekkasjetall n_{50} for en leilighet som til et stort bygg, så får man voldsomt strenge krav til overflatene i leiligheten. Flere av informantene belyser samme problematikken og Farstad sier det skyldes at den norske normaliseringsmetoden er såpass avhengig av volum. Dermed kan det være fristende å måle et større volum av bygningen, eksempelvis en hel oppgang. Omega Energi beskriver det som "å slippe billig unna" når man skal gjøre måling på store bygninger.

Flere av informantene, deriblant Holøs, Omega Energi og Relander, trekker frem den svenske metoden (q_{50}) som en god normaliseringsmetode. Skal man stille samme krav til leilighet som til et stort bygg, så får man voldsomt strenge krav til leiligheten, og dermed bør det heller stilles krav til overflatearealet enn til volumet av leiligheten, sier Holøs. Flere av informantene mener at n_{50} er såpass godt kjent og innarbeidet at det vil være uhensiktsmessig å gå helt bort fra det. Både Holøs og Relander foreslår at en mulighet hadde vært å finne et tilleggskrav med q_{50} som supplement til dagens krav.

I TEK 10 differensierer man lufttetthetskravet til store og små bygninger, men i høringsnotatet om passivhusnivå stilles det like krav til alle typer bygninger. Vil



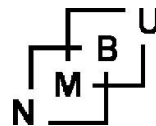
dette føre til for strenge krav til små bygninger eller ikke strenge nok krav til store bygninger?

Alle informantene mener det er mulig å oppnå passivhusnivå for alle typer bygg, da det fins mange eksempler i dag på at det er mulig. Likevel er tilbakemeldingen fra informantene delte; noen mener passivhusnivå er et rimelig krav, mens noen andre mener det er i overkant strengt, spesielt for småhus. Omega energi sier følgende: "Nei, kravene blir ikke for strenge, det lar seg gjøre med godt håndverk. Det høres fornuftig ut å komme ned på det nivået, men bransjen må omstille seg". Myhre, på sin side, sier det er for strengt for alle bygningstyper, men klart mest for småhus. Både Farstad og Myhre mener det i mange tilfeller blir unødvendig ressurskrevende å stille krav på passivhusnivå og begrunner det med at prosjekter stiller med forskjellige forutsetninger når det gjelder økonomi og ambisjonsnivå.

Bør det stilles krav til hver enkelt bruksenhet i store bygninger?

De aller fleste av informantene mener det burde stilles krav til hver enkelt bruksenhet i store bygninger. Noen begrunner det med praktiske hensyn; det er enklere å stenge av én leilighet for måling enn for eksempel en hel oppgang i byggeprosessen. Farstad forteller at AF Gruppens filosofi er å alltid måle enkeltleiligheter delvis på grunn av det praktiske, men fordi man også får mer informasjon om de interne lekkasjene. Han sier og at dersom det skal stilles krav til enkeltleiligheter, burde kravet være oppnåelig for de små enhetene også. Uvsløkk er en av de som nevner at bygninger med svalgang i praksis må stille krav til hver enkelt bruksenhet og at et slikt krav vil gi mer likhet for store bygninger.

Dersom man ikke klarer å måle hele bygningen kan man dokumentere lufttettheten ved delmålinger. Da må man måle en representativ andel av bygningen. Hva mener du er en representativ del av en bygning?



Uvsløkk: Det enkleste og mest praktiske er at hver enkelt leilighet stilles krav til. Samtidig kan man ikke kreve at alle leiligheter skal måles, ideelt sett burde en viss prosentandel være tilstrekkelig.

Omega Energi: Vi syns at 10 % av bygningen er litt lite. Det burde og være mer presise retningslinjer på hva man gjør når de målte verdiene for delmålinger ikke er gode nok, for eksempel måle enda flere leiligheter og se om man da når de satte kravene.

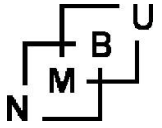
Farstad: Vi har en policy om å måle 10 % av alt som bygges. I større byggeprosjekter ønsker vi å spre målingene ut på forskjellige bygninger. Vi ønsker å måle leiligheter i toppen, da vi ser på dem som mest utfordrende.

Grimnes: Måler man 10 % og de er innenfor kravet, så er det godt nok.

Holøs: I alle tilfeller der man skal måle for å oppnå et satt krav er det flere forhold man må ta hensyn til: det ene er hvor mange enheter som fins, det andre er hvor nøyaktig målemetoden din er og det tredje er hvor stort avvik er mellom hva man faktisk måler og hva som er kravet. Har man et bygg med for eksempel femti enheter og man måler tre av dem, alle målinger ligger nært hverandre og ved halvparten av kravet – da har man kanskje målt nok. Har man tre enheter som ligger rett oppunder kravet og det er feilkilder i metoden, da bør man måle mer. Noen sånne vurderinger må man gjøre i hvert enkelt tilfelle.

Myhre: En representativ del av en bygning må vurderes i hvert enkelt tilfelle fordi bygninger har forskjellig klima og miljø, størrelser og former. En slik vurdering av hva en representativ del er vil det alltid være knyttet usikkerheter til.

Relander: Jeg har i detaljblad 474.621 anbefalt 10%. For å komme frem til en anbefaling så vi til andre standarder og deres anbefalinger. Standarden til akustikk stiller krav til 10 %, så jeg tok blant annet dens anbefalinger med i vurdering da jeg valgte 10 % av bygningen ved delmålinger. Ved delmålinger bør man ha en kommentar på hvorfor man har målt og eventuelt hvorfor man ikke har fulgt anbefalingene. Får man ikke målt det ønskede volumet, så får man i hvert fall dokumentert hva som er målt.

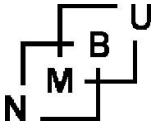


Hva er de største utfordringene og usikkerhetsmomentene når man skal gjøre delmålinger?

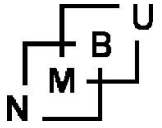
Det er flere som trekker fram utfordringen med å få holdt av det området som skal trykksettes når det er full aktivitet på byggeplassen. Farstad forteller at god kommunikasjon er en forutsetning for å unngå at håndverkere eller andre påvirker målingene. Støttetrykk ses på som ekstra problematisk fordi det krever at flere områder stenges av, samtidig som at det krever mye utstyr og forberedelser. Relander mener de største usikkerhetsmomentene ved delmålinger er at dersom man kun får målt et lite område får man et ugunstig overflate-per-volum-forhold, noe som også taler noe til fordel q_{50} . Lekkasjer i skjulte detaljer som sjakter, gjennomføringer og detaljer over nedføret himling som eksempel på usikkerhetsmomenter. Grimnes sier at de største utfordringene er interne lekkasjer, noe han har erfart i tilfeller der det er store differanser i måleresultatene mellom måling av en bruksenhet og hele bygningen.

Kan det bygges for lufttett?

Bygg tett og ventiler rett er svaret samtlige informanter gir. Det er enighet om at man skal bygge tett, men det innebærer at man må ha et ventilasjonsanlegg som er dimensjonert godt nok. I tillegg må ventilasjonsanlegget vedlikeholdes, for eksempel utskifting av filter. Farstad sier kunden ved kjøp av ny bolig hos AF Eiendom må kjøpe serviceavtale, som innebærer at servicepersonell vedlikeholder anlegget, mens Grimnes foreslår at feiervesenet kan ta på seg ansvaret for vedlikeholdet. Det fleste informantene mener at brukeren ikke vedlikeholder anlegget riktig, fordi de enten ikke klarer eller ikke vet nok om konsekvensene av manglende vedlikehold. Myhre sier at om man bygger veldig tett må man være klar over hvor det er ekstra behov for lufttilførsel, typisk er ildsteder hvor man må ha egen tilførsel av luft. Blir det veldig tett blir man avhengig av smarte ventilasjonsanlegg som justerer opp



luftmengdene for ikke å skape undertrykk når man bruker kjøkkenavtrekk og sentralstøvsuger.



5 Analyse og diskusjon

5.1 Analyse

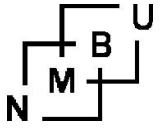
Fløy 4

Som referanseverdier kan det nevnes at minimumskravet til n_{50} for alle nye bygninger er $3,0 \text{ h}^{-1}$. For VA-laboratoriet vil $q_{50} = 3,9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ tilsvare $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$. Resultatene fra trykktesten av VA-laboratoriet ga $n_{50} = 13,9 \text{ h}^{-1}$ og $q_{50} = 18,1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (se tabell 4.2), noe som viser at rommet er særdeles utett. Dette kan forklares med at bygningen i utgangspunktet ble bygget som et kaldt lager med vaskehall. Det er grunn til å anta at det ikke er lagt stor vekt på å gjøre bygningen lufttett i arbeidet med å endre bruksformål fra lager og vaskehall til laboratorium.

Resultatet fra måling og beregning av tettheten til veggen mellom VA-laboratoriet og energilaboratoriet ble: $q_{50} = 16,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (se tabell 4.3). Til tross for at resultatet er bedre enn gjennomsnittet for alle overflater i VA-laboratoriet er det et dårlig resultat, som viser at veggen er svært utett.

VA-laboratoriet ligger på enden av bygningen og har dermed tre vindutsatte fasader. I kombinasjon med en utett bygningskropp vil dette gjøre at trykkforholdene i laboratoriet kan påvirkes av utendørs vindforhold. Vind kan medføre en trykkforskjell mellom laboratoriene som vil være en drivkraft for bygningsinterne luftlekkasjer mellom dem.

Det nye ventilasjonsanlegget som sørger for at det er undertrykk i VA-laboratoriet relativt til energilaboratoriet vil gjøre at problemet med luftlekkasjer inn til energilaboratoriet blir redusert, men et svært utett VA-laboratorium gjør at det er nødvendig med store avtrekksmengder for å holde trykket lavt nok. Det er grunn til å anta at dersom man hadde gjort en jobb med å sikre tettere bygg hadde man klart



seg med mindre luftmengder til ventilasjonsanlegget. Man ville da ha redusert energiforbruket, samtidig som man hadde fjernet ubehaget knyttet til luktsmitte.

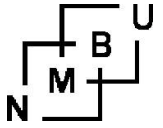
Finstad Park og intervjuer

Som de fleste informantene poengterte er den alvorligste konsekvensen av store bygningsinterne luftlekkasjer knyttet til brannsikkerhet. Spredning av røyk og branngasser kan sette liv og helse i fare. Brannforskriften stiller krav til at bygningsdeler og tilslutninger skal hindre brann og røykspredning. Til tross for dette fortalte noen av informantene at de har erfaring med prosjekter som fikk påvist store bygningsinterne luftlekkasjer. Luftlekkasjer i sjakter blir av flere nevnt som et problemområde.

Dersom sjakter for tekniske føringer blir prosjektert med liten og i verste fall ingen avstand mellom rørene blir jobben med å branttette sjaktene en tilnærmet umulig oppgave. Noen typer masser som benyttes til branntetting har den egenskapen at de ekspanderer ved høyere temperaturer for å hindre spredning av røyk. Ved en ulmebrann kan kalde branngasser spre seg mellom brannceller og utsette mennesker for livsfare. Branntettinger som skal ekspandere ved høyere temperaturer vil da ikke ha full effekt.

Selv om det stilles krav til komponenter og byggematerialer vil det til syvende og sist være opp til den som utfører jobben å sørge for at løsningene bygges på en måte som gjør at det blir så tett som prosjektert. Den beste måten å skaffe full kontroll på sluttproduktet er å etterprøve arbeidene som blir gjort. Dagens forskriftskrav legger opp til at man med hensikt skal unngå å etterprøve lufttetthet internt i bygninger.

Ubehageligheter forårsaket av sjenerende støy og lukt på grunn av bygningsinterne luftlekkasjer vil være mest aktuelle i boligbygninger. I eget hjem kan lukt og støyplager medføre mistriivsel og redusere livskvaliteten. Flere av informantene



fortalte at de har erfaring med klagesaker hvor støy og lukt fra naboer har vært årsak til klagene.

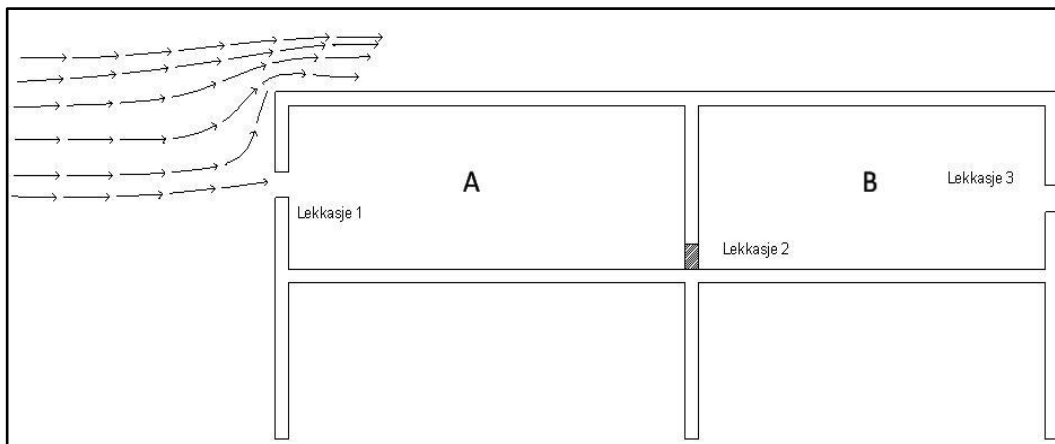
Rom hvor inneklimate skal isoleres fra resten av bygningen på grunn av smittefare, som for eksempel isolater eller laboratorier på sykehus, er det meget viktig å bygge lufttett. For å hindre luftspredning kan ventilasjonsanlegget innreguleres på en måte som gjør at rommet får et konstant over- eller undertrykk, relativt til omgivelsene. Desto tettere man bygger rommet desto mindre luftmengder behøves til ventilasjonsanlegget for å opprettholde nødvendig undertrykk. Uten sammenlikning for øvrig er laboratoriene vi testet i Fløy 4 et eksempel hvor man nå benytter ventilasjonsanlegget til å forhindre bygningsinterne luftlekkasjer ved å skape en trykkforskjell mellom rommene.

Med hensyn til brann og smittespredning er flere av informantene av den oppfatning at interne vegger bør bygges tettere en klimaskallet. Av hensyn til etterprøving er de fleste informantene enige om at et uniformt krav til innervegger og klimaskallet vil være enklest.

Hovedårsaken til at det stilles krav til lufttetthet i bygninger er at man ønsker å redusere oppvarmingsbehovet forårsaket av infiltrasjon. Som grunnlag for energiberegningene, beregnes infiltrasjonsmengden i henhold til NS 3031. I disse beregningene benyttes n_{50} målt og beregnet for volum omsluttet av klimaskallet. Det faktum at bygningsinterne luftlekkasjer ikke inngår i energiberegningene, og dermed antas å ikke påvirke energibehovet, er ifølge de fleste informantene hovedårsaken til at det ikke er satt krav til bygningsinterne luftlekkasjer i forskriftene.

For en bygning som er oppdelt i enheter som ikke er gjennomgående vil tettheten mellom disse likevel være avgjørende for den reelle infiltrasjonen og dermed

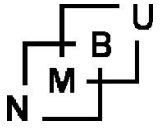
energibehovet. For bygningen illustrert i figur 5.1 vil en energiberegning i henhold til NS 3031 være uavhengig av *lekkasje 2*. Det antas at vinden vil føre til luftstrøm gjennom rom *A* og *B* uten motstand i skilleveggen, akkurat som om *lekkasje 2* er like stor som skilleveggen. Realiteten vil være at størrelsen på *lekkasje 2* vil påvirke strømningsmotstanden til bygningen og dermed infiltrasjonsluftmengden og energibehovet.



Figur 5.1 Illustrasjon av hvordan infiltrasjonsmengde avhenger av bygningsinterne luftlekkasjer (Rusten & Wilhelmssen 2011)

For alle bygninger vil det være mulig å kvantifisere bygningsinterne luftlekkasjer i mellom ulike soner, og dermed beregne mer reelle infiltrasjonsluftmengder enn hva standarden gjør. Med avanserte programmer kan dette gjøres ved å bygge opp luftstrømningsnettverk som representerer lekkasjer og åpninger mellom rom og i klimaskallet. Det vil være svært ressurskrevende å lage denne type modeller og etterprøve resultatene for alle bygninger. Det kan likevel være nyttig å benytte denne type programmer i forskning for å lage en forenklet modell for infiltrasjon hvor bygningsinterne luftlekkasjer inngår.

Uvsløkk påpekte at bygningsinterne luftlekkasjer kan ha innvirkning på det reelle energibehovet til ulike enheter i en bygning, dette ved at varm luft fra en enhet kan



overføres via bygningsinterne luftlekkasjer til naboenheten som i utgangspunktet har en lavere temperatur.

Som Uvsløkk poengterte er det ikke bare bygningsinterne luftlekkasjer som ikke blir tatt hensyn til i NS 3031. Beregningsmodellen som ligger til grunn for infiltrasjonsluftmengde og dermed også til grunn for kravet til lufttetthet er en svært forenklet metode og inneholder kun fire variabler: Lekkasjetallet n_{50} , skjermingsklasse, antall vindusatte fasader og differansen mellom tilluftsmengde og avtrekksluftmengde i ventilasjonsanlegget. I kontrollberegning mot offentlige krav for en bygning med mekanisk balansert ventilasjonsanlegg vil den eneste variabelen være lekkasjetallet n_{50} . Effekten av lokale vindforhold og termisk oppdrift innvendig i bygningen er faktorer med vesentlig betydning som ikke tas hensyn til. Uvsløkk påpekte også at vindtrykket på selve vindsperran i mange tilfeller vil være noe redusert i forhold til vindtrykket på fasaden på grunn av luftet kledning. En mer nøyaktig beregningsmodell av infiltrasjonsluftmengder hvor man tar hensyn til lokale vindforhold og enkle fysiske begreper som termisk oppdrift bør være mulig å lage.

Dersom det skal stilles krav til bygningsinterne luftlekkasjer er man avhengig av å gjøre delmålinger. Når man gjør delmålinger måler man ofte en liten del av bygningen, altså en liten del av et større volum. Et enkelt krav til n_{50} vil da være problematisk. Som flere av informantene vi intervjuet påpekte, og som resultatene fra Finstad Park viser, er overflateareal-volum-ratioen særdeles avgjørende for n_{50} . Dersom man ser på resultatene fra målingene i Finstad Park (se tabell 4.5) uten dette i bakhodet kan man lett bli lurt: Trykktesten av oppgang E2 viser at klimaskallet er veldig bra, $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ (se figur 4.2), altså passivhusnivå, mens gjennomsnittlig lekkasjetall for leilighetene er mye dårligere, $n_{50} = 1,95 \text{ h}^{-1}$ (se figur 4.2), dårligere enn kravet i TEK10. Her er det lett å dra konklusjonen at utette innvendige overflater er årsaken, de er hele 3,25 ganger dårligere enn klimaskallet

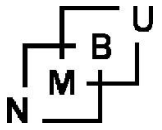
når man benytter n_{50} . Tar vi derimot høyde for overflateareal-volum-ratioen og sammenlikner q_{50} ser vi noe annet: For oppgang E2 er $q_{50} = 1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (se figur 4.3) og leilighetenes gjennomsnitt er $q_{50} = 1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ (se figur 4.3). Overflatene i leilighetene er også nå dårligere enn klimaskallet, men bare i underkant av 1,2 ganger dårligere. Grunnen til dette avviket er nettopp det faktum at n_{50} avhenger sterkt av overflateareal-volum-ratioen til enheten som testes, mens q_{50} forteller hvor tett overflatene til den aktuelle enheten er. Denne forskjellen kan dermed forklares med resultatene i figur 4.4 som viser overflateareal-volum-ratioer. Dersom man overdriver effekten av overflateareal-volum-ratioen kan man si at dersom man bygger et uendelig stort volum kan man bygge nesten uendelig utett og få et ekstremt godt lekkasjetall, n_{50} . Simons og Rolfsmeier (2013) sammenliknet 82 tetthetsmålinger av store bygninger og de kom fram til at på grunn av en lav overflateareal-volum-ratio i store bygninger er det mer fornuftig å stille krav til klimaskjermbasert normaliseringsmetode, q_{50} . DIN 4108-7 stiller i dag tilleggskrav til q_{50} ved store bygninger, se kapittel 2.4.

Med et krav til n_{50} premieres de som sørger for å ha en så lav overflateareal-volum-ratio som mulig. I et energispareperspektiv vil det altså ha den negative konsekvensen at de som bygger stort kan bygge relativt utette klimaskall i forhold de som bygger mindre volumer. Når man uansett har behov for et visst volum vil det være positivt fra et energispareperspektiv å bygge volumet så kompakt som mulig, da det fører til færre overflater med transmisjonsvarmetap til omgivelsene. Et krav til n_{50} vil da premiere de som bygger kompakt og unngår "utflytende" arkitektur. Bygninger med utflytende arkitektur vil få høye krav til klimaskallet på grunn av en høy overflateareal-volum-



Figur 5.2 Eksempel på to like store arealer, én med kompakt(A) og én med utflytende(B) utforming

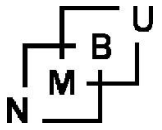
ratio. Som de benytter i Tyskland og som Relander og Holøs foreslo vil et krav til q_{50}



som et tilleggskrav til dagens n_{50} være en mulighet for å unngå at det blir enkelt å tilfredsstille krav til tetthet for store bygninger.

I veiledningen til §14-3(1) i TEK10 heter det at *”kravet til en bygnings lekkasjetall gjelder vanligvis for hele bygningen. Dersom det er vanskelig å måle hele bygningen, kan en representativ andel bruksenheter måles. Resultatene fra målingene skal tilfredsstille de samme kravene som stilles til hele bygningen.”* Med dette som forutsetning kan man ende opp med noe som er veldig uheldig: Dersom kravene til lekkasjetall strammes inn, som det er foreslått i høringsnotatet om nye energikrav, vil det bli svært vanskelig å dokumentere lufttetthet ved å gjøre delmålinger. De som ønsker å dokumentere tetthet ved å gjøre delmålinger med begrunnelse at man også ønsker å kontrollere bygningsinterne luftlekkasjer er nødt for å endre strategi. For å tilfredsstille et strengt krav til n_{50} blir de sannsynligvis tvunget til å måle større deler av bygningen og dermed neglisjere bygningsinterne luftlekkasjer.

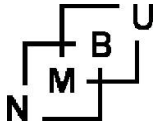
Når man skal dokumentere lufttetthet ved delmålinger burde målet alltid være å måle noe som er representativt for hele bygningen. Som flere av informantene forteller vil det være individuelt for hver bygning hva som er en representativ del. Det vil derfor være utfordrende å lage et sett med utvalgs-kriterier som grunnlag for å velge en representativ del som skal gjelde alle bygninger. Formuleringer som gir rom for tolkning også kan by på utfordringer. Dersom retningslinjene er for uklare vil det være mulig å manipulere resultatene ved å gjøre et utvalg som sikrer et godt resultat. Resultatene fra målinger i Finstad Park viser at denne typen manipulasjon er mulig. Resultatene viser at mulighetene for manipulasjon går ned jo større utvalget er (se figur 4.7). Det viser også at dersom man legger flere kriterier til grunn, som det er gjort i anbefalingen fra SINTEF Byggforsk, vil mulighetene for manipulasjon reduseres. Omega Energi AS etterlyste klarere retningslinjer for delmålinger nettopp for å slippe mistanker om at målingene er manipulert. I eventuelle klagesaker vil det også være lettere å avgjøre hvorvidt det er gjort forsøk på manipulasjon av måleresultatene dersom klarere retningslinjer for utvalget



ligger til grunn. Den franske rapporten "MININFIL tâche 3: rapport final" (Moujalled et al. 2011) kommer frem til at det er nokså god korrelasjon mellom lufttetthet og klimaskjermareal. Dette er et valgkriterie som burde vurderes i Norge.

Omega Energi AS etterlyser retningslinjer for hvor mange målinger som er allment akseptert som et tilstrekkelig antall for de enkelte byggeprosjektene.

Standarden som gjelder for trykktesting med differansetrykkmetoden, NS-EN 13829, beskriver støttetrykksmålinger som et hjelpemiddel for å neglisjere bygningsinterne luftlekkasjer ved delmålinger. I stedet for å bruke disse målingene til å neglisjere bygningsinterne luftlekkasjer kan de også benyttes til å kvantifisere dem. Man kan kvantifisere lekkasjer mellom ulike soner ved å fremkalle måletrykk i hver enkelt av sonene, eller finne summen av alle bygningsinterne luftlekkasjene ved å fremkalle måletrykk i alle tilgrensende soner. Flere av informantene hadde erfaring med bruk av støttetrykksmålinger for å dokumentere lufttetthet. De påpekte at man i blokker med gjennomgående leiligheter og svalgang ofte er avhengig av å dokumentere med delmålinger. Dersom enkeltleiligheter ikke tilfredsstiller kravet til n_{50} er man avhengig av å gjøre målinger med støttetrykk for å kunne neglisjere luftstrømmen fra tilstøtende leiligheter og dermed få bedre lekkasjetall, n_{50} . I Finstad Park gjorde vi målinger med støttetrykk for å se hvordan de kan benyttes til å kvantifisere bygningsinterne luftlekkasjer. Resultatene viser at vegg x.2 i hver etasje (x fra 1 til 4, se figur 4.1 for prinsippsnitt) har større lekkasjer enn vegg x.1, se figur 4.9 i kapittel 4. Dette funnet kan brukes til å forklare hvorfor de leilighetene som ligger inntil veggene x.2 er gjennomgående dårligere enn de som ikke ligger inntil disse veggene. Resultatene fra støttetrykksmålingene kan brukes som et utgangspunkt der man skal begynne lekkasjesøk dersom leilighetene ikke har tilfredsstillende lufttetthet. Arbeidet med støttetrykksmålingene førte til noen utfordringer knyttet til gjennomføringen av denne typen målinger, da det ble gjort målinger på en aktiv byggeplass med håndverkere i arbeid på alle kanter. En erfaring fra dette er hvor vanskelig det er å informere alle som arbeidet i bygningen



om viktigheten av små detaljer som er avgjørende for gode måleresultater. Eksempler på dette er hvor viktig det er at dører og vinduer holdes åpen og at alle trykkslanger får ligge urørt. Det ble kun benyttet to vifter og utført målinger i én etasje av gangen. Å utføre målinger med mange vifter i flere etasjer samtidig vil være meget utfordrende og medføre stor usikkerhet, noe flere av informantene også hadde erfart - målinger utenfor ordinær arbeidstid var veldig ofte den eneste løsningen.

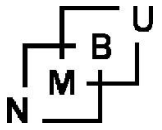
5.2 Diskusjon

Fløy 4

For ikke å risikere å påvirke pågående forskning i energilaboratoriet ved å senke temperaturen for mye måtte vi begrense oss til å gjøre én måling. Med tilgang til et ekstra sett måleutstyr som plasseres i inngangsdøren, eksempelvis BlowerDoor, ville ikke utfordringen knyttet til temperatur i laboratoriet vært like stor, da ville det vært lettere å gjøre flere målinger. Graden av usikkerhet ville også gått ned med bruk av utstyr laget for trykktesting i begge rom.

Finstad Park

Med tanke på at dette er en aktiv byggeplass anser vi oss som heldige når vi har fått lov til å "okkupere" store deler av bygningen over flere dager. Å gjøre tetthetsmåling på en aktiv byggeplass har gitt nyttig erfaring om hvor krevende dette kan være. I ettertid ser vi at dersom vi hadde gått inn med en annen strategi og satset på å gjøre målinger etter ordinær arbeidstid ville graden av usikkerhet gått ned. Med den tiden vi hadde til rådighet prioriterte vi å gjøre støttetrykksmålinger som beskrevet, for dermed å få utført støttetrykksmålinger over alle leilighetskillende vegger i oppgangen. Dersom vi hadde satset på å gjøre våre målinger utenfor arbeidstid ville det sannsynligvis også blitt tid til flere målinger. Forutsatt at vi hadde fått tilgang til mer måleutstyr ville vi med tilgang til bygningen etter arbeidstid hatt mulighet til å gjøre målinger med støttetrykk i flere tilgrensende områder samtidig.

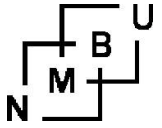


Intervjuene

Arbeid med intervjuene har hele veien vært en læringsprosess. Fra første til siste intervju har vi lært særlig mye om hvordan man som moderator bør lede et intervju. De første intervjuene bar preg av at informanten kom ut på mange sidespor, hvor noen av disse omhandlet temaer vi ønsket å ta opp senere i intervjuet. Innen vi kom til det aktuelle temaet var noen av spørsmålene delvis besvart, men ikke utfyllende nok og dette førte til dårlig flyt i intervjuet. Med bedre forberedelser kunne vi ha forutsett denne type situasjoner og dermed ledet de første intervjuene på en bedre måte. Mange sidespor på grunn av dårlig ledelse av moderator i enkelte av intervjuene er hovedårsaken til at varigheten på intervjuene varierte.

Utvalget av informanter har gitt oss en forståelse av hvordan holdningene til lufttetthet er hos flere av de ulike aktørene i byggebransjen. Informantene som ble valgt viste sterkt engasjement og ga tydelig uttrykk gjennom svarene at de ønsket å bidra med sin kunnskap og sine erfaringer. De fleste av informantene arbeider som rådgivere og konsulenter. Av hensyn til arbeidsmengden knyttet til utførelse og analyse av intervjuene ble det valgt å ikke intervju flere personer. Dersom flere informanter skulle blitt intervjuet, ville det særlig vært aktuelt å gjøre intervju med flere fra entreprenørsiden av bransjen.

Dersom en mer ustrukturert intervjuform hadde blitt valgt ville det vært lettere å gå mer i dybden innenfor hver enkelt informants fagfelt. Valget av en strukturert intervjuform gjorde også at noen ikke hadde tilstrekkelig kunnskap og erfaring til å besvare like utfyllende på alle spørsmålene. Ustrukturerte intervjuer krever at moderatoren leder intervjuet på en god måte for å holde seg til riktig tema. Vår manglende erfaring som moderatorer sammen med verdien av å enkelt kunne sammenlikne svarene de ulike informantene ga, er begrunnelser for at en strukturert intervjuform ble valgt.



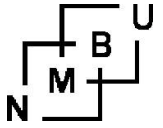
6 Konklusjon

Det stilles krav til lufttetthet i bygninger for å sikre en energieffektiv bygningsmasse. Det faktum at bygningsinterne luftlekkasjer påvirker en bygnings energieffektivitet er i seg selv grunn til å stille et krav hvor bygningsinterne luftlekkasjer inngår. Når bygningsinterne luftlekkasjer også påvirker bokvaliteter som lyd- og luktsmitte mellom enheter, samt brannsikkerhet i form av røyk- og gasspredning, er dagens utbredte målemetode hvor man bevisst neglisjerer bygningsinterne luftlekkasjer feil vei å gå. Det bør stilles krav til bygningsinterne luftlekkasjer.

For å kunne stille krav til bygningsinterne luftlekkasjer må lufttetthet dokumenteres ved hjelp av delmålinger. Det er viktig at krav som stilles legger opp til målemetoder som er praktisk gjennomførbare. Av den grunn bør man ikke gjøre seg avhengig av støttetrykkmålinger, da dette er svært ressurskrevende å gjennomføre. Dersom man skal dokumentere lufttetthet med delmålinger uten støttetrykk kan man ikke differensiere mellom klimaskall og innervegger, det bør derfor stilles uniforme krav til interne vegger og klimaskallet.

Det vil være naturlig å stille krav til lufttetthet for hver enkelt branncelle i en bygning, spesielt på grunn av at oppdelingen allerede er definert og godt innarbeidet. Man vil med krav til hver branncelle også unngå å stille krav til alle innervegger i en enebolig eller vegger mellom grupper av rom som brukes på samme måte og naturlig hører sammen, eksempelvis kontorer i et kontorfellesskap.

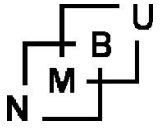
Når man skal dokumentere lufttetthet ved delmålinger vil det alltid knyttes usikkerhet til hva som er en representativ del av bygningen. Teoretisk sett burde man måle hver eneste enhet i bygningen, men dette er på lik linje med støttetrykkmålinger ressurskrevende. Et sett med utvalgsriterier som åpner for liten grad av tolkning vil i mange tilfeller forhindre den måleansvarlige fra å bruke



sin faglige kompetanse til å vurdere hva som er en representativ del av bygningen, men det vil likevel være positivt på grunn av at de som utfører lufttetthetsmålingen da vet hva som er akseptert som tilstrekkelig antall målinger og at muligheten for manipulasjon av måleresultatene blir mindre.

Fra et energisparingsperspektiv vil det være fornuftig å kombinere lekkasjetall n_{50} og luftlekkasje q_{50} . Ved å beholde dagens krav til n_{50} , men også stille et tilleggskrav til q_{50} vil man fortsatt gjøre det lønnsomt å bygge kompakte småhus for å tilfredsstillende n_{50} , men man vil unngå å belønne store bygninger ved at de også må bygge lufttette klimaskall. Når man skal dokumentere lufttetthet ved delmålinger i store bygninger vil det være naturlig at kravet til hver enkelt delmåling skal tilfredsstillende et krav til q_{50} . I boligblokker vil forskjellene i utførelse av lufttetthetsmåling mellom svalgangsleiligheter og leiligheter i oppgang fjernes dersom et krav til q_{50} blir innført. I blokker med oppgang vil det bli slutt på lufttetthetsmåling i en hel oppgang for å enklere sikre et godt n_{50} -resultat, samtidig som man i boligblokker med svalgang slipper å være avhengig av støtetrykksmålinger for å få et tilfredsstillende n_{50} -resultat.

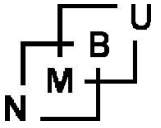
Ved å stille et krav til luftlekkasje q_{50} ved delmålinger vil den utførende være tryggere på at bygningen man overleverer er en brannsikker bygning med høy kvalitet til lyd- og lukttetthet mellom enheter. I lys av stadige innstramminger energiforbruk er det viktig å også tenke på de andre utfordringene knyttet til lufttetthet i bygninger og det er nå på tide at myndighetene også retter fokuset mot de bygningsinterne luftlekkasjene.



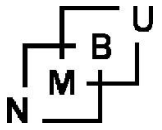
7 Videre arbeid

I vår kontakt med bransjen gjennom våre dybdeintervjuer har vi ikke bare lært om hvordan holdningene til bygningsinterne luftlekkasjer er. Vi har også lært mye om lufttetthet generelt og fått mange innspill til videre arbeid innenfor fagfeltet. De følgende punktene presenterer mulige studier for videre arbeid med bakgrunn i denne masteroppgaven:

- Gjennomføre en studie som undersøker korrelasjon mellom lufttetthet og spredning av røyk og branngasser, lyd-, lukt- og smitteoverføring mellom enheter internt i bygningen.
- Lage en mer presis beregningsmodell for infiltrasjonsluftmengde enn den som finnes i NS 3031. Effekten av termisk oppdrift og lokale vindforhold er reelle drivkrefter for infiltrasjon som bør inngå i beregningsmodellen. Effekten av bygningsinterne luftlekkasjer bør også inngå i beregningene. En enda mer presis modell der man også tar med effekten av luftet kledning vil være interessant å studere.
- Gjøre målinger av alle enheter, for eksempel leiligheter i et boligbygg, i flere bygninger. Resultatene kan brukes til å vurdere ulike utvalgs-kriterier for å velge en representativ del av bygningen.
- En studie av lufttettheten til ulike detaljer. Ved å følge opp og måle lufttetthet i en leilighet gjennom flere faser av byggeprosjektet kan man se hvordan de ulike byggetrinnene påvirker tettheten. Man vil da kunne se effekten av å tette ulike gjennomføringer og sparkle og male overflater. Spesielt effekten av å sparkle og male drenshull i hulldekkeelementer vil være interessant å studere.
- Gjøre en studie av bygningsinterne luftlekkasjer. Ved å lokalisere og kvantifisere bygningsinterne luftlekkasjer i flere enheter i ulike bygninger kan man gjøre en vurdering av om det finnes kritiske detaljer hvor det ofte lekker.

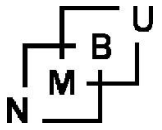


- Gjøre lufttetthetsmålinger på flere prosjekter med et utvalg byggeteknikker for å se om det finnes noen sammenheng mellom byggeteknikk og lufttetthet.
- Studere lufttetthet over tid. Frem til nå er lufttetthet dokumentert i et betydelig antall bygninger. En studie hvor man gjør nye målinger i flere av disse bygningene vil være et nyttig for å kunne si noe om hvordan lufttetthet utvikler seg over tid.

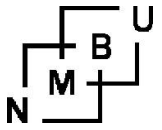


8 Referanseliste

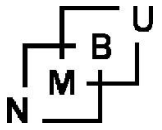
- Askheim, O. G. A. & Grenness, T. (2008). *Kvalitative metoder for markedsføring og organisasjonsfag*. Oslo: Universitetsforl. 189 s. : ill. s.
- Barlindhaug, R., Børrud, E., Langset, B. & Nordahl, B. (2012). Nye boliger i storbyene: NIBR.
- Bjaanes, E. & Aarseth, L.-I. (2012). 701.706 Tiltak mot radon i eksisterende bygninger: SINTEF Byggforsk.
- Blom, P. (1999). 421.501 Temperaturforhold og lufthastighet - Betingelser for termisk komfort. *Byggforskserien*.
- Blom, P. & Uvsløkk, S. (2012). Bygg tett! Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Boverket. (2015). *Boverkets byggregler, Avsnitt 9 Energihushållning*.
- Bryn, I. (2000). 533.163 - Solskjerming. *Byggforskserien*.
- Bryn, I., Petersen, A. & Karlsen, L. R. (2012). *Tiltak mot høye temperaturer i passivhus: del II - litteraturstudie, forslag til regelverk og standarder samt videre arbeider*: Erichsen & Horgen. 32 s. : ill. s.
- Bygningsenergidirektivet. (2010). *Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings*: The European parliament and the Council of the European Union.
- Dalen, S. F. (2014). 2. tertialrapport 2014: Brann- og redningsetaten.
- DiBK. (2010). *Byggesaksforskriften med veiledning (SAK10)*.
- DiBK. (2015). *Energi*. Tilgjengelig fra: <http://dibk.no/no/Tema/Energi/#> (lest 27.04.15).
- Duer, K., Dalsgaard, T., Ellehauge, K. & Ladekarl, P. (2001). Status for aktiv varmelagring i mindre bygninger.
- Edwardsen, K. I. & Ramstad, T. Ø. (2014). *Trehus*, b. 5. Oslo: SINTEF byggforsk. 464 s. : ill. s.
- Energistyrelsen. (2014). *Bygningsreglementet*.



- Erhorn-Kluttig, H., Erhorn, H., Lahmidi, H. & Anderson, R. (2009). Airtightness requirements for high performance building envelopes.
- Geving, S., Thue, J. V. & Geving, S. (2002). *Fukt i bygninger*: Norges byggforskningsinstitutt.
- Geving, S. (2005). 421.132 Fukt i bygninger - Teorigrunnlag. *Byggforskserien*.
- Geving, S., Holme, J. & Uvsløkk, S. (2010). *Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet mot innelufta*, b. 65-2010. Oslo: SINTEF byggforsk. 80 s. : ill. s.
- Grimnes, K. H. (2010). *Byggtermografering: en praktisk håndbok*. [Fagerstrand]: Karl H. Grimnes. 178 s. : ill. ; 27 cm s.
- Hole, I. (2013). 473.010 Generelt om passivhus - Valg og konsekvenser. *Byggforskserien*.
- Hole, I. & Aurlien, T. (2013). 520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall: SINTEF Byggforsk.
- Holøs, S. & Aurlien, T. (2014). 474.624 Luftlekkasjemåling av bygninger - Hensikt og vurdering. *Byggforskserien*.
- Husbanken. (2013). *Slik bygges lavenergihus og passivhus*. Tilgjengelig fra: http://www.husbanken.no/miljo-energi/verdt_aa_vite/slik-bygges-lavenergihus-og-passivhus/ (lest 18.01.2015).
- Johansen, T. S. & Kvande, T. (2001). 573.102 - Tettematerialer for fuger. Gruppering og terminologi. *Byggforskserien*.
- Kvande, T., Lisø, K. R. & Hygen, H. O. (2012). 451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. *Byggforskserien*.
- Lavenergiprogrammet. (2012). *Bygningsenergidirektivet*. Tilgjengelig fra: <http://www.lavenergiprogrammet.no/relevant-eu-lovgivning/bygningsenergidirektivet-article1795-226.html> (lest 21.01.15).
- Lavenergiprogrammet. (2013). *Prosjektering av passivhus*. Oslo: Lavenergiprogrammet. 222 s. : ill. ; 30 cm s.



- Miljöministeriet. (2012). *D3 Finlands byggbestämmelsesamling, Byggnaders energiprestanda.*
- Moujalled, B., Carrie, R., Richieri, F. & Litvak, A. (2011). MININFIL tâche 3 : rapport final. CETE du Sud-Ouest: ADEME / DHUP.
- Nilsen, S. K. (2007). 501.107 Ren, tørr og ryddig byggeprosess. *Byggforskserien.*
- NOVA. (2015). *Metode- og forskningsordliste: Barne-, ungdoms- og familiedirektoratet.* Tilgjengelig fra:
<http://www.buudir.no/Bibliotek/Ordliste/> (lest 23.04.15).
- Quirouette, R. (2004). Air pressure and the building envelope.
- Regjeringen Solberg. (2015). *Forslag til endringer i tekniske krav til byggverk.*
- Regjeringen Stoltenberg II. (2012a). *Meld.St.21 Norsk klimapolitikk.*
- Regjeringen Stoltenberg II. (2012b). *Meld.St.28 Gode bygg for eit betre samfunn.*
- Reinås, J. (2009). *Energieffektivisering.*
- Relander, T.-O. (2014). 474.621 Framgangsmåte ved luftlekkasjemåling av bygninger. *Byggforskserien.*
- Rusten, K. P. & Wilhelmsen, S. A. (2011). *Utfordringer ved høye luftlekkasjer i bygg: UMB, IMT.*
- Simons, P. & Rolfsmeier, S. (2013). Postulate for airtightness limits in large buildings. Zum Energie- und Umweltzentrum 1, D-31832 Springe-Eldagsen, Germany.
- Standard Norge. (2010). *Bygningers termiske egenskaper: bestemmelse av bygningers luftlekkasje : differansetrykkmetode (ISO 9972:1996, modifisert).* Lysaker: Standard Norge. 21, 2s. : fig. s.
- The Research Centre on Zero Emission Buildings. (2015). *About the ZEB Centre.* Tilgjengelig fra: <http://www.zeb.no/index.php/about-zeb/about-the-zeb-centre> (lest 26.02.2015).
- Tormod Aurlien, T. D. P., Jørn Brunsell, Peter Schild, Lars Myhre. (2003). Infiltrasjon og lufttetthet til bygninger - Statusrapport.
- Uvsløkk, S. (2003). 573.121 Materialer til luft- og damptetting. *Byggforskserien.*



Østreng, K. W., Skau, H., Høsøien, C. O., Algaard, E. & Alexander, S. (2008). *Isolasjon*,
b. B. E. Oslo: Betongelementforeningen. 78 s. s.

Aas, K. (2010a). *Filter*. I: Aas, K. (red.). Tilgjengelig fra:

<http://www.inneklima.com/index.asp?key=filter> (lest 03.02.15).

Aas, K. (2010b). *Inneluft*. Tilgjengelig fra:

<http://www.inneklima.com/index.asp?document=13&context=> (lest
03.02.15).

9 Vedlegg

Vedlegg 1: Oppgang E

Tetthetskontroll - Blokk E, Finstad Park

Fakta:

Dato:	11.03.2015
Adresse:	Midtskogen 3 – Blokk E, Ski
Utført av:	Henrik Iden & Ola Sandeggen
Medvirkende:	Håkon Brager-Larsen

Oppdraget:

Tetthetsmålingen inngår som en del av masteroppgave som skrives ved NMBU på Ås. Formålet med målingen er å dokumentere lufttettheten til oppgang E2. Målingen skal vurderes opp mot kravet til tetthet for lavenergihus.

Sammendrag:

Lekkasjetallet til oppgang E2 ble målt til $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Dette er vesentlig bedre enn kravet til tetthet for lavenergihus.

Metode:

Målingene ble utført i henhold til NS-EN 13829 "Bestemmelse av bygningers luftlekkasje – Differansetrykkmetode". Målemetode B. Målingen ble utført med Mineapolise BlowerDoor Model 4, montert i terrassedøren til leilighet E2202.

Forberedende arbeider:

Vindhastighet og utendørstemperatur ble målt på stedet. Håkon Brager-Larsen tettet det sentrale ventilasjonsanlegget samt vetil i heissjakt. Brager-Larsen ga også instruksjoner til utførende om hva annet som måtte tettes. Utsiktede åpninger i kjelleren ble tettet. Alle ytterdører og vinduer ble verifisert lukket, alle innerdører ble verifisert åpne.

Måleforhold:

Innetemperatur: 21°C Utetemperatur: 6°C
Vindhastighet: 3,7 m/s – Lett bris

Krav til tetthet:

Krav til tetthet for lavenergihus er $n_{50} = 1,0 \text{ h}^{-1}$.

Resultater:

Undertrykk: $n_{50} = 0,50 \text{ h}^{-1}$ Overtrykk: $n_{50} = 0,63 \text{ h}^{-1}$

Gjennomsnitt og endelig verdi: $n_{50} = 0,56 \text{ h}^{-1}$ avrundet: **$n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$**

Vedlegg:

Målerapport fra Tectite(3 sider).

BUILDING LEAKAGE TEST

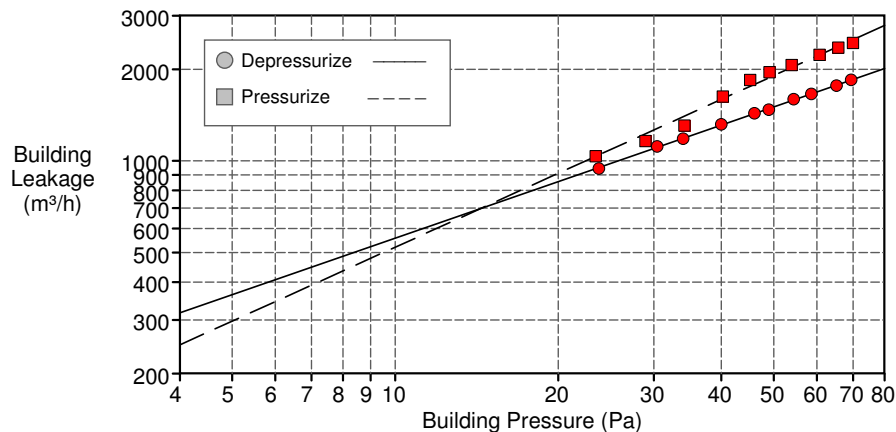
Date of Test: 11.03.2015
 Test File: Finstad_E2_sniitt_endelig
 Customer: Skanska AS
 Phone:
 Fax:

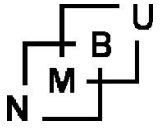
Technician: Sandeggen og Iden
 Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2
 Ski, Akershus 1400

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	1491 (+/- 0.2 %)	1906 (+/- 1.1 %)	1699
n50: Air Changes per Hour (1/h)	0.50	0.63	0.56
w50:			
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.08	1.38	1.23
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	617.0 (+/- 1.0 %)	581.5 (+/- 6.6 %)	599.3
cm ² /m ² Surface Area	0.45	0.42	0.43
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	338.3 (+/- 1.5 %)	268.1 (+/- 10.2 %)	303.2
cm ² /m ² Surface Area	0.24	0.19	0.22
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	131.2 (+/- 2.3 %)	81.5 (+/- 15.7 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	133.7 (+/- 2.3 %)	81.5 (+/- 15.7 %)	
Exponent (n)	0.616 (+/- 0.006)	0.806 (+/- 0.040)	
Correlation Coefficient	0.99964	0.99048	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	3011 m ³
Outside Temperature:	6 °C	Surface Area:	1386 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2_snitt_endelig

Comments

- Alle innerdører åpne
- Alle ytterdører lukket
- Alle vinduer lukket
- Garasjedør i kjeller teipet tett
- Gjennomføringer i kjeller tett
- Ventilasjonsaggregatet tett

BlowerDoor er satt inn i balkongdør i leilighet E2202.

Ved kontroll etter trykktesten ble det satt på overtrykk i oppgangen for å finne mulige lekkasjer. Trappegangens utgangsdør er ikke tett, da den ved overtrykk ble presset ut og ga store lekkasjer. Under trappa i kjeller er det en åpning i vegg for drenering av parkeringskjelleren hvor tilhørende avløp er inne i den trykksatte oppgangen, som også utgjør en del av lekkasjetallet.

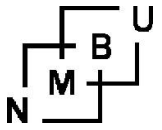
Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-1.6	n/a				
-71.4	50.5	1906	1846	1.1	Ring A
-67.2	46.2	1823	1766	0.5	Ring A
-60.6	40.7	1712	1659	0.9	Ring A
-56.4	37.6	1647	1595	1.6	Ring A
-50.9	32.0	1521	1473	0.1	Ring A
-48.0	30.3	1480	1434	1.2	Ring A
-41.9	287.5	1360	1317	1.4	Ring B
-36.0	231.7	1222	1183	0.7	Ring B
-32.4	205.6	1151	1115	1.6	Ring B
-25.7	147.1	975	944	0.2	Ring B
-2.3	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.6 p01+ = 0.0 p02- = -2.3 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m³/h)	Temperature Adjusted Flow (m³/h)	% Error	Fan Configuration
-1.6	n/a				
68.7	78.7	2373	2437	-2.9	Ring A
64.5	73.2	2289	2351	-1.5	Ring A
59.5	65.6	2170	2228	-0.5	Ring A
52.6	56.1	2007	2062	1.3	Ring A
47.8	50.3	1901	1953	3.5	Ring A
44.0	44.7	1794	1843	4.2	Ring A
39.0	34.7	1583	1626	0.9	Ring A

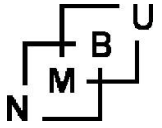


BUILDING LEAKAGE TEST Page 3

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2_snitt_endelig

Data Points: Pressurization (Continued):

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
32.9	251.0	1271	1306	-7.7	Ring B
27.7	197.6	1129	1159	-6.4	Ring B
22.2	157.1	1007	1034	-1.1	Ring B
-1.0	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.6 p01+ = 0.0 p02- = -1.0 p02+ = 0.0					



BUILDING LEAKAGE TEST

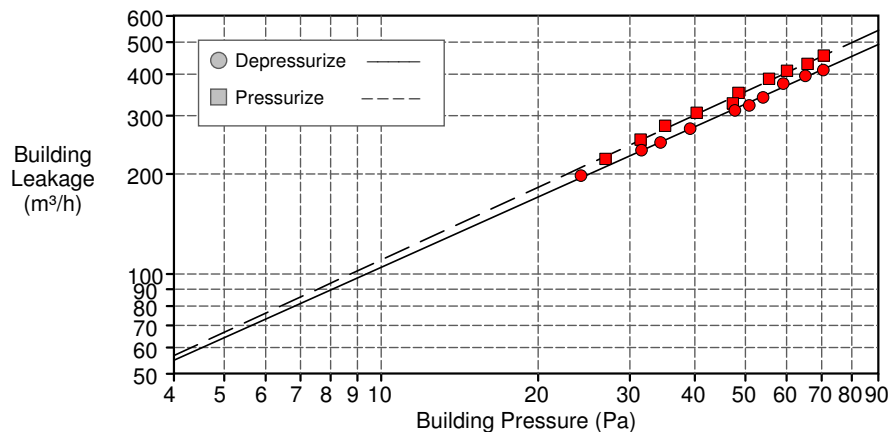
Vedlegg 2: E2101

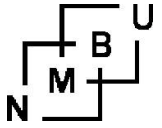
Date of Test: 26.02.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2101_snitt_uten_støtte(2)	
Customer: Skanska	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2101 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	325 (+/- 0.5 %)	355 (+/- 0.6 %)	340
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.48	1.61	1.55
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	3.77	4.11	3.94
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.15	1.25	1.20
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	116.7 (+/- 2.8 %)	123.2 (+/- 3.5 %)	119.9
cm ² /m ² Surface Area	0.41	0.44	0.42
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	59.1 (+/- 4.3 %)	61.1 (+/- 5.4 %)	60.1
cm ² /m ² Surface Area	0.21	0.22	0.21
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	20.3 (+/- 6.6 %)	20.6 (+/- 8.2 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	20.7 (+/- 6.6 %)	20.8 (+/- 8.2 %)	
Exponent (n)	0.704 (+/- 0.017)	0.725 (+/- 0.021)	
Correlation Coefficient	0.99776	0.99673	

Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:
Type of Test Method:	B	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door	

Inside Temperature:	14 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 26.02.2015 Test File: Finstad_E2101_snitt_uten_støtte(2)

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.0	n/a				
-70.8	27.6	425	411	-0.6	Ring B
-65.4	25.5	408	395	1.1	Ring B
-59.4	22.9	387	375	2.6	Ring B
-54.3	278.0	352	340	-0.8	Ring C
-51.1	249.9	333	322	-1.9	Ring C
-48.0	233.4	321	311	-1.0	Ring C
-39.4	183.0	283	274	0.3	Ring C
-34.6	151.8	257	249	-0.1	Ring C
-31.8	136.5	244	236	0.4	Ring C
-24.4	97.1	204	198	1.6	Ring C
-0.5	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.2 p02- = -0.8 p02+ = 0.4

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a				
70.0	30.8	448	455	0.2	Ring B
65.1	27.4	423	429	-0.4	Ring B
59.5	25.0	404	410	1.5	Ring B
54.8	22.3	382	387	1.7	Ring B
47.8	269.2	346	351	1.7	Ring C
46.6	234.0	322	326	-3.7	Ring C
39.7	206.3	301	306	1.4	Ring C
34.4	173.4	276	280	2.7	Ring C
30.8	144.1	250	254	1.1	Ring C
26.3	111.1	219	222	-0.9	Ring C
-1.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 0.2 p02- = -1.1 p02+ = 0.4

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 3: E2101 med støttetrykk

Date of Test: 25.02.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2101_med_støtte	
Customer: Skanska	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2101 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

Test Results at 50 Pascals:

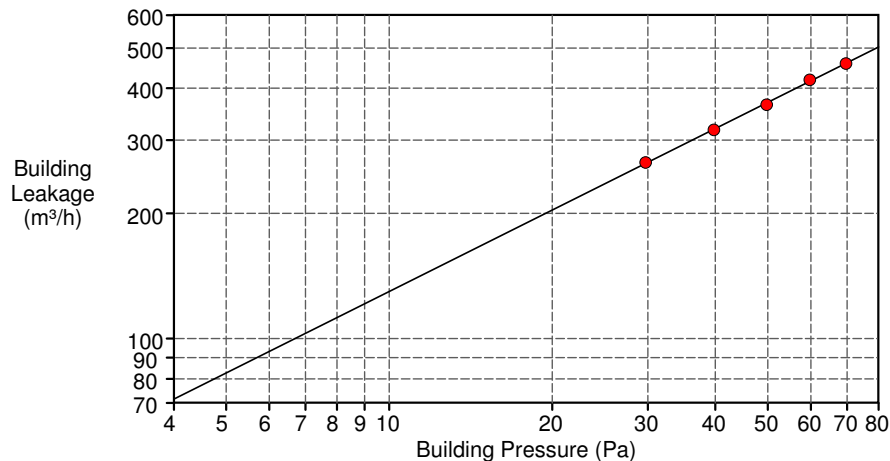
V50: Airflow (m ³ /h)	370 (+/- 0.4 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.68
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	4.29
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.31

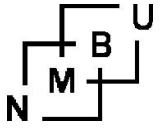
Leakage Areas: 144.9 cm² (+/- 2.2 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.51 cm²/m² Surface Area
77.0 cm² (+/- 3.4 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.27 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 28.4 (+/- 5.2 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 29.0 (+/- 5.2 %)
Exponent (n) = 0.651 (+/- 0.013)
Correlation Coefficient = 0.99939

Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	14 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2101_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a				
-70.0	34.2	472	459	-0.2	Ring B
-60.0	28.4	431	419	0.8	Ring B
-50.0	316.8	376	365	-0.9	Ring C
-40.0	241.6	327	318	-0.3	Ring C
-30.0	170.3	273	265	0.6	Ring C
-0.3	n/a				
Test 0 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 0.0 p02- = -0.7 p02+ = 0.0					

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 4: E2102

Date of Test: 25.02.2015
 Test File: Finstad_E2102_snitt_uten_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

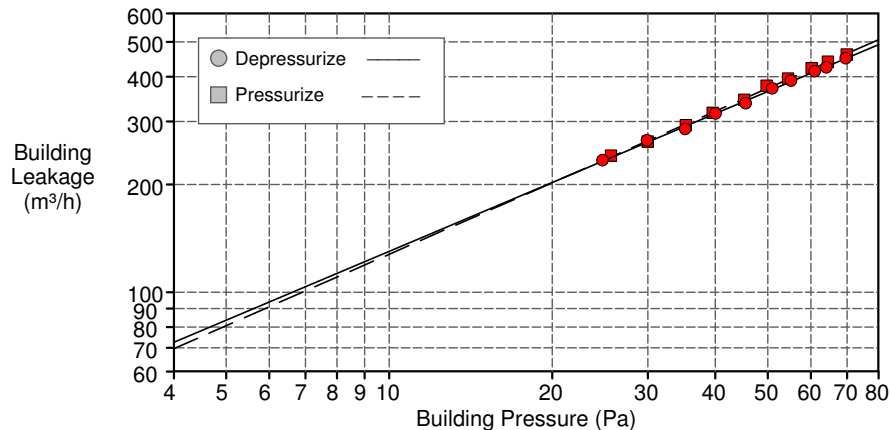
Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2102
 Ski, Akershus 1400

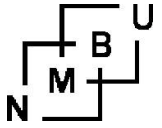
Phone:
 Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	363 (+/- 0.3 %)	371 (+/- 0.3 %)	367
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.90	2.96	2.93
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	7.39	7.55	7.47
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	2.00	2.04	2.02
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	145.0 (+/- 1.7 %)	142.5 (+/- 1.7 %)	143.8
cm ² /m ² Surface Area	0.80	0.78	0.79
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	77.9 (+/- 2.6 %)	74.9 (+/- 2.6 %)	76.4
cm ² /m ² Surface Area	0.43	0.41	0.42
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	29.2 (+/- 3.9 %)	27.5 (+/- 3.9 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	29.8 (+/- 3.9 %)	27.7 (+/- 3.9 %)	
Exponent (n)	0.639 (+/- 0.010)	0.663 (+/- 0.010)	
Correlation Coefficient	0.99902	0.99910	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	13 °C	Volume:	126 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	182 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	49 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2102_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a				
-69.7	32.7	462	450	0.3	Ring B
-64.2	29.1	436	425	-0.3	Ring B
-61.1	27.7	425	414	0.4	Ring B
-55.3	24.4	400	390	0.7	Ring B
-51.1	22.1	380	371	0.9	Ring B
-45.6	269.4	346	337	-1.4	Ring C
-40.1	236.8	324	316	0.1	Ring C
-35.3	195.7	293	286	-1.5	Ring C
-30.0	169.5	272	266	1.5	Ring C
-24.9	132.4	240	234	0.9	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 0.3 p02- = -0.3 p02+ = 0.1

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a				
69.7	31.7	455	461	-0.8	Ring B
64.4	28.8	434	440	-0.3	Ring B
60.1	26.5	416	422	0.2	Ring B
54.3	23.3	390	395	0.3	Ring B
49.6	21.1	372	377	1.6	Ring B
45.0	259.9	340	344	-1.2	Ring C
39.4	221.3	312	317	-0.7	Ring C
35.1	189.4	288	292	-1.2	Ring C
29.9	154.7	260	263	-0.9	Ring C
25.5	129.9	237	241	0.4	Ring C
-0.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.6 p02+ = 0.5

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 5: E2103

Date of Test: 25.02.2015
 Test File: Finstad_E2103_snitt_uten_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

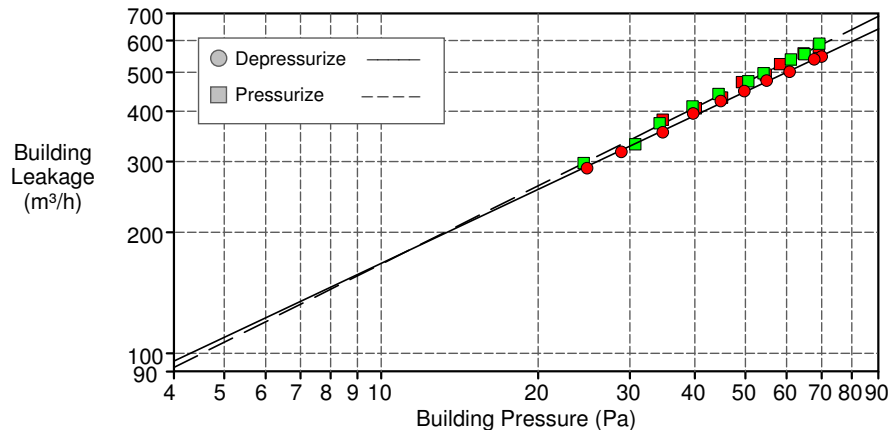
Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2103
 Ski, Akershus 1400

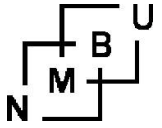
Phone:
 Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	447 (+/- 0.3 %)	471 (+/- 0.3 %)	459
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.86	3.02	2.94
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	7.29	7.69	7.49
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.94	2.04	1.99
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	186.6 (+/- 1.6 %)	186.0 (+/- 1.9 %)	186.3
cm ² /m ² Surface Area	0.81	0.81	0.81
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	102.8 (+/- 2.5 %)	99.2 (+/- 3.0 %)	101.0
cm ² /m ² Surface Area	0.45	0.43	0.44
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	40.0 (+/- 3.8 %)	37.4 (+/- 4.6 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	41.0 (+/- 3.8 %)	37.6 (+/- 4.6 %)	
Exponent (n)	0.611 (+/- 0.010)	0.646 (+/- 0.012)	
Correlation Coefficient	0.99899	0.99745	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	14 °C	Volume:	156 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	231 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	61 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2103_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.7	n/a				
-69.6	48.5	562	547	-0.4	Ring B
-67.3	46.9	553	539	0.1	Ring B
-60.3	40.7	515	502	-0.4	Ring B
-54.5	36.8	490	477	0.7	Ring B
-49.3	32.6	461	449	0.8	Ring B
-44.4	29.0	435	424	1.4	Ring B
-39.3	25.2	405	395	1.7	Ring B
-34.3	297.8	364	355	-0.8	Ring C
-28.4	239.5	325	317	-0.8	Ring C
-24.4	199.7	296	289	-0.9	Ring C
0.1	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 0.7 p02- = 0.0 p02+ = 0.1

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a				
69.1	49.5	567	577	-0.7	Ring B
64.6	46.0	547	557	0.0	Ring B
58.2	40.6	514	523	0.5	Ring B
54.7	36.1	485	493	-1.3	Ring B
49.2	33.0	464	472	1.1	Ring B
45.1	27.6	425	432	-2.1	Ring B
40.1	24.4	400	407	-0.7	Ring B
34.6	21.4	374	381	2.3	Ring B
0.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.1 p02- = -0.2 p02+ = 0.3

0.2	n/a				
69.7	51.4	578	589	0.9	Ring B
65.3	45.6	545	554	-0.9	Ring B
61.6	42.9	529	538	-0.0	Ring B
54.6	36.6	488	497	-0.2	Ring B
51.0	33.4	467	475	-0.3	Ring B
44.8	28.8	434	441	0.8	Ring B
40.0	25.0	404	411	1.1	Ring B
34.6	20.5	367	373	0.7	Ring B
31.1	239.2	325	331	-4.2	Ring C
24.9	194.0	292	297	-0.5	Ring C
0.6	n/a				

Test 2 Baseline (Pa): p01- = -2.3 p01+ = 3.6 p02- = -0.2 p02+ = 0.6

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 6: E2103 med støttetrykk

Date of Test: 25.02.2015
Test File: Finstad_E2103_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2103
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

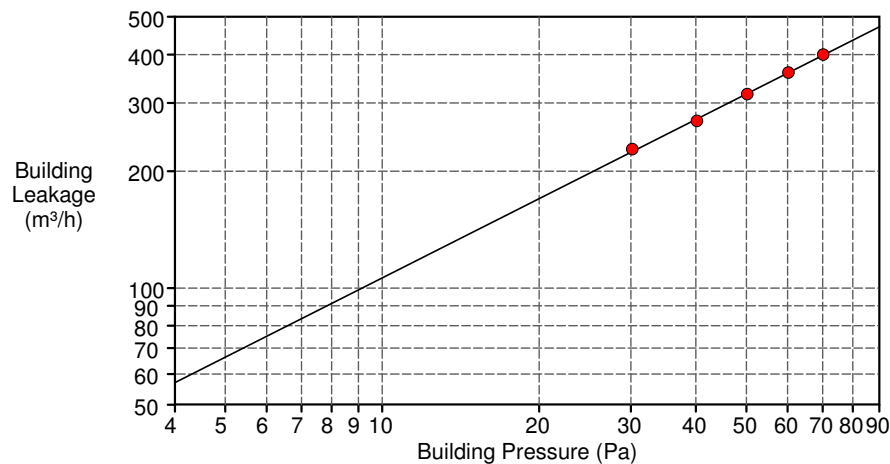
V50: Airflow (m³/h) 317 (+/- 0.4 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 2.03
w50: m³/(h*m² Floor Area) 5.16
q50: m³/(h*m² Surface Area) 1.37

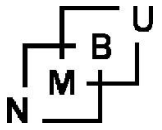
Leakage Areas: 118.6 cm² (+/- 2.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.51 cm²/m² Surface Area
61.5 cm² (+/- 3.8 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.27 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 21.9 (+/- 5.8 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 22.3 (+/- 5.8 %)
Exponent (n) = 0.678 (+/- 0.015)
Correlation Coefficient = 0.99931

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	14 °C	Volume:	156 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	231 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	61 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2103_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.3	n/a				
-70.0	26.0	412	400	0.3	Ring B
-60.0	307.0	370	359	-0.0	Ring C
-50.0	240.2	326	316	-0.3	Ring C
-40.0	176.4	278	270	-1.2	Ring C
-30.0	127.3	235	228	1.4	Ring C
0.1	n/a				
Test 0 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 0.3 p02- = 0.0 p02+ = 0.1					

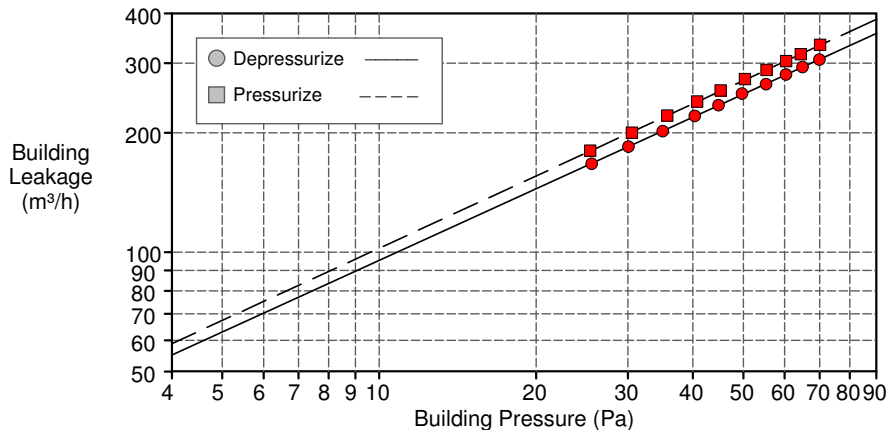
BUILDING LEAKAGE TEST

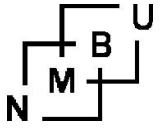
Vedlegg 7: E2201

Date of Test: 25.02.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2201_snitt_uten_støtte	
Customer: Skanska	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2201 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	251 (+/- 0.1 %)	271 (+/- 0.1 %)	261
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.14	1.23	1.19
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	2.91	3.15	3.03
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	0.89	0.96	0.92
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	106.5 (+/- 0.5 %)	114.3 (+/- 0.5 %)	110.4
cm ² /m ² Surface Area	0.38	0.40	0.39
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	59.3 (+/- 0.7 %)	63.3 (+/- 0.7 %)	61.3
cm ² /m ² Surface Area	0.21	0.22	0.22
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	23.4 (+/- 1.2 %)	25.2 (+/- 1.2 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	24.0 (+/- 1.2 %)	25.4 (+/- 1.2 %)	
Exponent (n)	0.600 (+/- 0.003)	0.605 (+/- 0.003)	
Correlation Coefficient	0.99990	0.99991	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature: 13 °C	Volume: 220 m ³
Outside Temperature: 3 °C	Surface Area: 283 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 86 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2201_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a				
-69.9	222.6	313	306	-0.2	Ring C
-64.9	205.1	301	293	0.1	Ring C
-60.3	188.2	287	281	0.1	Ring C
-55.2	168.8	272	265	-0.3	Ring C
-49.7	151.7	257	251	0.6	Ring C
-44.8	133.3	241	235	0.1	Ring C
-40.3	118.1	226	221	0.2	Ring C
-35.0	99.6	207	202	-0.1	Ring C
-30.1	83.6	189	185	-0.1	Ring C
-25.6	69.0	171	167	-0.2	Ring C
-0.0	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.8 p02- = -0.0 p02+ = 0.0					

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.0	n/a				
70.1	243.3	328	333	0.1	Ring C
64.4	219.3	311	316	-0.1	Ring C
60.3	202.9	299	303	-0.2	Ring C
55.3	183.7	284	288	-0.0	Ring C
50.3	165.5	269	273	0.3	Ring C
45.2	146.0	252	256	0.4	Ring C
40.7	128.9	236	240	0.3	Ring C
35.7	109.7	218	221	-0.1	Ring C
30.5	90.5	197	200	-0.5	Ring C
25.4	74.1	178	180	0.3	Ring C
-0.1	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.0 p02- = -0.1 p02+ = 0.0					

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 8: E2201 med støttettrykk

Date of Test: 25.02.2015
Test File: Finstad_E2201_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2201
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

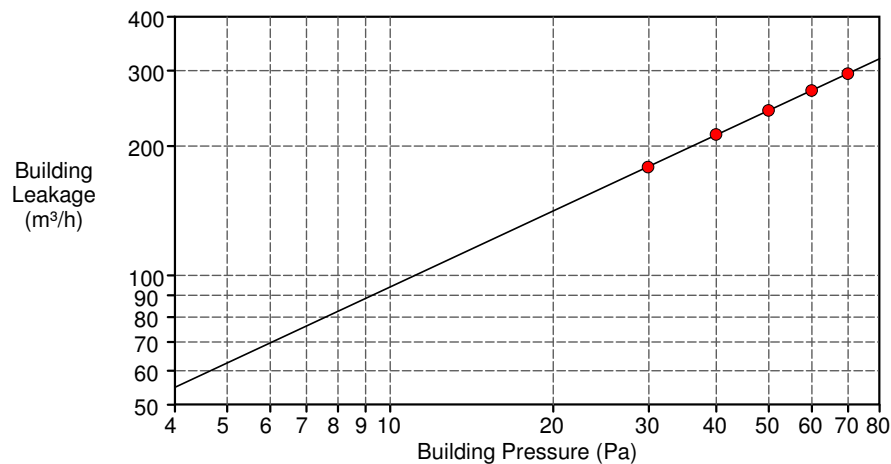
V50: Airflow (m³/h) 242 (+/- 0.1 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.10
w50: m³/(h*m² Floor Area) 2.81
q50: m³/(h*m² Surface Area) 0.86

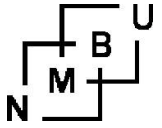
Leakage Areas: 105.1 cm² (+/- 0.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.37 cm²/m² Surface Area
59.2 cm² (+/- 0.8 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.21 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 23.7 (+/- 1.2 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 24.3 (+/- 1.2 %)
Exponent (n) = 0.588 (+/- 0.003)
Correlation Coefficient = 0.99996

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	13 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2201_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a				
-70.0	207.1	302	295	-0.1	Ring C
-60.0	173.9	276	270	0.0	Ring C
-50.0	141.3	248	242	0.0	Ring C
-40.0	110.1	218	213	0.3	Ring C
-30.0	78.4	183	179	-0.3	Ring C
-0.2	n/a				
Test 0 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.2 p02- = -0.8 p02+ = 0.4					

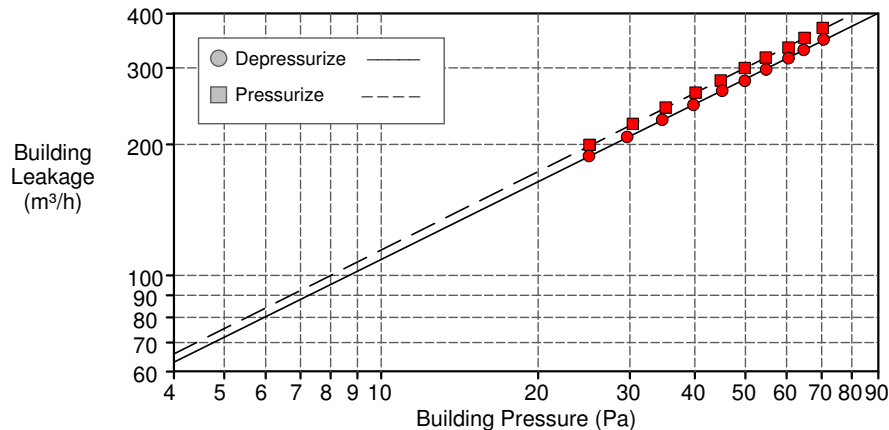
BUILDING LEAKAGE TEST

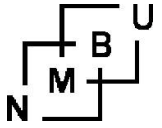
Vedlegg 9: E2202

Date of Test: 25.02.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2202_snitt_uten_støtte	
Customer: Skanska	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2202 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	283 (+/- 0.1 %)	300 (+/- 0.1 %)	291
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.25	2.39	2.32
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	5.74	6.10	5.92
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.55	1.65	1.60
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	121.3 (+/- 0.7 %)	127.5 (+/- 0.8 %)	124.4
cm ² /m ² Surface Area	0.67	0.70	0.68
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	67.9 (+/- 1.1 %)	70.9 (+/- 1.2 %)	69.4
cm ² /m ² Surface Area	0.37	0.39	0.38
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	27.1 (+/- 1.8 %)	28.4 (+/- 1.9 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	27.7 (+/- 1.8 %)	28.7 (+/- 1.9 %)	
Exponent (n)	0.594 (+/- 0.004)	0.600 (+/- 0.005)	
Correlation Coefficient	0.99977	0.99974	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature: 13 °C	Volume: 126 m ³
Outside Temperature: 3 °C	Surface Area: 182 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 49 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2202_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.4	n/a				
-70.5	286.6	357	349	0.5	Ring C
-64.5	257.5	338	330	0.3	Ring C
-60.3	236.1	323	316	-0.2	Ring C
-54.6	210.5	305	297	-0.3	Ring C
-49.7	187.4	287	280	-0.7	Ring C
-44.9	169.0	272	266	-0.1	Ring C
-39.5	146.2	252	247	-0.0	Ring C
-34.4	125.6	233	228	0.4	Ring C
-29.5	105.2	213	208	0.4	Ring C
-24.9	86.6	193	188	0.3	Ring C
-0.1	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 0.4 p02- = -0.1 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.0	n/a				
70.3	298.7	365	371	0.6	Ring C
64.9	269.9	346	352	0.2	Ring C
60.4	243.9	329	334	-0.8	Ring C
54.6	220.4	312	317	0.1	Ring C
49.8	198.1	295	300	0.2	Ring C
44.8	174.3	276	281	-0.1	Ring C
40.1	153.7	259	263	0.1	Ring C
35.1	131.9	239	243	0.2	Ring C
30.4	111.4	219	223	0.2	Ring C
25.0	89.8	196	199	0.6	Ring C
-0.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.0 p01+ = 0.0 p02- = -0.3 p02+ = 1.1

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 10: E2203

Date of Test: 25.02.2015
 Test File: Finstad_E2203_snitt_uten_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

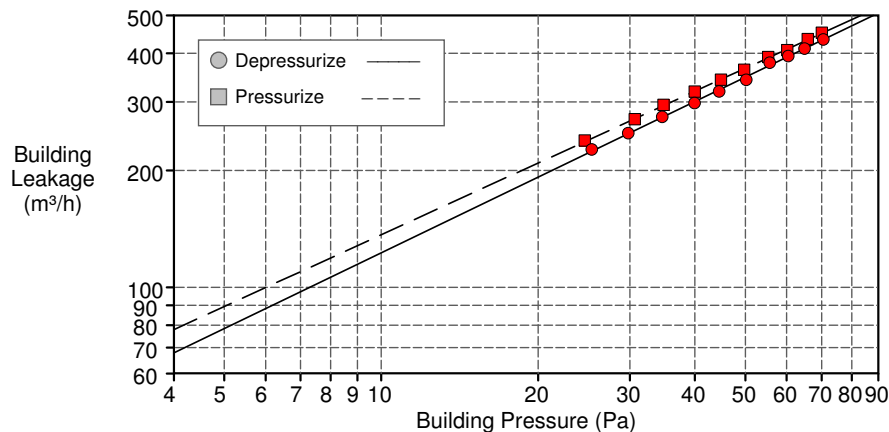
Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2203
 Ski, Akershus 1400

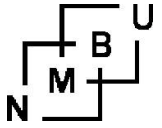
Phone:
 Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	348 (+/- 0.3 %)	366 (+/- 0.2 %)	357
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.80	1.90	1.85
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	4.60	4.84	4.72
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.34	1.41	1.37
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	137.2 (+/- 1.8 %)	152.3 (+/- 0.9 %)	144.8
cm ² /m ² Surface Area	0.53	0.59	0.56
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	73.2 (+/- 2.8 %)	83.8 (+/- 1.4 %)	78.5
cm ² /m ² Surface Area	0.28	0.32	0.30
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	27.2 (+/- 4.2 %)	33.0 (+/- 2.1 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	27.8 (+/- 4.2 %)	33.3 (+/- 2.1 %)	
Exponent (n)	0.646 (+/- 0.011)	0.613 (+/- 0.005)	
Correlation Coefficient	0.99889	0.99968	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	13 °C	Volume:	193 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	260 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	76 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2203_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.2	n/a				
-70.4	30.4	445	434	-0.2	Ring B
-64.8	27.3	422	411	-0.2	Ring B
-60.3	25.0	404	393	0.0	Ring B
-55.6	23.1	388	378	1.4	Ring B
-50.1	277.6	351	342	-1.9	Ring C
-44.4	242.5	328	319	-1.1	Ring C
-39.8	212.5	306	298	-0.9	Ring C
-34.5	181.2	282	275	0.1	Ring C
-29.7	150.1	256	249	0.1	Ring C
-25.3	124.8	233	226	0.9	Ring C
0.1	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.2 p02- = -0.1 p02+ = 0.1

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a				
70.2	30.4	445	451	0.3	Ring B
66.0	28.2	429	435	0.4	Ring B
60.3	24.7	402	407	-0.6	Ring B
55.4	22.7	386	391	0.4	Ring B
49.9	286.8	357	362	-0.7	Ring C
45.0	256.1	337	342	-0.2	Ring C
40.1	223.8	314	319	-0.0	Ring C
34.9	191.9	290	295	0.5	Ring C
30.8	162.9	267	271	-0.2	Ring C
24.7	127.5	235	239	0.7	Ring C
0.1	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.0 p01+ = 0.1 p02- = -0.0 p02+ = 0.1

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 11: E2203 med støttetrykk

Date of Test: 25.02.2015
Test File: Finstad_E2203_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2203
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

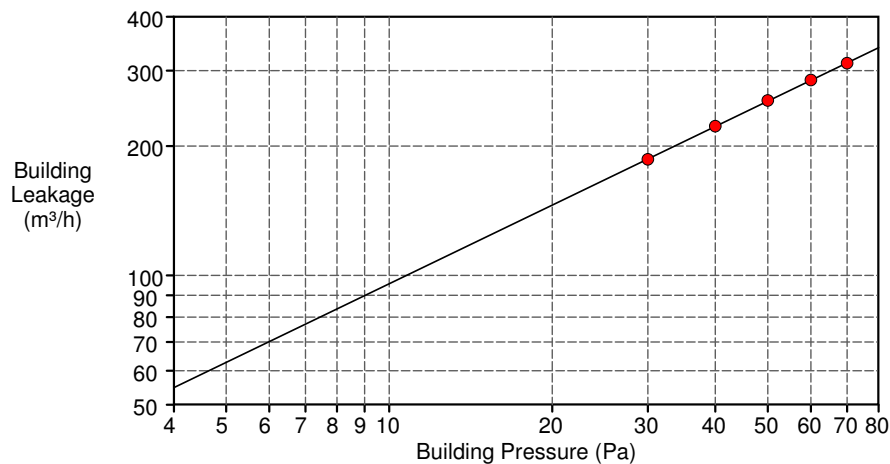
V50: Airflow (m³/h) 255 (+/- 0.1 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.32
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.37
q50: m³/(h*m² Surface Area) 0.98

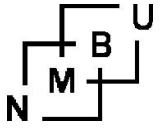
Leakage Areas: 106.9 cm² (+/- 0.7 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.41 cm²/m² Surface Area
59.1 cm² (+/- 1.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.23 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 23.1 (+/- 1.5 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 23.6 (+/- 1.5 %)
Exponent (n) = 0.608 (+/- 0.004)
Correlation Coefficient = 0.99994

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	13 °C	Volume:	193 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	260 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	76 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2203_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.0	n/a				
-70.0	231.7	320	312	-0.2	Ring C
-60.0	194.0	292	285	0.1	Ring C
-50.0	157.2	262	256	0.3	Ring C
-40.0	120.1	228	223	-0.0	Ring C
-30.0	85.2	191	186	-0.2	Ring C
0.0	n/a				
Test 0 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.2 p02- = -0.1 p02+ = 0.1					

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 12: E2301
undertrykk

Date of Test: 11.03.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2301_under_uten_støtte	
Customer: Skanska AS	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2301 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

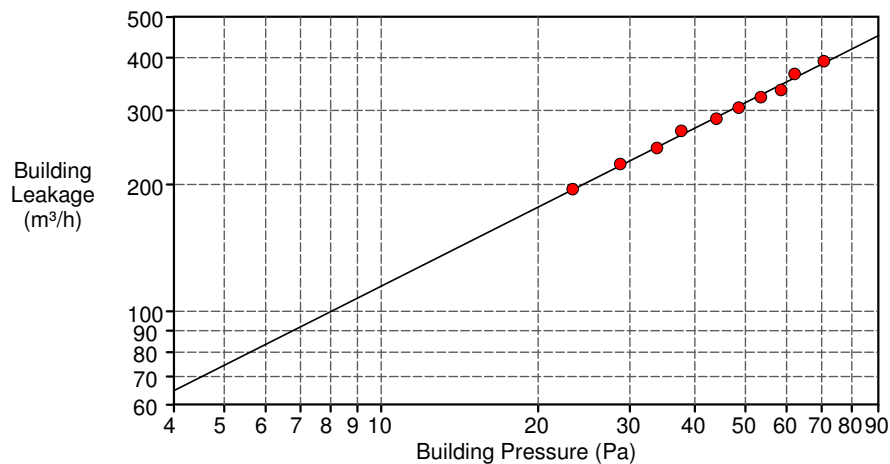
Test Results at 50 Pascals:
V50: Airflow (m³/h) 313 (+/- 0.6 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.42
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.63
q50: m³/(h*m² Surface Area) 1.11

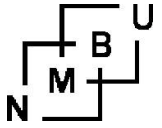
Leakage Areas: 128.2 cm² (+/- 3.1 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.45 cm²/m² Surface Area
69.8 cm² (+/- 4.9 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.25 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 26.8 (+/- 7.5 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 27.4 (+/- 7.5 %)
Exponent (n) = 0.623 (+/- 0.019)
Correlation Coefficient = 0.99620

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature: 21 °C	Volume: 220 m ³
Outside Temperature: 5 °C	Surface Area: 283 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 86 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2301_under_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
4.1	n/a				
-67.9	25.3	406	393	1.0	Ring B
-59.4	21.9	379	366	2.1	Ring B
-55.7	271.2	347	335	-2.9	Ring C
-50.8	251.4	334	322	-1.3	Ring C
-45.8	224.6	315	304	-1.0	Ring C
-41.2	200.2	297	287	-0.8	Ring C
-34.9	176.1	278	268	2.3	Ring C
-31.1	146.7	253	244	-0.5	Ring C
-26.0	123.7	231	224	0.8	Ring C
-20.5	94.8	202	195	0.3	Ring C
1.4	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 4.1 p02- = 0.0 p02+ = 1.4

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 13: E2301
overtrykk

Date of Test: 11.03.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2301_Overtrykk_Manuell	
Customer: Skanska AS	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2301 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

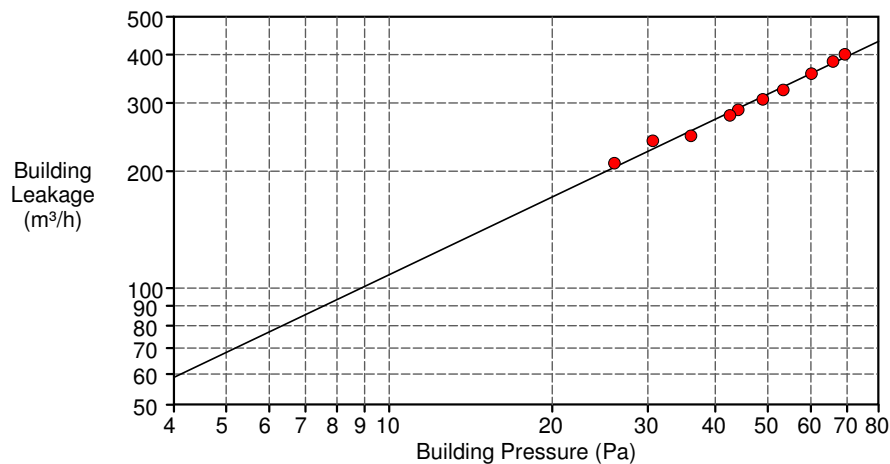
Test Results at 50 Pascals:
V50: Airflow (m³/h) 316 (+/- 0.7 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.44
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.67
q50: m³/(h*m² Surface Area) 1.12

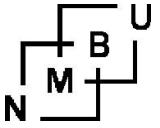
Leakage Areas: 120.9 cm² (+/- 4.1 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.43 cm²/m² Surface Area
63.4 cm² (+/- 6.4 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.22 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (Cenv) = 23.4 (+/- 9.9 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 23.4 (+/- 9.9 %)
Exponent (n) = 0.666 (+/- 0.025)
Correlation Coefficient = 0.99441

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Pressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature: 21 °C	Volume: 220 m ³
Outside Temperature: 5 °C	Surface Area: 283 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 86 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2301_Overtrykk_Manuell

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.6	n/a				
70.4	23.1	389	400	1.8	Ring B
67.0	21.3	373	384	0.9	Ring B
61.2	271.1	347	357	-0.2	Ring C
54.4	224.7	315	324	-1.9	Ring C
50.0	201.8	298	307	-1.7	Ring C
45.1	178.8	280	288	-0.9	Ring C
43.6	167.9	271	279	-1.9	Ring C
37.1	132.6	240	247	-2.9	Ring C
31.7	125.2	233	240	5.0	Ring C
27.1	96.8	204	210	2.4	Ring C
1.6	n/a				

Test 0 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 1.1 p02- = 0.0 p02+ = 3.1

Vedlegg 14: E2301 med støttetrykk

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 11.03.2015
Test File: Finstad_E2301_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska AS

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2301
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

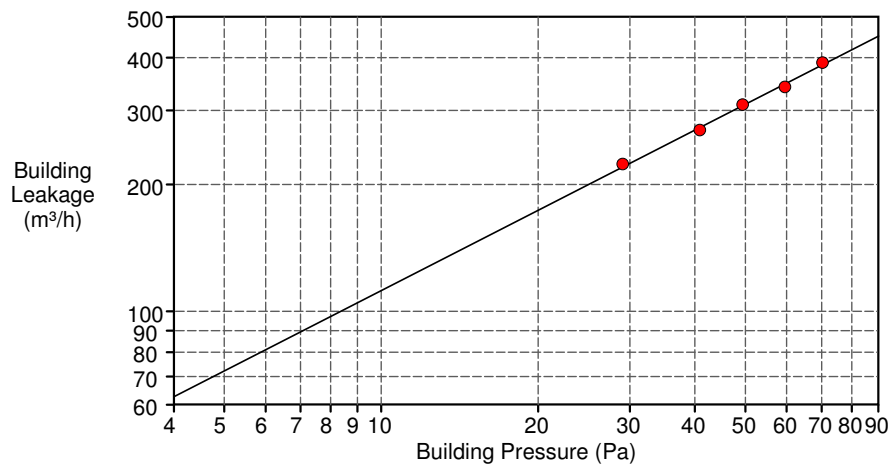
V50: Airflow (m³/h) 310 (+/- 0.8 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.41
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.60
q50: m³/(h*m² Surface Area) 1.10

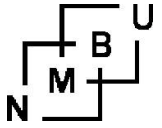
Leakage Areas: 125.1 cm² (+/- 4.6 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.44 cm²/m² Surface Area
67.6 cm² (+/- 7.0 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.24 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 25.6 (+/- 10.8 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 26.1 (+/- 10.8 %)
Exponent (n) = 0.633 (+/- 0.027)
Correlation Coefficient = 0.99727

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	5 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2301_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-1.1	n/a				
-71.3	24.9	403	389	1.1	Ring B
-60.5	280.4	353	341	-1.7	Ring C
-50.4	232.8	321	310	0.6	Ring C
-41.9	177.6	279	269	-1.4	Ring C
-30.1	124.0	232	224	1.6	Ring C
-0.8	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.1 p01+ = 0.0 p02- = -0.8 p02+ = 0.0					

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 15: E2302

Date of Test: 11.03.2015
 Test File: Finstad_E2302_snitt_uten_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska AS

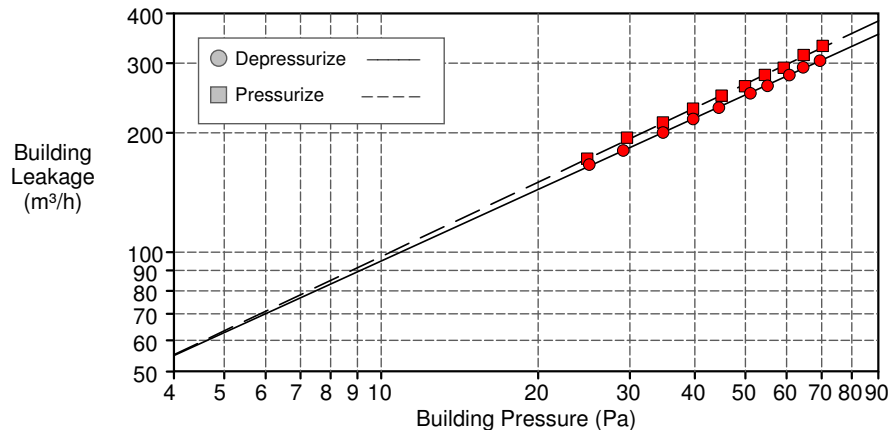
Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2302
 Ski, Akershus 1400

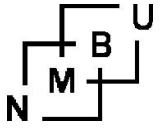
Phone:
 Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	249 (+/- 0.1 %)	266 (+/- 0.3 %)	257
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.98	2.12	2.05
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	5.06	5.40	5.23
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.37	1.46	1.42
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	106.0 (+/- 0.8 %)	108.9 (+/- 1.5 %)	107.5
cm ² /m ² Surface Area	0.58	0.60	0.59
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	59.1 (+/- 1.3 %)	59.4 (+/- 2.4 %)	59.2
cm ² /m ² Surface Area	0.32	0.33	0.33
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	23.4 (+/- 2.0 %)	23.3 (+/- 3.7 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	23.9 (+/- 2.0 %)	23.3 (+/- 3.7 %)	
Exponent (n)	0.599 (+/- 0.005)	0.622 (+/- 0.009)	
Correlation Coefficient	0.99972	0.99909	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	20 °C	Volume:	126 m ³
Outside Temperature:	5 °C	Surface Area:	182 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	49 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2302_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

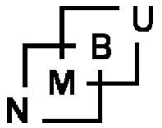
Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.4	n/a				
-70.2	223.2	314	304	0.2	Ring C
-65.2	207.2	302	293	0.8	Ring C
-61.4	190.1	289	280	0.1	Ring C
-55.8	168.5	271	263	-0.4	Ring C
-51.8	154.5	260	252	-0.3	Ring C
-45.1	131.8	239	232	-0.1	Ring C
-40.4	115.7	224	217	-0.1	Ring C
-35.4	99.4	207	200	0.1	Ring C
-29.8	81.2	186	181	0.2	Ring C
-25.8	69.4	172	166	1.0	Ring C
-1.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.5 p01+ = 0.1 p02- = -1.0 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-1.2	n/a				
69.5	235.1	322	331	0.4	Ring C
63.8	212.8	306	314	0.5	Ring C
58.4	184.3	284	292	-1.5	Ring C
53.6	170.0	273	280	-0.5	Ring C
49.0	149.7	255	262	-1.6	Ring C
44.1	134.5	242	248	-0.8	Ring C
38.8	116.2	224	230	-0.5	Ring C
33.8	99.4	207	212	-0.3	Ring C
28.8	83.8	189	194	0.6	Ring C
24.0	66.3	168	172	-0.7	Ring C
-0.6	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.2 p01+ = 0.0 p02- = -0.6 p02+ = 0.1



BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 16: E2303

Date of Test: 11.03.2015
 Test File: Finstad_E2303_snitt_uten_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska AS

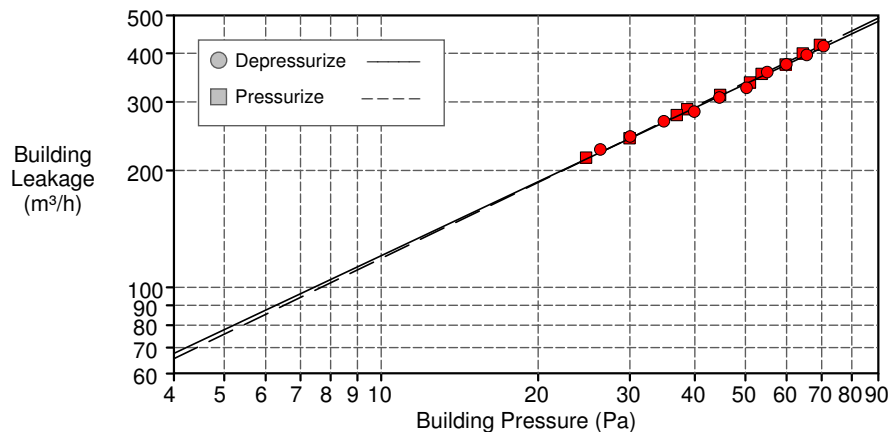
Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2303
 Ski, Akershus 1400

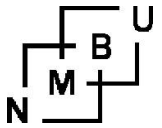
Phone:
 Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	333 (+/- 0.4 %)	337 (+/- 0.3 %)	335
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.73	1.75	1.74
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	4.41	4.46	4.43
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.28	1.29	1.29
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	134.5 (+/- 2.4 %)	132.5 (+/- 1.7 %)	133.5
cm ² /m ² Surface Area	0.52	0.51	0.51
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	72.7 (+/- 3.8 %)	70.6 (+/- 2.7 %)	71.7
cm ² /m ² Surface Area	0.28	0.27	0.28
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	27.6 (+/- 5.8 %)	26.7 (+/- 4.1 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	28.2 (+/- 5.8 %)	26.7 (+/- 4.1 %)	
Exponent (n)	0.632 (+/- 0.015)	0.648 (+/- 0.010)	
Correlation Coefficient	0.99783	0.99898	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	193 m ³
Outside Temperature:	5 °C	Surface Area:	260 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	76 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2303_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a				
-70.4	28.6	432	417	0.7	Ring B
-65.3	25.8	410	396	0.3	Ring B
-59.7	23.0	388	375	0.4	Ring B
-54.8	21.0	371	358	1.1	Ring B
-50.0	257.1	338	326	-2.4	Ring C
-44.3	229.9	319	308	-0.7	Ring C
-39.6	195.4	293	283	-2.0	Ring C
-34.6	174.8	277	267	0.8	Ring C
-29.8	147.2	253	245	1.3	Ring C
-26.1	126.5	234	226	1.8	Ring C
0.5	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.7 p01+ = 1.0 p02- = -0.2 p02+ = 0.8

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.1	n/a				
69.4	25.6	409	420	0.8	Ring B
64.4	23.1	388	400	0.5	Ring B
59.7	296.2	363	374	-1.2	Ring C
53.7	266.1	344	354	0.1	Ring C
51.0	241.0	327	336	-1.7	Ring C
44.7	209.0	303	312	-0.5	Ring C
38.6	177.5	279	287	0.5	Ring C
36.9	166.2	270	277	0.0	Ring C
29.9	127.1	235	242	-0.3	Ring C
24.7	102.0	210	216	0.8	Ring C
0.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 0.4 p02- = -0.2 p02+ = 0.2

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 17: E2303 med støttetrykk

Date of Test: 11.03.2015
Test File: Finstad_E2303_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska AS

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2303
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

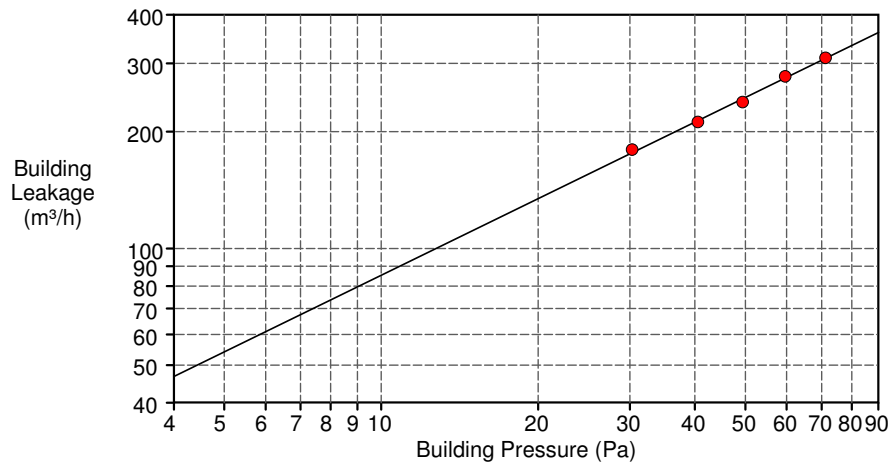
V50: Airflow (m³/h) 245 (+/- 0.7 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.27
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.24
q50: m³/(h*m² Surface Area) 0.94

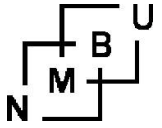
Leakage Areas: 95.3 cm² (+/- 4.1 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.37 cm²/m² Surface Area
50.4 cm² (+/- 6.3 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.19 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 18.5 (+/- 9.7 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 18.9 (+/- 9.7 %)
Exponent (n) = 0.656 (+/- 0.024)
Correlation Coefficient = 0.99795

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	193 m ³
Outside Temperature:	5 °C	Surface Area:	260 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	76 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2303_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.0	n/a				
-71.2	233.5	321	310	0.2	Ring C
-59.6	188.6	288	278	0.9	Ring C
-49.4	140.7	247	239	-1.9	Ring C
-40.5	111.8	220	212	-0.8	Ring C
-30.3	81.2	186	180	1.8	Ring C
-0.0	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.5 p01+ = 0.3 p02- = -0.4 p02+ = 0.4					

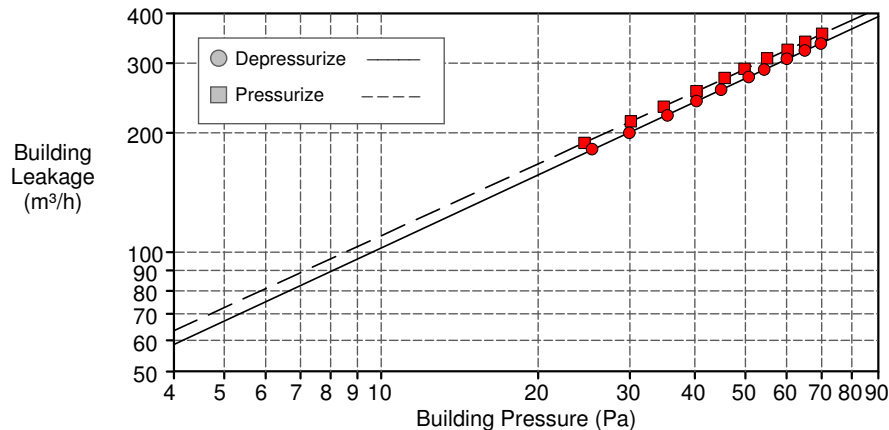
BUILDING LEAKAGE TEST

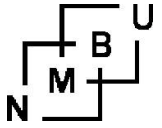
Vedlegg 18: E2401

Date of Test: 11.03.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2401_snitt_uten_støtte	
Customer: Skanska AS	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2401 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	275 (+/- 0.1 %)	290 (+/- 0.1 %)	282
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.25	1.32	1.28
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	3.19	3.36	3.27
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	0.97	1.03	1.00
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	114.6 (+/- 0.4 %)	122.9 (+/- 0.4 %)	118.7
cm ² /m ² Surface Area	0.41	0.43	0.42
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	63.1 (+/- 0.6 %)	68.3 (+/- 0.6 %)	65.7
cm ² /m ² Surface Area	0.22	0.24	0.23
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	24.6 (+/- 0.9 %)	27.6 (+/- 0.9 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	25.1 (+/- 0.9 %)	27.6 (+/- 0.9 %)	
Exponent (n)	0.611 (+/- 0.002)	0.602 (+/- 0.002)	
Correlation Coefficient	0.99995	0.99994	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	22 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	6 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2401_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.0	n/a				
-70.0	271.4	347	336	-0.2	Ring C
-65.3	251.1	334	323	0.0	Ring C
-60.3	228.8	318	308	0.2	Ring C
-54.6	202.6	299	289	-0.0	Ring C
-51.0	186.8	286	277	-0.0	Ring C
-45.1	161.5	266	257	-0.1	Ring C
-40.5	142.3	249	241	0.0	Ring C
-35.7	121.2	229	222	-0.4	Ring C
-30.2	99.4	207	200	-0.3	Ring C
-25.6	82.9	188	182	0.4	Ring C
-0.5	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.2 p02- = -0.5 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.1	n/a				
70.2	268.8	345	355	-0.1	Ring C
65.2	245.4	330	339	-0.3	Ring C
60.3	224.1	315	324	-0.3	Ring C
55.1	203.7	299	308	0.2	Ring C
49.9	181.0	282	290	0.0	Ring C
45.6	163.2	267	275	0.0	Ring C
40.3	140.9	248	255	-0.1	Ring C
34.9	118.3	226	233	-0.4	Ring C
30.2	100.3	208	214	-0.3	Ring C
24.6	78.7	183	189	-0.5	Ring C
0.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.0 p02- = 0.0 p02+ = 0.2

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 19: E2401 med støttettrykk

Date of Test: 11.03.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2401_med_støtte	
Customer: Skanska AS	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2401 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

Test Results at 50 Pascals:

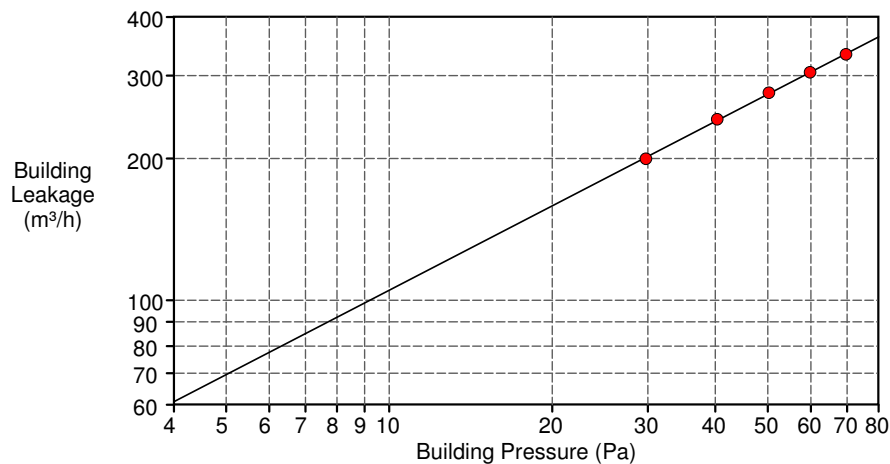
V50: Airflow (m ³ /h)	274 (+/- 0.2 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.25
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	3.18
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	0.97

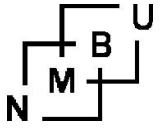
Leakage Areas: 117.4 cm² (+/- 1.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.42 cm²/m² Surface Area
65.6 cm² (+/- 2.2 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.23 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 26.2 (+/- 3.4 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 26.7 (+/- 3.4 %)
Exponent (n) = 0.596 (+/- 0.009)
Correlation Coefficient = 0.99969

Test Standard:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Type of Test Method:	B	Regulation complied with:	
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature:	22 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	6 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





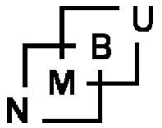
BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2401_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.4	n/a				
-69.3	267.1	344	333	-0.2	Ring C
-59.4	224.7	315	305	-0.1	Ring C
-49.9	185.5	285	276	0.4	Ring C
-39.9	144.0	250	242	0.5	Ring C
-29.4	99.0	206	200	-0.8	Ring C
0.3	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 0.4 p02- = 0.0 p02+ = 0.3					



BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 20: E2402

Date of Test: 11.03.2015
 Test File: Finstad_E2402_snitt_uten_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska AS

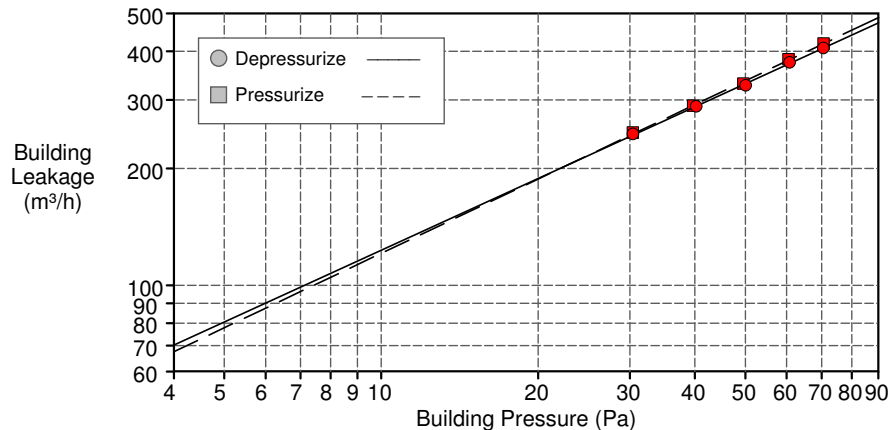
Building Address: Blokk E
 Midtskogen 3
 E2402
 Ski, Akershus 1400

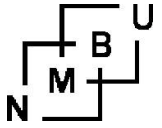
Phone:
 Fax:

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	330 (+/- 0.3 %)	336 (+/- 0.4 %)	333
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.63	2.68	2.65
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	6.71	6.83	6.77
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.82	1.85	1.83
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	137.3 (+/- 2.1 %)	134.9 (+/- 2.4 %)	136.1
cm ² /m ² Surface Area	0.76	0.74	0.75
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	75.5 (+/- 3.2 %)	72.7 (+/- 3.6 %)	74.1
cm ² /m ² Surface Area	0.42	0.40	0.41
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	29.4 (+/- 4.9 %)	28.0 (+/- 5.6 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	30.0 (+/- 4.9 %)	28.0 (+/- 5.6 %)	
Exponent (n)	0.613 (+/- 0.012)	0.636 (+/- 0.014)	
Correlation Coefficient	0.99939	0.99927	

Test Standard: EN 13829 Regulation complied with:
 Type of Test Method: B
 Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	22 °C	Volume:	126 m ³
Outside Temperature:	6 °C	Surface Area:	182 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	49 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2402_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a				
-70.4	27.3	422	408	0.1	Ring B
-60.7	22.9	387	374	0.7	Ring B
-50.0	257.7	338	327	-1.0	Ring C
-40.2	202.8	299	289	0.0	Ring C
-30.4	147.4	253	245	0.7	Ring C
0.3	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.1 p02- = 0.0 p02+ = 0.3					

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a				
70.3	25.4	407	419	0.1	Ring B
60.1	21.0	371	381	0.5	Ring B
49.2	232.9	321	330	-1.3	Ring C
39.4	180.9	282	290	-0.2	Ring C
30.1	132.8	240	247	0.8	Ring C
-0.3	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.3 p02+ = 0.0					

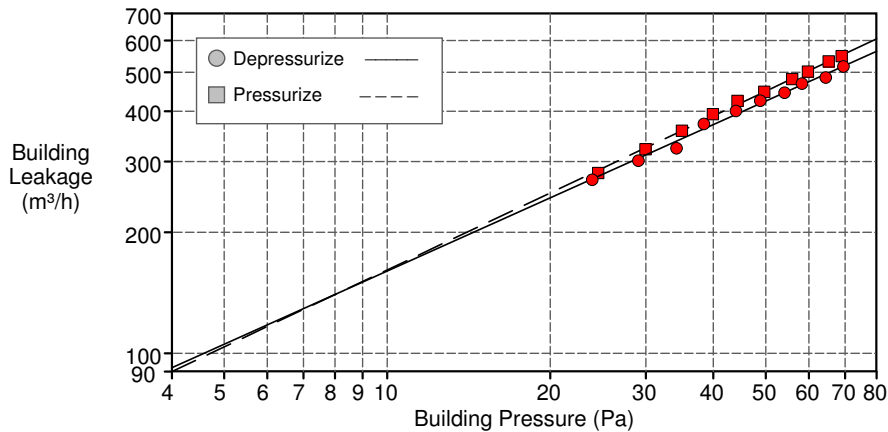
BUILDING LEAKAGE TEST

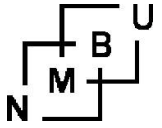
Vedlegg 21: E2403

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2403_snitt_uten_støtte	Technician: Sandeggen og Iden
Customer: Skanska AS	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2403 Ski, Akershus 1400
Phone: Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	424 (+/- 0.6 %)	449 (+/- 0.3 %)	436
n50: Air Changes per Hour (1/h)	2.20	2.33	2.26
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	5.60	5.94	5.77
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.63	1.72	1.68
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	178.5 (+/- 3.4 %)	179.9 (+/- 1.7 %)	179.2
cm ² /m ² Surface Area	0.69	0.69	0.69
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	98.9 (+/- 5.2 %)	96.9 (+/- 2.6 %)	97.9
cm ² /m ² Surface Area	0.38	0.37	0.38
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	39.0 (+/- 8.1 %)	37.3 (+/- 4.0 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	39.7 (+/- 8.1 %)	37.3 (+/- 4.0 %)	
Exponent (n)	0.605 (+/- 0.021)	0.636 (+/- 0.010)	
Correlation Coefficient	0.99541	0.99900	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature: 21 °C	Volume: 193 m ³
Outside Temperature: 6 °C	Surface Area: 260 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 76 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2403_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.7	n/a				
-71.6	43.7	533	517	-0.1	Ring B
-66.5	38.5	501	486	-1.7	Ring B
-60.4	35.8	483	468	0.8	Ring B
-56.2	32.3	459	445	0.1	Ring B
-50.9	29.4	438	425	1.7	Ring B
-46.1	26.1	413	400	2.1	Ring B
-40.5	22.5	384	372	2.9	Ring B
-36.3	251.9	334	324	-3.8	Ring C
-31.1	218.9	311	301	-1.3	Ring C
-25.9	177.2	279	270	-0.3	Ring C
-3.4	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.9 p01+ = 3.3 p02- = -3.4 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.9	n/a				
68.2	43.8	534	548	-0.6	Ring B
64.6	41.2	518	532	-0.1	Ring B
59.0	36.6	489	502	-0.4	Ring B
55.2	33.6	468	480	-0.5	Ring B
48.9	29.0	435	447	-0.2	Ring B
43.6	26.1	413	424	1.8	Ring B
39.2	22.4	383	393	0.8	Ring B
34.2	273.0	348	358	-0.3	Ring C
29.2	222.3	313	322	-1.0	Ring C
23.8	170.4	273	280	-2.0	Ring C
-0.7	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.1 p01+ = 3.6 p02- = -0.7 p02+ = 0.2

Vedlegg 22: E2403 med
støttetrykk

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 11.03.2015
Test File: Finstad_E2403_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska AS

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2403
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

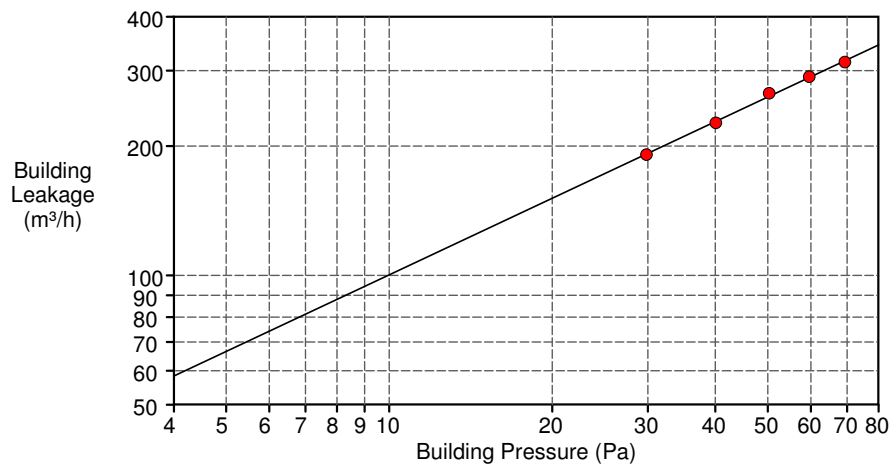
V50: Airflow (m³/h) 261 (+/- 0.5 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.35
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.45
q50: m³/(h*m² Surface Area) 1.00

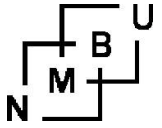
Leakage Areas: 112.1 cm² (+/- 3.2 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.43 cm²/m² Surface Area
62.8 cm² (+/- 4.9 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.24 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (Cenv) = 25.2 (+/- 7.6 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 25.7 (+/- 7.6 %)
Exponent (n) = 0.593 (+/- 0.019)
Correlation Coefficient = 0.99846

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	21 °C	Volume:	193 m ³
Outside Temperature:	6 °C	Surface Area:	260 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	76 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 11.03.2015 Test File: Finstad_E2403_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.2	n/a				
-69.2	237.2	324	314	-0.7	Ring C
-59.5	203.5	299	290	0.3	Ring C
-50.1	171.1	274	265	1.5	Ring C
-39.9	125.9	234	227	-0.9	Ring C
-29.7	90.6	197	191	-0.4	Ring C
0.1	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = 0.0 p01+ = 0.2 p02- = -0.1 p02+ = 0.2					

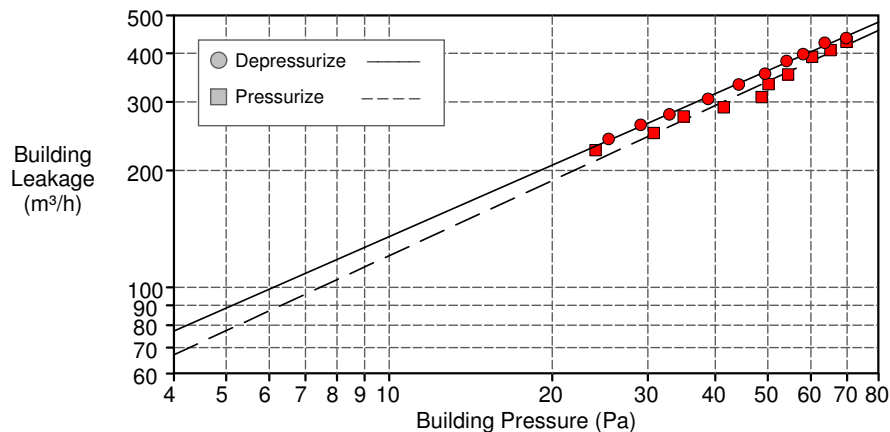
BUILDING LEAKAGE TEST

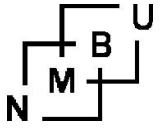
Vedlegg 23: E2501

Date of Test: 26.02.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2501_snitt_uten_støtte	
Customer: Skanska	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2501 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	360 (+/- 0.4 %)	339 (+/- 1.1 %)	350
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.64	1.54	1.59
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	4.18	3.93	4.06
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.28	1.20	1.24
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	150.7 (+/- 2.1 %)	134.7 (+/- 6.5 %)	142.7
cm ² /m ² Surface Area	0.53	0.48	0.50
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	83.1 (+/- 3.2 %)	72.2 (+/- 10.1 %)	77.6
cm ² /m ² Surface Area	0.29	0.26	0.27
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	32.3 (+/- 5.0 %)	27.4 (+/- 15.5 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	33.1 (+/- 5.0 %)	27.6 (+/- 15.5 %)	
Exponent (n)	0.610 (+/- 0.013)	0.641 (+/- 0.039)	
Correlation Coefficient	0.99828	0.98534	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature: 14 °C	Volume: 220 m ³
Outside Temperature: 3 °C	Surface Area: 283 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 86 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 26.02.2015 Test File: Finstad_E2501_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.2	n/a				
-70.3	30.9	449	437	-1.0	Ring B
-64.2	29.2	437	425	1.8	Ring B
-58.7	25.5	408	398	0.7	Ring B
-54.7	23.6	392	382	1.0	Ring B
-50.0	20.3	364	355	-0.9	Ring B
-44.7	262.9	342	333	-0.5	Ring C
-39.3	222.8	314	305	-1.1	Ring C
-33.4	186.4	286	279	-0.2	Ring C
-29.7	165.5	269	262	1.1	Ring C
-26.0	140.6	247	241	1.0	Ring C
-1.3	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.5 p01+ = 0.7 p02- = -1.3 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.1	n/a				
69.7	27.0	420	427	1.9	Ring B
65.1	24.6	401	407	1.4	Ring B
60.3	22.6	385	391	2.4	Ring B
54.4	270.9	347	353	-1.4	Ring C
50.1	242.2	327	333	-1.9	Ring C
48.6	208.6	303	308	-7.4	Ring C
41.3	185.4	285	290	-3.4	Ring C
34.8	167.3	270	275	2.3	Ring C
30.7	138.3	245	249	0.5	Ring C
23.9	113.3	221	225	6.4	Ring C
-0.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.2 p01+ = 0.1 p02- = -0.3 p02+ = 0.1

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 24: E2501 med støttettrykk

Date of Test: 25.02.2015
Test File: Finstad_E2501_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: Skanska

Building Address: Blokk E
Midtskogen 3
E2501
Ski, Akershus 1400

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

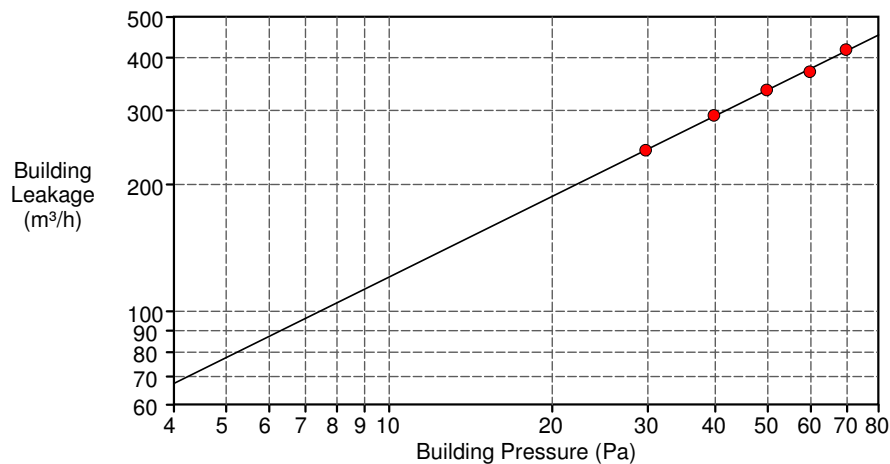
V50: Airflow (m³/h) 336 (+/- 0.5 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 1.53
w50: m³/(h*m² Floor Area) 3.90
q50: m³/(h*m² Surface Area) 1.19

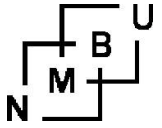
Leakage Areas: 134.7 cm² (+/- 3.1 %) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.48 cm²/m² Surface Area
72.6 cm² (+/- 4.8 %) LBL ELA @ 4 Pa or 0.26 cm²/m² Surface Area

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 27.3 (+/- 7.4 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 27.9 (+/- 7.4 %)
Exponent (n) = 0.636 (+/- 0.019)
Correlation Coefficient = 0.99871

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	14 °C	Volume:	220 m ³
Outside Temperature:	3 °C	Surface Area:	283 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	86 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	2015
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





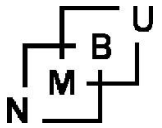
BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 25.02.2015 Test File: Finstad_E2501_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a				
-70.0	28.3	430	418	0.8	Ring B
-60.0	325.0	381	371	-1.5	Ring C
-50.0	268.1	345	336	0.2	Ring C
-40.0	204.4	300	292	0.5	Ring C
-30.0	141.3	248	241	-0.1	Ring C
-0.7	n/a				
Test 0 Baseline (Pa): p01- = -0.5 p01+ = 0.7 p02- = -1.3 p02+ = 0.0					



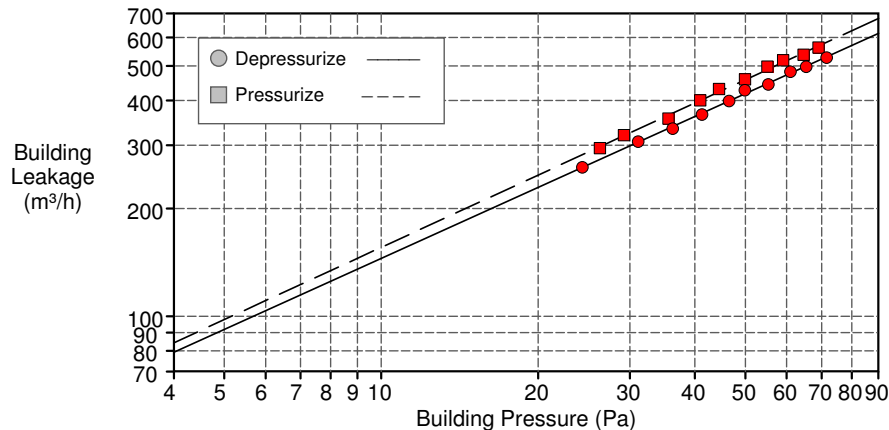
BUILDING LEAKAGE TEST

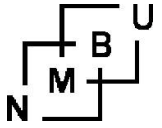
Vedlegg 25: E2504

Date of Test: 26.02.2015	Technician: Sandeggen og Iden
Test File: Finstad_E2504_snitt_uten_støtte	
Customer: Skanska	Building Address: Blokk E Midtskogen 3 E2504 Ski, Akershus 1400
Phone:	
Fax:	

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	418 (+/- 0.4 %)	458 (+/- 0.5 %)	438
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.31	1.43	1.37
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	3.33	3.65	3.49
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	1.07	1.17	1.12
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	161.7 (+/- 2.1 %)	173.7 (+/- 2.8 %)	167.7
cm ² /m ² Surface Area	0.41	0.44	0.43
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	85.3 (+/- 3.3 %)	90.7 (+/- 4.3 %)	88.0
cm ² /m ² Surface Area	0.22	0.23	0.22
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Cenv)	31.1 (+/- 5.0 %)	33.0 (+/- 6.6 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	31.8 (+/- 5.0 %)	33.3 (+/- 6.6 %)	
Exponent (n)	0.659 (+/- 0.013)	0.670 (+/- 0.017)	
Correlation Coefficient	0.99851	0.99754	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	B		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		

Inside Temperature: 14 °C	Volume: 319 m ³
Outside Temperature: 3 °C	Surface Area: 391 m ²
Barometric Pressure: 101325 Pa	Floor Area: 126 m ²
Wind Class: 2 Light Breeze	Uncertainty of
Building Wind Exposure: Partly Exposed Building	Building Dimensions: %
Type of Heating:	Year of Construction: 2015
Type of Air Conditioning:	
Type of Ventilation: None	





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 26.02.2015 Test File: Finstad_E2504_snitt_uten_støtte

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-1.0	n/a				
-72.5	45.2	542	527	-0.5	Ring B
-66.3	40.2	512	497	-0.4	Ring B
-61.9	37.8	496	482	1.1	Ring B
-56.2	32.0	457	444	-0.7	Ring B
-50.8	29.7	440	427	2.4	Ring B
-47.4	25.8	411	399	0.0	Ring B
-42.2	21.7	376	366	-0.8	Ring B
-37.2	266.5	344	334	-1.3	Ring C
-32.1	227.0	317	307	0.5	Ring C
-25.3	164.3	268	260	0.0	Ring C
-0.8	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -1.8 p01+ = 1.6 p02- = -0.8 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a				
68.8	47.1	554	562	-1.0	Ring B
64.4	42.8	528	537	-1.3	Ring B
58.8	39.8	509	518	1.1	Ring B
54.9	36.7	489	497	1.7	Ring B
49.6	31.1	451	458	0.2	Ring B
44.2	27.5	424	431	1.9	Ring B
40.7	23.7	394	400	-0.0	Ring B
35.3	276.3	350	356	-2.3	Ring C
29.0	224.6	315	320	0.2	Ring C
26.0	190.8	290	294	-1.1	Ring C
-0.3	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.4 p01+ = 0.2 p02- = -0.3 p02+ = 0.1

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 26: Fløy 4 uten støttetrykk

Date of Test: 13.02.15
Test File: Fløy_4_kloakk_uten støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: NMBU

Building Address: Fløy 4
Kaiaveien 6
Ås, Akershus 1432

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

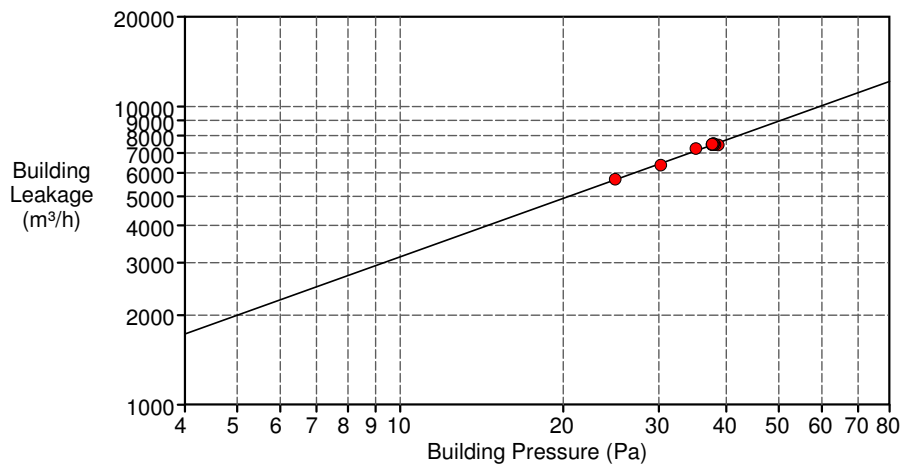
V50: Airflow (m³/h) 8958 (+/- 1.0 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 13.94
w50: m³/(h*m² Floor Area) 68.32
q50:

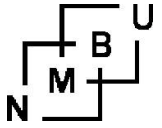
Leakage Areas: 3505.2 cm² (+/- 3.8 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
1861.8 cm² (+/- 6.6 %) LBL ELA @ 4 Pa

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (Cenv) = 684.2 (+/- 10.7 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 701.3 (+/- 10.7 %)
Exponent (n) = 0.651 (+/- 0.030)
Correlation Coefficient = 0.99166

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	15 °C	Volume:	642 m ³
Outside Temperature:	0 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	131 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 13.02.15 Test File: Fløy_4_kloakk_uten støtte

Comments

Data Points: Depressurization

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-2.4	n/a				
-41.0	124.3	7721	7438	-1.8	Open
-40.4	125.0	7742	7458	-0.6	Open
-40.1	127.3	7810	7523	0.7	Open
-39.9	125.0	7742	7458	0.2	Open
-40.2	126.6	7790	7505	0.3	Open
-40.1	125.0	7741	7457	-0.1	Open
-40.0	126.1	7776	7491	0.6	Open
-37.5	117.4	7510	7234	1.6	Open
-32.6	90.2	6609	6366	-1.5	Open
-27.3	72.1	5930	5713	0.3	Open
-2.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -2.4 p01+ = 0.0 p02- = -2.2 p02+ = 0.0

BUILDING LEAKAGE TEST

Vedlegg 27: Fløy 4 med støttetrykk

Date of Test: 13.02.15
Test File: Fløy_4_kloakk_med_støtte

Technician: Sandeggen og Iden

Customer: NMBU

Building Address: Fløy 4
Kaiaveien 6
Ås, Akershus 1432

Phone:
Fax:

Test Results at 50 Pascals:

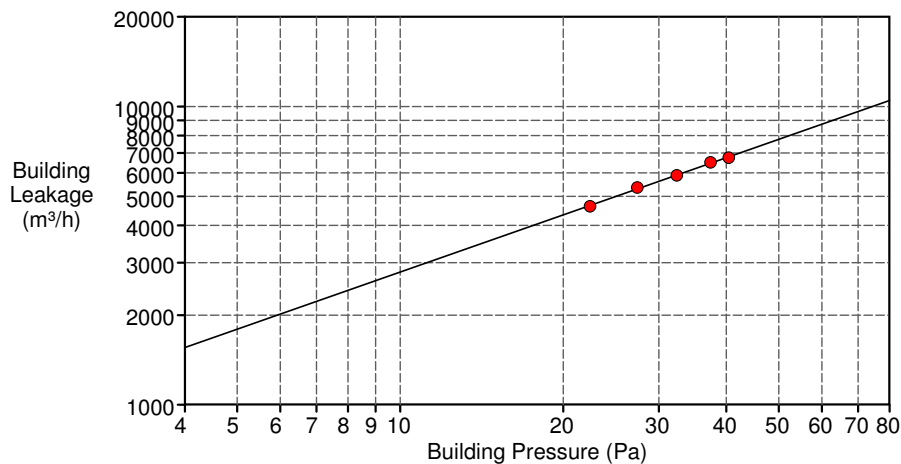
V50: Airflow (m³/h) 7777 (+/- 0.9 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) 12.11
w50: m³/(h*m² Floor Area) 59.31
q50:

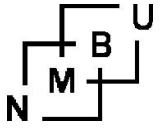
Leakage Areas: 3116.1 cm² (+/- 2.3 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
1677.5 cm² (+/- 4.1 %) LBL ELA @ 4 Pa

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (C_{env}) = 628.5 (+/- 6.8 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = 644.8 (+/- 6.8 %)
Exponent (n) = 0.636 (+/- 0.019)
Correlation Coefficient = 0.99861

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: B Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	15 °C	Volume:	642 m ³
Outside Temperature:	0 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	131 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		





BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 13.02.15 Test File: Fløy_4_kloakk_med_støtte

Comments

Data Points: Depressurization - Data Entered Manually

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
2.4	n/a				
-38.0	101.5	7000	6750	-0.6	Open
-35.0	94.2	6750	6509	0.7	Open
-30.0	76.4	6100	5882	-0.3	Open
-25.0	62.9	5550	5352	0.9	Open
-20.0	46.6	4800	4629	-0.8	Open
2.4	n/a				
Test 0 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 2.5 p02- = -0.1 p02+ = 2.5					



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no