

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for matematiske og teknologiske fag ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) våren 2011. Oppgaven er skrevet i samarbeid med et av verdens ledende entreprenørfirma, Skanska. Vi utformet oppgaven ut fra eget interesseområde, og ved hjelp av veileder Tormod Aurlien fra UMB og Håkon Brager- Larsen fra Skanska.

Vi hadde flere ønsker for vår masteroppgave. Vi ønsket for det første at oppgaveskrivingen skulle være en fin avslutning på studietiden. Videre ville vi knytte sterkere bånd til bransjen slik at vi er bedre rustet til arbeidslivet når den tid kommer. Vi ønsket også at masterarbeidet skulle inneholde en del praktisk arbeid på byggeplass slik at vi fikk opparbeidet erfaring også på dette området. Sist men ikke minst ønsket vi at oppgaven vår skulle være av betydning. Vi ville bidra til en positiv utvikling i byggebransjen.

Oppgaven er et resultat av at vi og Skanska ser et behov for å øke kunnskapen rundt lufttetthet i bygninger i byggebransjen. Vi ønsket å se på lufttetthet i alle faser av et byggeprosjekt, noe Skanska har gitt oss muligheten til. Vi har foretatt observasjoner ute på ulike byggeprosjekter i tillegg til å følge opp et case- prosjekt som er beskrevet i oppgaven.

Store deler av arbeidet har foregått ved Skanska Norge sitt hovedkontor i Oslo og ute på byggeplass.

Vi retter en stor takk til Skanskas ansatte for all hjelp og støtte vi har fått, og spesielt en stor takk til Skanska produkt design (SPD), Ole Mangor Jensen og vår veileder Håkon Brager- Larsen for god veiledning og erfaringsoverføring. Vi har fått stort utbytte av å være med å trykkteste på forskjellige prosjekter sammen med Håkon Brager- Larsen.

Gro Hummelshøj i Skanska har vært til stor hjelp og bidratt til at vår periode på hovedkontoret til Skanska har blitt en svært positiv erfaring. Samtlige personer på kontoret har vært imøtekommende og åpen for å hjelpe oss med spørsmål i forbindelse med oppgaven. Dette setter vi veldig stor pris på.

Vi vil også takke vår veileder ved UMB, Tormod Aurlien for god og konstruktiv tilbakemelding. En veileder med bedre kunnskap og begeistring for sitt fagfelt skal man lete lenge etter.

Til slutt vil vi takke familie og venner for gode innspill og moralsk støtte.

Universitetet for miljø- og biovitenskap

15.mai 2011

Merethe Solvang

Anne Sofie Handal Bjelland

Sammendrag

Med denne oppgaven ønsker vi å vise hvordan god lufttetthet kan oppnås ved dagens nybygg. Dette har vi forsøkt å vise eksemplifisert gjennom å følge et case-prosjekt. Befaringer og trykktester på andre byggeprosjekter har gitt ytterligere grunnlag for å besvare problemstillingen. Oppgaven er skrevet i samarbeid med entreprenørfirmaet Skanska. Trykktester gjort av Skanska fra to år tilbake og frem til i dag er kombinert med en spørreundersøkelse gjort blant prosjektene som ble trykktestet. Dette har dannet grunnlaget for statistikk som belyser lekkasjetall ut fra forskjellige parametere ved byggeprosjekt. Case- prosjektet vårt er Nesodden kommunesenter som bygges etter passivhus- standard og derfor har et krav til lekkasjetall på $0,6 \text{ h}^{-1}$. Vi har fulgt prosjektet gjennom hele perioden og observert og deltatt i sikringen av lufttettheten ved prosjektet. Vi har foretatt tre trykktester i bygget hvorav alle var tidligtester. Alle testene gav gode resultater og det kan se ut til at Nesodden kommunesenter vil tilfredsstillende kravet til lekkasjetall. Dagens krav til lufttetthet og hvordan de kontrolleres er presentert. I tillegg greies det ut om dagens metode for å måle lufttetthet og hvordan lufttetthet normaliseres ved lekkasjetall. Det fokuseres også på detaljløsninger og hvordan disse kan oppnå best mulig lufttetthet. Vurderinger er her gjort på grunnlag av observasjoner og erfaring fra byggeplass samt litteratur. Gjennom hele oppgaven belyses lufttetthetens rolle ved alle faser i et byggeprosjekt. Resultatet kan sies å være en veiledning til gode løsninger og god byggeprosess for å oppnå god lufttetthet i nybygg.

Abstract

This thesis attempts to demonstrate how good airtightness in buildings can be obtained. We have tried to exemplify this through a case-study on a construction site. Inspections and air tightness measurements conducted on other construction sites has formed an even better foundation for our task. The thesis is written in cooperation with Skanska, a great entrepreneur firm. They have done air tightness measurements on their projects in about two years. Their results combined with surveys done on all the projects that were measured have resulted in statistics on n50-values based on different parameters within a construction project. The construction project for our case-study is Nesodden community center. This building is being built as a passive house which requires that the building envelope has an n50-value no higher than $0,6 \text{ h}^{-1}$. In our case-study we observed and participated in securing good air tightness during the construction period. We have participated in three air tightness measurements on the building, all of them were tests during the early phase of the project when only the windproof layer of the wall was mounted. All the measurements had good results and it seems like Nesodden community center will satisfy the requirements. Current requirements for air tightness in buildings and how they are controlled have been presented. The method for pressurization testing as well as how airtightness is normalized in different metrics is also introduced. Studies have been made on how details are formed and conducted to obtain good airtightness. Assessments have been made based on observations and experience from construction sites, combined with theory. In this thesis air tightness is visualized in all the phases throughout a construction process. The result could be called a guide to good solutions and a good construction process to obtain good airtightness in today's new buildings.

Innhold

Forord	1
Sammendrag	2
Abstract	3
1.0 Innledning og problemstilling	6
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Avgrensninger	7
2.0 Teoridel	9
2.1 Hvorfor skal man bygge lufttett?	9
2.1.1 Betydningen av lufttetthet for energiforbruket	9
2.1.2 Lufttetthet i forhold til kravene i Teknisk forskrift	10
2.1.3 Hvorfor er lufttettheten viktig?	12
2.1.4 Fokus på lufttetthet internasjonalt	13
2.1.5 Hva skal være tett?	14
2.1.6 Forutsetninger for å bygge tett.....	14
2.2 Krav til lufttetthet	15
2.2.1 Hva er kravene til lufttetthet i bygninger i Norge i dag?	15
2.2.2 Krav til energieffektivitet generelt	16
2.2.3 Energiltak	17
2.2.4 Energirammer	18
2.2.5 Krav til energieffektivitet i bygninger i fremtiden	19
2.2.6 Vurdering av norske krav i internasjonal sammenheng	20
2.3 Hvordan og hvem kontrollerer at det gjøres i henhold til kravene?	21
2.3.1 Definisjoner i NS8450	22
2.3.2 Vurdering av kontrollkrav	23
2.4 Normaliserte begreper for lufttetthet	24
2.5 Kravet til ventilasjon	26
2.5.1 Krav til ventilasjon generelt	26
2.5.2 Ventilasjonskrav for yrkesbygg	27
2.5.3 Ventilasjonskrav i boliger.....	28
2.5.4 Går utviklingen i riktig retning?	30
3.0 Metode	32
3.1 Måling av lufttetthet	32
3.1.1 Prinsipp.....	32
3.1.2 Typer målinger	32
3.2 Målemetoder	33
3.2.1 Trykktesting med Blowerdoor.....	33
3.3.2 Måling ved hjelp av bygningens ventilasjonsanlegg	36
3.3.3 Forberedelser før måling	37
3.3 Praksis i dag	37
3.3.1 Bransjen i dag.....	37
4.0 Feltarbeid	39
4.1 Feltarbeid på Case- prosjekt	39
4.2 Trykktester gjort på andre prosjekter	40
4.3 Befaringer på byggeprosjekter	40
5.0 Kvalitetssikring av lufttetthet i praksis	41
5.1 SKANSKA- og Skanskas energimål	41
5.1.1 Hvordan dokumenterer Skanska?	41
5.2 CASE- prosjekt	42
5.2.1 Nesodden Kommunesenter- Et forbilde prosjekt	42

5.2.2	Lufttetthet på Nesodden	47
5.2.3	Planlagt kvalitetssikring for lufttettheten på Nesodden.....	48
5.3	Trykktester ved Case- prosjekt	50
5.3.1	Krav til lufttetthet ved Nesodden.....	50
5.3.1	Trykktesting på Nesodden kommunesenter, sone 1 og 3	50
5.2.4	Trykktesting på Nesodden kommunesenter, sone 2	54
5.2.5	Vurdering av kvalitetssikring av lufttetthet i praksis.....	58
6.0	Prosjektering – detaljer.....	60
6.1	Lufttetthet i prosjekteringsfasen	60
6.2	Hvem prosjekterer detaljene?	60
6.3	Detaljer med god lufttetthet.....	62
6.3.1	Detalj 1- Oppbygning yttervegg	62
6.3.2	Detalj 2- Tilslutning Yttervegg/Etasjeskille	65
6.3.3	Detalj 3- Tilslutning Vindu/Yttervegg	68
7.0	Lufttetthet i ulike byggeprosjekter	73
7.1	Innvirkninger på byggets lufttetthet	73
7.1.1	Hypoteser rundt lufttetthet.....	73
7.1.2	Sortering av Skanskas måledata	75
7.1.3	Observasjoner rundt lufttetthet fra feltarbeid	84
	Diskusjon	85
	Konklusjon	88
	Videre arbeid	89
	Referanser	90
	Vedlegg	92
	Vedlegg nr. 1- Grønn arbeidsplass	92
	Vedlegg nr. 2- Energiberegninger på Nesodden kommunesenter (Tangenten).....	93
	Vedlegg nr. 3- Forbildeprosjekt- tillegg til søknad- oppgradering til passivhus- standard.	102
	Vedlegg nr. 4- Trykktest- soner.....	105
	Vedlegg nr. 5- Trykktestrapporter fra Nesodden kommunesenter (Tangenten).....	108
	Vedlegg nr. 6- Spørsmålskjema til prosjektene.....	114
	Vedlegg nr. 7- Intervju med Håkon Brager- Larsen.....	118
	Vedlegg nr. 8- Utdrag fra sorteringsfil.	120
	Vedlegg nr. 9 – Referat oppstartsmøte på Skanska HK	122
	Vedlegg nr.10 – Møte på Nesodden kommunesenter.....	124
	Vedlegg nr. 11 – Tetthetsmøte på Nesodden kommunesenter	126
	Vedlegg nr. 12 – Trykktesting NVE – huset	129

1.0 Innledning og problemstilling

Et bygg er et resultat av verdens største og mest komplekse håndarbeid. La oss bruke en skreddersydd jakke som metafor. Komponentene er mange og detaljeringsgraden er høy. De ulike stoffene skal settes sammen til ett plagg med forskjellige former og egenskaper. Valg av riktig kvalitet, passform, individuell tilpasning og utførelse, er avgjørende for resultatet.

Hvert bygg er unikt, og det er ikke mulig å skape uten håndverket til flere involverte parter. I en tid hvor byggebransjen industrialiseres i større og større grad blir skredderens jakke svært kostbar og utviklingen går i retning mot en masseprodusert jakke. Her er det enkle løsninger, kort produksjonstid og lave produksjonskostnader som står i fokus. Men å prøve å masseprodusere et skredderarbeid kan gå utover kvaliteten og stoltheten til de som lager den.

Det er virkelig ikke enkelt og bygge et bygg.

For ytterligere å komplisere dette håndarbeidet er man aldri alene om arbeidet. Det er en hel prosjektgruppe med skreddere, alle med et utvalg stoff som må sys inn på riktig plass til riktig tid for at jakken skal bli komplett og riktig. Man blir derfor avhengig av å jobbe på lag med andre skreddere og planlegge når hver skredder skal få sy inn sine deler for at alle skal nå sitt felles mål, en riktig utført, varm og tett jakke.

Det er ofte lett å kjenne dersom jakken er sydd feil. Den kan falle fra hverandre, være utett eller ha feil utforming. I slike tilfeller vil ofte en eller flere skreddere oppdage feilen og rette den opp. Men det er ikke alle skredderfeil som er like lett å oppdage, og de kan være vanskelige å rette opp i ettertid. Skreddersømmen er ofte jakkens svakhet. Den utgjør store deler av jakken, og blir den dårlig utført vil jakken bli utett, få redusert isolasjonsevne og gjøre at man mister mer varme, altså energi.

Man snakker om byggekunstens og arkitekturens skreddersøm. I dette begrepet ligger alt fra byggets skisserte utforming, prosjektering, detaljprosjektering, utførelse og ikke minst kvalitetssikring. Det er som med jakken, det er håndverket og skreddersømmen som avgjør om et bygg blir lufttett eller ikke.

Lufttettheten til et bygg er et spesielt fenomen. Det er et resultat av alle handlinger til alle aktører både før og under et byggeprosjekt. Dette gjør at lufttetthet kan være vanskelig å ha kontroll på. Likevel er god lufttetthet så avgjørende for byggets energiforbruk, inneklime og generelle kvalitet at det er noe som må gis ekstra oppmerksomhet underveis i prosessen. Men hvordan kan man vite hvor lufttett det endelige resultatet blir? Og hvilke tiltak er nødvendig å gjøre underveis i prosessen for på best mulig måte å sikre dette for mange litt svevende begrepet?

Med kompleksiteten rundt byggeprosessen og lufttetthet i tankene, ønsker vi å se på problemstillingen:

Hvordan sikres god lufttetthet i et nybygg i dag, og hva er viktigst for å oppnå dette fra start til slutt i et byggeprosjekt?

1.1 Bakgrunn

Byggets lufttetthet har stor innvirkning på byggets varmetap og dermed også bygget sitt energibehov. Det er mange kilowatt timer å spare på å bygge tett. Etter nye og strengere krav i lovverket har behovet for å få større kunnskap om lufttetthet i bygninger økt. Dette er et område som byggebransjen fortsatt er lite opplyst på og det er et behov for kompetanseheving for å dekke etterspørselen av fagkyndige.

Ved bygging av energieffektive bygninger er god lufttetthet blant det mest komplekse å ivareta. Når man snakker om energieffektive bygninger tenker man ofte først på tekniske løsninger som varmepumper, solceller, varmegjenvinning osv. Slike løsninger er absolutt nødvendige for at et bygg skal ha et lavt energiforbruk, men det er bygningskroppen som legger grunnsteinen for byggets energieffektivitet. Lufttettheten er en av bygningskroppens kvaliteter som legger føringer for effekten av de fleste andre senere energitiltak. Ved en utett bygningskropp vil for eksempel varmepumpen få lavere effekt, og dermed spare mindre energi enn ved en tett bygningskropp.

Måling av lufttetthet gjøres ved trykktesting. Det er i dag uklarheter blant aktører rundt praktiseringen av denne metoden og det er et behov for klargjørende informasjon om utførelse av test og vurdering av testresultat. Det har de senere årene vokst frem en bransjegren med termografører og trykktestere som har spesialisert seg på måling av lufttetthet og termografering i bygninger. Denne yrkesgruppen består av folk med variert yrkesbakgrunn, men flertallet er tidligere fagarbeidere med praktisk erfaring fra byggeplass. De er i stor grad selvlært, siden det finnes lite utdanning for termografører og trykktestere. De fleste har tatt kurs innen varmelære og trykktesting. Dette gjør at det finnes ulik praksis i utførelse av metoden.

Det finnes i dag lite informasjon og kartlegging av kvalitetssikring av god lufttetthet på byggeplass. Det er behov for større erfaring med hvordan man skal styre utførelse og kontroll av lufttettheten ved et nybygg. Dette er et tema som ikke har hatt stort fokus frem til nå.

1.2 Avgrensninger

I denne masteroppgaven ser vi kun på lufttetthet ved nybygg. Dette er en naturlig avgrensning ettersom man ved rehabilitering og annen håndtering av bygg med dårlig lekkasjetall, står overfor helt andre utfordringer.

Ved detaljløsninger har vi satt en avgrensning til å se på hovedutfordringene ved oppbygging vegg. Dette vil si detaljer sokkel/ vegg, vindu/vegg og oppbygging vegg. Vi vil se på alle aspekter ved disse detaljene helt fra detaljprosjektering til utførelse og bestandighet. Vi ser ikke på tilslutning vegg/ tak.

Videre avgrensner vi oss til å se på et case- prosjekt, som vi beskriver nærmere og tar for oss detaljer og praksis fra dette prosjektet som blir diskutert. Likevel har vi fra feltarbeid erfaring fra flere prosjekter, men dette blir bare benyttet til bakgrunnsinformasjon. I statistikken begrenser vi oss bare til utvalgte Skanska

prosjekter hvor det er trykktestet og som vi har fått tilbakemelding fra i en spørreundersøkelse vi har laget.

Vi ser ikke på økonomiske aspekter ved lufttetthet og gjør ingen utregninger på kostnader. Vi ser kun på det kvalitative ved hele prosessen fra detaljprosjektering til utførelse.

2.0 Teoridel

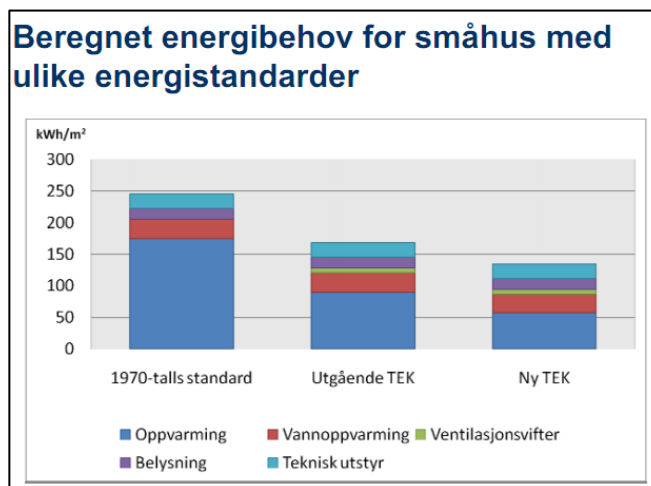
2.1 Hvorfor skal man bygge lufttett?

2.1.1 Betydningen av lufttetthet for energiforbruket

At bygg skal være lufttett er en grunnleggende selvfølgelighet. Bygget skal i utgangspunktet gi ly, og dersom luften fritt kan vandre gjennom konstruksjonen vil det oppleves som trekk og dermed også dårlig ly. Likevel har det gjennom tidene vært uenighet om hvor lufttett bygget skal være. Teorier om at mennesket har godt av å bo i “et pustende hus” der luft, om kanskje begrensede mengder, faktisk kan og bør vandre fritt i konstruksjonen, har eksistert lenge og eksisterer fortsatt. Det er ikke lenge siden det ble bygget etter denne teorien og da med naturlig ventilasjon gjennom lufteventiler, vinduslufting og utettheter i konstruksjonen. Problemet med denne løsningen er at det ikke er mulig å lage et system for å fange opp og gjenvinne varmen på luften som strømmer ut av konstruksjonen. Dette gjør løsningen lite energiøkonomisk. I tillegg styres et slikt system i stor grad av ytre klimatiske forhold slik at luftutskiftningen blir større ved sterk vind og høy temperaturforskjell, og motsatt. Dette er uheldig da behovet for luftutskifting er større om sommeren, mens det er ønskelig å holde på den varme inneluften om vinteren.

Per i dag står bygninger for 38 % av det årlige energiforbruket i Norge.¹ I overkant av halvparten av dette går til oppvarming². Dette er den posten i det norske energiregnskapet som har størst reduksjonspotensial på kort sikt og med forholdsvis enkle grep.

Som grafen indikerer er dette noe norske myndigheter jobber sterkt for ved å stille stadig strengere krav til bygningers energiforbruk. Statens Bygningstekniske etat har gjort gjentatte innstramminger i kravene for bygningers energieffektivitet i TEK de senere årene, og en løsning med naturlig ventilasjon i et bygg vil i dag ikke være mulig.



Figur 2.1. Visualisering av tendens for utvikling i energibehovet i bygg.³

¹ “ENERGIEFFEKTIVE BOLIGER FOR FREMTIDEN” av Tor Helge Dokka og Kathy Hermstad

² Norsk teknologi, Faktahefte nr. 8 “Energibruk i bygg”

³ SINTEF Byggforsk

2.1.2 Lufttetthet i forhold til kravene i Teknisk forskrift

Lufttettheten i et bygg vil være avgjørende for at flere av kravene i TEK skal kunne oppnås;

- *Infiltrasjonsvarmetap.*

Det stilles et konkret krav til lufttetthet i form av lekkasjetall. Dette for å sette en grense for hvor stort infiltrasjonsvarmetap som er tillatt ut av bygningskroppen. Infiltrasjonsvarmetapet kan deles i to kategorier. Den første er varmetap i form av varm luft som transporteres i gjennomgående utetthet i klimaskjermen. Den andre er varmetap ved redusert isolasjonsevne som et resultat av anblåsning inn til isolasjonssjiktet i klimaskjermen. I TEK er det førstnevnte form for infiltrasjonsvarmetap det stilles krav til da det kun stilles krav til veggens endelige lekkasjetall. Her stilles det med andre ord et krav som reduserer oppvarmingsbehovet direkte.

- *Ventilasjon.*

Forskriften inneholder spesifikke % - satser for varmegjenvinning av ventilasjonsluften i ulike typer bygg. Å oppnå dette kravet blir enklere jo mindre utettheter, ettersom det da blir en jevnere innetemperatur og det ikke transporteres varme gjennom utettheter i konstruksjonen. Det stilles også krav til SFP-faktor⁴. Denne faktoren angir forholdet mellom den elektriske effekten som er nødvendig for å drive viftene, og luftmengden som forflyttes i bygget ved hjelp av disse viftene. Dersom det er mange utettheter i bygningskroppen, vil det øke størrelsen på luftmengden som skal forflyttes, varmeveksles og deretter føres ut. Dette vil øke ventilasjonssystemets energibehov. Dersom bygget er så utett at det oppleves trekk, blir dette som oftest kompensert ved å skru opp temperaturen. En heving på 2 °C vil føre til at energiforbruket til oppvarming øker med ytterligere ca. 10 %.⁵ Med andre ord vil et ventilasjonsanlegg bruke mer elektrisitet i et bygg med utettheter enn i et bygg med høy lufttetthet. Byggforsk har foretatt en undersøkelse på hva som er det økonomisk mest optimale lekkasjetallet for en enebolig med varmegjenvinning og kom frem til et lekkasjetall under 2,0 h⁻¹.⁶ Kravet for eneboliger i dag er på 2,5 h⁻¹. For at ventilasjonsanlegget skal fungere optimalt og for å bruke minst mulig energi, forutsettes en lufttett bygningskropp.

- *Komfort.*

Trekk er en åpenbar grunn til at lufttetthet er viktig for komforten. Boliger blir mindre og komfortsonen flyttes stadig nærmere klimaskallet. I disse dager bor man praktisk talt “på veggen” i små leiligheter og da vil trekk fra mindre utettheter kjennes lettere.

Dersom det skulle være utettheter til andre boenheter vil det være lettere å merke forstyrrelser i komforten i form av matlukt, lyd ect fra naboen. Lufttetthet mellom enheter er av variert viktighet ut i fra hvilke typer bygg. Laboratorier, sykehus og liknende vil ha et strengere krav til lufttetthet, blant annet på grunn

⁴ Spesifik vifte effekt kW/m³/s

⁵ “Balansert ventilasjon” - Byggforskrappport

⁶ “Balansert ventilasjon” - Byggforskrappport

av smittefare. Verdier for de ulike kravene til intern lufttetthet er ikke nevnt i TEK, men er likevel noe en må fokusere på for å oppnå god komfort.

Alle disse faktorene som det nå settes krav til i TEK blir påvirket av bygningens lufttetthet. Og med den utviklingen vi er i nå mot totalstyrte ventilasjons- og oppvarmingssystemer i alle nybygg, vil lufttettheten bare bli viktigere. Andre momenter som stiller krav til byggets lufttetthet er fuktutfordringer og brannsikring;

- *Fuktskader.*

Luftlekkasjer gjennom utettheter kan føre til skadelig oppfukning av bygningskonstruksjonen. Dette kan skje på to måter - ved slagregn og ved kondensering. Ved vind og slagregn mot en fasade vil det bli et trykkfall utenfra og inn. Regnvann vil da kunne presses inn med luftstrømmen gjennom utettheter. I områder med hardt vær kan dette være et problem. God utvendig tetting er derfor essensielt for å unngå slike fuktpåkjenninger.

Ved kondensering kommer fuktigheten innenfra. Varm, fuktig inneluft lekker ut gjennom utettheter i vegger og tak hvor luften avkjøles og avgir fuktighet i form av kondens eller rim. I kuldeperioder kan en få betydelig fuktoppsamling i form av rim som ved varmere tider vil smelte og renne ned i isolasjonen. Enkelte konstruksjoner har evnen til å ta opp og lagre denne fuktigheten, og dersom konstruksjonen er lufttet kan materialene tørke ut igjen i varmere perioder.

NBI får en rekke henvendelser i forbindelse med fuktproblemer i tak i løpet av vinteren, og i en stor del av tilfellene skyldes problemene dårlig lufttetting. God lufttetthet er med andre ord en forutsetning for å unngå slike fuktproblemer.

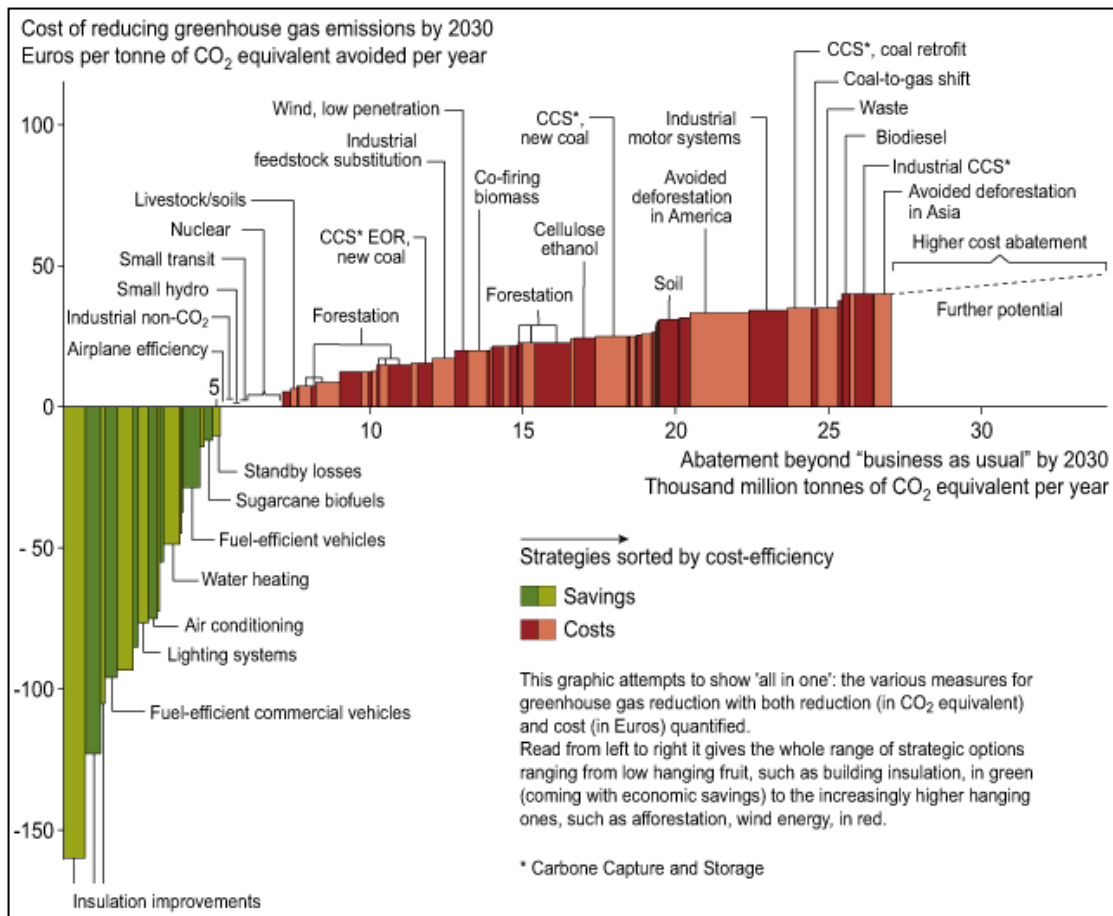
Dampsperran har som hovedoppgave å redusere dampdiffusjon ut i konstruksjonen. Likevel har den ofte en viktig funksjon for å sikre lufttettheten til en konstruksjon også. Den mengde fuktighet som kan fraktes ut i en konstruksjon gjennom luftstrøm (lekkasjer) er betydelig høyere enn den fuktmengden som kan fraktes ut gjennom dampdiffusjon.⁷

- *Branngasser.*

Farlige branngasser kan spres inn i omkringliggende rom til der brannen har oppstått. I et utett bygg kan dermed en brann spre seg over større arealer fortere, enn dersom skillekonstruksjonene er tette.

⁷ Byggforsk, "Evaluering av alternativer til balansert ventilasjon av byleiligheter."

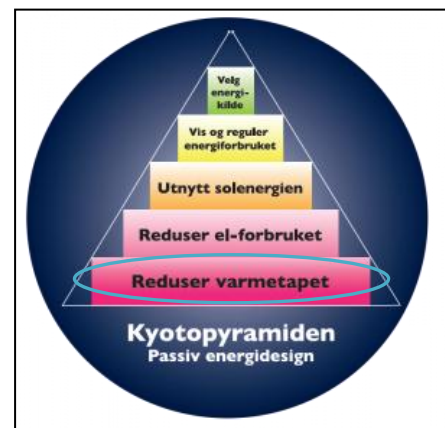
2.1.3 Hvorfor er lufttettheten viktig?



Figur 2.2: Strategier for å redusere CO₂- utslipp, sortert etter kostnad.⁸

Energieffektivisering er på alles lepper om dagen. Det er et tema i en hver bransje. Figur 2.2 viser tydelig at byggebransjen skiller seg ut som den sektoren der det er mulig å redusere mest på CO₂- utslippet, med lavest mulig kostnad, raskest. Det er derfor rett og rimelig, og på høy tid at byggebransjen har gått inn i en innstrammingsprosess av kravene til nybygg.

Kyoto- avtalen⁹ som TEK baserer seg på brakte også med seg en veiledning til hvordan man skal gå frem ved planlegging av lavenergiboliger og passivhus. Denne består av fem steg hvorav det første steget er å redusere varmetapet. Det er under dette tiltaket at byggets lufttetthet står sentralt.

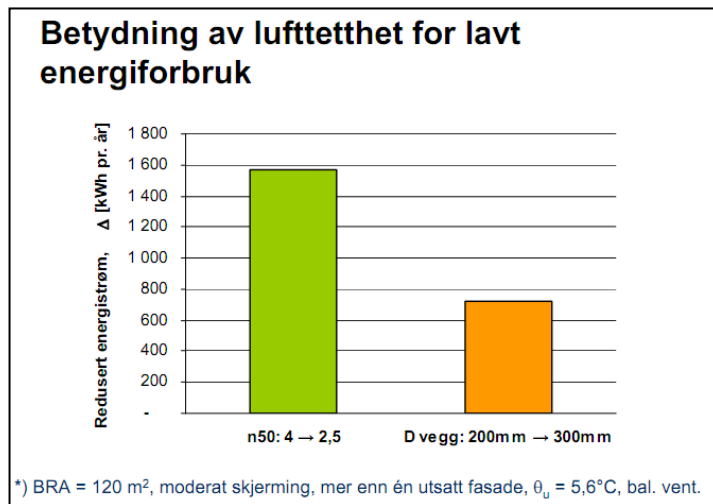


Figur 2.3: Kyoto-pyramiden.¹⁰

⁸ McKinsey Climate Change Special Initiative, 2007.

⁹ Kyoto- avtalen : www.changemaker.no

¹⁰ Husbanken, SINTEF



Figur 2.4: Resultat av undersøkelse fra SINTEF Byggforsk.

En undersøkelse gjort av SINTEF Byggforsk viste at lufttettheten til et bygg har mer og si for oppvarmingsbehovet enn det en kanskje skulle anta. De gjorde undersøkelser der de sammenliknet effekten av å redusere bygningens lekkasjetall med 1,5 luftutskiftninger per time mot å øke isolasjonstykkelsen i veggene med 100 mm. Resultatene ble som vist på figur 2.4, noe som forteller oss at lufttettheten bør være første prioritet når det kommer til reduksjon av byggets energiforbruk.

2.1.4 Fokus på lufttetthet internasjonalt

I Frankrike har det blitt gjort et overslag som viser at energitap til oppvarming grunnet lufttetthet ligger på 2-5 kWh/m²/år per enhet n50.

Vifter i et utett kanalsystem bruker som nevnt tidligere mer elektrisitet. I USA er det gjort vurderinger av kanal lekkasjer med et røft estimat på 10 kWh/m²/år for kontorbyggs energibruk til vifter. Norge er sammen med de andre skandinaviske landene veldig flinke på dette området. Byggebransjen i Norge har tidligere slitt med utette ventilasjonskanaler, men har nå løst problemet med at bransjen benytter prefabrikkerte rørskjøter.

Et resultat av lavenergibygnings fremmarsj i bransjen er at byggets lufttetthet nå har innvirkning på beregningene av byggets energiforbruk. Av 16 land er det bare 4 som ikke tar hensyn til lufttetthet i energiberegningene sine. I de landene som tar hensyn til dette er det stor variasjon i hvordan det tas hensyn til. Det vanligste er å redusere posten for energi til styring av bygget dersom lufttettheten er høy. Noen land har spesifikke krav til komponenter som for eksempel vinduer. Andre land, som Norge, har minste krav til lekkasjetall, men det er bare UK som har obligatorisk testing av nye bygg. Til tross for at dette ikke er et krav andre steder, trykktester Danmark og Tyskland henholdsvis 5 % og 15-20 % av sine nybygg. Det er med andre ord et stadig større fokus på dette i flere land uavhengig lovpålagte krav.¹¹

¹¹ Tall fra "An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness" av Air Infiltration and Ventilation Centre.

2.1.5 Hva skal være tett?

Fokuset på lufttetthet i den norske byggebransjen er økende. I Norge fokuseres det stadig mer på at også vindtettsjiktet skal være så tett som overhodet mulig. Det er ikke lenger bare i værharde strøk at det benyttes dobbeltetting i vindtettsjiktet med vindtettsplater og vindtett duk utenpå. Dette prinsippet er i ferd med å bli standardløsningen, og det har nok mye å gjøre med den ekstra sikkerheten løsningen gir for byggets lufttetthet. Bransjen vil sikre seg med både “belter og bukseseler.”

Et eksperiment gjort i laboratoriet i Tyskland på en 1 x 1 x 0,14 m isolert vegg viste at luft som strømmet i isolasjonssjiktet gjennom en lekkasje på 1 m x 1 mm reduserte isolasjonens varmemotstand med en faktor på 4.8. Dette underbygger at også vindtettsjiktet må være tett.¹²

Økt fokus på lufttett vindtettsjikt er ikke trenden i resten av Europa. Danmark legger betydelig mye mindre fokus på dette. For de er det tettheten på dampspærren som er av betydning. Tilsvarende ved lavenergi og passivhusbygging i Østerrike og Tyskland. Mens Norge har begynt å foreta underveistester av tettheten ved vindtettsjiktet før isolasjon og dampspærre kommer på, nøyer andre land seg med kun å teste den endelige veggen, altså dampspærre og vindtett i ett. Her ser Norge ut til å ligge et steg foran i utviklingen. Hele den norske byggebransjens holdning ser ut til å være at jo tettere jo bedre, både i vindtettsjikt og damptettsjikt.

2.1.6 Forutsetninger for å bygge tett

Fuktutfordringer.

Bygningselementenes U- verdier stiller underliggende krav til byggets lufttetthet. U-verdiene skal være lavere enn noen gang, noe som medfører økt isolasjonstykkelse. Tykkere vegger gir større fare for fuktproblemer, rett og slett fordi fuktigheten har en lengre vei å tørke ut. Byggfukt er derfor noe det er viktig å holde på et absolutt minimum. Dette er hovedkilden til fukt og forårsaker fuktskader på sikt i klimaskjermen. For å unngå ytterligere fukttilskudd til konstruksjonen etter byggeslutt benyttes det som kjent en dampspærre mellom innemiljøet og mesteparten av isolasjonssjiktet. Fuktinnholdet i inneluften vil stort sett alltid være høyere enn ute. I tillegg er det som oftest, og spesielt ved balanserte ventilasjonssystemer, et lite overtrykk inne i bygget, noe som gjør at dampspærren inne er veldig viktig for å unngå at fuktig luft strømmer inn i isolasjonen. Fukt fra utsiden av klimaskjermen kommer stort sett fra klimapåkjenninger som slagregn. For å beskytte konstruksjonen mot dette settes det på en klimaduk som ofte er vindtett, vanntett og diffusjonsåpen.

Dersom vi har et lufttett sjikt inne i konstruksjonen (dampspærre) og et lufttettsjikt ytterst i konstruksjonen (vindsperre) og gjør disse så tette som mulig, blir anblåsning i isolasjonen tilnærmet lik null. Det vil dermed ikke være noen luftsirkulasjon i isolasjonen som bidrar til uttørking av fukt. Fuktens eneste vei ut vil være gjennom diffusjon ut gjennom den diffusjonsåpne vindsperren. Men for at diffusjon skal være tilstrekkelig for å holde fuktigheten i konstruksjonen på et trygt nivå krever det at konstruksjonen ikke inneholder mer fuktighet enn hva som er tillatt når den lukkes.

¹² Tall fra “An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness” av Air Infiltration and Ventilation Centre.

I en ideell verden med nesten ingen byggfukt, vil det være riktig å si at jo tettere det er desto bedre blir det. Problemet er at dette ofte ikke er tilfellet. Byggfukt er en stor utfordring her i nord. Vanlige tiltak er bruk av telt på byggeplass og fokus på å ha materialene tørt lagret før bruk samt å ta seg tiden til skikkelig uttørking før veggen blir lukket. Alle disse tingene blir bransjen stadig bedre på. Likevel er det ikke lett og oppnå en så lav fuktighet i konstruksjonen at uttørking også etter byggeslutt ikke er nødvendig for bygningens totale helse. Man vil kunne si at jo tettere jo bedre forutsatt at;

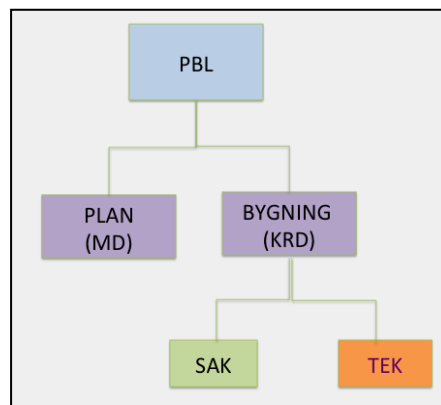
- Det er et stort fokus på byggfukt i byggeprosessen slik at man klarer å holde den på et minimumsnivå.
- Konstruksjonene får tørke tilstrekkelig før bygget lukkes. (Her er det trolig ved betongkonstruksjoner det syndes mest).
- Det blir sikret god uttørkingsevne i form av en dampåpen vindsperre.

2.2 Krav til lufttetthet

2.2.1 Hva er kravene til lufttetthet i bygninger i Norge i dag?

Kravene til lufttetthet i bygninger i dag er definert i Teknisk forskrift i Plan og bygningsloven(PBL). Loven gjelder for planlegging av arealbruk og for byggesaksbehandling. PBL har en plandel som er underlagt Miljøverndepartementet og en byggesaksdel som er underlagt kommunal- og regionaldepartementet.

Teknisk forskrift(TEK) er en rettslig bindende regulering som har hjemmel i PBL og kan i likhet med lover ikke gis tilbakevirkende kraft. TEK revideres hvert 5 år, og det er lovpålagt å følge disse forskriftene. Overtredelse av forskrifter kan være straffbart.



Figur 2.5. Hierarki av Plan- og bygningsloven.¹³

I 2007 ble teknisk forskrift revidert og det ble nye og strenge endringer i energikrav og krav til lufttetthet. De nye energikravene har bakgrunn i Norges forpliktelser i Kyoto protokollen, bygningsenergidirektivet og målsetninger i Soria- Moria erklæringen. For å oppfylle Kyoto- avtalen må Norge redusere utslippene med ca. 10 %.¹⁴ TEK 07 var obligatorisk fra 1.8.09.

Det ble gjort en ny revisjon allerede i 2010 fordi det var nødvendig med skjerpede krav og større fokus på energiutfordringene. Det ble lagt vekt på reduksjon, omlegging, tiltak

¹³ Powerpoint presentasjon av Brita Dagestad fra Statens bygningstekniske etat.

¹⁴ Energibruk i Bygg- Norsk teknologi.

i nye og eksisterende bygg og tiltak i driftsfasen og øvrige livsløpstrinn. TEK 10 hadde ikrafttredelse fra 1.7.10 og obligatorisk fra 1.7.11.

Verdiene for TEK97 som er listet opp i tabell 2.1, står i veiledningen til TEK97.

<i>Krav i passivhus</i>	<i>TEK10</i>	<i>TEK97</i>
0,6 luftvekslinger per time (50 Pa trykkforskjell)	2,5 luftvekslinger per time (50 Pa trykkforskjell) for småhus	4.0 luftvekslinger per time (50 Pa trykkforskjell) for småhus
	1,5 luftvekslinger per time (50 Pa trykkforskjell) for øvrige bygg	3.0 luftvekslinger per time (50 Pa trykkforskjell) for andre bygg med inntil to etasjer
		1,5 luftvekslinger per time (50 Pa trykkforskjell) for andre bygg over to etasjer

Tabell 2.1: Oversikt av ulike krav til lekkasjetall i de forskjellige forskriftene.¹⁵

2.2.2 Krav til energieffektivitet generelt

§ 14 -2 Energieffektivisering

En bygning skal være så energieffektiv at den enten tilfredsstiller de krav som er angitt i §14- 3; Energiltak eller kravene til samlet netto energibehov(energramme) angitt i §14- 4.

Minstekrav i §14- 5 skal uansett oppfylles enten §14-3 eller §14- 4 ligger til grunn.

For beregning av BRA legges definisjoner i NS 3940 til grunn

Figur 2.6. Utdrag fra Teknisk forskrift § 14-2.

Veiledning

- Nybyggkravene gjelder i utgangspunktet for all tilbygging/påbygging, uansett størrelse. I medhold av pbl. § 31-2 gjelder energikravene også for rehabiliteringstiltak. Dette omfatter vesentlig endring eller vesentlig reparasjon av tiltak, eksempelvis vindusutskiftning og omfattende strukturelle utbedringer på yttervegger og tak. Nye komponent- er skal være av samme energikvalitet som det kreves for nybygg.
- I henhold til pbl. § 31-2 fjerde ledd kan kommunen tillate ombygging også i tilfeller der nybyggkrav ikke oppfylles.
- Ved tilbygging og påbygging er det i de fleste tilfeller ikke hensiktsmessig å kreve oppfyllelse av installasjonstekniske krav. Det vil også være uhenktsmessig å kreve dokumentasjon av lekkasjetall, men nøyaktig utførelse og kjente tettingsmetoder bør anvendes.

Figur 2.7. Utdrag fra veiledning til Teknisk forskrift.

¹⁵ Byggemiljø- byggenæringens miljøsekretariat.

Det finnes to måter å tilfredsstille kravene til energieffektivisering; Energiltak og Energiramme. Nedenfor er de to alternativene beskrevet med utdrag fra Teknisk forskrift 2010 og med veiledning.

2.2.3 Energiltak

§ 14-3 Energiltak

1) Bygning skal ha følgende energikvaliteter:

a) **Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell:**

- småhus $\leq 2,5$ luftvekslinger pr. Time

- øvrige bygninger $\leq 1,5$ luftvekslinger pr. time.

Figur 2.8. Utdrag fra Teknisk forskrift § 14-3.

Veiledning

- Kravet til bygningens energieffektivitet oppfylles dersom det kan dokumenteres at samtlige energiltak i § 14-3 er gjennomført.
- Energiltakene grupperes i tre kategorier; transmisjonsvarmetap, infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap, samt øvrige tiltak. Inndelingen er valgt for å kunne utforme presise omfordelingsregler.
- Omfordeling mellom tiltak knyttet til transmisjonstap, infiltrasjonstap og ventilasjonstap godtas for boligbygninger. Robuste og langvarige løsninger knyttet til klimaskjermen bør gis prioritet. Det anbefales derfor ikke å redusere ventilasjonsvarmetapet på bekostning av transmisjons- og infiltrasjonsvarmetapet.
- Tillatt omfordeling dokumenteres ved å vise at varmetapstallet, som angir bygningens samlede spesifikke var- metap, ikke øker. Varmetapstall beregnes etter NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data.

Figur 2.9. Utdrag fra veiledning til Teknisk forskrift.

2.2.4 Energirammer

§ 14-4 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)

Totalt netto energibehov for bygget skal ikke overstige rammer gitt i følgende tabell

- 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 energirammene oppfylles for hver sone.

Figur 2.10. Utdrag fra Teknisk forskrift § 14-4.

Veiledning

- 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 skal inngå i kontrollberegningen. 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.
- Rammekravsnivået for småhus er uttrykt ved formelen: 120 + 1600/m² oppvarmet BRA.
- For bygningskomplekser med flere bruksfunksjoner må det dokumenteres at de ulike delene oppfyller rammekravet for aktuell bygningskategori.

Figur 2.11. Utdrag fra veiledning til Teknisk forskrift.

§ 14-5. Minstekrav

1) Følgende minstekrav skal oppfylles:

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:

a) 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

b) 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.

Figur 2.12. Utdrag fra Teknisk forskrift § 14-5.

Veiledning

- Både energitiltaksmodellen og rammekravsmodellen gir fleksibilitet med hensyn til hvilke energitiltak som gjennomføres. Minstekrav knyttet til varmeisolasjon og tetthet er innført for å sikre en akseptabel bygningskropp i alle nye bygninger.
- Kravet om isolering omfatter rør, utstyr og kanaler som avgir varme som ikke bidrar til å dekke bygningens varmebehov. Varmetap fra rør, utstyr og kanaler kan også medføre overtemperatur og et unødig kjølebehov.
- Det settes en øvre grense for produktet av U-verdi for glass/vindu/dører og andel glassareal i fasade av oppvarmet bruksareal (BRA). Med unntak for småhus skal produktet av U-verdien for glass/vindu/dør og andel vindus- og dørareal av bygningens oppvarmede BRA alltid være mindre enn 0,24

Figur 2.13. Utdrag fra veiledning til Teknisk forskrift.

2.2.5 Krav til energieffektivitet i bygninger i fremtiden

Det økte fokuset på energieffektivitet i samfunnet generelt har resultert i at trenden i byggebransjen har endret seg og de fleste aktører vil være med på utviklingen. Staten, og spesielt statsforetaket Enova har gjennom bevisstgjøringskampanjer bidratt til at forbrukerne har blitt mer bevisste på bygningers energiforbruk. I tillegg har energimerkingsordningen gjort at alle som skal selge, leie eller kjøpe bolig/bygg har et forhold til hvor mye energi bygget bruker. Dette har ført til at mye av det som bygges og rehabiliteres i dag av bygninger, bygges etter ”det grønne prinsippet” som vil si gjenbruk av materialer, grønne byggeplasser, miljøvennlige materialer og energieffektive bygg.

Det har skjedd dramatiske endringer i kravene de siste årene, og det er allerede en passivhus-standard, NS 3700 på vei inn i lovverket. En standard er ikke det samme som en lov, men det er svært ofte at det refereres til standarder i lovverket. I praksis betyr

dette at standarden er et verktøy som brukes for å tilfredsstillere kravene i lovverket. Passivhus- kravene er enda strengere enn kravene i TEK 10, og noe som antageligvis vil bli obligatorisk fra 2020, i følge statsråd Magnhild Meltveit Kleppa. Lavenergiutvalget har satt en tidsfrist innen 2020 på denne standarden.

Parallelt med at det arbeides med den nye standarden er det store aktører i bransjen som er med på å trekke utviklingen i riktig retning. Større entreprenører og kommuner setter seg mål strengere enn hva kravene kommer til å bli på lenge enda. Det er blant annet flere store aktører som har som mål å bare bygge etter passivhus- standarden innen 2015. Samtidig er det flere kommuner som i en byggherresituasjon vil kreve passivhus- standard på alle sine prosjekter.

Store deler av byggenæringen og staten er enig om hvor vi er på vei og at det er fullt mulig å nå disse målene. Men denne diskusjonen er dessverre ikke helt rosenrød og det finnes aktører i bransjen som setter på bremsene og sier at vi ennå ikke er klar og at teknologien og kunnskapen ikke er tilstrekkelig. Det er ofte de mindre aktørene som her kommer til kort. Det finnes unntak blant mindre aktører, og det er ikke alltid at de største aktørene er de beste, men kapasiteten er ofte noe som blir en flaskehals og som gir de større aktørene en fordel.

Kunnskapsflyten fra øverste hold og ned til tømrere og fagfolk på byggeplass er ikke tilfredsstillende i dag og det er derfor viktig å etterutdanne lærere slik at energieffektivisering blir et tema allerede i utdannelsen. Dersom vi klarer å spre kunnskap ut til alle involverte i byggeprosessen og gjør lufttetthet til et selvfølgelig fokusområde på alle nivå er det fullt mulig å nå passivhus- standard innen 2015.

2.2.6 Vurdering av norske krav i internasjonal sammenheng

Ved trykktesting bruker samtlige land 50 Pa. Flere land som f.eks. Sveits regner så om til 4Pa, slik at man får det lekkasjetallet som gjelder ved naturlig trykkforskjell.

Ved sammenligning med andre land er kravene i Norge blant de mer ambisiøse. Et eksempel er Nederland som har krav som strekker fra 2- 6,25 l/h m³ ved 50 Pa og Norge har krav fra 0,6- 2,5 l/h m³ ved 50 Pa¹⁶. Disse tallene argumenterer for at Norge stiller strenge krav, men Norge åpner ikke for bruk av naturlig eller mekanisk ventilasjon, noe Nederland gjør. Dette kan være noe av årsaken til det store spriket i kravene.

Et punkt som vekker ekstra stor interesse er at Nederland som nå også bygger plusshus har et minimumskrav til lufttetthet. Det vil si at de ikke vil ha tall lavere enn 1 l/h m³, og dermed argumenterer for at det ikke skal være helt lufttett. Dette er en diskusjon som fortsatt ikke er avgjort. Skal bygget være helt ”potte” tett, eller skal vi tillate at det kommer ukontrollerte luftmengder inn i konstruksjonen?

Et annet eksempel er Storbritannia som er det eneste landet som har krav om obligatorisk trykktesting av alle nybygg. Det utarbeides nå en ny standard, NS8450- kontroll av prosjektering og utførelse av byggearbeider. Den vil legge føringene for obligatorisk kontroll av alle nybygg i Norge. For lufttetthet vil dette si kontroll av dokumentasjon av lufttetthet.

¹⁶ AIVC- A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria

I Finland og Frankrike kan man ved å fremlegge bevis på høyt fokus på lufttetthet i byggeprosessen gjøre fratrekk i bygningens energiregnskap. I Finland gjelder dette i hovedsak for prefabrikkerte hus, mens det i Frankrike gjelder for alle som bygger. Denne løsningen må godkjennes av departementet basert på tester gjort på noen av ansvarliges tidligere bygg.

I UK prøvde de en liknende løsning ved at de hadde et register med robuste detaljløsninger for boliger som dersom man fulgte disse ville gi god lufttetthet. Målinger i ettertid viser at mange av byggene slett ikke ble lufttette på tross av registeret ble fulgt.

Ved en trykktest er det mulig å benytte metode A eller B. Ulike land benytter ulike metode. Ved bruk av metode B, som er den som blir brukt i Norge skal varme- og ventilasjonsanlegg være skrudd av og alle åpninger tettet. Ved bruk av metode A skal varme- og ventilasjonsanlegg være skrudd på. Disse forutsetningene gjør at testene vil få veldig forskjellige resultater. En tommelregel er at det blir lagt på 0,5 på lekkasjetallet for å regne om fra metode B til metode A.

Hvilken metode som er den beste og mest effektive kan diskuteres, og begge testmetoder har både positive og negative sider.

2.3 Hvordan og hvem kontrollerer at det gjøres i henhold til kravene?

Jamfør PBLs § 14-6¹⁷ skal det gjennomføres en uavhengig kontroll av lufttetthet i nye boliger. I tillegg er det krav om kontroll i fritidsboliger med mer enn en boenhet. Ansvarlig kontrollerende skal kontrollere at det er gjennomført tilstrekkelig prosjektering av fuktsikring, herunder utforming av viktige løsninger, og at det foreligger nødvendig produksjonsunderlag innenfor kontrollområdet. Det er forskjellige krav til hva som skal kontrolleres avhengig av hvilken tiltaksklasse bygget har;

- Alle tiltaksklasser; Obligatorisk kontroll av: fuktsikring, våtrom og lufttetthet
- Tiltaksklasse 1 og 2; Obligatorisk kontroll av: geoteknikk, brannsikkerhet, konstruksjonssikkerhet, begrenset kontroll av bygningsfysikk

NS8450¹⁸- kontroll av prosjektering og utførelse av byggearbeider, angir bestemmelser for kontroll av prosjektering og kontroll av utførelse på alle installasjonstekniske og bygningstekniske arbeider på alle områder unntatt bærende konstruksjoner. Konstruksjonssikkerheten dekkes av NS- EN 1990- Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.

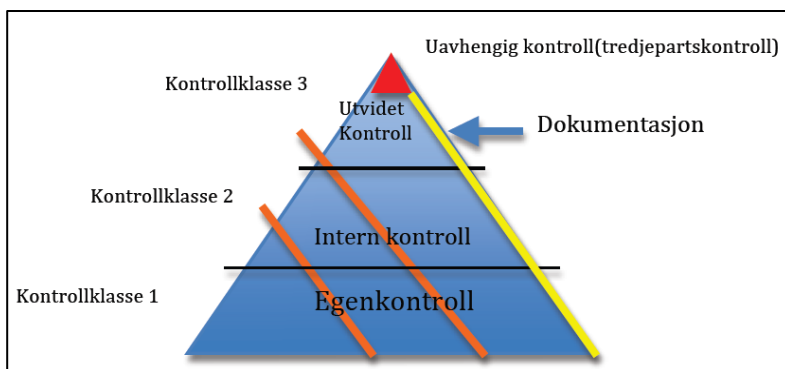
NS8450 er foreløpig på høring og har inntil videre blitt utsatt.

Det mest vesentlig med denne standarden er den uavhengige kontrollen (tredjepartskontrollen). Denne kontrollen skal bekrefte og dokumentere at utvidet kontroll har vært utført. Kontrollen utføres av personer som ikke er involvert i prosjektet, slik at det ikke blir spørsmål om habilitet.

¹⁷ Statens bygningstekniske etat.

¹⁸ www.standard.no

NS8450 har obligatorisk måling og dokumentasjon av lufttetthet for tiltaksklasse 3 ved detaljprosjektering og utførelse. Det er det samme kravet til tiltaksklasse 2 i konseptfase.¹⁹ Målet med uavhengig kontroll er å bedre kvaliteten, redusere byggefeil, hindre alvorlige ulykker og spare kostnader både for samfunnet og brukerne av bygget.



Figur 2.14. Illustrasjon av nivå for kontroll. Kontrollklasse 1 har litt intern kontroll og mye egenkontroll. Kontrollklasse 2 har litt utvidet kontroll og mye intern og egenkontroll. Kontrollklasse 3 har både utvidet, intern og egenkontroll. I tillegg vil kontrollklasse 3 få en uavhengig kontroll, vist ved den røde trekanten. Den gule streken viser at det må finnes dokumentasjon ved alle kontroller.

Hvem som utfører kontrollen bestemmes ut i fra hvilken kontrollklasse og type kontroll som skal utføres. Dette er beskrevet under definisjoner nedenfor.

2.3.1 Definisjoner i NS8450

Egenkontroll. Kontroll utført av den/de som har utført arbeidet som kontrolleres.

Internkontroll. Kontroll utført av foretak som selv eller ved bruk av underleverandør har gjort arbeidet som kontrolleres. Kontrollen inkluderer tverrfaglig kontroll av grensesnittet mot alle fag og utføres i henhold til interne systemer.

Ekstern kontroll. Kontroll som utføres i regi av byggherren.

Utvidet kontroll. Kontroll i regi av byggherren, utført av byggherrens eget foretak eller et engasjert foretak. Det forutsettes en viss organisatorisk avstand mellom den som kontrollerer og den som har utført arbeidet som kontrolleres. Dette kan gjøres av byggherrens egen organisasjon.

Uavhengig kontroll. Kontroll utført av et annet foretak enn det foretak som har utført arbeid som kontrolleres. Det stilles krav til organisatorisk uavhengighet. Kontrollen skal bekrefte at utvidet kontroll er gjennomført. Dette kan være ved å bare se at det foreligger dokumenter på utvidet kontroll eller å se at det blir utført.

Dokumentasjon av utført kontroll skal utarbeides slik at det har et enkelt grensesnitt for eventuelt kommunalt tilsyn. Dette er slik NS8450 beskriver hvordan og hvem som skal kontrollere. Det finnes gode kvalitetssystemer både internt og eksternt i dag, men dette er opp til hvert enkelt firma. Det er derfor viktig å få en felles standard for kvalitetssikring som gjelder for hele bransjen.

¹⁹ prNS8450

2.3.2 Vurdering av kontrollkrav

Det er fortsatt stor uenighet om hvem som burde og skal kontrollere og kvalitetssikre at det som er prosjektert blir utført på byggeplass. Under høringen av den nye standarden NS8450 vinteren 2011, ble det foreslått at den som tegner detaljene også skal kontrollere dem. Dette kan virke fornuftig med tanke på at den/de kjenner detaljen og bygget veldig bra siden den/de selv har tegnet detaljene. I dag er det ansvarlig kontrollerende som gjør dette, som da ofte også er ansvarlig utførende. Ansvarlig utførende har en prosjekteringsleder som er leddet til ansvarlig prosjekterende/ARK/RIB og som tar imot detaljtegninger og sjekker at disse er i henhold til krav og at de er gjennomførbare på byggeplass.

Diskusjonen rundt hvem som skal kontrollere bygger på at ingen av partene er interessert i å gå i sømmene på hverandre og føler at dette kan bli litt ubehagelig. Spørsmålet er om man heller burde samarbeide tidligere i prosessen, slik at prosjekteringsleder fra utførende kan komme tidligere inn i prosessen og få innvirke på detaljene. Dette er ofte ikke mulig i dag grunnet at det er arkitekten som tegner detaljene.

Sintef Byggforsk er en viktig støttespiller for flere bedrifter innen byggebransjen i dag og flere aktører har en gjennomgang av detaljer med dem. Dette er svært positivt, men hvis alle aktører skulle ha gått til Sintef med alle sine detaljer på hvert eneste prosjekt, så ville de nok måtte utvide virksomheten betraktelig. Derfor er det viktig at hver og en bedrift har et godt kvalitetssikringssystem som vil fange opp eventuelle feil og risikoområder ved detaljprosjektering. Det er svært viktig å fange opp dette på et tidlig tidspunkt, slik at man ikke må bruke tid og ressurser på utbedringer og i verste fall riving.

Alle bransjens aktører har kvalitetssikringssystemer ettersom det er lovpålagt. Likevel er det ikke alle som har et kvalitetssikringssystem som fungerer, eller som i det hele tatt benyttes.

2.4 Normaliserte begreper for lufttetthet

For å kunne sammenlikne lufttettheten i ulike bygg er det nødvendig og normalisere måleresultatet i forhold til byggets størrelse. I Norge opererer vi med lekkasjetall for å dokumentere lufttetthet. I TEK stilles det krav til luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell. Dette er begrepet som benyttes i TEK.

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

hvor:

- \dot{V}_{50} er samlet lekkasjeluftmengde (m³/h) ved 50 Pa
- V er volum av målt del (m³)

Volum av målt del, V (m³), er det oppvarmede volumet som ligger innenfor klimaskjermen, det vil si innenfor konstruksjoner med indre tettesjikt. Volum av innvendige vegger skal medregnes, men ikke volum av mellombjelkelag.²⁰

Figur 2.15. Utdrag fra Sintef Byggforsks detaljblad 720.035- Måling av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden.

Mens Norge ser på lekkasjeluftmengde i forhold til volum (n_{50}) av bygget, ser man i Danmark på lekkasjeluftmengde i forhold til m²(w50) gulv. I Tyskland er det et forhold av enten m² gulv eller m² (q50) fasade som vurderes.

Alle disse forholdstallene gir en indikasjon på hvor lufttett bygget faktisk er. Men skal man dele lekkasjeluftmengden på noe, burde det kanskje være noe som er tilknyttet, eller sier noe om muligheten for utettheter. De fleste utettheter er tilknyttet byggets fasade, enten det er utettheter rundt vinduer og dører, langs tilslutning gulv og grunnmur eller liknende. Risikoen for utettheter øker per løpemeter med slike tilslutninger. Burde ikke byggets lekkasjeluftmengde deles på noe som favner om risikoen for utettheter?

q50

Denne enheten kalles også Minneapolis Leakage Ratio. Å benytte m² fasade som dele-enhet ved kontroll av et ferdig bygg kan være fornuftig. Det anbefales å ta med alle fasader som tilstøter uoppvarmede volumer, enten det er yttervegg eller gulv til kaldt kryprom. Det er i fasaden de fleste lekkasjene vil finne sted og fare for utettheter øker parallelt med økt fasadeareal i og med at økt fasadeareal innebærer lengre tilslutningsområder og flere skjøter. Likevel vil en slik enhet være lite hensiktsmessig

²⁰ SINTEF Byggforsk. 720.035Måling av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden.

for målinger av enkelte enheter i et større bygg, fordi fasadeareal i en slik enhet ikke er representativt for areal med mulige lekkasjepunkter. Her vil man jo også være opptatt av internlekkasjer. Dersom man i stedet for å si m^2 fasade utvider begrepet til m^2 avgrensning rundt enhet, vil man ivareta begge situasjoner. Enhetens mest negative side er at fasadeareal ikke er et mål som blir brukt til noe annet i særlig stor grad. Det vil si at det må gjøres egne beregninger for å finne denne størrelsen, noe som er tungvint.

w50

Dersom man benytter m^2 gulv vil dette gi et mindre spesifisert resultat da omkretsen på gulvet og dermed også fasade arealet kan variere veldig på det samme gulvarealet. Gulvarealet i seg selv har ikke veldig mange luftlekkasjer, men fordelene med denne løsningen er at gulvarealet er lett tilgjengelig. Det er en vanlig opplysning i et prosjekt i motsetning til for eksempel fasadeareal. Ved en slik beregning benytter man egentlig bare gulvarealet til å indikere byggets størrelse.

n50

I Norge deler vi i dag lekkasjeluftmengden på volum, noe som for så vidt er godt egnet med tanke på at den fungerer like bra på en enhetsmåling som på en måling av et helt bygg. Likevel har den samme svakhet som hvis man benytter m^2 gulv, et volum kan ha veldig variert form og dermed variert fare for utettheter. Fordelen med volum er at her tar man også hensyn til takhøyde. Volumet vi bruker er som definert over inklusive innervegger, men eksklusiv etasjeskiller. Her er det uenighet i bransjen om hvor vidt dette er riktig eller ikke. Tanken rundt å ta med innerveggene men utelate etasjeskiller bygger på antakelsen om at innerveggene ikke er lufttett, mens etasjeskillet er det. Innervegger blir stadig tettere etter hvert som lyd- og brannkrav blir strengere, men uavhengig hvor tett de er så blir det feil og anta at de er så åpne at luften kan strøkke fritt. Når det gjelder etasjeskiller vil det være fornuftig og utelate deres volum så lenge det er etasjeskiller av betong fordi den da er veldig lufttett. Dersom etasjeskillet består av bjelkelag vil det kunne være betydelig mye mer åpent for luftgjennomstrømninger. Det er med andre ord ikke et åpenbart riktig svar på hvordan volumet burde beregnes.

Hovedfordelen med n50 er at den lett kan benyttes som input verdi i luftstrøms simuleringsprogram. Likevel har man i energisimuleringsprogrammer oftere fasadeareal som input noe som hjelper i q50s favør.

En felles svakhet ved disse tre hovedenhetene er at definisjonene varierer fra land til land.

Det ble på et møte mellom representanter fra flere land konkludert med at det mest passende forholdet og se på var forholdet mellom lekkasjeluftmengde og volum ved sammenlikning internasjonalt.

Hvilke av normaliserte begrepene for lekkasjeluftmengde som benyttes setter ulike nivå på ulike krav. Når man skal sammenlikne lekkasjeluftmengde internasjonalt er det derfor viktig å være obs på dette for at målingene skal være sammenliknbare. En ting som kan være oppsiktsvekkende er at disse kravene til tider har sammenfallende verdier, men med to forskjellige begreper for lekkasjeluftmengde. Tyskland og Norge har begge et krav på 3,0, men Norges enhet til kravet er $m^3/h/m^3$ og Tysklands enhet er $m^3/h/m^2$ - fasade. Hvilket av disse kravene er strengest? Det er noe som vil variere fra bygg til bygg. Det er ingen tvil om at man burde vedtatt en felles internasjonal enhet for

lekkasjeluftmengde. Årsaken til at dette ikke er gjort skyldes først og fremst at hvert land selv legger føringene for dette, men det har nok også litt og si at det ikke er en åpenbar enhet å benytte.

Ideelt sett skulle man delt lekkasjeluftmengden på antall løpemeter detaljløsninger. Problemet med denne løsningen i dag er at man da må beregne denne lengden, noe som krever tid og mye informasjon om bygget. Kanskje er dette noe man kan gå over til etter hvert som bruk av BIM blir vanlig i bransjen. Da vil man, med et par tastetrykk få ut disse lengdene. Kanskje det er dit vi skal på sikt. Veien er lang, men det er jo kjekt å gå.

	Naturlig ventilasjon	Mekanisk ventilasjon
NO	3,0 h ⁻¹	
UK	10 (m ³ /h)/m ² _{gulv} for bygninger over 500 m ²	
DK	5.4 (m ³ /h)/m ² _{gulv}	
DE	3,0 h ⁻¹ eller 7.8 (m ³ /h)/m ² _{gulv}	1,5 h ⁻¹ eller 3.9 (m ³ /h)/m ² _{gulv}
	3.0 (m ³ /h)/m ² _{fasade}	
CZ	4,5 h ⁻¹	med varmegjenvinning: 1,0 h ⁻¹ uten varmegjenvinning: 1,5 h ⁻¹
NL	boliger: 200 l/s (ved 10 Pa) næringsbygg: 200 l/s per 500 m ³ (ved 10 Pa)	

Tabell 2.2. Minstekrav til lekkasjeluftmengde (målt ved 50 Pa trykkforskjell) i noen land.²¹

2.5 Kravet til ventilasjon

I følge veiledningen i TEK representerer ventilasjon inkludert kjøling 10- 15 % av energibudsjettet til en bolig og 30-50 % for yrkesbygg.

2.5.1 Krav til ventilasjon generelt

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 \$ 2,5 kW/(m³ /s)
 - øvrige bygninger \$ 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 energitiltak i bokstav a og b fravikes, forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker.
- 3) For øvrige bygninger kan energitiltak i bokstav a fravikes, forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker.

Figur 2.16. Utdrag fra Teknisk forskrift § 14-3. Energitiltak.

²¹ "Analyse og sammenlikning av krav til energieffektivitet i bygg i Norden og Europa" av SINTEF Byggforsk.

Veiledning

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. Det anbefales derfor ikke å redusere ventilasjonsvarmetapet på bekostning av transmisjons- og infiltrasjonsvarmetapet. Tillatt omfordeling dokumenteres ved å vise at varmetapstallet, som angir bygningens samlede spesifikke varmetap, ikke øker. Varmetapstall beregnes etter NS 3031 Beregninger av bygningers energiytelse-Metode og data.

Figur 2.17. Utdrag fra veiledning til Teknisk forskrift.

2.5.2 Ventilasjonskrav for yrkesbygg

§ 13-3. Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning

1) I byggverk for publikum og arbeidsbygning skal frisklufttilførsel på grunn av forurensninger fra personer med lett aktivitet være minimum 26 m³ pr. time pr. person. Ved høyere aktivitet skal frisklufttilførsel økes slik at luftkvaliteten blir tilfredsstillende.

2) Friskluft på grunn av lukt og irritasjonseffekter fra stoffer som avgis fra bygningsmaterialer og inventar, skal minimum være 2,5 m³ pr. time pr. m² gulvareal når bygningen eller rommene er bruk. Frisklufttilførsel når bygningen eller rommene ikke er i bruk skal være minimum 0,7 m³ pr. time pr. m² gulvareal.

Figur 2.18. Utdrag fra Teknisk forskrift.

Veiledning

Nødvendig minimum lufttilførsel er avhengig av antall brukere av bygget, materialbruk i bygget og aktivitet i bygget.

- A) Normalt 7- 10 l/s, person
- B) På grunn av materialbruk 0,7- 2,0 l/s, m² gulvareal.
- C) Verdi avhengig av aktivitet i bygget

Endelig minimumsverdi er den høyeste av A+B og C.

Praksis i dag

Utviklingen innen ventilasjon går veldig fort. Status for dagens yrkesbygg er at man har gått fra den tidligere balanserte ventilasjonen med kjølebaffel i hvert rom. Dette var en veldig populær løsning fordi man da manuelt kunne regulere temperaturen i hvert rom. Ulempen med løsningen er at den er lite energieffektiv. Etter de nye kravene i TEK har man gått over til VAV- ventilasjon (Variable Air Volume). Dette er en behovstyrt ventilasjon som regulerer luftutskifting og temperatur etter aktiviteten i rommet. Ventilasjonen skrur opp når man entrer rommet og skrur ned når man forlater det. På den måten unngår man oppvarming av rom som ikke er i bruk, samt unødig energi til drifting av vifter. Disse systemene krever et større kanaltverrsnitt noe som gjør dem først og fremst egnet for større bygg. Sentralkjøling gjennom ventilasjonsanlegget antas å være nok, noe som vil si at systemet kan måtte bli dimensjonert for større luftutskiftinger enn hva som er minstekravet for ventilerings.

En annen form for ventilasjon som forsøkes i de dristige delene av bransjen er hybridventilasjon. I slike løsninger kombinerer man prinsipper bak naturlig og balansert ventilasjon. De naturlige drivkreftene ved naturlig ventilasjon utnyttes i kombinasjon med mekanisk styring, noe som krever mindre viftedrift og dermed mindre tilført energi enn et vanlig balansert anlegg. Løsningen kan gi;

- Svært lavt støynivå.
- God luftkvalitet.
- Mulighet for bruker/behovsstyring og passiv kjøling ved at luftføringsveiene integreres i bygningskroppen og tunge bygningselementer eksponeres.
- Stor grad av vedlikeholds-/rengjøringsvennlighet.

Utfordringen ved løsningen er at den legger sterke føringer for den arkitektoniske utformingen av bygget ettersom luften må ha "veier å vandre" uten å legges i rør. For å oppnå dette må man ha et godt samspill særlig mellom arkitekt og VVS-rådgiver/-entreprenør slik at bygningstekniske, installasjonstekniske og arkitektoniske løsninger sees i sammenheng fra starten av prosjekteringen. Dette er som kjent ikke vanlig praksis i dag og krever derfor vilje fra alle parter i prosjektet.

Det totale markedet for yrkesbygg har vokst de siste ti årene fra 250 000 m² til 350 000 m².²² i løpet av denne perioden har det også vært en markant forbedring innen energieffektiviteten på ventilasjonsanleggene.

2.5.3 Ventilasjonskrav i boliger

§ 13-2. Ventilasjon i boenhet

1) I boenhet skal rom for varig opphold ha ventilasjon som sikrer frisklufttilførsel på minimum 1,2 m³ pr. time pr. m²

gulvareal når rommene eller boenheten er i bruk og minimum 0,7 m³ pr. time pr. m² gulvareal når rommene eller boenheten

ikke er i bruk.

2) Soverom skal tilføres minimum 26 m³ friskluft pr. time pr. sengeplass når rommet eller boenheten er i bruk. Rom

som ikke er beregnet for varig opphold skal ha ventilasjon som sikrer 0,7 m³ friskluft pr. time pr. m² gulvareal. Kjøkken, sanitærrom og våtrom skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet.

Figur 2.19. Utdrag fra Teknisk forskrift.

Veiledning

Veiledningen påpeker at for å tilfredsstille kravene til luftkvalitet og kravene til energieffektivitet, må en bolig vanligvis ha installasjoner for balansert ventilasjon. Videre anbefales balansert ventilasjon fordi det også kan bidra til redusert innstrømming av radon i boligen.

22 AIVC- VIP30, "An overview of national trends related to innovative ventilation systems".

Praksis i dag

I Norge er det en sakte men sikker utvikling mot en mer industrialisert byggeprosess, spesielt for boliger. Dette gjelder også for ventilasjon. Det er mindre håndkraft og mer hurtig montering.

Ventilasjonsinstallasjoner er i større og større grad basert på intelligente produkter, "plug and play". Det er også en klar trend at tradisjonelle ventilasjons-entreprenører utvider fagfeltet sitt og tilbyr design, installering og vedlikehold på alle tekniske installasjoner og annen bygningsautomatisering.

Ca. 50 % av alle nye boliger er leiligheter. De siste ti årene har boligventilasjonen forbedret seg betraktelig men leilighetsventilasjon er ofte mangelfull på grunn av dårlig installasjon. Et stort problem i dag er funksjonsfeil ved kjøkkenvifter fordi de har for liten kapasitet (30 l/s) og er moderne og for fritt plassert. Tidligere var det et problem med for stor kapasitet på disse slik at man fikk et undertrykk i bygget hver gang man benyttet kjøkkenviften. Her har leverandørene en jobb og gjøre med å utarbeide en løsning med riktig kapasitet og utforming til å fange opp os og fukt fra kjøkkenaktivitet.

I eksisterende bebyggelse har de fleste eneboliger ventilasjonsløsninger som tilfredsstillende minimumskravene, men det er mange leiligheter som har så simple løsninger at minimumskravene ikke nåes. Eldre bebyggelse har sjelden tilfredsstillende løsninger.

I dagens nye boliger installeres det balansert ventilasjon med varmegjenvinner. Systemene kan ofte bare stilles inn på en temperatur i alle rom og ventilerer alle rom like mye. Anlegget kan enten installeres sentralt for flere boenheter eller lokalt for hver enkelt boenhet.

Sentral installering: I slike tilfeller plasserer man aggregatet helst i et eget teknisk rom i kjelleren. Det er her temperaturen kan stilles inn, så alle boenhetene vil måtte få den samme temperaturen på tilluften. Fordelen med sentral plassering er at den krever mye mindre plass per boenhet, både med tanke på rørføringer og aggregatplass. Ved en slik løsning vil man måtte installere radiatorer eller liknende i hver boenhet for å ivareta muligheten til individuell temperaturstyring. Anlegg som dette har kryssvarmeveksler som holder avtrekksluften og tilluften avskilt for å unngå luktsmitte. Dette gjør at varmegjennvinningsgraden blir noe redusert.

En slik løsning vil kreve en felles løsning for drift og vedlikehold av anlegget. Praksis i dag er at entreprenør opparbeider en serviceavtale med leverandør av anlegget. Denne overføres til kjøper ved overtakelse og varer ofte i et år. Deretter er det opp til kjøper å vedlikeholde eller endre denne serviceavtalen. Kjøper vil ved slike leilighetsbygg ofte være et sameie eller borettslag, representert av et styre av utvalgte beboere. De er ute etter å kutte kostnader og i kombinasjon med manglende kompetanse kan dette resultere i at oppfølging av serviceavtale uteblir slik at filterne ikke blir byttet. Dette tærer veldig på anlegget og kan i verste fall ugyldiggjøre garantien fra leverandøren. Men viktigst av alt har dette en alvorlig innvirkning på inn klima i boenhetene. For å unngå dette bør kjøper opplyses ettertrykkelig om viktigheten av å ivareta en slik serviceavtale etter overtakelse.



Figur 2.20. Ventilasjonsfilter i sentralt installert system i et boligbygg hvor kontraktsforhold for drift og vedlikehold av anlegget ikke har blitt ivaretatt. Filteret som i utgangspunktet skulle vært byttet to ganger årlig har her ikke blitt byttet på over et år. Bildet er tatt etter at vaktmesteren har ristet filteret, så det har vært enda verre enn bildet viser.

Lokal installering: Ved lokal installasjon har hver boenhet et eget anlegg. Det vil si at hver beboer kan stille ønsket temperatur i sin boenhet. Et slikt anlegg er ofte utstyrt med trommelvarmeveksler, noe som innebærer at avtrekksluft og tilluft er i noe kontakt med hverandre. Det vil dermed bli noe luktsmitte. Hovedutfordringen ved denne løsningen er brukergrensesnittet. Her har hver boenhet et filter som må byttes ut. Dette er i utgangspunktet ikke noen vanskelig operasjon, problemet ligger i forståelsen for at det faktisk må gjøres. Her møter man som nyinnflyttet beboer ofte en FDV- perm eller liknende som forteller hvordan og hvor ofte dette skal gjøres. Slike permer blir sjeldent lest dessverre, noe som resulterer i dårlig vedlikeholdte anlegg. Her har bransjen noe å strekke seg etter. Ved overtakelse bør overtaker få en kort og praktisk innføring i drift og vedlikehold av anlegget.

2.5.4 Går utviklingen i riktig retning?

En uttalt politisk oppmerksomhet i forbindelse med de nye energikravene for boliger er å redusere ukontrollerbare luftlekkasjer men ivareta et godt inneklima. I praksis vil dette bety at ventilasjon med varmegjenvinning blir obligatorisk.

Ved å ha så spesifikke momenter i kravene legger man føringer for bransjens utvikling innen bruk av nye teknologiske løsninger. En slik innstramming gjør at man unngår en del dårlige løsninger som tidligere har vært benyttet, og på den måten sikrer en hvis kvalitet på nybygg. Dette er positivt. En annen effekt av kravet er at det vil kunne legge begrensninger på bransjens mulighet til å tenke innovativt og komme med nye gode løsninger innenfor ventilasjon.

Det er en pågående debatt rundt dette kravet. Mange mener det er veldig uheldig og at VVS- bransjen ikke er kommet langt nok i utviklingen til å kunne levere gode, brukervennlige system til forskjellige typer bygg. En undersøkelse gjort på passivhus og ventilasjon i Sverige viste at nesten alle systemene var defekt eller ute av drift fordi de var for kompliserte. Folk flest er ikke vant med å vedlikeholde ventilasjonssystemet i boligen sin, noe som ofte fører til at filtre ikke blir skiftet på årevis og skaper dårlig, og i verste fall, farlig inneklima.²³ Et annet problem med balansert ventilasjon er at den sjelden forenes godt med beboerens bruk av boligen. Vil man gjerne ha det varmt i stuen men kaldt på soverommet, tyr mange til den gamle løsningen med og åpne et vindu. Dette gir store utslag i energiforbruket til ventilasjonsanlegg og eventuell annen

²³ www.tu.no “- Passivhus er teknologisk overmot.”

oppvarmingsløsning, og det som skulle være en energiøkonomisk løsning, blir et energisluk.

Arkitekt Bjørn Berge fra Gaia Lista er blant en av motstanderne til det nye kravet. Han mener man kan finne en bedre løsning med bearbeidet naturlig ventilasjon som har samme effekten og samtidig er enklere for brukere å håndtere. Hvorvidt dette er mulig kan man stille seg kritisk til for det er ikke lett å oppfylle kravene til luftskifte med en naturdrevet løsning. Men at det finnes fagfolk med slike meninger angående ventilasjon, tyder på at utviklingspotensialet for nye alternative løsninger er stort. Dette potensialet vil ikke bli utnyttet så lenge det er tilnærmet lovpålagt med balansert ventilasjon. Energikravene i dag gjør at vi legger alle eggene i samme kurv ved å satse på en løsning, vi får bare håpe at det er den rette løsningen.

3.0 Metode

3.1 Måling av lufttetthet

3.1.1 Prinsipp

Hovedprinsippet ved en trykktest er at man skaper et over- eller undertrykk i bygget slik at man fremprovoserer luftstrømmer i de utetthetene som måtte befinne seg i bygningskroppen. Videre vil man kunne måle størrelsen på luftstrømmene samt lokalisere og vurdere dem. Til dette finnes det diverse utstyr og metoder.

3.1.2 Typer målinger

Tidligfase

Måling i tidligfase vil si måling etter at vindtettsjiktet er montert, men før isolasjon og dampspærre er satt inn. Hensikten med en tidligtest er at man får testet tettheten i bare det enkelte sjiktet og ikke veggen i sin helhet. Når man tester i tidlig fase er det bare nødvendig å gjøre en undertrykkstest. Da vil man få luftlekkasjene inn og dermed lettere identifisere dem. Det vil være lite eller ingen temperaturdifferanse mellom inne og ute ved en slik test ettersom isolasjonen ikke er montert. Dette gjør at bruk av termograferingskamera krever forhåndsoppvarming av testvolum og effektivitet i testen da den oppbygde temperaturdifferansen jevnes ut forholdsvis fort.

Lekkasjetallet man måler ved en slik test er av mindre betydning i forhold til oppnåelse av krav. Det vil senere komme et dampspærresjikt som også kan stå for tettheten ved byggeslutt. Likevel bør man strebe etter et godt lekkasjetall også ved denne testen da et dårlig kan gi redusert isolasjonsevne i veggen. Den viktigste kontrollen som gjøres ved tidligtest er kontroll av detaljløsninger og utførelsen av disse. Dette gjør det mulig å korrigere gjennomgående feil for den videre byggeprosessen.

Ved soneavgrensing i tidligfase må en ofte benytte provisoriske vegger av plast fordi innervegger ikke er satt opp enda. Ulempen med dette er at det er resurs- og tidkrevende og sette opp. Men på den andre siden vil man, dersom de bygges skikkelig, kunne ha en bedre kontroll på internlekkasjer.

Slutfase

Testing i slutfase vil si testing når bygget er innflyttingsklart. Veggene er ferdige og lukket. Det vil være en god temperatur differanse mellom inne og ute, noe som gir gode forhold for termografering.

Ved en slutt- test er det endelig lekkasjetall som bestemmes. Det gjøres ved først å kjøre undertrykk i volumet og deretter overtrykk for så å regne middelverdien mellom de to måleverdiene.

Ved sluttmålinger benytter man sjelden provisoriske volumavgrensninger. Her er det i hovedsak innervegger og selvfølgelig klimaskallet som avgrenser. Utfordringen med

dette er internlekkasjene. Man er prisgitt godt fagarbeid på innerveggene for å minimalisere feilkildene ved målingen. Man vil under testen kunne lete etter større internlekkasjer og gjøre tett tiltak før man måler endelig lekkasjetall.

Internlekkasje

Interne lekkasjer er noe en må håndtere ved de fleste trykktester. Det kan være lekkasjer til naboenheter, korridorer også videre, dersom man trykktester en avgrenset sone i et større bygg. I tillegg kan man ha internlekkasjer gjennom de provisoriske veggene som bygges.

Internlekkasjer av den første typen kan være av interesse å få registrert og rettet på da det kan ha innvirkning på enhetens inn klima i forhold til lukt, smittefare og støy fra naboenheter. Internlekkasjer gjennom provisoriske vegger vil være en feilkilde ved testen i og med at de påvirker resultatene på bygningselementene man faktisk ønsker å teste.

Ved en slutt test er det først og fremst lekkasjer ut av klimaskjermen som skal registreres. Men krav til endelig lekkasjetall gjelder også dersom man bare måler en avgrenset enhet i bygget, og da vil internlekkasjer også inngå i målingene. Dersom man har et ønske om å bare kontrollere klimaskjermen i en sone som også har avgrensninger til andre enheter, kan man eliminere internlekkasjene. Det kan man gjøre ved å benytte støttetrykk i de omkringliggende enhetene mens man måler. Det vil si at man lager tilsvarende over- eller undertrykk i de omkringliggende volumene som det man har i testsonen. På den måten vil ikke luft strømme gjennom utettheter til naboene, men bare ut klimaskjermen der det vil være en trykkforskjell. Ved trykktesting av leiligheter er dette en god måte og få et bedre testresultat på. Kravet i TEK retter seg bare mot lekkasjetallet til volumet som måles uavhengig hva volumet grenser til.

3.2 Målemetoder

Måling kan skje enten ved en transportabel vifte (Blowerdoor) eller bygningens ventilasjonsanlegg.

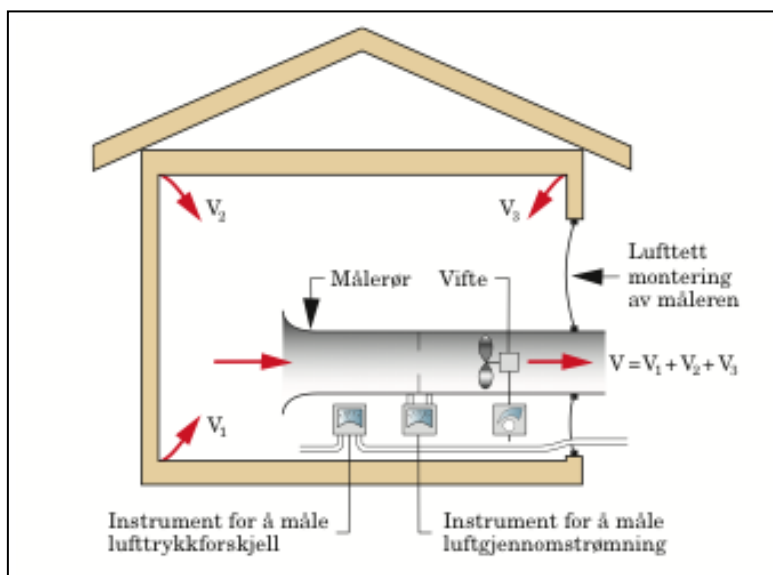
3.2.1 Trykktesting med Blowerdoor

Bruksområder

- Dokumentasjon av et byggs lufttetthet.
- Estimere naturlig infiltrasjonsrate i bygg.
- Måle og dokumentere effekten av tett tiltak.
- Måle rørlekkasjer i ventilasjonsanlegg.

Måleutstyr:²⁴

- Målerør med vifte med turtallsregulator og en spesiell datamaskin for registrering av luftgjennomstrømning (manometer og blende e.l.)
- Ramme med plastduk eller annen anordning for tett innmontering av vifte i åpning i ytterkonstruksjonen.
- Utstyr for registrering av data.



Figur 3.1. Illustrasjon av trykktesting med transportabel vifte.²⁵

Metode A og B

Metode A: Trykktesting etter metode A vil si at man trykktester bygget eller sonen i sin driftstilstand. Med det menes at man her ikke lukker noen ventiler eller sperrer ventilasjonsanlegget. På den måten blir det en måling av lekkasjetallet til bygget eller sonen som helhet inkludert tekniske installasjoner etc. En slik test vil ikke gi noen indikasjon på lufttettheten til klimaskjermen.

Metode B: Trykktesting etter metode B skjer ved å stenge alle luftinntak i bygningen som ventiler, vifter, ventilatorer, piper/ildsteder, sluk m.m. Alle naturlige luftpassasjer skal stenges for å finne eventuelle lekkasjer i konstruksjonen som ikke skal forekomme. Det er med andre ord klimaskjermens lekkasjetall som måles.

Gjennomføring av test

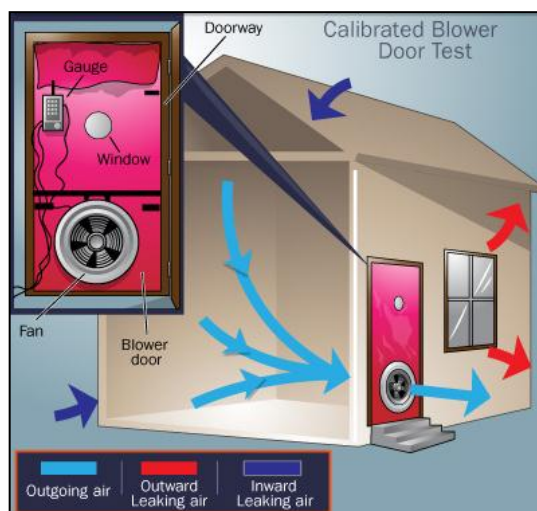
Den store viften monteres i ytterdøren eller i døren inn til enheten som skal testes. En tett duk rundt viften stenger all luftgjennomstrømning via døråpningen. En datamaskin med et analyseprogram som for eksempel TECTITE kobles til viften. Denne vil ta i mot

²⁴ Sintef byggforsk- 720.035 Målinger av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden.

²⁵ Figur fra Sintef Byggforsk.

registreringer på hvor stor luftmengde som transporteres gjennom viften og effekten den har på over- eller undertrykket i bygget. Jo tettere bygget er desto mindre luft må viften transportere for å opprettholde trykkforskjellen. På grunnlag av disse registreringene beregner programmet luftutskiftningen i bygget per time. Ved å blåse luften ut, skapes det et undertrykk inne i bygningen og ved å snu viften kan vi lage et overtrykk inne. For å få en mest mulig realistisk test, lages det inne et undertrykk med 6- 10 variable trykkverdier, gjennomsnittlig 50 pascal. Viften går ofte opp til 60 Pa før den søker seg ned i verdi mot 50 Pa og lavere.

Ved undertrykk suges luft inn gjennom alle utettheter i bygget og utstyret måler hvor mange liter luft som lekker inn i bygningen pr. tidsenhet. Et lekkasjetall vil vises på dataskjermen og hvis dette ikke er tilfredsstillende, brukes termograferingskamera og manometer for å lokalisere utettheter og registrere størrelsen på disse. Dette gir en indikasjon på hvilke utbedringer som må foretas. Selve trykktesten tar vanligvis ikke mer enn 20 min. inkludert rigging av utstyr.

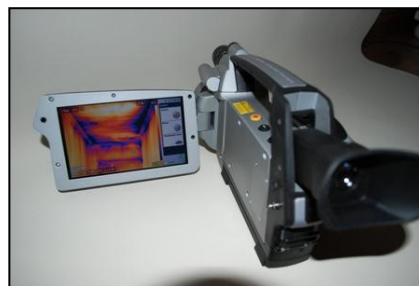


Figur 3.2. Illustrasjon av trykktesting med Blowerdoor²⁶

Crusing- Identifisering og vurdering av luftlekkasjer

Etter at en måling er foretatt er det vanlig og foreta en crusing. Det vil si at viften opprettholder et undertrykk på rundt 50 Pa inne over en lengre stund slik at man kan saumfare bygget for utettheter. Da vil luften strømme inn i konstruksjonen og på den måten være lett og identifisere innenfra. Ved leting etter luftlekkasjer er det flere metoder som kan benyttes;

Termografering. Prinsippet bak et termograferingskamera er at det visualiserer temperaturdifferanser og temperaturstråling ved hjelp av et fargespekter. På den måten vil man se mørkere farger i områder med lavere temperatur og motsatt. For at denne metoden skal fungere er man avhengig av en temperaturdifferanse mellom inne og utenfor bygg.



Bilde 3.1. Termograferingskamera. ²⁷

Det er også viktig at man ved bruk av denne metoden er bevisst på materialenes termiske egenskaper, da det har innvirkning på bildet termograferingskameraet gir. Når en benytter termografering for å finne luftlekkasjer ser man i hovedsak etter mørkere

²⁶ Bygg og varme

²⁷ <http://awiico.no>

streker eller områder i hjørner, rundt vinduer osv. Det man da ser er den kalde uteluften som strømmer inn på varmere flater. Man er avhengig av at lekkasjeluften treffer en flate med en annen temperatur for at den skal være mulig og se. Det vil derfor ikke være så lett og se en luftlekkasje som strømmer rett inn i rommet ved hjelp av et termograferingskamera. At denne metoden er avhengig av en temperaturdifferanse gjør at den er mest egnet ved slutttester. Ved tidligtest må man, dersom man skal benytte metoden, varme volumet godt opp rett før termograferingen skal finne sted og i tillegg være effektiv da temperaturforskjellen fort jevner seg ut igjen.

Føle med hånden: Å kjenne med hånden er en fin måte å få et grovt inntrykk av luftlekkasjens størrelse. For å slippe å føre hånden langs alle potensielle lekkasjepunkter kan det være fornuftig å benytte termograferingskamera først for å lokalisere lekkasjene.

Røykindikator: Ved bruk av røykindikator benytter man et kjemisk røykmiddel på flaske. Denne metoden er egnet for å visualisere luftlekkasjens retning i tillegg til at den gir et inntrykk av luftstrømmens hastighet.

Lufthastighetsmåler: Dersom man har lokalisert en luftlekkasje av en viss størrelse må man kontrollere hvorvidt den er innenfor kravet til komfort eller ikke. Et erfaringstall sier at en lufthastighet under 0,15 meter per sekund 60 cm fra lekkasjen er akseptabelt. Dette kan man måle med en lufthastighetsmåler. Årsaken til at man helst skal måle med en avstand på 60 cm er at dersom man måler nærmere vil type dyse på målehodet ha innvirkning på måleresultatet.



Bilde3.2. Lufthastighetsmåler²⁸

3.3.2 Måling ved hjelp av bygningens ventilasjonsanlegg

Dette gjøres spesielt på større bygg som har ventilasjonsanlegg som er kraftige nok til å få en betydelig trykkforskjell. Trykkforskjellen på bygningens fasade registreres med mikromanometer. Det er vanlig å bare bruke undertrykk ved måling der man bruker ventilasjonsanlegget.

Ved måling i mindre bygninger er det ofte for å avdekke om det trengs ytterligere tetthetsmålinger. Her legges summen av luftmengdene som passerer gjennom avtrekksventilene sammen og man får en pekepinn på tetthetsegenskapene til bygningen. En luftmengdemåler, "Swerma- trakten" kan brukes til å måle avtrekksluft gjennom f.eks. ventil våtrom i mindre bygninger. Den inneholder et nettverk av metalltråder som blir oppvarmet. Når luften strømmer gjennom nettet kjøles trådene ned. Tiden nedkjølingen tar danner grunnlaget for beregning av størrelsen på passert luftvolum.



Bilde3.3. Swerma- trakt.²⁹

²⁸ TSI VelociCheck 9515

²⁹ SwemaFlow 125

3.3.3 Forberedelser før måling

Det er vanligvis forberedelser i volumet som skal testes som tar mest tid. Alle ytterdører og vinduer må være lukket. Alle innvendige dører må være åpne.

Tetting. Videre er det alle utettheter som ikke skal inngå i målingene som må tettes. Hvilke disse er varierer fra testvolum til testvolum. I Norge tester man etter metode B, som vil si at alle ventiler og liknende til ventilasjonsanlegget må tettes igjen. Disse er forholdsvis enkle å lokalisere og tette. Ofte har også en del av disse anleggene lukkespjeld slik at man slipper å teipe, dette er noe som trolig vil bli mer og mer vanlig etter hvert som trykktesting blir vanlig i bransjen. Andre utettheter man helst vil ha tette under testen kan være større internlekkasjer mellom enheter. Dette kan ofte være utettheter rundt rørføringer til avløp etc. En måte å tette disse på er teipe samt presse tynne plastposer fylt løst med isolasjon inn i utettheten. Ettersom man som regel kjører undertrykk først ved en trykktest vil posen suges inn i utettheten og tette godt.

Værforhold. Det er vanskelig å få gode måleresultater med målinger som blir gjort med sterkere vind enn 6 m/s. Derfor er det verdifullt å støtte seg til detaljert værvarsel. Grunnen til at vind er et problem ved en trykktest er at den har stor innvirkning på trykkforskjellen, noe som "forvirrer" måleutstyret slik at det gir feilmelding. Dersom man har sterk vind på måledagen kan man kompensere for dette ved å stille inn på tolerert avvik på trykkforskjellen. På den måten vil viften tåle større plutselige trykkendringer uten at testen avbrytes. Likevel bør man helst ha rolige vindforhold på måledagen, for å unngå unødvendige forstyrrelser og feilkilder.

Beregning av målevolum. Størrelsen på målevolumet bør være fastsatt før man foretar en måling. Dersom man ikke har beregnet det vil man ikke kunne sette det inn i programmet i datamaskinen tilknyttet viften og dermed heller ikke få beregnet noe lekkasjetall. Det vil si at man må gjøre manuelle beregninger i ettertid. Ved volumberegning er det viktig at man tar med volum av innervegger, men utelater etasjeskillene.

3.3 Praksis i dag

3.3.1 Bransjen i dag

Etter hvert som trykktesting blir vanlig praksis på byggeplass er det stadig flere aktører ute og tilbyr målinger. Mange er nye innen feltet og benytter "learning by doing"-prinsippet, kanskje kombinert med et lite oppstartskurs. Dette fører til at praksis ikke er samstemt mellom alle aktørene. En spørreundersøkelse av 18 aktører utført av SINTEF, belyser noen områder innen feltet der praksisen er sterkt varierende, noe som igjen går utover måleresultatene.

Bygningsvolum ved vindtettmåling og ferdigmåling. Hvilket bygningsvolum som blir benyttet i beregninger av lekkasjetallet er avgjørende for resultatet. Ved vindtettmåling og senere ferdigtest av samme bygg eller enhet er det viktig at man benytter det samme målevolumet i de to testene, ved kontroll om tettheten er god nok i forhold til kravene. Dersom man her benytter to ulike volum vil sammenliknbarheten til måleresultatene reduseres. 15 av de 18 aktørene i spørreundersøkelsen benyttet ulike volumer ved de to

testene.³⁰ Ettersom vindtettmålinger er forholdsvis nytt i bransjen finnes det ikke mye informasjon om hvordan disse skal utføres korrekt og sunn fornuft tilser at man benytter det volumet som er ved målingstidspunktet. Det er derfor ikke overraskende at flertallet i undersøkelsen benytter forskjellige volumer i de ulike målingene. Betydningen av å benytte de to forskjellige volummålene vil i de fleste tilfeller ikke ha stor betydning for resultatene.

Bygningsvolum ved beregning av lekkasjetall. Hvilke bygningskomponenter som tas med ved beregning av volum og hvilke som utelates varierer veldig. I spørreundersøkelsen ble det funnet hele 7 forskjellige definisjoner for ferdigvolum. I hovedsak er det grense i yttervegg og ekskludering eller inkludering av etasjeskiller og innervegger som varierer. I en masteroppgave skrevet ved NTNU i 2010 undersøkte man effekten de ulike definisjonene hadde på volumet. 21 eneboliger ble trykktestet i undersøkelsen. Resultatet viste at man ved de ulike definisjonene kunne få mellom 2,5-33 % avvik på volumet i forhold til beregnet volum etter NS- EN 13829. Dette har stor innvirkning på lekkasjetallene og gjør mange av dem ukorrekte og misvisende. I en videre undersøkelse som ble gjort ble de ulike volumene benyttet til å beregne lekkasjetall. Resultatet gav et sprik i lekkasjetall på hele 40 %.

Både NS-EN13829 og NS 3031 har i dag oversiktlige volumdefinisjoner. Likevel var det bare 2 av aktørene i spørreundersøkelsen som beregnet volum i henhold til NS-EN13829. Årsaken til dette er vanskelig å si, men kan kanskje tyde på manglende innsikt i og bruk av norsk standard. Med slik variert praksis risikerer bransjen å fremstå som useriøs. For å motvirke dette er det nødvendig med lett tilgjengelig og lesbar litteratur med en tydelig spesifisering av prosedyrer rundt lufttetthetsmålinger.

³⁰ Byggaktuelt 4- 2011- ”Unngå byggskader ved å utføre lufttetthetsmålingen på riktig måte.”

4.0 Feltarbeid

Under arbeidet med oppgaven har vi fått mye praktisk erfaring. I tillegg til å følge opp vårt Case- prosjekt på Nesodden, har vi fått delta på trykktester av flere ulike prosjekter sammen med Skanskas trykktester og termografør, Håkon Brager- Larsen. Vi har også vært på befaring på flere prosjekter og snakket med mange av Skanskas funksjonærer og fagarbeidere. Totalt har vi deltatt på 5 trykktester og besøkt i alt 8 prosjekter.



Bilde 4.1. Trykktesting ved Nesodden kommunesenter. Fra venstre; Håkon Brager- Larsen, Merethe Solvang og Anne Sofie Bjelland. Foto av Tormod Aurlien.

4.1 Feltarbeid på Case- prosjektet

Vi knyttet kontakt med prosjektet på Nesodden gjennom sommerjobb på byggeplassen i 2010. Vi fikk dermed god kjennskap til prosjektet allerede da. I løpet av høsten fulgte vi prosjektet og deltok på møter som var relevante for oppgaven vår. Våren 2011 har vi hatt ukentlige besøk på byggeplassen for å holde oss oppdaterte på fremdrift og utfordringer i prosjektet. Vi har blitt tildelt ansvar for oppgaver knyttet til lufttettheten på prosjektet som blant annet forberedelser før trykktester. Vi har også tatt del i diskusjoner rundt ulike løsninger ved prosjektet både når det gjelder detaljer, plan for trykktester og bestemmelse av testsoner. Referat fra møter vi har hatt på Nesodden ligger som vedlegg.

I løpet av vår tid på prosjektet har vi hatt god dialog med alle fra prosjektleder, prosjekteringsleder, anleggsleder, formann, tømmerbas, resten av tømmerlaget og underentreprenører. På grunnlag av dette har vi dannet oss et bilde av dynamikken på byggeplassen og lufttetthetens plassering i sammenheng med prosjektet.

Vi har vært med på planlegging, forberedelse, gjennomføring og vurdering ved trykktesting av tre testsoner på prosjektet. Alle disse testene var tidligtester.

- 10.03.2011. To tester ble gjort av løsninger i yttervegg.
- 05.05.2011. En test ble gjort av løsninger i glassfasaden.

4.2 Trykktester gjort på andre prosjekter

Vi har hatt trykktester og termografør Håkon Brager-Larsen som veileder fra Skanska. Våren 2011 har vi fått følge han på ulike prosjekter og deltatt på forskjellige trykktester. Prosjektene vi har trykktestet har vært av ulike typer bygg med vidt forskjellige utfordringer knyttet til lufttetthet. I tillegg har prosjektene vært i ulike faser, alt fra tidlig fase til ferdigfase. Dette har gitt oss muligheten til å observere de forskjellige utfordringene man møter ved trykktesting av bygg i forskjellige faser rent metodisk. Vi har også fått muligheten til å diskutere og reflektere over ulike fordeler og ulemper for lufttetthet ved ulike konstruksjonsløsninger på prosjektene.



Bilde 4.2. Montering av Blowerdoor før ferdigtest.

Trykktester vi har gjort;

- 04.02.2011. Test av en hel etasjefløy etter rehabilitering av NVE- bygget i Oslo.
- 22.02.2011. Test av en og deretter flere leiligheter på et boligprosjekt der det ble brukt sandwich element.
- 24.03.2011. Test av en boenhet i enden av et rekkehus på et prosjekt der det ble benyttet prefabrickerte trevegelementer.

4.3 Befaringer på byggeprosjekter

Skanska har gitt oss muligheten til å dra på befaring på flere av deres prosjekter. Her har vi fått god omvisning og innsikt i prosjektenes utfordringer rundt lufttetthet og ventilasjon. Vi har blitt presentert for gode og dårlige løsninger, noe som har bidratt til vår totale forståelse.



Bilde 4.3. Befaring på Statoils nye kontorer på Fornebu.

Befaringer vi har gjort;

- 19.01.2011. Befaring på det nye Odontologbygget i Bergen.
- 22.02.2011. Befaring på Frydenberg boligprosjekt.
- 04.04.2011. Befaring på Hunnsund boligprosjekt.
- 12.04.2011. Befaring på Piloten boligprosjekt.
- 12.04.2011. Befaring på Statoils nye kontorer på Fornebu.

5.0 Kvalitetssikring av lufttetthet i praksis

5.1 SKANSKA- og Skanskas energimål

Skanska er en stor internasjonal entreprenør som ønsker å være ledende innen miljøriktig prosjektutvikling og bygging. Fordi det er et globalt selskap, kan de tilegne seg og spre kunnskap på tvers av landegrensene. For å nå målene sine har Skanska Norge en selvstendig driftet avdeling som driver med standardisering av beste praksis.

Skanska Product Design (SPD) jobber med;

- Dokumenterte egenskaper for gode løsninger.
- ”Null feil” skal være standard; ikke unntak.
- Økt fokus på produktivitet og industrialisering.
- Redusert svinn og overforbruk.

Et av fokusområdene i avdelingen er lufttetthet. Håkon Brager- Larsens jobb består i å foreta trykktester underveis og på slutten av Skanskas byggeprosjekter. Håkon begynte å jobbe i Skanska i januar 2009 og har tatt del i det stadig større fokuset på bygningers lufttetthet.

Per i dag testes ikke alle Skanskas prosjekter, men det blir stadig flere etter hvert som kravene i TEK blir strengere.

5.1.1 Hvordan dokumenterer Skanska?

”Det er mange produkter som det ikke eksisterer produktstandard for, og da skal dokumentasjonen være Teknisk godkjenning *eller tilsvarende* - det er her matrisene i PRODOK kommer inn.

Skanska Produkt Design tok i 2008 initiativ til bransjeprosjekt PRODOK i samarbeid med sentrale aktører og myndigheter i bransjen. I PRODOK utarbeides det matriser som viser minimumskrav til dokumentasjon for bruk. Matrisene baserer seg på gjeldende standarder, retningslinjer for Europeiske Tekniske Godkjenninger og gjeldende forskrifter. Kravene er brutt ned på egenskapsnivå. For de byggevarene hvor dette er aktuelt, skilles det også mellom ulike bruksområder. Matrisene er normative, veiledende dokumenter og publiserte matriser innarbeides i SINTEF sine kunnskapssystemer og publiseres i en gratis versjon på SINTEF Certifications.

Skanska stiller i dag krav i sine innkjøpsdokumenter om bruk av PRODOK matriser (der matrise er utarbeidet for et produkt) i innkjøpsprosessen.³¹

³¹ Skanska Norge intranett

5.2 CASE- prosjekt

5.2.1 Nesodden Kommunesenter- Et forbilde prosjekt



Bilde 5.1. Nesodden kommunesenter.

Tangenten er navnet på Nesoddens nye kommunesenter som skal være innflyttingsklart våren 2012. Senteret skal bestå av Tangenåsen ungdomsskole, administrasjonsbygg til kommunen, bibliotek, fritidsklubb og parkeringskjeller. Prosjektet er på totalt 11 270 kvadratmeter og kontrakten har en verdi på ca. 240 millioner kroner.

Byggets energimål

Det ble tidlig bestemt at bygget skulle være et miljøvennlig bygg der sambruksløsninger vil gjøre at man benytter arealene mest mulig effektivt. I første omgang skulle bygget ha et endelig energibehov som lå 25 % lavere enn kravene i TEK07. Det ble søkt om tilskudd fra Enovas forbildeprogram og etter hvert som man kom i dialog ble det foreslått at man skulle strekke seg enda lengre innenfor energimålene i prosjektet. Prosjektet er egnet for gode systemløsninger på energisiden og det ble etter hvert bestemt at Nesodden kommunesenter skal bygges etter passivhus- standard. For å kunne evaluere prosjektet opp mot dagens foreløpige ”passivhus og lavenergi”- standard, ble NS 3031³² brukt som beregningsbasis, men inndataverdiene ble endret ihht ”Kriterier for passivhus- og lavenergibygg- yrkesbygg: Prosjektrapport 42” /4/. Norsk standard for passivhus-boliger er utarbeidet, NS 3700. For yrkesbygg eksisterer det per dags dato ingen standard, men NS 3701 er under utarbeidelse og forventes ferdig 2012. Prosjektets beregninger er basert på ”Prosjektrapport 42”, hvilket det er forespeilet at vil utgjøre grunnlaget for standard NS 3701. Prosjektet skal tilfredsstillere kravene for et A-bygg i energimerkeordningen.

³² NS3031- ”Beregninger av bygningers energibehov og energiytelse”

Bygningskategori	Krav TEK 07 (kWh/m ² år)	Nytt mål i prosjektet (kWh/m ² år)	Differanse (kWh/m ² år)	Areal (m ²)	Besparelse (kWh/år)
Skolebygg	135	62	73	3.464	252.872
Kontorbygg	165	67	98	2.642	258.916
Kulturbygg	180	80	100	2.309	230.900
Totalt				8.415	742.688

Tabell 5.1. Oversikt over kravene for de ulike delene av kommunesenteret.

Tiltak for å oppnå energieresultater

- U-verdi på fasade i glass og vinduer: 0,8 W/m²K
- Kontinuerlig oppfølging med tetthetsmålinger for å oppnå lekkasjetall på 0,6 oms/h
- Isolasjon yttervegger: 300 mm
- Isolasjon tak: 350 mm
- Isolasjon gulv: 250-300 mm
- Kuldebroverdi: 0,03 W/m²(BRA)K
- SFP: 1,5 kW/(m³/s)
- Virkningsgrad gjenvinner: 0,82

Organisering

Skanska har totalentreprise på prosjektet med Hjellnes Consult som energirådgivere. OPAK er byggherre på vegne av Nesodden kommune. Kontrakten i prosjektet er en samspillskontrakt, noe som innebærer åpne dokumenter og fri dokumentflyt. Samspillskontrakter er et tett samarbeid mellom alle involverte parter i byggeprosjektet. Alle deltagere får være med fra starten og sammen forme prosjektet. I en samspillskontrakter skal det være full åpenhet mellom partene. Andre fordeler ved en slik modell er at oppdragsgiver får ett produkt som bedre tar vare på sine behov, samtidig som prisen på prosjektet fastsettes i tidlig fase. Byggherren sitter også på byggeplassen for å sikre god kommunikasjon mellom partene.

Skanskas ledelse på prosjektet består av blant annet prosjektleder, prosjekteringsleder, anleggsleder og teknisk ansvarlig. Alle sitter de på byggeplassen noe som gjør at informasjonsflyten går kjapt og avgjørelser kan tas fortløpende. For å sikre byggets lufttetthet benytter prosjektet avdelingen Skanska Produkt Design som trykktester og utvikler gode standarder for detaljløsninger. Disse er tilgjengelig i en detaljdatabase.

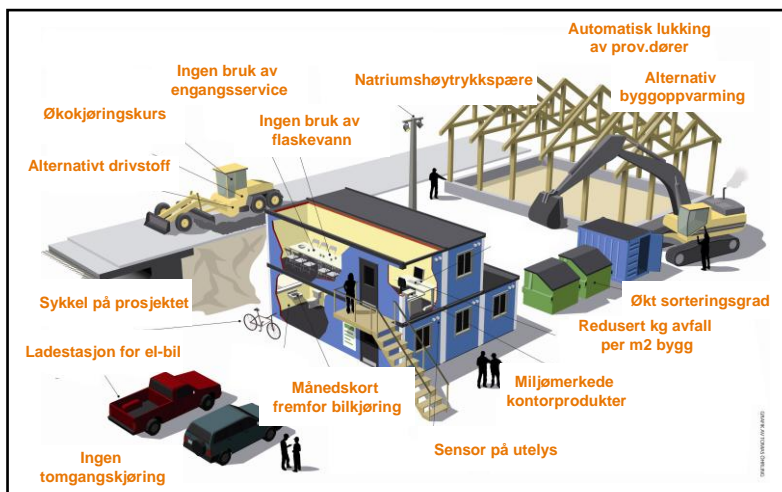
Prosjekteringslederen på prosjektet har en beskjedne dokumentmengde på prosjektet. Dette fordi han mener dokumenter ofte er til glede bare for dem som har skrevet dem og ingen andre, en teori som sikkert kan stemme i mange sammenhenger. Dette ser ut til å fungere veldig bra på dette prosjektet.

Konstruksjon

Bygget består av et bæresystem i plass- støpt betong. Her skulle man i utgangspunktet benytte lavkarbon- betong, men grunnet lengre herdetid som ville gitt problemer for fremdrift i vinterhalvåret, konkluderte man med at dette ville ta for mye tid dersom man valgte å benytte dette. Ideelt sett skulle man her ha utsatt start for betongarbeidene et halvt år for å slippe vinterstøping med tanke på miljøkonsekvensene. Dette ville blitt en stor kostnad for prosjektet, og ble derfor ikke gjort. Det benyttes i stedet normal B35 betong. Klimaveggene føres opp med 9” trestendere mens topp og bunnsvillene er av stål. Den ytre kledningen er av tre. Bygget har store flater glassfasade i første etasje.

Byggeprosess

Byggeplassen på Nesodden er sertifisert Grønn byggeplass i Skanska. Dette sertifiseringsverktøyet er et av Skanskas initiativ for å fremme miljøriktig bygging. Skanskas visjon er å være ledende innen miljøriktig prosjektutvikling og bygging. I den forbindelse er det satt i gang en rekke miljøtiltak innen produkt, infrastruktur og produksjon. Det er nettopp innen produksjon at Grønn arbeidsplass kommer inn i bildet. Sertifiseringsordningen går spesifikt på prosessen, noe som vil si at man kan ha grønn byggeplass uavhengig hva som blir bygget. For å bli en grønn byggeplass stilles det spesifikke krav til organisasjon, energi og klima, materialer, ressurser, avfallshåndtering og innemiljø. En slik sertifisering henger høyt i Skanska og det er per i dag bare fire slike byggeplasser i Norge.



Figur 5.1. Eksempler på tiltak i Grønn byggeplass- bygg³³.

³³ Produsert av Skanska.

Løsning for oppvarming og ventilasjon

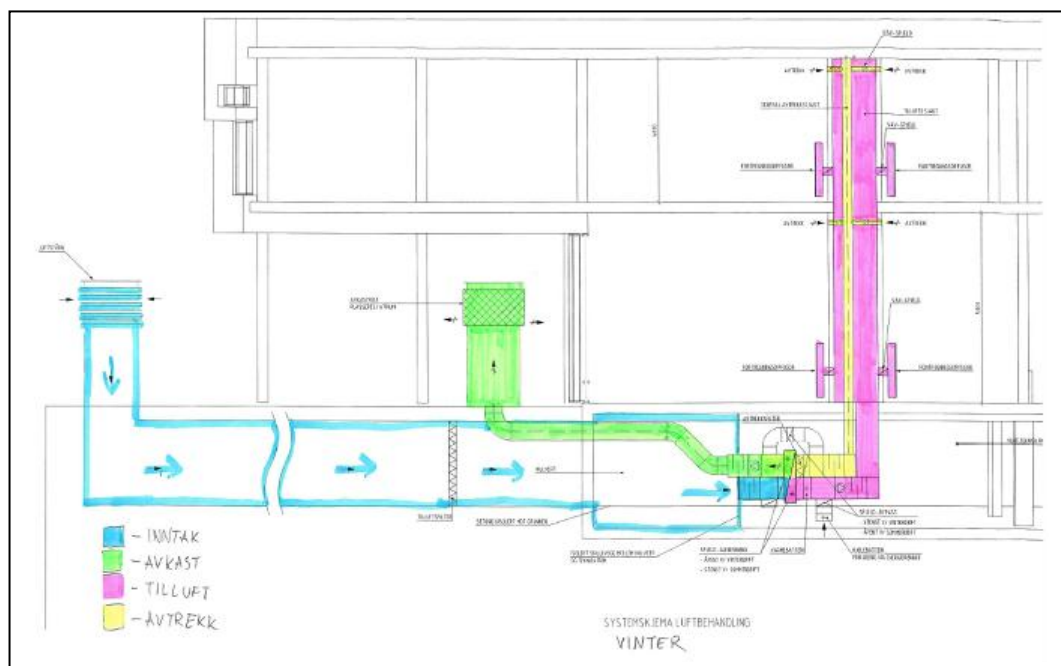
Ved oppgradering til passivhus- standard reduseres varmebehovet i bygget vesentlig, men det er fortsatt planlagt å dekke varmebehovet med en mindre varmepumpe som henter varme fra 10 borehull i grunnen. Denne vil dekke behovet for oppvarming og varmt tappevann, samt at den vil kunne gi "gratis kjøling" til bygget i sommerhalvåret. VVP- varmepumpen og brønnparken vil dekke 60% av effektbehovet. Det er beregnet at 106.124 kWh/år av varmebehovet dekkes av varmepumpen. Spisslasten vil bli dekket av elkjel.

Det finnes tre luftbehandlingsaggregater i bygget som er plassert i egne tekniske rom. Luftbehandlingssystemet har en såkalt "vinterdrift" og "sommerdrift".

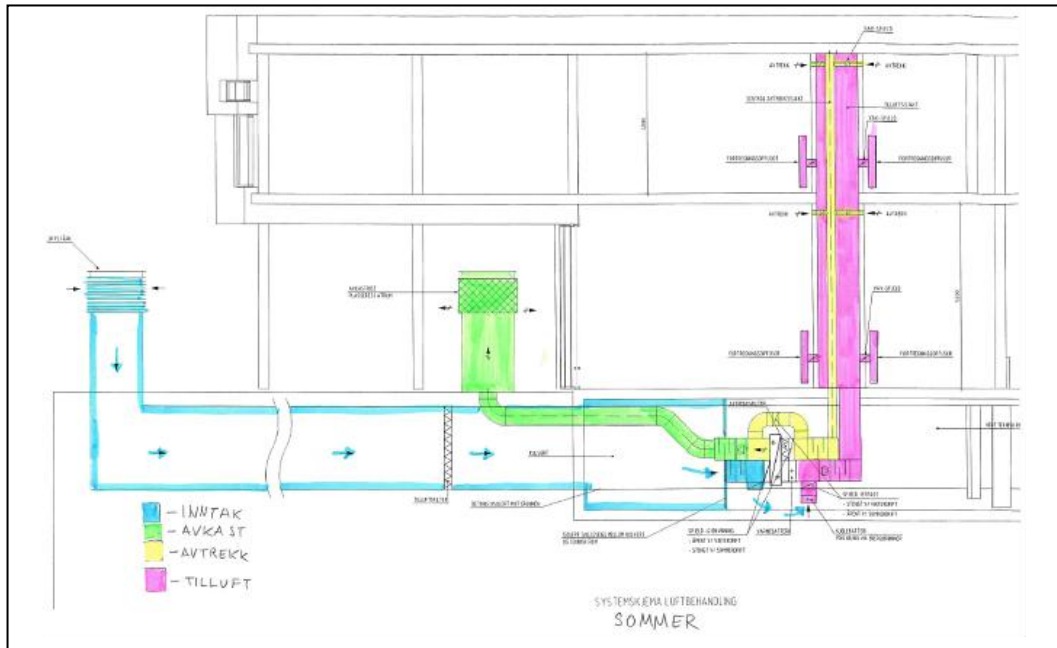
Vinterdrift: Uteluft tas inn gjennom inntakstårn og føres gjennom betongkulverter. Lufta behandles deretter i en plassbygd filterbank, et luftbehandlingsaggregat med inntaksspjeld, en roterende varmegjenvinner og en tilluftsvifte. Lufta føres ut via betongsjakter og videreføres ut i etasjene via kanaler til de respektive lokalene.

Det benyttes behovsstyrt ventilasjon med undertemperert luft. Avtrekksluften går ut via sentrale avtrekkspunkter. Brannspjeld og nødvendig lyddemping monteres i henhold til kravene. Avtrekksluften føres tilbake til varmegjenvinner med en virkningsgrad på 83%.

Sommerdrift: Ved sommerdrift blir det benyttet en "bypass"- løsning med tilluftsvifte og avtrekksvifte i aggregat. Uteluften tas inn helt likt som ved vinterdrift og behandles i filterbank. Det eneste som blir stengt av er varmegjenvinneren. Tilluftsviften fører lufta ut via sjaktene til lokalene. Det benyttes behovsstyrt innblåsing og trykkuavhengig VAV- spjeld. Bygningsmassen har en stor termisk masse som vil sørge for nedkjøling av inntakslufta ved sommerdrift.



Figur 5.2. Systemtegning for luftbehandling ved vinterdrift.



Figur 5.3. Systemtegning luftbehandling ved sommerdrift.

Økonomi

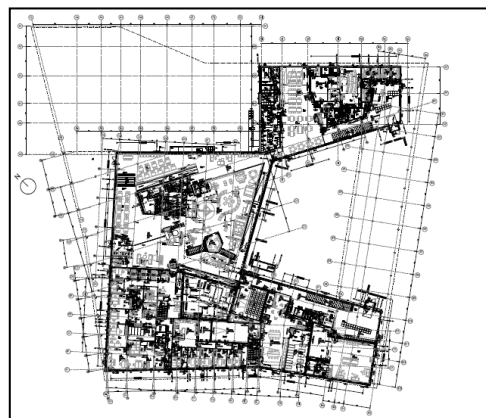
Aktivitet/tiltak	Merkostnad
Fasade	
- U-verdi glass	974.850
- Eliminering av kuldebroer	292.670
- Ekstra isolasjon yttervegger	93.840
- Bedre tetthet	359.950
- Ekstra tettehtsmåliger	<u>100.000</u>
Totalt Fasade	1.821.310
Tak	
- Dekke over 2. etasje	329.000
- Dekke over U-et.	<u>37.350</u>
Total dekker	366.350
Økt isolasjon P-kjeller	300.000
Økt isolasjon gulv på grunn	140.000
Uforutsett (10 %)	262.766
Prosjektering (10 %)	289.042
Påslag entrepenør (8 %)	254.357
Totalt (eks mva):	3.433.825

Tabell 5.2. Anslåtte merkostnader ved oppgradering til passivhus.

5.2.2 Lufttetthet på Nesodden

Som nevnt over har Nesodden et krav til lekkasjetall på 0,6 oms/h. Dette må de oppnå for å få den støtten de ønsker fra Enova. Etter at det ble bestemt at Nesodden kommunesenter skulle bygges etter den kommende passivhus- standarden har det vært et stort fokus på lufttettheten ved prosjektet. Alle parter er delaktige og motiverte for at bygget skal bli så tett som overhodet mulig. Det er tydelig at ledelsen er villig til å bruke både tid og ressurser på dette.

Selv om innsatsviljen er stor, var man kommet så langt i prosessen at enkelte føringer var lagt i prosjektet som ville være utfordrende for lufttettheten. Som bildet nedenfor viser er arkitekturen preget av veldig mange forskjellige vinkler på veggene både inne i bygget og i klimaveggene.



Figur 5.4. Oversiktstegning av 1. etasje i Nesodden kommunesenter.

I tillegg til mange forskjellige vinkler har bygget mange nivåforskjeller, noe som gjør at tilslutning til ringmur ikke alltid er enkel å få til. Tilfeller av typen som er vist på bilde 5.2 og 5.3 er det flere av i bygget. Det er også slike tilfeller i områder der glassfasaden skal møte en skrådd ringmur, noe som også byr på utfordringer, se bilde 5.4.



Bilde 5.2 og 5.3. Tetting mot skrå flater og knekkpunkter. Bildet viser stålvillen i et kritisk punkt. Skjøten er tettet med teip.





Bilde 5.4. Detalj av tilslutning mellom glassfasade mot skrå sokkel. Legg merke til løsningen med mye tre i sokkel til høyre i bildet. Dette er en mulig kuldebro.

De store glassfasadene byr på en annen utfordring i forhold til lufttetthet. Det er en underentreprenør som skal montere disse fasadene, noe som innebærer at ledelsen må delegere noe av ansvaret for lufttettheten til underentreprenør. I og med at kravet til lekkasjetall er strengere enn dagens generelle krav er det ikke selvsagt at løsningen i underentreprenørs montering er god nok til å tilfredsstillere kravet for dette prosjektet. Ledelsens måte å løse dette på er å be om utvidet dokumentasjon på lufttettheten til monteringen fra underentreprenør.

5.2.3 Planlagt kvalitetssikring for lufttettheten på Nesodden

Nesodden kommunesenter hadde i utgangspunktet ingen planlagt kvalitetssikring utover det vanlige som er på ethvert Skanska prosjekt. Dette forandret seg da det ble bestemt at prosjektet skulle være et forbildeprosjekt i samarbeid med Enova og bygges etter passivhus- standarden.

Grunnet denne forandringen var det svært viktig å kvalitetssikre at løsningene som ble benyttet var gode og at det ble lagt ekstra fokus på lufttetthet. Prosjektet har hatt egne møter med lufttetthet som tema gjennom hele byggeprosessen.

Det ble fastsatt tidlig i byggeperioden at prosjektet skulle trykktestes underveis i byggeprosessen. Alle parter var enige om at det var viktig å kvalitetssikre at løsningene som ble benyttet var de beste, og at det skulle testes flere soner slik at man kvalitetssikret at det ble gjennomgående god utførelse. Det ble avholdt møter tidlig før klimaveggene kom på plass for å avklare hvilke soner som var aktuelle å teste i forhold til fremdriftsplanen.

Trykktesting og befaring på byggeplassen er en stor del av kvalitetssikringen på Nesodden kommunesenter. Det er stor fokus på lufttetthet på byggeplassen og prosjektleder er mye ute på prosjektet for å kvalitetssikre og holde fagarbeidere oppdaterte.

Møter for kvalitetssikring av lufttetthet

Detaljprosjekteringsmøte:

Høsten 2010 ble første detaljprosjekteringsmøte med fokus på lufttetthet avholdt på byggeplassen. Her ble alle detaljløsninger gjennomgått med energirådgiver, rådgiver på

bygningfysikk, tømrer bas, prosjekteringsleder, anleggsleder, prosjektleder osv. Det ble diskutert hvilken løsning som skulle benyttes.

Soneinndelingsmøte:

1.2.11 var første soneinndelingsmøte, hvor aktuelle soner ble diskutert i forhold til fremdriftsplanen.

Soneinndelingsmøte 2:

9.2.11 ble det innkalt til beslutningsmøte for sonene. Da ble det tegnet opp avgrensninger med tanke på eventuelle provisoriske vegger som skulle bli bygget og alle sonene ble bestemt. Det ble besluttet at det skulle trykktestes seks soner. Alle sonene har et risikomoment som det er interessant å kvalitetssikre. Sone 1- 4 trykktestes i tidligfase og sone 5 og 6 etter at veggen er lukket.

Aktivitetmøte for fagarbeidere:

Alle detaljer ble gjennomgått, og det ble satt fokus på lufttetthet. Det ble holdt fortløpende dialog med tømrer bas i forhold til lufttetthet.

Soner

Sone	Type test	Etasje	Hensikt med test
1	Tidlig	1	Teste løsning på detalj
2	Tidlig	1	Teste aluminiumsvindu
3	Tidlig	Mellometasje	Kvalitetssikre løsninger i klimavegg
4	Tidlig	Alle	Teste sjakter
5	Ikke avklart	2	Teste el i vegg og vinduer
6	Ikke avklart	2	Teste alu- vinduer

Tabell 5.3. Oversikt over trykktest- sonene.



Figur 5.5. Sone 1. Det ble tegnet inn avgrensning for testområder slik bildet viser av alle sonene. Samtlige soner ligger som vedlegg.

5.3 Trykktester ved Case- prosjekt

5.3.1 Krav til lufttetthet ved Nesodden

Kravet til lufttetthet ved Nesodden kommunesenter er uttrykt ved lekkasjetall n50. Kravet kan også uttrykkes normalisert i forhold til byggets totale fasadeareal og byggets gulvareal. I fasade medregnes her yttervegger og tak.

Krav til lekkasjetall n50	0,6 m ³ /m ³ h
Byggets totale volum	34887,4 m ³
Krav til maks luftoms. per time	20932,4 m ³ /h
Byggets totale fasadeareal	8611,0 m ²
Byggets totale gulvareal	11270 m ²
Krav til lekkasjeluftmengde q50	2,4 m ³ /m ² -fasade·h
Krav til lekkasjeluftmengde w50	1,86 m ³ /m ² -gulv·h

Tabell 5.4. Beregning av andre normaliserte verdier for kravet til byggets lekkasjeluftmengde.

5.3.1 Trykktesting på Nesodden kommunesenter, sone 1 og 3

Sted	Nesodden kommunesenter, Nesoddtangen
Dato	10.03.2011
Tid	07.00- 15.30
Deltakere	Håkon Brager- Larsen, Anne Sofie Bjelland, Merethe Solvang

Hva som ble testet

Testsone 1 og 3 ligger i henholdsvis 1. og 2. etasje i nord- vestlig hjørne av bygget. I forhold til fremdriftsplanen skulle dette hjørnet tettes først og det var derfor naturlig å teste dette først.

I disse sonene skulle løsninger i klimavegg, skjøter i vindtettsjikt, tilslutning topp- og bunnsvill mot betong og tetting rundt trevinduer testes. Hensikten med testen var i hovedsak og kontrollere at utførelsen var tilfredsstillende for videre arbeid. Hvilket lekkasjetall man fikk ville være sekundært da man senere vil ha et ekstra tettesjikt når dampspærren monteres.

Sone 3, som ligger i etasjen over skulle testes for å kontrollere utførelse samt at løsningene også fungerte mellom etasjeskiller.

	Sone 1	Sone 3
Volum (m ³)	730	110
Fasadeareal(m ²)	102,4	53,2
Gulvareal(m ²)	270,4	40
Antall vinduer	14	7

Tabell 5.5. Data for målesonene.

Status ved test

Stålstenderverket var naturligvis oppe og tetting med svillemembranen var gjort i topp og bunn. Videre var GUX- platene montert med H- profil i skjøtene. Tyveklimaduk var montert ved stifting og lekting, den skulle ikke være lufttett. Vinduene var satt inn og utvendig fugging var gjort. Fugging innvendig gjensto.



Bilde 5.5. Klimaveggene som ble testet.

Provisoriske tettinger

Det ble bygget provisoriske vegger rundt testsonene av 2”4 sviller og stendere med senteravstand på 120 cm. Plast ble trukket på innsiden av stenderne og festet med lekter eller stifter. Der det var festet med stifter ble dette teipet over med siga- teip.

Alle overganger til tak, vegg og dekke ble teipet med siga- teip og klemt med lekter. Overgang til dekke ble også fuget etter nærmere testing på grunn av støv på dekke som gjorde at teipen ikke festet seg skikkelig. Utsparinger i dekke ble skummet. Andre gjennomføringer i heissjakten av betong i sone 1 ble teipet igjen. Utsparinger til gjennomføringer av rør i dekke ble tettet med isolasjon i plastposer som ble trykket ned i utsparingene for å tette ned mot kjeller i sone 1.



Bilde 5.6. Håkon Brager Larsen tetter rundt rørføringer i etasjeskille.

Det er brukt stålsviller i klimaveggene med svillemembran under. Disse ble skummet mot ytterkant av testsonen slik at det ikke skulle bli dratt inn luft fra rom ved siden av.

Det ble lagt stor vekt på å tette mot interne luftlekkasjer, da det kanskje er den største utfordringen i en tidlig fase test. En provisorisk døråpning til Blower- door ble laget og plasten ble teipet rundt karmen.

To vinduer i testsone 1 manglet utvendig fuge i øvre del av karm, noe som ble provisorisk tettet igjen med tape.

For å se eventuelle lekkasjer med termografikamera, ble testområdet varmet opp til en temperatur på rundt 5 °C. Temperatur ute var på ca. -2 °C. Under selve testen ble disse varmerørene trukket ut og åpningen etter rørene ble teipet igjen med siga- teip.

Evaluering av test

Trykktesting ved bruk av provisoriske vegger med plast er en utfordring på grunn av plastens innvirkning på trykket når den er festet litt løst og dermed kan slå inn og utover ved henholdsvis under- og overtrykk. Avvikstoleransen på målt trykk i rommet blir automatisk satt på 1. Dette gjorde at det ble feilmeldinger i testen og toleransen ble satt opp til 5.

Dette viser at det er viktig at plasten blir skikkelig strammet og at det ville vært bedre å ha 60 cm avstand mellom stendere istedenfor 120 cm for å få mindre variasjon i trykket. I tillegg var plasten festet på innsiden av stenderne, noe som var lite heldig ettersom vi i hovedsak skulle gjøre undertrykks tester. Det resulterte i at ved stendere der plasten bare var stiftet og ikke lektet, løsnet plasten under trykkpåkjenningen og bulte innover i målevolumet. Dette kunne vært unngått dersom plasten ble lagt på utsiden av stenderne, eller lektet på alle stendere.

Testen viste også at det kan være vanskeligere å få et godt nok korrelasjonstall som viser hvor troverdig testen er jo tettere bygget er. Dette tallet må minst være på 0,9.

Ved lokalisering av utettheter under disse testene benyttet vi termograferingskamera, og røykindikator. Etter planen skulle det ha stått varme på siden dagen før slik at man hadde en stor temperaturdifferanse til termograferingen. Dette var ikke gjort og det ble bare et par timers effektiv oppvarming av volumet før testen. Dette resulterte i stor forringelse av termograferingens effekt. Temperaturdifferansen var ikke stor nok til å visualisere lekkasjer skikkelig. Hovedproblemet lå i at betongdekkene i tak og gulv i sonen ikke var temperert, noe som gjorde at en kald luftstrøm som treffer disse ikke ville være synlig grunnet manglende temperaturdifferanse.



Bilde 5.7. Plassering av Blower- door under trykktesten.

Resultat

	Sone 1		Sone 3
	Test 1	Test 2	Test1
n50(m ³ / m ³ h)	0,5	0,42	0,83

Tabell 5.6. Resultat fra trykktesting.

Vurdering av resultat

Krav til lekkasjetall n50	0,6 m ³ /m ³ h
Krav til lekkasjeluftmengde q50	2,4 m ³ /m ² -fasade·h
Krav til lekkasjeluftmengde w50	1,86 m ³ /m ² -gulv·h

Tabell 5.7. Krav til lekkasjeluftmengde.

Beregning av w50 og q50 for testsone	Sone 1		Sone 3	
Målt lekkasjetall n50	0,42	m ³ /m ³ h	0,83	m ³ /m ³ h
Testsonens volum	730	m ³	110	m ³
Luftoms. Per time	306,6	m ³ /h	91,3	m ³ /h
Testsonens fasadeareal	102,4	m ²	53,2	m ²
Testsonens gulvareal	270,4	m ²	40	m ²
Lekkasjeluftmengde q50	3,0	m ³ /m ² -fasade·h	1,7	m ³ /m ² -fasade·h
Lekkasjeluftmengde w50	1,1	m ³ /m ² -gulv·h	2,3	m ³ /m ² -gulv·h

Tabell 5.8. Beregning av forskjellige normaliserte begrep for lufttetthet.

Ved vanlige norske lekkasjetall- beregninger etter volum (n50), blir lekkasjetallet i sone 3 dobbelt så høyt som i sone 1. Sone 1 har et betydelig større volum enn sone 3, noe som ikke uventet har innvirkning på lekkasjetallet. Dette er noe Håkon har erfart før ved testing av små leiligheter. Det er vanskeligere å få et lavt lekkasjetall ved små testvolum. Dersom man normaliserer lekkasjeluftmengde etter fasadeareal (q50), får man et lekkasjetall som er halvparten så stort i sone 3 som i sone 1. Ser man på fasadearealet mellom de to sonene er det et tilnærmet 1:2- forhold mellom sone 1 og 3. Det kan derfor være fornuftig at man også ser et 1:2- forhold mellom de to sonenes lekkasjeluftmengde. Dette er vanlig hvis man benytter q50. I tillegg er det et 1:2 forhold på antall vinduer i fasaden i de to sonene. Dette kan være et godt argument for hvorfor det i blant kan være mer fornuftig å beregne lekkasjetall i forhold til fasadeareal i stedet for volum. Ved w50 er verdien dobbelt så stor for sone 3 som sone 1. Gulvarealet er ikke 1: 2 forhold i sonene men nærmere 1:7. Gulvarealet er derfor ikke representativt for lekkasjeluftmengden i dette tilfellet.

Resultatet er kanskje noe bedre enn i utgangspunktet forventet, og prosjektet er på god vei til å oppnå sine tetthetskrav.

Effekten av testen

- Det ble testet og bekreftet at løsningene i klimaveggen er godt gjennomført og fungerer.
- Viktigheten med lufttetthet ble tydeliggjort ved å være synlig på byggeplass og snakke med fagarbeiderne om temaet. I tillegg økte bevisstheten rundt lufttetthet og fagarbeidernes forståelse på området ble større.
- Testen gav motivasjon til godt videre lufttett arbeid. Det var en tydelig spenning blant arbeidere og funksjonærer rundt hvilket resultat testen ville gi, og da de fikk høre resultatet var de tydelig stolte og fornøyde.

Det kan virke som om den psykologiske effekten av å ha en slik test er av like stor betydning som det at man faktisk får kontrollert løsningene. Det er derfor hensiktsmessig å trykkteste så tidlig som mulig.

5.2.4 Trykktesting på Nesodden kommunesenter, sone 2

Sted	Nesodden kommunesenter, Nesoddtangen
Dato	05.05.2011
Tid	08.30- 15.30
Deltakere	Håkon Brager- Larsen, Anne Sofie Bjelland, Merethe Solvang

Hva som ble testet

Testsone 2 ligger i 1. etasje i passasjen mellom utstillingshallen og biblioteket, sørøst i bygget. Her er det et lite område med glassfasade med tilsvarende løsninger som ved de større glassfasadene i etasjen. For å få kontrollert disse løsningene var det derfor hensiktsmessig med en testsone her.

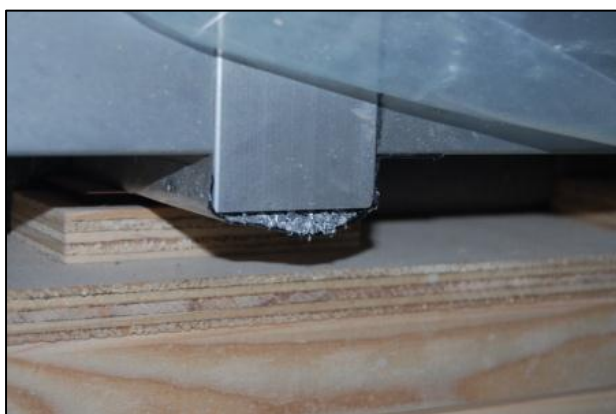
I denne sonen skulle tettheten til løsninger rundt glassfasadens aluminiumsprofil og sokkel kontrolleres. Hensikten med testen var å kontrollere utførelsen til underentreprenøren og å kontrollere løsningene underentreprenøren har for tetthet. Løsningene har vært diskutert på prosjektet fordi det fryktes at deres tettemetoder ikke er tilstrekkelig for å oppnå et så strengt krav til lufttetthet som prosjektet har. Lekkasjetallet her ville ikke være grunnlag for noen vurdering fordi alle tettesjikt ikke er montert enda, og målevolumet er veldig lite.

	Sone 2
Volum (m ³)	58
Gulvareal(m ²)	12,4
Takhøyde (m)	4,7
Fasadeareal (m ²)	29

Tabell 5.9. Data for målesonen.

Status ved test

Aluminiumsprofilene var ferdig montert med glass. I møtet mellom sokkel og aluminiumsprofil var elastisk fuge montert utvendig, utenfor tettelist. Innvendig elastisk fuge var ikke kommet på enda. Sokkelen består av tre 2”6” lagt oppå hverandre med en kryssfinerplate på toppen. Svillen mot betongdekket var tettet med svillelist og fuge, men annen tetting i sokkelen var ikke gjort hverken på utsiden eller innsiden. Det ville ved testen være interessant å se på luftlekkasjene gjennom teip og opp i aluminiumsprofilen, gjennom tilslutning mellom sokkel og aluminiumsprofil og luftlekkasjer gjennom sokkelen.



Bilde 5.8 og 5.9. Bildene viser aluminiumsvindu og møtende sokkel. På nærbildet vises teipen som underentreprenør mener skal gi god nok lufttetthet til det vertikale hule aluminiumsprofilen. Her har denne teipen mistet heften til profilet på grunn av sand og er ikke tett. Eksempler på tetteteip med dårlig heft var det flere av i bygget. I det svarte partiet skal en elastisk fuge monteres.

Provisoriske tettinger

Det ble bygget provisoriske vegger rundt testsonene av 2"4 sviller, og stendere med senteravstand på 100 cm. Plast ble trukket på innsiden av stenderne og festet med lekter.



Bilde 5.10. Provisoriske vegger i plast med teip i overkant og lekt i bunn. Foto av Tormod Aurlien.

Evaluering av test

De provisoriske veggene var ikke ferdig da testen skulle gjennomføres, noe som gjorde at testing ikke kunne starte før etter lunsj. Dette er kostbare timer å ha en trykktester gående å vente. For å gjøre trykktesting raskt og kostnadseffektivt er det viktig med god planlegging slik at de nødvendige forberedelsene er gjort før trykktester kommer for å gjennomføre testen. De provisoriske plastveggene skapte problemer under målingen også denne gangen. Her var plasten montert noe løsere enn ved de to andre testene i tillegg til at takhøyden er større i denne sonen slik at stenderne er lengre og dermed mer fleksible for bøyning. Den store "fjæringen" i de provisoriske veggene forvirret viften og gjorde at målingene måtte tvinges frem manuelt i programmet. Volumet som ble testet er så lite at utstyret fikk problemer med å måle de små luftmengdene. Ved denne testen skulle det ideelt sett blitt benyttet annet måleutstyr som er bedre egnet for et så lite volum.

Testen viste også at det kan være vanskeligere å få et godt nok korrelasjonstall som viser hvor troverdig testen er, jo tettere bygget er. Dette tallet må minst være på 0,9.

Det viktigste ved denne testen var de kvalitative observasjonene vi gjorde på konstruksjonen. Ved lokalisering av utettheter under testen benyttet vi termograferingskamera, manometer og føling med hånden. Temperaturdifferansen mellom ute og inne var relativt liten, men gav likevel enkelte indikasjoner på luftlekkasjer. Det ble observert store luftlekkasjer mellom materialene i sokkelen. Dette kom ikke som noen overraskelse ettersom det her ikke var gjort noen tetteltak hverken på innsiden eller utsiden. Tilslutningene her var altså bare tre mot tre. For å kunne gjøre observasjoner på de andre løsningene ble sprekkene teipet igjen før en ny test. Dette gjorde at lekkasjetallet ble redusert med $0,5 \text{ h}^{-1}$. Videre kontrollerte vi lekkasjen mellom aluminiumsprofilet og sokkelen. Her var det ingen betydelig luftlekkasje, slik at når den innvendige elastiske fugen monteres kan denne løsningen antas å være tilfredsstillende. For å kontrollere luftlekkasjene innad i aluminiumsprofilet ble det lettet på teipen i bunnen av den vertikale rammen (vist på bilde 5.9). Luftstrømmen som da oppstod var liten. Dette vil variere fra profil til profil utfra hvor godt teipen sitter i hver

ende av profilet. Konsekvensene dersom det skulle oppstå slike utettheter vil ikke kunne være av særlig stor utstrekning. De kan gi økt varmetap gjennom profilet. Luftlekkasjene vil begrense seg til gangene i profilet og kan i verste fall transportere kald uteluft direkte inn i konstruksjonen. Til tross for at luftlekkasjenes utstrekningsmuligheter er begrenset, har løsningen med slike aluminiumsprofiler stor utstrekning på prosjektet. Det er derfor kritisk at disse profilene blir tette for at prosjektet skal tilfredsstillende kravet til lufttetthet.



Bilde. 5.11. Tetting med teip av de store utetthetene i sokkelen.

Resultat

	Sone 2	
	Test 1	Test 2
n50(m ³ /h m ³)	2,08	1,5

Tabell 5.10. Resultat fra trykktesting.

Vurdering av resultat

Krav til lekkasjetall n50	0,6 m ³ /m ³ h
Krav til lekkasjeluftmengde q50	2,4 m ³ /m ² -fasade·h
Krav til lekkasjeluftmengde w50	1,86 m ³ /m ² -gulv·h

Tabell 5.11. Krav til lekkasjeluftmengde.

Lekkasjetallet som her oppgis ved måling gir dårlig grunnlag for vurdering av om konstruksjonens løsninger gir tilfredsstillende lufttetthet eller ikke. Årsaken til dette er at volumet er veldig lite, noe som påvirker lekkasjetallets størrelse. I tillegg er hele tre av sonens fire vertikale avgrensninger provisoriske vegger. Dersom man ønsker å benytte de målte resultatene fra trykktesten til vurdering vil det være hensiktsmessig å se på luftlekkasje per m² fasadeareal.

Beregning av w50 og q50 for testzone	Sone 2
Målt lekkasjetall n50	1,5 m ³ /m ³ h
Testsonens volum	58,0 m ³
Luftoms. Per time	87,0 m ³ /h
Testsonens fasadeareal	29,0 m ²
Testsonens gulvareal	12,4 m ²
Lekkasjeluftmengde q50	3,0 m ³ /m ² -fasade·h
Lekkasjeluftmengde w50	7,0 m ³ /m ² -gulv·h

Tabell 5.12. Beregning av normaliserte verdier for lekkasjeluftmengde.

Den normaliserte verdien q50, beregnet i tabell 5.9, vil være et riktigere vurderingsgrunnlag for om man vil tilfredsstillte tetthetskravet eller ikke. På lik linje med n50 ligger det også her over kravet. Det vil være nødvendig å gjøre betydelig bedre tetting ved disse løsningene dersom man ønsker å tilfredsstillte kravet. Dette er noe som lar seg gjøre med forholdsvis enkle grep. Ved sammenligning av tabell.5.11 og 5.12 kommer det tydelig frem at målt w50 er flere ganger høyere enn w50 beregnet ut i fra kravet. Dette skyldes at sonen hadde veldig liten gulvflate. Sonens store takhøyde blir det ikke tatt hensyn til ved normalisering etter w50 og verdien kan dermed oppfattes som noe misvisende i dette tilfellet.

Ved denne testen ble det kontrollert en ufullstendig løsning. Ettersom sokkelen hverken var tettet på innsiden eller utsiden bidro den med store luftlekkasjer under testen, også etter at den ble teipet. Likevel kan det på grunnlag av observasjoner gjort under testen, antas at dersom denne tettes skikkelig med fuget kryssfinerplate på innsiden og/eller GUX- plate på utsiden, vil den helhetlige løsningen for glassfasadene være lufttett. Denne antakelsen er forutsatt at underentreprenørens påstand stemmer om at teipen under det vertikale aluminiumsprofilet gir tilfredsstillende tetthet.

5.2.5 Vurdering av kvalitetssikring av lufttetthet i praksis

Nesodden kommunesenter er det første prosjektet i Skanska med et så stort fokus på lufttetthet. Skanskas trykktester, Håkon Brager- Larsen har ikke tidligere i sin tid i bransjen sett et prosjekt der lufttettheten har blitt så godt fulgt opp og ivaretatt.

På grunnlag av våre erfaringer ved Nesodden kommunesenter kan vi liste opp viktige tiltak for å oppnå god lufttetthet ved et prosjekt;

- *Samle alle parter tidlig i prosjektet.* På Nesodden er det samspillskontrakt, noe som innebærer at man har åpne bøker og god kommunikasjonsflyt i prosjektet. Likevel mener ledelsen at man kunne med fordel kommet sammen enda tidligere i prosjektet for å optimalisere denne prosessen. Hensikten med dette er i hovedsak at alle parter fra starten av er klar over prosjektets mål og fokusområder. Videre vil man også se sitt ansvarsområde i lys av alle andre som bidrar på prosjektet. Dette vil forebygge kollisjoner i føringer og andre potensielle byggskader.

- *La alle bli med i prosessen.* Ved utarbeidelse av detaljløsninger for prosjektet bør alle parter fra fagarbeider og opp til bygningsfysisk rådgiver involveres og inviteres til å komme med innspill på valgt løsning. På den måten vil man få en optimalisert løsning både med tanke på konstruksjon, bygningsfysikk og utførelse. Dette ble gjort på Nesodden. En viktig effekt av å ha en slik prosess er at fagarbeiderne får eierskap til løsningene som er valgt. I tillegg kombinerer man eksperter på både teori og praksis slik at løsningene blir optimalisert i alle henseender.

- *Holde fokusmøter med fagarbeidere.* Underveis i prosessen kan det være hensiktsmessig å ha fokusmøter. Før man for eksempel begynner på ytterveggene tar man et møte der man sammen gjennomgår hva som er viktig ved utførelse av disse. Slik unngår man missforståelser og eventuelle endringer som er gjort i siste liten kan bli synlig for alle. Slike møter vil utgjøre en kostnad ettersom alle fagarbeiderne tas ut av produksjon ved et slikt møte. Men møtene kan være korte og vil kunne forhindre andre større uforutsette kostnader ved bygskader.
 Et annet forslag til Nesodden var at de skulle kjøre en ”hold tett”- kampanje. Dette ble veldig godt mottatt, men ikke gjennomført. På lik linje som man har hengt opp lapper om kildesortering og lignende for å ivareta grønn byggeplass kunne man hengt opp små vitser og tegninger som fungerte som påminnelse om at her skal vi bygge tett. Det kan være så enkelt som en lapp på døren til lunsjbrakken med utsagnet; ”ER DU HELT TETT ELLER!?”. Man skal ikke undervurdere humorens effekt.

- *Tilstedeværelse av nøkkelpersoner.* Effekten av dette kriteriet er observert på Nesodden. Der sitter prosjektleder, prosjekteringsleder og anleggsleder vegg i vegg i brakken, noe som gjør at en hver utfordring og usikkerhet kan løses med en gang. Dette reduserer dokumentbehovet betraktelig og gjør at kommunikasjonen kan skje øyeblikkelig og ikke i en lang mail- kjede over flere dager.

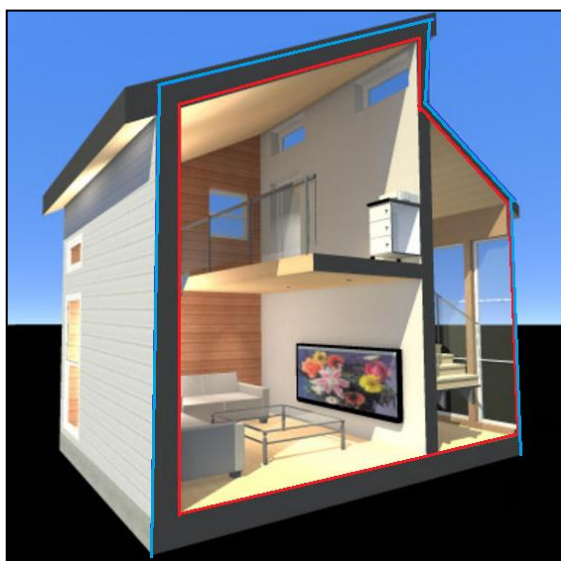
- *Utnevne ansvarlig for kvalitetssikring.* Ved byggestart bør man utnevne en av funksjonærene til ansvarlig for kvalitetssikring av lufttetthet. Det gjør at noen vil gå kontrollrunder med et kritisk blick på lufttetthet spesielt.

- *Tidlig planlegging av trykktester ved prosjektet.* Ved å planlegge hvor og når trykktester skal foregå i prosjektet kan man legge opp fremdriften slik at trykktestene krever mindre tid og ressurser for å gjennomføres. Dette gjør det også lettere å få gjennomført en test så snart man her oppnådd tett bygg ved deler av konstruksjonen. Det er viktig å få gjort første testen så tidlig som mulig for å kontrollere løsninger og motivere for godt videre lufttett arbeid.

6.0 Prosjektering – detaljer

6.1 Lufttetthet i prosjekteringsfasen

Et byggs lufttetthet ligger i stor grad i detaljene. En regel mange benytter ved prosjektering av passivhus er “rødblyant prinsippet.” Det vil si at man for å sikre dampnett sjikt på ytterveggen varme side tenker at man skal kunne føre en kontinuerlig rød strek langs dampsperran i bygningskroppen. Mange vanlige og anerkjente løsninger i dag gjør det vanskelig og ivareta et kontinuerlig tettesjikt. Med dette prinsippet i bakhodet under planlegging og prosjektering vil man oftere velge løsninger der det kontinuerlige tettesjiktet lettere kan oppnås. Man vil også lettere se ut de viktige detaljene som krever ekstra oppmerksomhet med tanke på tetthet. I tillegg til å prosjektere etter rødblyant prinsippet, bør man ha tilsvarende fokus på vindtettsjiktet. For å sikre optimal lufttetthet bør en tenke seg at man skal kunne trekke en kontinuerlig strek både langs dampsperran og langs vindsperran.



Figur 6.1. Kontinuerlige tettesjikt både langs dampsperran og vindsperran.³⁴

6.2 Hvem prosjekterer detaljene?

Detaljene er kanskje de mest kritiske delene ved et prosjekt. Feil er ofte vanskelig å oppdage før det er for sent, og det kan ofte være tid - og ressurskrevende å korrigere. Detaljøsningene strekker seg ofte over store deler av prosjektet og er avgjørende for byggets totale kvalitet. For å oppnå gode detaljer i et prosjekt er det essensielt at man prosjekterer løsninger som er lett å utføre.

Hvem som er ansvarlig for detaljprosjekteringen av et bygg varierer. Likevel er det ofte arkitekten som ender opp med å gjøre denne jobben. Dette er noe som i utgangspunktet kan virke litt lite hensiktsmessig ettersom arkitekter stort sett ikke har bygningsfysisk kompetanse ved endt utdanning. Arkitektene har variert kunnskap på dette feltet, og noen har flere tekniske fag enn andre i utdannelsen. De fleste bygger opp denne kunnskapen etter hvert i karrieren, noe som gjør at arkitektens kompetanse på dette

³⁴ Bakgrunnstegning fra www.sorumsand.vgs.no, strek tegnet på selv

området er sterkt varierende. Det har vært flere som har etterspurt denne type kompetanse som en del av arkitekt utdannelsen.

Årsaken til at arkitekter ofte får denne oppgaven skyldes at de er ansvarlig for de fleste andre tegningene ved prosjektet, de er tegnekyndige og kanskje viktigst, de har 3D-oversikt over bygget. Dette er noe RIB veldig ofte ikke har. De jobber ofte i 2D og ser dermed ikke det helhetlige bygget på samme måte som arkitekten. Denne situasjonen er i endring nå som byggebransjen etter hvert begynner å benytte BIM. Det er nok ikke lenge til alle i et prosjekt ser prosjektet i 3D fra tidlig fase.

En generell tendens i bransjen er at man får flere og flere prosjektdeltakere med spisskompetanse. Man har konsulenter for hvert spesifikke fagfelt ved prosjektet der man tidligere hadde en som var ansvarlig for flere fag. Akustisk rådgiver, brann rådgiver og etter hvert også bygningsfysisk rådgiver. Dette er i dag forbeholdt prestisjeprosjekter, men er i ferd med å bli mer og mer vanlig.

Per dags dato er det likevel ofte arkitekten som utfører detaljprosjekteringen, noe som kan resultere i detaljløsninger som er dårlig bygningsfysisk og vanskelig eller kanskje til og med umulig og utføre. Vanlig prosedyre i slike sammenhenger er ofte at man tar utgangspunkt i arkitektens detalj og modifierer den på byggeplass. Det vil jo til syvende og sist være utførende som må gå god for byggets kvalitet.

En erfaren prosjekteringsleder ville konferert med tømmerbasen, gitt at tømmerbasen er ansett som faglig dyktig. I slike tilfeller ville man tatt en runde eller to opp og ned i kjeden før endelig løsning bestemmes og dokumenteres. I andre tilfeller har man gjerne en ung og uerfaren prosjekteringsleder som ikke har like mye erfaring og grunnlag for vurdering av tegningene og sender det videre til utførende. Dersom ingen av partene kommer med reaksjoner kan man risikere å ende opp med mange løpemetere dårlig tilslutning, gitt at det er feil i detaljtegninger. Med andre ord er det i dag slik at man er prisgitt kompetansen til enkeltpersoner som sitter ved de ulike postene der detaljene passerer. Erfaring og generelt kunnskapsnivå når det kommer til bygningsfysikk og detaljløsninger er svært varierende. Denne usikkerheten er viktig å fange opp tidlig i prosjektet.

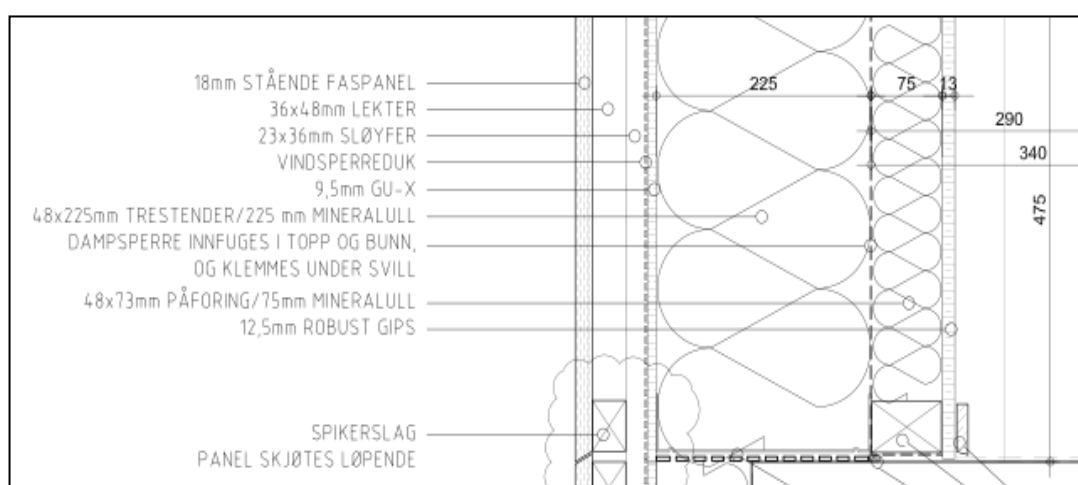
Til syvende og sist er det utførende som står med det bygningsfysiske ansvaret, og ofte er det også på byggeplassen at utførelsen på detaljen bestemmes. Til tross for at tegninger kommer ovenfra og ned til fagarbeider, er det fagarbeider som sitter med endelig innvirkning på resultatet. Det er derfor naturlig å samle denne kjeden av personer som har innvirkning på detaljløsningene, og ha et oppstartsmøte ved starten av et prosjekt. På den måten unngår man mange diskusjoner rundt løsninger underveis i byggeprosessen.

Utfordringen med å få til et slikt forum for detaljprosjekteringen er at alle parter gjerne ikke er involvert i prosjektet når et slikt møte burde finne sted. Det er derfor godt, også for detaljløsninger, at bransjen går mot samspills kontrakter der samarbeidet begynner allerede fra dag en.

6.3 Detaljer med god lufttetthet

En detalj med god lufttetthet er nøye gjennomtenkt fra et konstruktivt, bygningsfysisk og utførelsesmessig perspektiv. I oppgaven er det sett på tre sentrale detaljer og ulike løsninger for disse. På grunnlag av tilbakemeldinger fra fagarbeidere, bygningsfysikere og funksjonærer fra Skanskas byggeplasser, i tillegg til Skanskas trykktester Håkon Brager- Larsen, blir det drøftet ulike løsninger og utfordringer ved disse detaljene. Detaljløsningene benyttet ved Nesodden kommunesenter har vært utgangspunktet.

6.3.1 Detalj 1- Oppbygning yttervegg



Figur 6.2. Detalj oppbygging vegg fra Nesodden kommunesenter.

Oppbygging av yttervegg eller klimavegg som den ofte blir kalt er et av de viktigste elementene i et prosjekt, da denne løsningen er avgjørende for store deler av byggets klimaskjerm.

Yttervegger skal skjerme mot vær og vind, lyd og brann for å oppnå ønsket innemiljø og sikkerhet. Veggkonstruksjoner utføres oftest som rene bindingsverkvegger eller vegger med murblokker, teglforblendete konstruksjoner eller en kombinasjon av disse. Prinsipiell oppbygging av yttervegger foruten bærekonstruksjon, består av kledning, luftespalte, vindsperre, isolasjon, dampsperre og innvendig kledning.

Med den nye TEK10 har det blitt strengere krav som i stor grad påvirker klimaveggen. For å oppfylle kravene til u- verdi, kuldebro og energikrav må yttervegg minimum være 25 cm tykk, og 30- 40 cm for passivhus. Det er mulig å ha mindre tykkelse på veggene ved omfordeling så lenge minstekravene i TEK10 blir overholdt.

Materialer

Det finnes mange spesialtilpassede isolasjonsprodukter til ytterveggkonstruksjoner som f.eks. Flexi A-plate, RockVegg, Murplate, I- plate osv. Dette avhenger av hvilken løsning som velges.

Stendere virker som kuldeborer ettersom de har en høyere varmeledningsevne enn isolasjonen. Det er derfor ønskelig og minimere areal av stendere i fasaden. En annen viktig grunn til å holde stenderandelen på et minimum er at treverk kan holde på mye fuktighet og dermed bidra til økt byggfukt. Dette kan unngås dersom man benytter I- profiler eller stålstendere istedenfor tre.

Vegger av stål og betong, med dårlig isolerende egenskaper bør isoleres på utsiden for å unngå kuldeborer ved etasjeskiller og skillevegger. Det vil også være mindre risiko for kondensering inne i veggen.

Utvendig kledning

Kledningen skal beskytte resten av konstruksjonen mot vær og vind og er derfor veldig viktig å ha gode detaljer på. Slagregn dvs. en kombinasjon av regn og vind er den hardeste påkjenningen kledningen blir utsatt for. Kledningen kan være av trebord, teglstein eller forskjellige typer plate- materialer. Luftspalten bak kledningen har flere funksjoner:

- virker trykkutjevner ved vindpåvirkning
- forhindrer regngjennomslag i å trenge videre inn i veggen
- ventilerer bort vanndamp som kan diffundere ut fra innsiden av konstruksjonen

Vindsperre

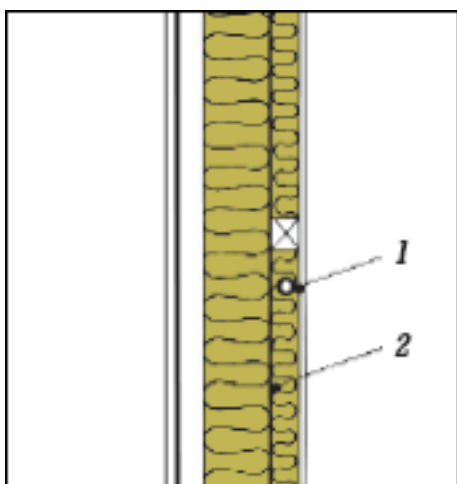
Det finnes mange ulike typer vindsperre. To hovedkategorier er plater og rullprodukter. Eksempler kan være gipsplater, asfaltplater, kryssfiner og duk. Rullprodukt kan bli levert i full etasjehøyde som er vannavvisende og diffusjonsåpne. Vindsperren skal hindre anblåsning av isolasjon langs luftspalten og tette konstruksjonen mot luftlekkasjer. For lettest mulig å oppnå et tett sjikt er det en fordel at vindsperren utføres med færrest mulig skjøter. Dersom man benytter plater vil man ha betydelig mange flere skjøter enn hvis man benytter duk.

Den kanskje viktigste egenskapen til vindsperren er at den er diffusjonsåpen, slik at konstruksjonen kan tørke ut. På Vestlandet har vanlig byggeskikk vært at man har et sjikt med vindtettplater, etterfulgt av en duk utenpå. Hensikten med duken har i hovedsak vært at den skal beskytte mot vær- og regnpåkjenninger, slik at konstruksjonen ikke blir tilført fuktighet i regnfulle perioder. Likevel er denne duken også vindtett og man opererer dermed med to vindtettsjikt utenpå hverandre. Dette blir mer og mer vanlig over hele landet i disse dager og man snakker om å bruke både "belter og bukseseler" for å oppnå en så lufttett bygningskropp som mulig. Denne tankegangen har resultert i at noen ser på duken som et vindtettsjikt, mens noen ser på den som en værbeskytter. Faren ved dette er at man risikerer at de ulike sjiktene hovedfunksjon ikke er avklart blant alle på byggeplass, noe som totalt sett kan forringe lufttettheten, rett og slett fordi man tenker at det andre sjiktet står for den

biten. Hensikten med de ulike sjiktene bør være avklart og opplyst om fra starten av byggeprosjektet.

Dampsperre

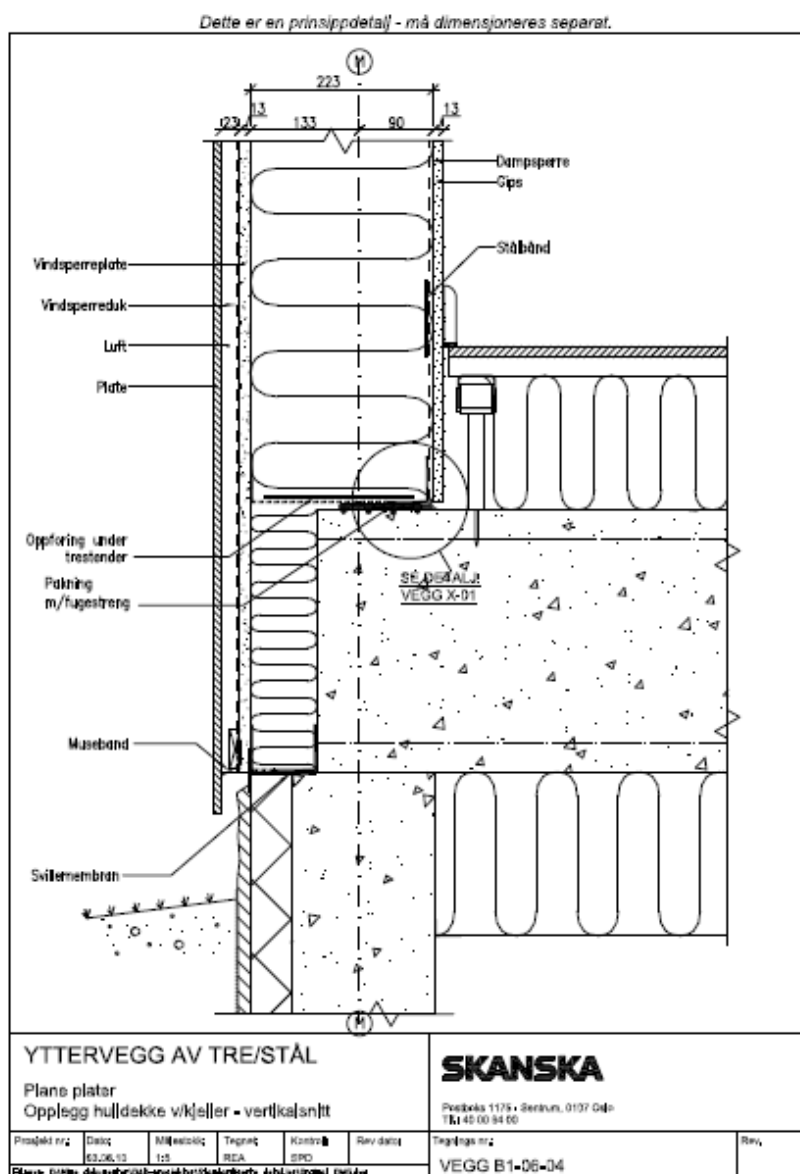
Den viktigste funksjonen til dampspennen er å gjøre konstruksjonen lufttett og diffusjonstett for å stoppe fuktig inneluft fra å nå ut i konstruksjonen, og for å hindre varmetap. Varm luft kan ta opp mer fukt enn kald luft. Det er derfor mer vanndamp i luften inne enn ute i den kalde årstiden. For å hindre at vanndamp trenger inn i konstruksjonen legges en dampsperre av diffusjonstett papp eller plastfolie på den varme siden av ytterveggen, tak og gulv. Prinsippet i en yttervegg er at veggen skal bygges opp med størst dampmotstand mot oppvarmet rom og avta utover i konstruksjonen. Det er viktig at dampspennen legges kontinuerlig på veggen og overlappes med dampspennen i taket med gode skjøter. Et vanlig problem med dampspennen er at den ofte perforeres etter montering når vvs - og elføringer skal monteres i veggen. For å unngå dette har det blitt vanlig å legge dampspennen litt inn i isolasjonen for å gi plass til rørføringer på innsiden. Desto færre perforeringer som gjøres i dampspennen jo bedre er det.



Figur 6.3. Illustrasjon av inntrekket dampsperre og el- rør.

- 1) El- rør
- 2) Dampsperre

6.3.2 Detalj 2- Tilslutning Yttervegg/Etasje-sille

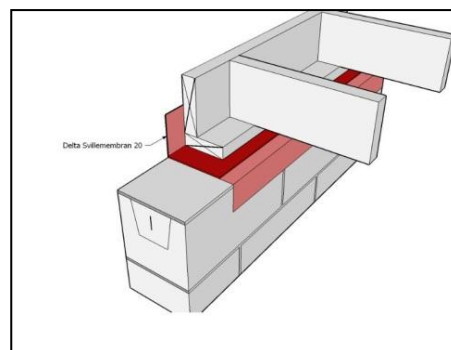


Figur 6.4. Detalj tilslutning yttervegg/ etasjeskille fra Skanska Produkt design (SPD).

Dette er en kritisk detalj fordi den strekker seg rundt hele byggets omkrets og kan derfor potensielt kraftig forringe byggets lekkasjetall. Det mest omdiskuterte punktet i denne detaljen er møtet mellom bunnsvillen og dekkekanten. Det er et møte mellom to veldig forskjellige materialer og utfordringen her er den samme uavhengig om man benytter bunnsvill av tre eller stål.

Materialbruk

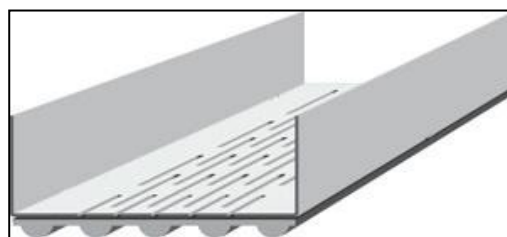
Tidligere benyttet man løsninger med grunnmurspapp, svillepapp og laftevatt i møtet mellom bunnsvill og dekke, noe som det er krevende å få til et godt resultat med. I de senere årene har man begynt å benytte løsninger som svillemembraner, svillebånd og svilleunderlag. Disse gir et bedre resultat og har lettere for å innfri de nye kravene. Noen svillemembraner har både en membranløsning og en vindsperrerflik som monteres slik at vindsperreren på veggen danner et omlegg over fliken. Omlegget klemmes deretter tett med en horisontal klemlekt.



Figur 6.5. Svillemembran med vindsperrerflik.³⁵

I hovedsak er det kvaliteten på utførelsen av betongen som her er avgjørende for om det er lett å tette. Man benytter en svillemembran som skal fange opp dekkekantens ujevnheter. Slike svillemembraner skal kunne fange opp ujevnheter på mellom 8- 10 mm.³⁶ De fleste svillemembraner har en tykkelse på rundt 4 mm.

Dersom man her benytter stålsvill er de ofte perforert i flensen for å bryte kuldebroen i svillen. Denne perforeringen er viktig å ha for å redusere varmetapet i detaljen, men den må tas hensyn til i forhold til lufttettheten. På case- prosjektet på Nesodden ble perforerte stålsviller benyttet, noe som krevde at SPD- avdelingen i Skanska kom med forslag til modifikasjoner på opprinnelig detaljløsning. Som detaljen ovenfor viser hadde man tidligere lagt svillemembranen litt inntrukket på dekkekanten. Membranen skal skape lufttetthet mellom svill og dekkekant. Dersom man hadde benyttet en tresvill i dette tilfellet ville isolasjonssjiktet også være tett med denne løsningen fordi man hadde hatt vindtett sjikt på svillens ytterkant. Har man stålsvill med perforering risikerer man luftstrøm nedenfra og opp i isolasjonen, med andre ord anblåsning av isolasjonen som gir redusert isolasjonsevne. For å unngå dette foreslo SPD- avdelingen at det ble benyttet en bredere svillemembran som kunne trekkes helt ut til ytterkant av perforering på svillen. Membranen må festes til svillen. Dette er noe som kan gjøres enten av leverandør eller manuelt i ettertid med vindtett teip. I tillegg til svillemembranen benytter man som regel en fuge på innsiden av svillen.



Figur 6.6. Stålsvill med pålimt svillemembran.

Usikkerheter ved løsningen

Den største risikoen ved løsningen ligger i om svillemembranen er fleksibel nok til å fylle ut dekkekantens ujevnheter og skape en helt tett gjennomføring. Jo større ujevnheter dekkekanten har jo større blir denne risikoen. Her er man prisgitt en god utførelse. Fugens holdbarhet er en annen usikkerhet. Andre svakheter kan være heft for fugen, og her er det også utførelse det koker ned til. Fuging til vått eller skittent

³⁵ Delta Svillemembran fra Nortett

³⁶ www.holdtett.no med Tor Helge Dokka

underlag vil gi en veldig dårlig heft. Det er derfor viktig at man rengjør overflaten man skal fuge til skikkelig. I etterkant er det avgjørende for fugens holdbarhet hvilke materialer den er i kontakt med og fleksibilitet ved kryp i disse materialene.



Bilde 6.1. Tilslutning dekke/ yttervegg i over- og underkant. Her er det benyttet stålsviller og uttrukket svillemembran.

Dekke/Etasje

Jo jevnere dekkekant, desto bedre blir tilslutningen i denne detaljen. For plass-støpt betong er dette en stor utfordring. Står man ute i ruskete vær og støper er det ikke lett å oppnå jevn dekkekant. Per i dag glatter man støpen så godt man kan med enkle redskaper, noe som ikke gir noe særlig godt resultat. Den kanskje største årsaken til at dekkekanter ofte er ujevn er nok at det aldri har blitt uttrykt et ønske fra overordnede om at den skal være slett. Ved støping av dekker er hovedfokuset som oftest at dekkets underkant, altså himlingen i etasjen under, skal være så slett og fin som mulig. Dette er den delen av dekket som senere vil bli eksponert for kunden, og jo dårligere støpen er jo mer etterarbeid kreves på denne flaten. Det er ofte sånn at man fokuserer først og fremst på det som vil være synlig i det endelige resultatet.

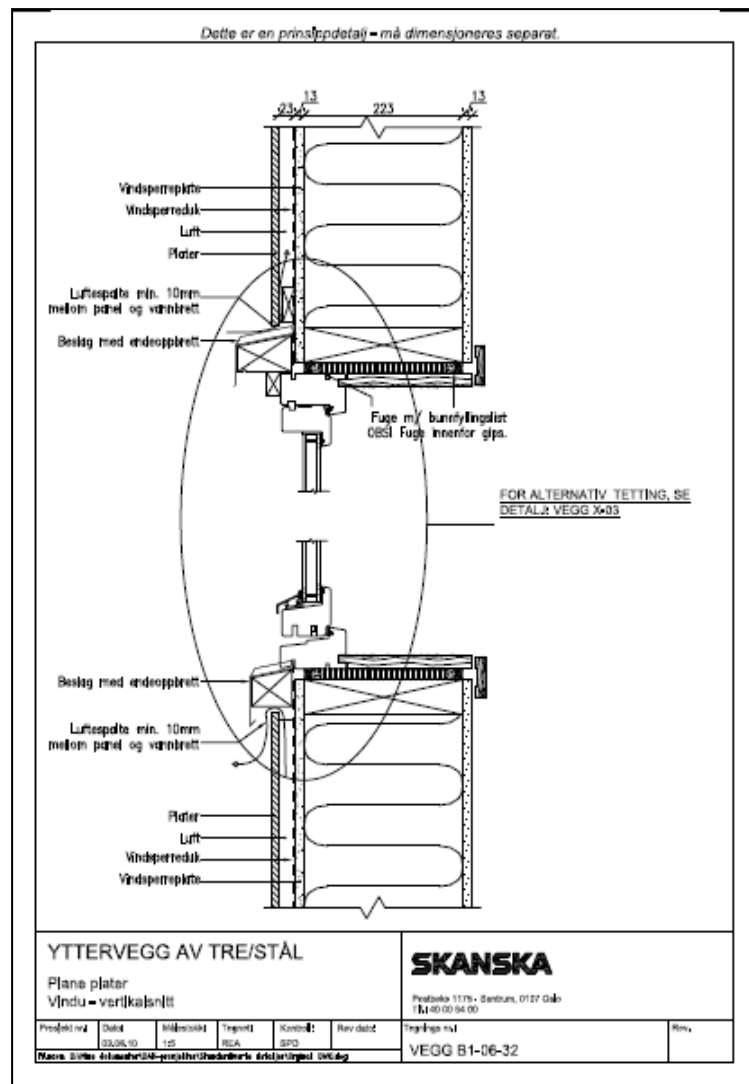
Men etter hvert som trykktesting blir et vanlig verktøy i byggeprosjekter vil dette være med på å synliggjøre kvaliteten på utførelsen også andre steder enn på det som er visuelt synlig.

En annen årsak til at dekkforkanten ofte kan bli unødvendig ujevn er at det ofte er her det går et grensesnitt mellom to forskjellige aktører. Ofte har en entreprenør betongarbeidene ved et prosjekt mens en annen har tømmeret. Det er vanlig at man går over dekkekanten etter støpen og skraper og evt. sliper kanten jevnere for å sikre en god og tett tilslutning.

Dersom man benytter hulldekker får man spesielle utfordringer i forbindelse med lufttettheten;

- Hulldekkene produseres med overhøyde slik at man også her risikerer gliper mellom dekkekanten og bunnsvill.
- En annen utfordring er v-fordypningen ved hver hulldekke- skjøt. Denne krever ekstra fugging i hver ende.
- Hulldekkene forankres til stål. Da bores det i dekket og man får hull eller ujevnheter ved gjenstøping av hull.
- Hulldekkene leveres med drenshull som må tettes igjen etter montering og evt. uttørking. Dersom dette ikke gjøres vil drenshullene muliggjøre luftvandring fra yttervegg og opp gjennom flere etasjer. Dersom hulldekkene går kontinuerlig over to boenheter vil det bli fare for store internlekkasjer. Drenshullene bør derfor fuges eller sparkles igjen.

6.3.3 Detalj 3- Tilslutning Vindu/Yttervegg



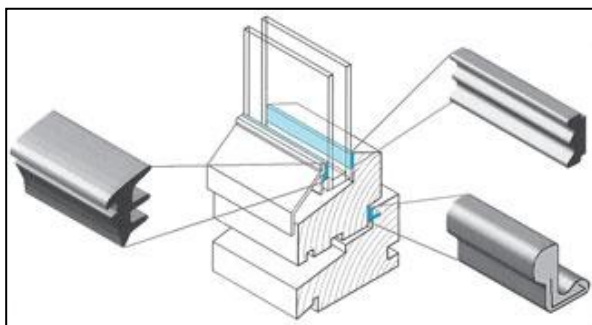
Figur 6.7. Detalj tilslutning vindu/ yttervegg fra SPD.

Detalj yttervegg/vindu er et sårbart punkt i en bygningskropp og det er som oftest her de største utetthetene er.

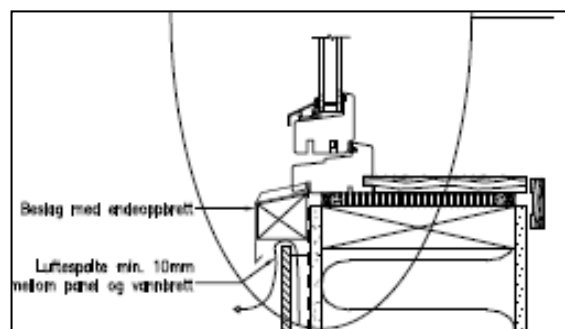
Selve gjennomføringen av denne detaljen kan være vanskelig med små marginer. Dersom man har rullprodukt som lufttettssjikt er det viktig at det legges vekt på å trekke vindspærren opp mot rammen og at denne klemmes godt. Tettesjiktet kan også være GU/GUX plate med dobbel fuging som i case- prosjektet på Nesodden. Her er det viktig å få en god heft og passe på å fuge tilstrekkelig.

Trevindu

Detalj yttervegg/trevindu er en krevende detalj. Tetting mellom ramme og karm kan gjøres med dobbel elastisk fuge. Med dobbel elastisk fuge menes det at man har en fuge på innsiden og en på utsiden.



Figur 6.8. Illustrasjon av tettelister.³⁷



Figur 6.9. Prinsipp med dobbel fuge.³⁸

I tillegg til dobbel elastisk fuge benytter man ofte en tettelist som fungerer som en ytre skjerm eller vannfelle. Dersom tettelisten skulle bli våt, vil trykkforskjellen mellom ute og inne føre til at vann blir presset forbi tettelisten ved sterk vind, og det vil oppstå lekkasjer. Selve tettelisten har normalt kortere levetid enn vinduet og må derfor kunne byttes ut. Tettelistene bør være så myke at de tar opp eventuelle deformasjoner i treprofilene.

Eksempel på tettelister er neoprengummi og EPDM- gummi. Vinduene bør være ferdig overflatebehandlet før montering av tettelisten, da denne ikke tåler maling. Dersom tettelistene blir montert før overflatebehandling kan de bli deformert av løsemidler, noe som er uheldig.

Bilde 6.2: Trevinduer med fuge detalj fra Nesodden kommunesenter.



³⁷ Sintef Byggforsk

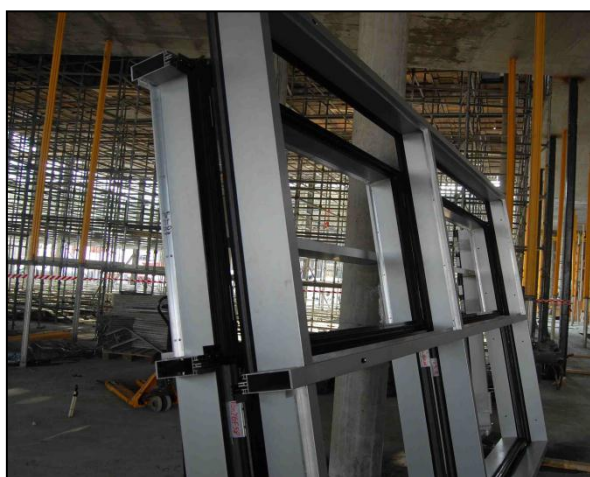
³⁸ Bilde hentet fra SPD bibliotek

Aluminiumsvinduer/profiler

Detalj yttervegg/ aluminiumsvinduer kan være en ekstra stor utfordring med tanke på hulrom i profilet som gir mulighet for luftgjennomstrømning. Disse profilene er helt hule uten noe isolasjon og har derfor åpne lufttransportveier. For å unngå at det går luft inn i profilene kan man tette endene med teip. Hjørnesammenføyningene i ramme og karm må være helt regn- og lufttette. Dette er spesielt viktig for karmen fordi lekkasjer kan skade underliggende veggpartier. For å løse dette er det vanlig å legge inn hjørnevinkler og fugemasser.

Til å tette mellom ramme og karm benyttes tettelisten som legges i spor i profilene. Hovedtettingen legges vanligvis i midten av profilet som en såkalt ”midttetting” i indre anslag eller i overfals. Utfordringen er å forhindre at det kryper vann under tettelisten og det er derfor viktig å legge listen i fugemasse i hele bunnfugens lengde. Tettelistene bør limes eller sveises i alle hjørner fordi den alltid vil krype noe.

Aluminiumsvinduer har vanligvis innvendige glasslister som er låst fast i spor i rammeprofilet. I alle hjørner settes glasslistene butt i butt, noe som gir små klaringer der det alltid vil oppstå små luftlekkasjer. Dette er uheldig fordi luften kan rive med seg vann fra glassfalsen og føre til vannlekkasjer. For å unngå dette bør det alltid være en fugemassetetting mellom det indre glasset i isoler- ruta og rammeprofilet. Tetningen bør gå i hele bunnfalsens lengde og ca. 100 mm oppover på hver side. Utvendig fuge bør ha regnskjerm i form av beslag.



Bilde 6.3 og 6.4. Aluminiumsprofiler fra Nesodden kommunesenter.

Sammenligning av detaljer som er benyttet på Nesodden kommunesenter og detaljer utformet av SPD

I forhold til tettheten er detaljene på Nesodden kommunesenter utformet litt forskjellig fra SPD sine detaljer. Detaljene på Nesodden er tegnet av arkitekt. Vindsperreduken på SPD sine detaljer er trukket inn under vinduskarmen, klemt og festet med fuge.

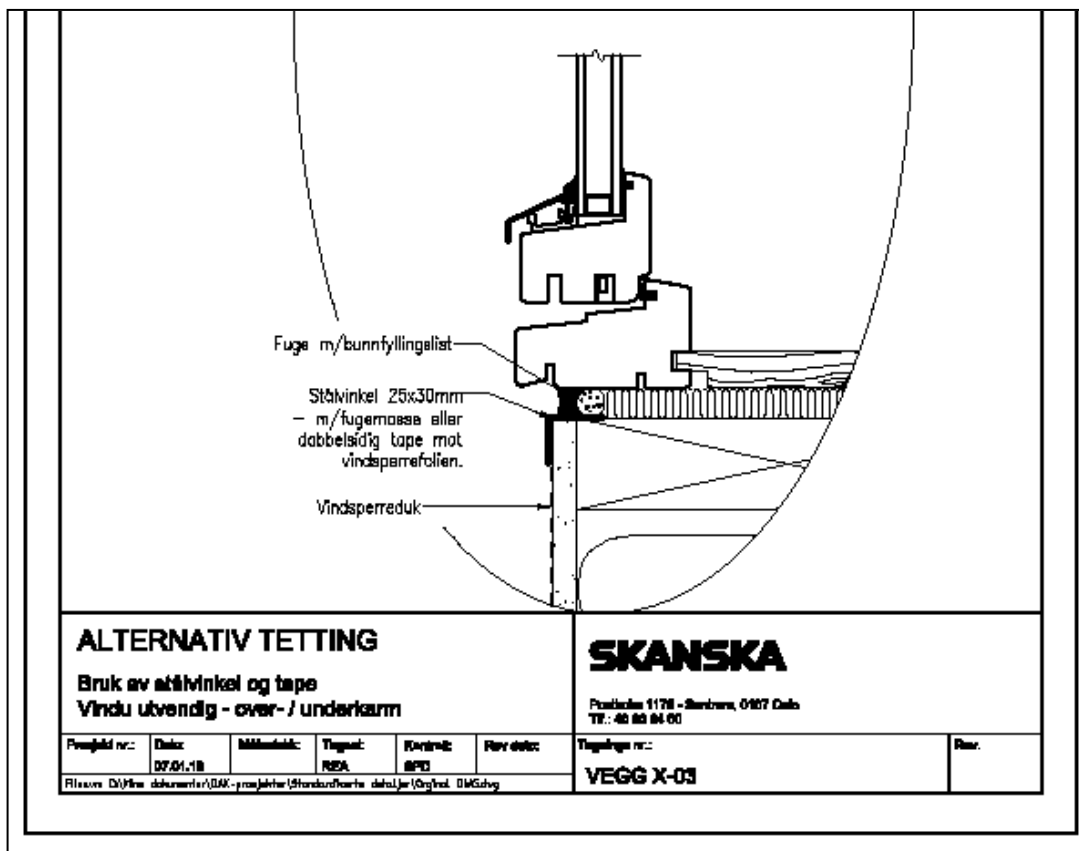
Detaljene på Nesodden har vindsperreduken kuttet under vinduet. Detaljtegningen fra arkitekt viser at det opprinnelig skulle settes på en vindspærreskjøt som skulle klemmes til vinduskarm. Dette var en løsning som fungerte på papiret, men ikke i praksis, og ble derfor endret. Nesodden kommunesenter har tettesjikt med GUX, dobbel elastisk fuge og teip. Vindsperreduken (Tyvek) fungerer som regnbeskyttelse og er ikke tettesjikt. Derfor er vindsperreduken kuttet under vindu og ikke trukket inn under vinduskarmen.

Nesodden kommunesenter er et samspillsprosjekt hvor det har vært fokus på åpenhet og løsningsorienterte møter med bas på tømring for å diskutere hvilken løsning som ville være den beste, med tanke på teori og praktisk erfaring. Det ble lagt stor vekt på tømmerbasens erfaring og dyktighet på feltet.

Det er benyttet dobbel elastisk fuge i detaljen på Nesodden kommunesenter. Denne fugemassen er basert på MS- polymer, noe som gjør produktet kjemisk nøytralt og høyelastisk³⁹. Den er vannfast og overmalbar etter herding og har ekstremt god heft. Dette produktet ble valgt med tanke på at dette er et miljø- prosjekt. Alle produkter og materialer som er i bygget er nøye gjennomtenkt og sertifisert av en egen miljøkonsulent spesielt for dette prosjektet.

Løsningene på Nesodden ble testet i tidlig fase, altså i vindtetthetsfasen og kommer stort sett under kravet på 0,6 luftvekslinger pr. time. Dette indikerer at løsningene er god nok. Med tanke på bestandigheten til fugen som har svært varierende levetid, kan det diskuteres om vindsperreduken skulle ha blitt klemt inn under karm slik det vanligvis gjøres, og deretter festes med fuge.

³⁹ Soudal



Figur 6.10. Detalj av tetting med stålvinkel fra SPD.

Det ble anbefalt fra SPD at det skulle settes inn en stålvinkel som vist på figur 6.10 for å beskytte gipsplaten mot fuktighet og sikre god heft ved fugging. Denne løsningen har blitt benyttet i andre Skanska- prosjekter, hvor det vises til gode resultater. Alternativt kan man sikre seg på samme plassen med teip fra vindsperrduk over kuttet gipsplate og inn på stender. Da har man heft til teipen på begge sider av gipsplaten. Dette er også en god løsning som i tillegg er rimeligere.

7.0 Lufttetthet i ulike byggeprosjekter

7.1 Innvirkninger på byggets lufttetthet

Byggets lufttetthet påvirkes av så godt som alle aspekter ved et byggeprosjekt. Fordi det er et resultat av så mange faktorer blir det også veldig sårbart. Det kreves ulik håndtering av lufttetthet nesten fra prosjekt til prosjekt og det er det som gjør den ekstra vanskelig å sikre. Faktorer som kan ha innvirkning på lufttettheten er blant annet;

- Konstruksjonsvalg
- Materialvalg
- Arkitektonisk utforming
- Værforhold ved bygging
- Detaljløsninger
- Kontraktsform
- Organisasjonsform

7.1.1 Hypoteser rundt lufttetthet

Skanska har foretatt trykktester på prosjekter i to og et halvt år og sitter dermed på en god del testresultater som kan gi interessant statistikk rundt lekkasjetall. Disse resultatene er ikke satt i noe system så det trengs en sorteringsjobb for å sile ut interessante tall. Denne jobben har vi påtatt oss å gjøre. I tillegg har vi sendt ut spørreskjema til de aktuelle prosjektene for å få mer dyptgående informasjon om blant annet detaljløsninger ved prosjektet. Se vedlegg 6. Hvilken informasjon er interessante å trekke ut fra en slik rapportbunke, og hva kan vi lese utfra disse dataene?

1. Tid. Det er essensielt å registrere når de ulike trykktestene er gjort. På den måten vil vi kunne se på utviklingen til størrelsen på lekkasjetall for Skanskas prosjekter fra nærmere tre år tilbake og frem til i dag. Det er grunn til å tro at kunnskap og fokus rundt lufttetthet har økt internt i Skanska etter at man har begynt å trykkteste prosjekter, noe som burde være synlig i prosjektenes lekkasjetall.

Hypotese: *Skanskas nybygg er mer lufttette i dag enn for 3 år tilbake.*

2. Målevolum. Lekkasjetallet (n_{50}) er forholdet mellom lekkasjeluftmengde og målevolum. Med andre ord kan man oppnå et bedre lekkasjetall med større målevolum gitt at man ikke får mange flere utettheter ved å øke målevolumet. Hypotese: *Trykktester med stort målevolum gir et bedre lekkasjetall.*

3. Type bygg. Skanska bygger alt fra boliger til kontorlokaler. I de ulike prosjektene stilles det ulike krav til energiforbruk og ventilasjon. Byggeprosessen er alltid presset for tid, men kanskje boligproduksjon er mer presset for tid enn for eksempel et større kontorbygg der det kanskje stilles spesielle krav til utførelse etc. Kan typen bygg som produseres ha innvirkning på byggets endelige lekkasjetall?
Hypotese: *Boligprosjekter har ofte høyere lekkasjetall enn andre prosjekter.*
4. Stenderløsning. For å bedre U- verdien i klimaveggen har man på enkelte prosjekter benyttet stålstendere istedenfor trestendere. For å redusere kuldebroene stålstenderne utgjør i veggen perforeres store områder av stenderen. Dette medfører en helt annen potensiell luftsirkulasjon i veggen. Topp- og bunnsviller av stål har også denne perforeringen, noe som krever at man tar nye hensyn til lufttettheten her.
Hypotese: *Bygg med stålstendere har høyere lekkasjetall enn bygg som bare benytter tre.*
5. Betongløsning for prosjektet. Skanskas prosjekter varierer mellom å benytte prefabrikkerte hulldekker, andre betongelementer og plass- støpt betong i sine prosjekter. De ulike løsningene krever vidt forskjellige tiltak for å oppnå tette skjøter og tilslutninger.
Hypotese: *Valg av betongløsning har innvirkning på byggets lufttetthet.*
6. Når på året det ble tett bygg. For fagarbeiderne på byggeplassen er været en faktor man alltid må forholde seg til og ofte føye seg etter. Det er stor forskjell på å stå ute og jobbe en mørk februar morgen i sludd og en maimorgen i sol. Dette kan ha innvirkning på kvaliteten på utførelsen.
Hypotese: *Prosjekter som har nådd tett bygg i vinterhalvåret har dårligere lekkasjetall enn prosjekter som har nådd tett bygg på sommerhalvåret.*
7. Entrepriseform. Skanskas deltakelse på ulike prosjekter varierer avhengig av kontraktsforhold. Skanska kan stå ansvarlig for hele eller bare deler av produksjonen av bygget. Kan dette ha innvirkning på byggets endelige lufttetthet?
Hypotese: *Prosjekter der Skanska har totalentreprise har bedre lekkasjetall enn prosjekter der Skanska bare har delansvar.*

8. Detaljprosjektering. De fleste områder som er kritisk for bygningens lufttetthet håndteres i detaljprosjekteringen. Detaljprosjekteringen er ofte ufullstendig og mangelfull, da man ikke tar seg tid til å ta stilling til detaljene før byggestart. Flere prosjekter har nok også hvilt på fagarbeidernes erfaring på hvordan ting gjøres. I de prosjektene der detaljprosjektering skjer er det varierende hvem som står ansvarlig. I noen prosjekter kan det være ARK, i andre kan det være RIB. Skanska har opparbeidet en egen avdeling SPD (Skanska Produkt Design) som bygger opp en database med gode standardiserte detaljløsninger. Denne databasen har blitt benyttet av noen prosjekter, men fortsatt er det mange som finner løsningene sine andre steder. Hva har håndteringen av detaljprosjekteringen å si for byggets lufttetthet?

Hypotese: *Bygg som har benyttet detaljløsninger fra SPD har bedre lekkasjetall enn andre bygg.*

9. Dobbel eller enkel tetting. I vind- og regnutsatte strøk har det alltid vært vanlig med dobbel tetting i form av vindtette plater, for eksempel GU etterfulgt av vindtett duk, for eksempel Tyvek. Den vindtette duken har i hovedsak hatt til hensikt å beskytte mot værpåkjenninger, men har også vært en ekstra sikring i forhold til tetthet. Hvilke løsninger som benyttes her er avgjørende for byggets lufttetthet, men de ulike løsningene har ulik sikkerhetsfaktor. Det er i hovedsak skjøtene i veggkonstruksjonen som er kritiske. Derfor vil en løsning som minimerer antall skjøter sikre lufttettheten betraktelig. Er det en løsning som tendenserer til å gi bedre resultater enn en annen?

Hypotese: *Dobbel vindtetting gir lavere lekkasjetall enn enkel tetting.*

10. Løsning i skjøter. Hvilken løsning man har benyttet for skjøtene på det vindtette sjiktet er avgjørende for hvor tett det endelige sjiktet faktisk blir. Mulige måter å tette på er med fuge, teip eller klemming. De ulike løsningene har ulik vanskelighetsgrad på utførelse og ulik holdbarhet. Er det noen tendens til forskjell i lekkasjetall ut fra hvilke av disse metodene som er benyttet?

Hypotese: *Klemming vil gi dårligere tetthet i skjøten og dermed også dårligere lekkasjetall enn hva teiping og fuging vil gjøre.*

7.1.2 Sortering av Skanskas måledata

Totalt har 20 av de 25 prosjekt hvor det ble sendt ut spørreundersøkelse til, gitt tilbakemelding. Dette skyldes i stor grad at noen av prosjektene sto ferdig i 2008, slik at det å finne en ansvarlig fra prosjektet som i tillegg husker nok detaljer om prosjektet til å svare på en slik undersøkelse ikke alltid var like lett. Likevel er det et bredt spekter av forskjellige typer prosjekter. Boliger, barnehager, skoler og kontor og yrkesbygg er alle godt representert.

Feilkilder

I statistikken som er tatt ut av sorteringen av Skanska sine trykktester er det flere feilkilder. Først bør det nevnes at trykktesting i hovedsak har foregått på prosjekter der fokuset har vært større enn normalt, enten fordi man skal oppfylle ambisiøse energikrav eller fordi man kanskje har hatt dårlig erfaring fra tidligere tilsvarende prosjekter. Dette resulterer i at de fleste prosjektene vi har med i statistikken har relativt gode lekkasjetall. Variasjonene vi finner er dermed ikke over et stort spenn. En annen faktor som bør nevnes er at kunnskapen rundt målemetode og vurdering av resultat er vesentlig høyere i dag enn hva den var da Skanska begynte å trykkteste. Håkon Brager-Larsen som har foretatt alle trykktestene forteller at han har hatt en bratt læringskurve siden han begynte å trykkteste. De tidligste testene kan derfor være utført på en annen måte enn det som er praksis i dag, noe som selvsagt har innvirkning på måleresultatet.

Noen prosjekter har flere byggetrinn og har da blitt tette på forskjellige tider på året. Det er også flere prosjekter hvor det er brukt flere ulike ytterveggkonstruksjoner osv. Dette tar ikke sorteringssystemet hensyn til. Derfor vil det være enkelte av statistikkene som har feilkilder og det er rom for å tolke resultatet.

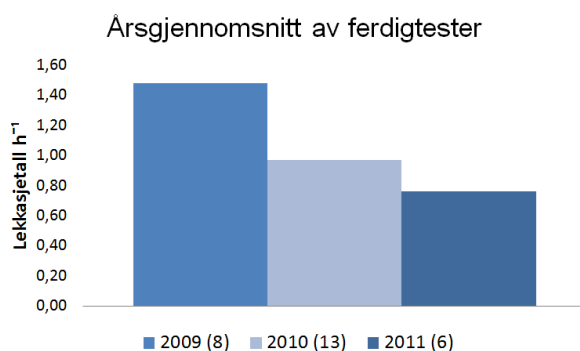
Feilkilder:

- I de tidligste trykktestene står det ikke tydelig om det er tidlig eller ferdig test.
- Flere aktører, eks: RIB, ARK OG SPD kan ha bidratt til detaljprosjekteringen på et prosjekt.
- Ytterveggløsning: Prosjekter hvor det er elementer fra Husfabrikken, har blitt ført som bindingsverk tre grunnet at det ikke var en egen boks for slike elementer
- Måned for tett bygg: Flere byggetrinn gjør at prosjektet har flere tett bygg perioder
- Entrepriseform: Det finnes bare to prosjekter i sorteringsgrunnlaget hvor det ikke er benyttet totalentreprise og det vil derfor være en skjevfordeling her.
- Trykktester har hatt en læringskurve siden han begynte å trykkteste i 2008 og kvaliteten på testene er derfor bedre de siste årene og mer informative.
- Statistikken er kun et utvalg av alle Skanskas prosjekter
- Det er betydelig større grunnlag og flere prosjekter i 2010 med trykktesting enn 2009 og 2011

Statistikken som har blitt utarbeidet danner ikke et grunnlag for å ta noen definitive konklusjoner, men kan i beste fall gi en indikasjon på en tendens i bransjen (representert av Skanska). Slutningene vi trekker kan virke bastante men vi er bevisst på den store usikkerheten som ligger bak.

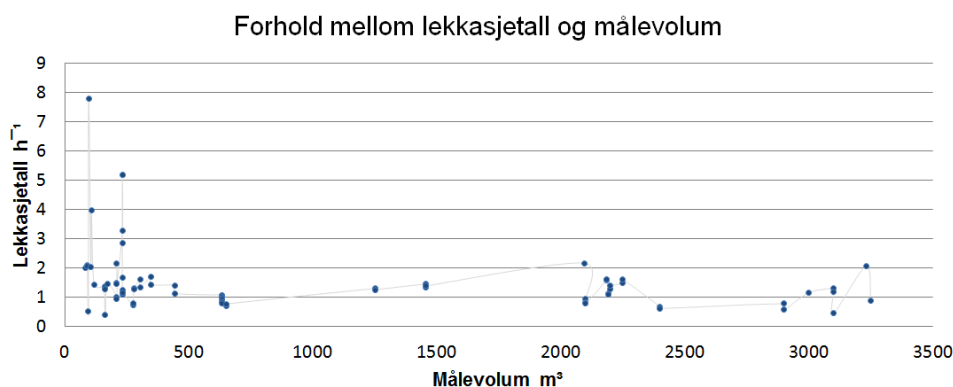
Vi har vurdert resultatene i lys av den kunnskapen og erfaringen vi har fått fra vårt feltarbeid og tar utgangspunkt i hypotesene vi hadde rundt lekkasjetall;

1. Hypotese: Skanskas nybygg er mer lufttette i dag enn for 3 år tilbake.



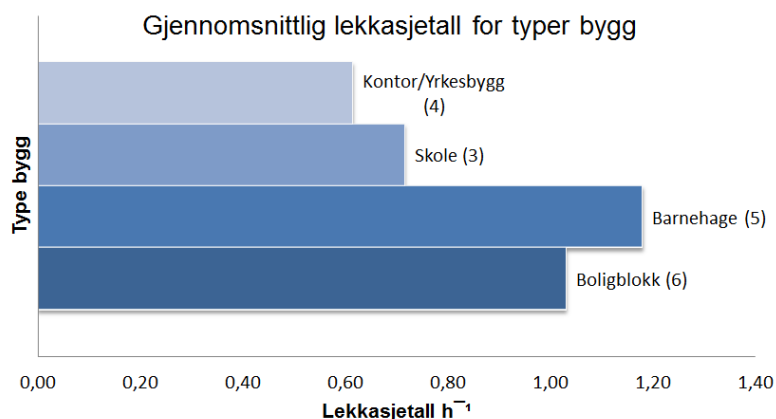
Her er bare resultatet fra ferdigtester tatt med noe som vil si at hver verdi er et snitt av en over- og en undertryksmåling. Resultatet er i stor grad som forventet ettersom fokuset rundt lufttethet har økt betraktelig de senere årene. I tillegg har det at man har begynt å foreta trykktester bidratt til økt forståelse rundt lufttethet og hvordan det kan oppnås. Dette gjelder for alle på prosjektet fra prosjektlederen og ned til hver enkelt fagarbeider. Likevel observerer vi at kunnskapen om hensikten med god lufttethet kunne vært enda større på byggeplass.

2. Hypotese: Trykktester med stort målevolum gir et bedre lekkasjetall.



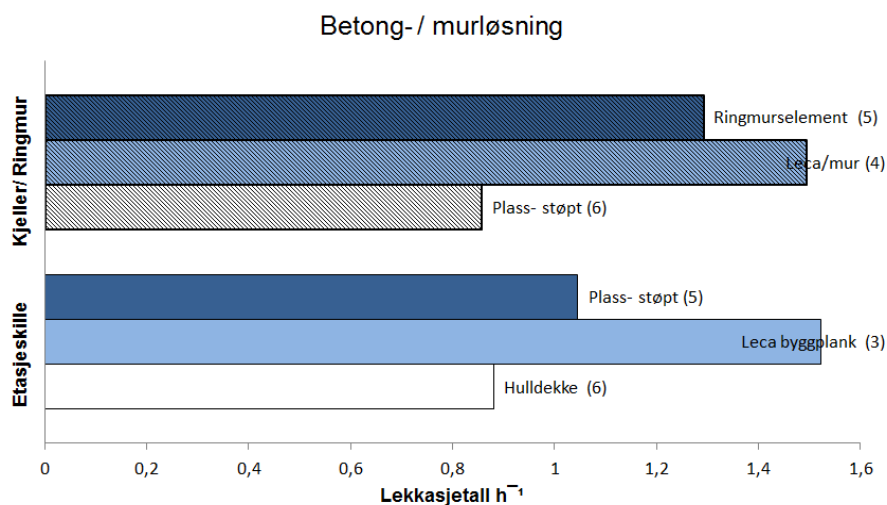
Dette er en forholdsvis kjent sak, som egentlig bare ble etterprøvd i større skala. Resultatet viser at tendensen går mot et lavere lekkasjetall jo større målevolumet er, men likevel er det en del ujevnheter i kurven noe som indikerer at dette ikke alltid vil være tilfellet. Ved volum på rundt $200 m^3$ er det en “peak” i lekkasjetall. Dette skyldes trolig at volum på denne størrelsen ofte er 3 roms leiligheter der man ved en trykktest ofte har et stort innslag av internlekkasjer i tillegg til at leiligheter generelt ofte har et høyere lekkasjetall enn øvrige målevolum.

3. Hypotese: Boligprosjekter har ofte høyere lekkasjetall enn andre prosjekter.



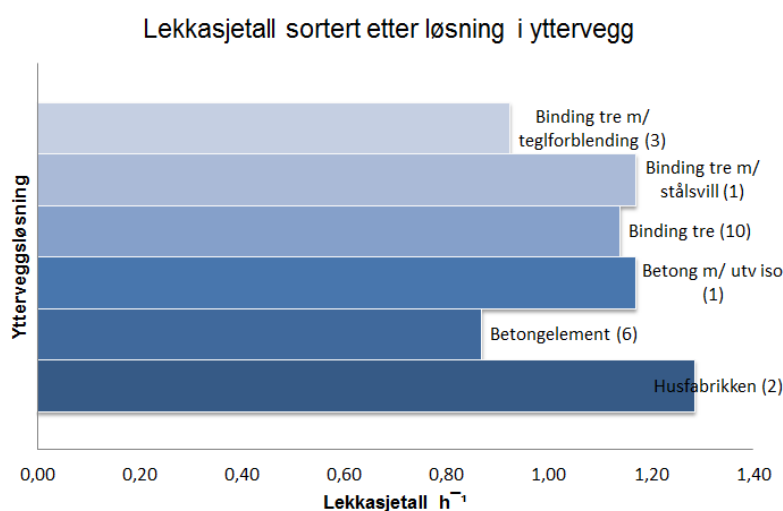
Viktig informasjon til denne grafen er at de fleste barnehagene er bygget av Husfabrikken med prefabrikkerte elementer. Dette er noe Skanska utvikler kontinuerlig og det er trolig at dersom vi bare hadde sett på disse prosjektene og deres lekkasjetall over tid, ville vi sett en nedadgående kurve. Ved de andre bygnings- typene er løsningene litt mer variert. Resultatet tyder på at boligbygg ofte kan ende opp med et høyere lekkasjetall enn andre typer bygg. Hovedårsaken til dette er nok at denne delen av byggebransjen er den som går raskest mot en masseproduksjonsprosess der kort byggetid er essensielt. Andre årsaker kan være at man gjerne ved større mer komplekse bygg tar inn større aktører til underentreprisene. Løsninger er litt mindre standardisert ved for eksempel undervisningsbygg og yrkesbygg. Større aktører har gjerne mer ressurser til å holde seg oppdatert og ikke minst til å sikre seg et godt kvalitetssikringssystem. Dette er ting som kan gi utslag på byggets lufttetthet.

4. Hypotese: Valg av betongløsning har innvirkning på byggets lufttetthet.



Resultatet vi fikk her er ved første øyekast litt overraskende. Inntrykket vi har fått etter våre besøk på ulike prosjekter er at hulldekker er en skikkelig utfordring for lufttettheten til bygget. På den andre siden er det mulig det nettopp derfor er gode lekkasjetall på prosjekter der hulldekker er benyttet. Da blir man tvunget til å ha et økt fokus på lufttetthet noe som igjen resulterer i godt tettingsfokus på hele prosjektet. Leca er i utgangspunktet luftåpne så fremt de ikke er poretette på en side. Andre måter å gjøre dem lufttett på er ved tradisjonell puss eller slemming.⁴⁰ Det vil si at det ved bruk av Leca- elementer er høyere risiko for luftlekkasjer. Det er kanskje det som fremkommer av vårt resultat.

5. Hypotese: Bygg med stålstendere har høyere lekkasjetall enn bygg som bare benytter tre.



En majoritet av prosjektene hadde her benyttet bindingsverk av tre. I tillegg hadde mange av prosjektene benyttet mer enn en løsning. Det er også noe som går igjen for både prefabrikkerte løsninger fra Husfabrikken og betongelement. Det vil ofte være vanlig stendervegg på deler av bygget. Skjøten mellom disse ulike veggtypene har vist seg å være utfordrende for tetting fordi man ofte har et møte mellom to forskjellige materialer med ulikt deformasjonsmønster etc.

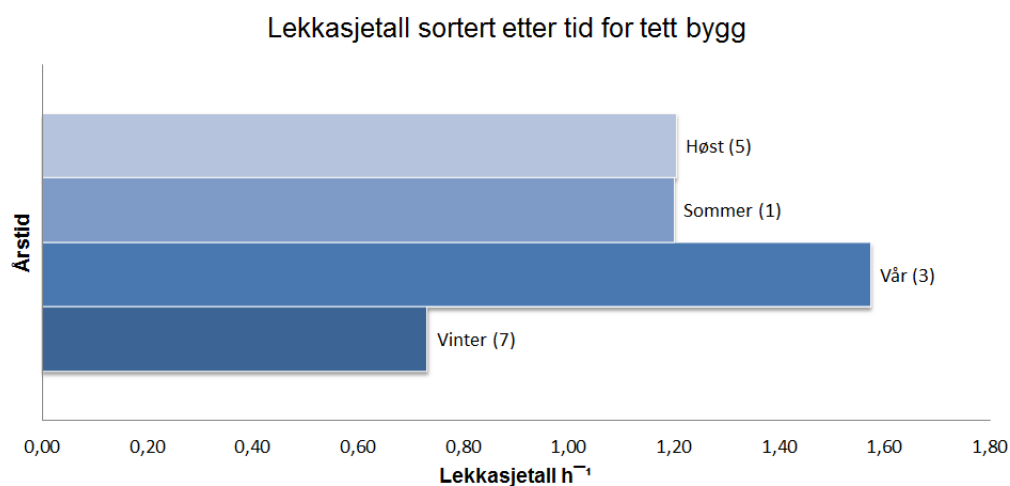


Bilde 7.1. Skjøt mellom sandwichelement av betong og vanlig stendervegg. Legg også merke til

⁴⁰ www.leca.no

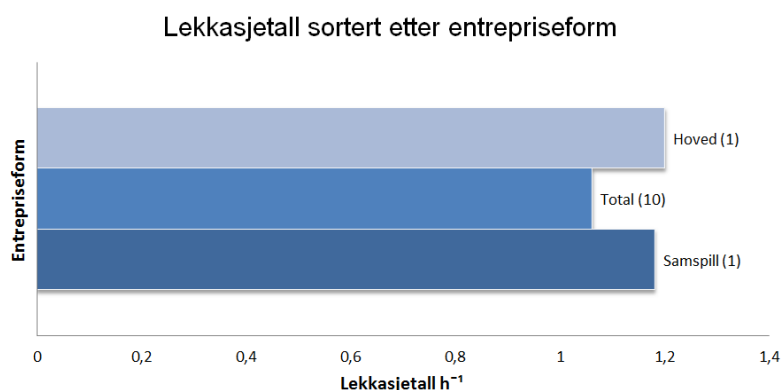
At flere av prosjektene benyttet flere av løsningene forringer resultatet, og det vil ikke være mulig å lese spesielt mye ut av dem. Man kan se at bygg med betongelement har fått gode resultater noe vi også fikk inntrykk av ved en befaring på et prosjekt som benyttet disse. De var veldig bevisste på hvor det faktisk måtte være tett, hvor man skulle ha fokus. I tillegg virket tettemetodene enkle og gjennomføre. Det er en klar fordel ved å benytte sandwichelementer i betong fordi de er definitivt lufttette alle andre plasser enn i skjøtene. Når det gjelder prefabrickerte tre- elementer må man ha fokus på lufttetthet på fabrikken for at elementene skal bli tilstrekkelig lufttett. Dette har vi sett eksempler på at ikke har fungert og man har bygget med utette elementer. I slike tilfeller blir utbedringene kostbare og tidkrevende.

6. *Hypotese: Prosjekter som har nådd tett bygg i vinterhalvåret har dårligere lekkasjetall enn prosjekter som har nådd tett bygg på sommerhalvåret.*



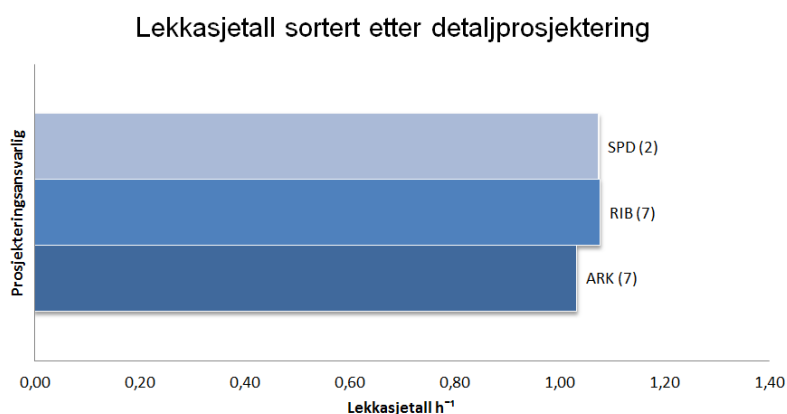
Dette resultatet kan være lite informativt. Det kan variere hvordan hver enkelt prosjektansvarlig har tolket “tett bygg”. Vår definisjonen på tett bygg er når vindsperran er ferdig montert og vinduer satt inn. Med andre ord når man har en vindtett bygningskropp. Denne ble ikke presisert i spørreskjemaet, noe som kan ha resultert i ulike tolkninger på begrepet. Det er kanskje hvilken årstid som kommer før “tett bygg”-perioden som er interessant å se på. I så tilfelle er det ikke rart at prosjekter som nådde tett bygg på våren har et høyere lekkasjetall ettersom de gjorde arbeidet om vinteren. Likevel er det ingen grunn til å tro at været har så stor innvirkning på resultatet som det denne grafen da viser.

7. Hypotese: Prosjekter der Skanska har totalentreprise har bedre lekkasjetall enn prosjekter der Skanska bare har delansvar.



Det var bare ett prosjekt med samspillsmodell og ett med hovedentreprise av alle prosjektene som gav tilbakemelding, resterende prosjekter var totalentrepriser. Dette belyser en gjennomgående tendens i bransjen, man benytter seg mer og mer av totalentrepriser. At samspillsentreprisen kommer så dårlig ut skyldes trolig at den fortsatt er forholdsvis ny i bransjen og krever at hver enkelt aktør forstår og stiller seg bak konseptet. Bruken av samspillsmodellen er stigende og etter hvert som den blir like vanlig som de andre entrepriseformene vil den trolig være modellen som ofte sikrer den beste lufttettheten. Aktørene jobber da sammen fra tidlig i prosessen og kan dermed sile ut potensielle kollisjoner og liknende som kan forringe tettingen. At Skanskas prosjekter skårer sterkt ved totalentreprise viser at lufttetthet er et av fokusområdene til Skanska helt fra prosjektleder og ned til fagarbeider.

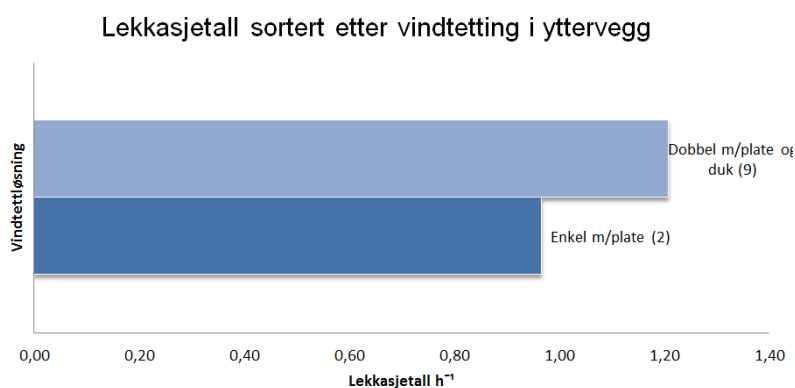
8. Hypotese: Bygg som har benyttet detaljløsninger fra SPD har bedre lekkasjetall enn andre bygg.



På dette spørsmålet svarte alle prosjekter bortsett fra to at de først og fremst hadde benyttet enten ARK eller RIB. Årsaken til dette er trolig at SPDs detaljdatabase er forholdsvis ny og det krever ofte en implementeringsperiode for å få mennesker til å ta i

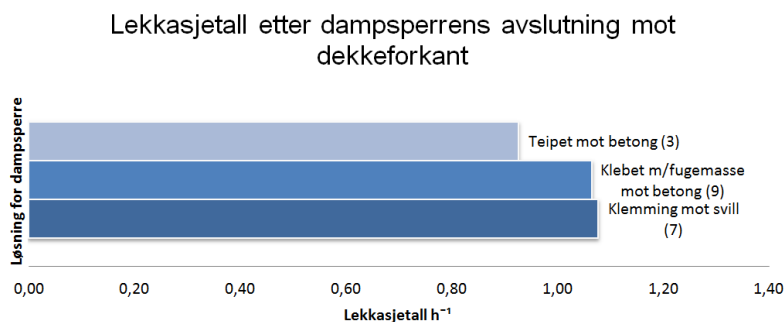
bruk slike nye hjelpemidler. Flere av prosjektene i undersøkelsen var også trolig ferdigprosjektert allerede før detaljdatabasen ble opprettet. Som grafen viser er det så godt som ingen forskjell på lekkasjetall utfra hvem som har foretatt detaljprosjekteringen. Dette skyldes at de fleste svarene vi fikk fra prosjektene oppgav fler enn et av alternativene. Dette ble håndtert slik at prosjektets lekkasjetall fikk inngå i snittet for flere av alternativene, noe som har resultert i veldig like snittverdier. Grafen gjenspeiler detaljprosjekterings vandring mellom de ulike prosjekterende.

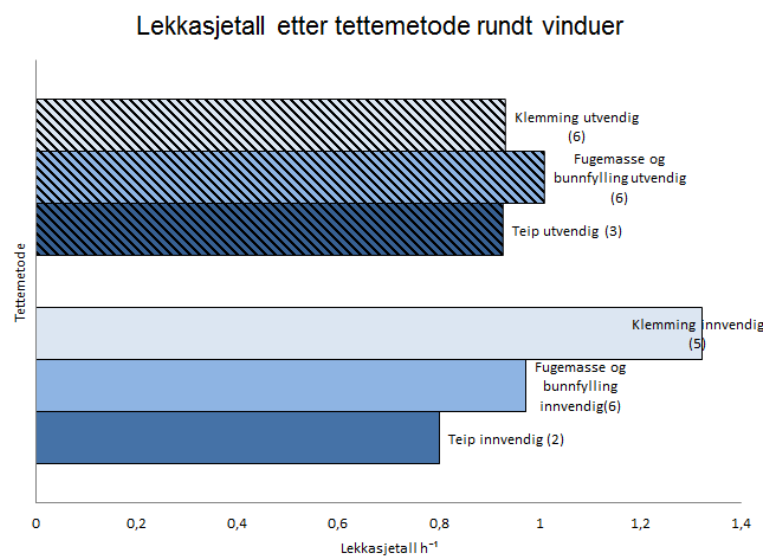
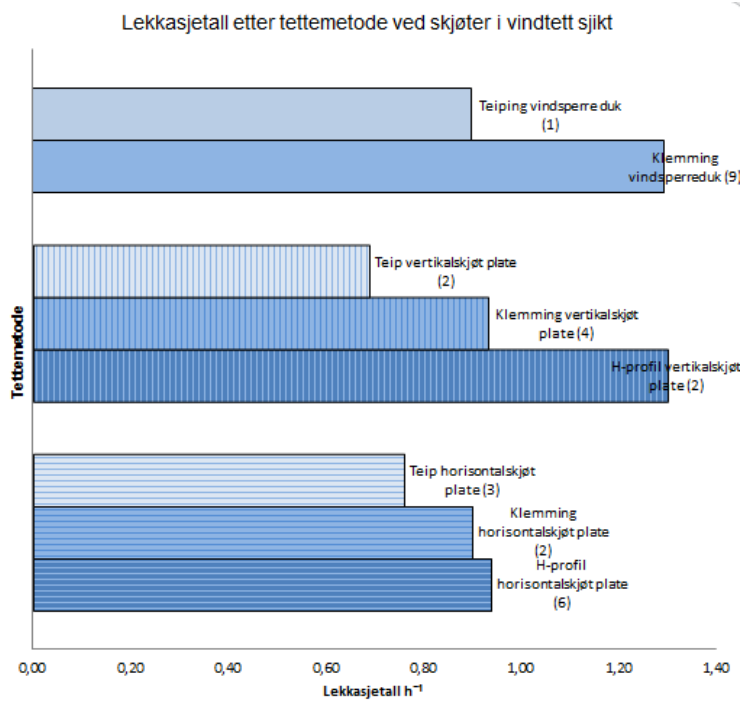
9. Hypotese: Dobbel vindtetting gir lavere lekkasjetall enn enkel tetting.



To av prosjektene hadde benyttet enkel tetting med plate, resten hadde benyttet dobbel. Årsaken til at et prosjekt benytter både plate og duk varierer. Enten er det for å sikre lufttetheten med både “belter og bukseseler”, eller så ser man på platen som lufttett sjikt og duk som beskyttelse mot vær. Det resultatet kanskje antyder er at dersom man bruker “belter og bukseseler” vil man kanskje slippe av på utførelsen av begge sjikt og sitte igjen med et dårligere resultat enn hvis man hadde hatt bare ett sjikt med skikkelig utførelse.

10. Hypotese: Klemming vil gi dårligere tetthet i skjøten og dermed også dårligere lekkasjetall enn hva teiping og fuging vil gjøre.





Lekkasjetallet ble undersøkt opp mot dampsperrens avslutning mot dekkeforkant, tettemetode rundt vinduer og tettemetode ved skjøter i vindtettsjikt. Alle undersøkelsene indikerer at klemming fungerer dårligere enn fugging og teiping. Dette er ikke veldig overraskende ettersom klemming kan være mer krevende å gjøre skikkelig enkelte steder og løsningen har også et større innslag av potensiell slark og kryp. En løsning som kan gi et enda dårligere resultat er bruken av H- profiler i horisontal- og vertikalskjøter på plater, dette bør nok kombineres med teip for at det skal bli helt tett. Noe av årsaken til at teip kommer så godt ut av det i denne undersøkelsen skyldes at teip veldig ofte blir brukt i prosjekter som har høyt fokus på lufttetthet. Det er med andre ord flere bakenforliggende årsaker til hvorfor prosjekter som benytter teip har et lavere lekkasjetall.

7.1.3 Observasjoner rundt lufttetthet fra feltarbeid

Gjennom prosjektbefaringer, trykktester og samtaler med Håkon Brager- Larsen og andre funksjonærer og fagarbeidere har vi forsøkt å danne oss et bilde av lufttetthetens posisjon i et byggeprosjekt. Lufttetthet er fortsatt noe som ofte blir glemt som et resultat av at det er så mange andre ting man skal huske på mens man bygger. Fagarbeider gjør gjerne utførelser etter god gammel vane, noe som igjen belager seg på gammel norsk byggeskikk. Dette trenger ikke nødvendigvis å resultere i dårlig lufttetthet, men lekkasjetallet man ender opp med er ikke noe en har hatt et konkret forhold til, eller et mål man ville oppnå. Dette er som nevnt tidligere i endring, og vi har observert at ved å ha et bevisst forhold til at lufttetthet er et resultat av arbeidet man gjør, vil lekkasjetallet bli betraktelig bedre. Et prosjekt som ble trykktestet hadde fått dårlig lekkasjetall rett og slett fordi ingen hadde tenkt på det underveis.

Vi opplevde også flere ganger da vi foretok trykktester at fagarbeiderne kom bort og lurte hva på hva vi holdt på med. Det fremkom at de ofte vet hvordan ting skal utføres, men ikke hvorfor det skal utføres slik. Dette er noe som med fordel kunne vært annerledes.

”Det blir som med mannen som hakket og hakket i steinrøysen og ble mer og mer bitter og lei jobben sin. Spurte du hva han gjorde svarte han; - Jeg hakker i stein. Videre var det en annen som gjorde akkurat samme jobben, men med en fantastisk iver og nøyaktighet. Spurte man han hva han gjorde svarte han; - Jeg bygger katedral!!!”

Det er noe med det å se den store helheten.

Diskusjon

Hvordan sikre god lufttetthet fra start til slutt i et byggeprosjekt?

Dette er et vidt og bredt spørsmål som omfatter mange momenter og er svært komplekst. Det finnes ikke et svar på et slikt spørsmål, men mange delsvær som til sammen kan utgjøre en veiledning til hvordan man kan oppnå god lufttetthet.

Lufttetthet er fortsatt et litt svevende begrep for mange på byggeplass. Hovedårsaken til dette er nok at lufttettheten ikke er noe konkret i bygget, men snarere et resultat av alle byggets komponenter og monteringen av disse. Dette gjør at det kan være vanskelig å ha styring og kontroll på lufttettheten underveis i prosessen. En stor hjelp til dette er lufttetthetens målbarhet. Byggets luftlekkasjer kan fastsettes ved konkrete målemetoder og er derfor noe håndfast som kan diskuteres.

Lufttetthet måles ved trykktesting av en del av et bygg, eller hele bygget. Denne metoden står klart beskrevet i norsk standard. Det er små variasjoner i utførelse av trykktester blant aktørene i bransjen, men større variasjon i tolkning av måleresultater. Årsaken til dette er den varierte kunnskapen trykktestere og termografører har om bygningsfysikk og materialeegenskaper som varmeledningsevne og emisjon. Kjennskap til disse begrepene er viktig for å kunne gjøre gode observasjoner og beslutninger ved en trykktest. I dag er det ingen krav til sertifisering eller liknende for å kunne utføre en trykktest. Dette gjør at det i bransjen kan gis misvisende rådgivning. Det foregår nå svært viktig erfaringsoverføring og samarbeid mellom forskjellige aktører i bransjen, noe som bidrar til oppklaring av misforståelser rundt både målemetode og vurdering av resultat. Dette vil føre til at måling blir utført likt, og enda viktigere, at observasjoner gjort under trykktest ikke blir feiltolket, enten det er med termograferingskamera eller annet utstyr.

Lufttetthet normaliseres etter forskjellige parametere i et bygg. I Norge normaliserer man etter målevolum. Dette er i dag det mest utbredte begrepet for lekkasjeluftmengde. Likevel kan det være mer hensiktsmessig å benytte normalisering etter fasadeareal eller gulvareal ved enkelte målinger og vurderinger. Ved kontroll av løsninger i tidligfase som beskrives i 5.2.4, er et lekkasjetall på grunnlag av fasadeareal et bedre vurderingsgrunnlag enn et lekkasjetall på grunnlag av målevolum. Her var det løsninger i fasaden som ble kontrollert og det var derfor mer informativt å oppgi lekkasjeluftmengden i forhold til fasadearealet som ble testet.

Lekkasjetall er en enhet laget for å kunne oppgi lekkasjeluftmengde i forhold til byggets proporsjoner. På den måten kan man sammenlikne lufttettheten til forskjellige bygg og sette krav til lufttetthet. Lekkasjetall må derfor ha en definisjon som alle følger. I tillegg er det hensiktsmessig at definisjonen krever lett tilgjengelig informasjon om bygget. Volum og gulvareal er ofte kjente parametere i et bygg da disse benyttes i blant annet energi- og ventilasjonsplanlegging. Fasadeareal derimot er sjeldent kjent. Dette bør tas med i vurderingen av hvilket forhold lekkasjetallet skal oppgis i. Uansett hvilken form for lekkasjetall en benytter vil noen bygningstyper alltid ha fordeler enten det er på grunn av utforming, størrelse osv. Det vil derfor være umulig å finne en definisjon på lekkasjetall som er rettferdig overfor alle testsoner.

Det er til syvende og sist det endelige byggets lufttetthet man er interessert i. I den grad det er mulig tester man da hele bygget og får et lekkasjetall for bygget i sin helhet. Da vil det kanskje være fornuftig at det benyttes volum ved beregning av lekkasjetall fordi det er lett tilgjengelig, det favoriserer ingen bygningsform og det representerer byggets størrelse godt.

En annen prosess rundt et byggeprosjekt som er svært viktig for lufttettheten er detaljprosjekteringen. Her legges de største føringene og utfordringene for byggets lufttetthet. Detaljer som bør få ekstra oppmerksomhet er tilslutning yttervegg/etasjeskille/sokkel og yttervegg/vindu. Dette er detaljer med mange løpemeter på et prosjekt. Dersom detaljeringsgraden er for liten, eller løsningene er lite gjennomtenkt kan dette forringe byggets lufttetthet.

Hvordan prosjekteringen skal foregå og hvem som skal og burde utføre den er det ikke noe klart svar på i dag. Det er en fordel dersom representanter for utførende kommer med innspill ved valg av løsning for å sikre løsningens utførelsesvennlighet og aksept. Vanligvis skjer prosjektering utenfor byggeplass. Dette gjør at kommunikasjonen mellom utførende og prosjekterende ofte blir lav og går sakte. Dersom detaljprosjektering skjer på byggeplassen vil det være enklere å holde en kontinuerlig dialog mellom partene, noe som kan bidra til optimaliserte løsninger som ivaretar alle interesser og som alle kan stille seg bak. Det finnes flere gode eksempler på prosjekter der prosjektering har foregått på brakkerigg. De involverte synes at dette er en effektiv og lærerik måte og utføre prosjektering på. Ofte vil dette utgjøre økte kostnader. Det vil kreve en større brakkerigg og passer foreløpig best til større prosjekter hvor prosjekteringsleder sitter på byggeplass. Mange prosjekteringsledere har ansvar for flere prosjekter og har derfor ikke mulighet til å sitte på bare et prosjekt. Hvorvidt det er mulig å samle alle parter på byggeplass avhenger også av entreprisform og grensesnitt for ansvar og kostnader. For fremtidens byggeprosjekter burde dette praktiseres i større grad, fordi man oppnår bedre samhandling og forståelse mellom prosjektdeltakere. Dette vil også bidra til erfaringsoverføring mellom partene. En prosjekteringsleder som følger sine tegninger helt til utførelse lærer av sine feil og blir en bedre prosjekteringsleder enn en som tar avskjed med sine tegninger på kontoret.

Enkel eller dobbel vindsperre er noe som ofte blir besluttet på byggeplass. Her er utførelsesvennlige detaljer svært viktige ettersom løsningen har stor utstrekning i prosjektet og bør derfor ha lav risiko for feil ved utførelse. Undersøkelser gjort på et utvalg av Skanskas prosjekter indikerer at prosjekter med enkel vindsperre har bedre lekkasjetall enn prosjekter med dobbel vindsperre. En grunn til dette kan være økt fokus på tetting ved enkel vindsperre. Da vet utførende at detaljen må bli helt tett. Dobbelt vindsperre gjør det lettere å hvile på det andre tettesjiktet og ikke ha like stort fokus på begge sjiktene, slik at man ender opp med to dårlige tettesjikt istedenfor ett bra. Byggebransjen som har ambisjoner om å bli mer miljøriktig og energieffektiv burde også tenke på materialbruk. Ved mindre materialbruk vil man belaste miljøet mindre.

Det er de små detaljene som til slutt avgjør byggets lufttetthet. Tetting av skjøter og innfestinger i tettesjiktet er avgjørende. Fuging, klemming og teip er alle metoder som benyttes i dag. Det kan se ut til at tetting med teip er lett og utføre og gir gode resultater. Dette forutsetter at man velger riktig teip. Kvaliteten på markedet i dag er varierende. Tetting med teip er som oftest den mest kostbare formen for tetting. Fuge har en tendens til å bli svaret på alle problemer på byggeplass. Dersom det er litt usikkerhet, legges det inn en ekstra fuge. Dette kan i mange tilfeller være fornuftig. Fordelen med fuger er at

de er fleksible, lett å komme til med og tetter godt. Det er derfor flere steder i et bygg der dette vil være den enkleste og sikreste måten å tette på. Fugemasser var tidligere verstinger i miljøsammenheng. Dette har blitt betydelig bedre, men det er fortsatt vanskelig å finne fugemasser på markedet som tilfredsstillende alle dagens krav til miljøvennlighet. Det er derfor hensiktsmessig å prøve å redusere bruken av fugemasser i bygg og heller benytte andre tettemetoder der dette er mulig.

Kvalitetssikring under utførelse er viktig. Her ligger det et stort ansvar på utførende entreprenør. Lufttettheten i løsninger ved prosjektet kan med fordel inngå i prosjektets kvalitetssikringsrutiner. Kvalitetssikrings- ansvarlig for lufttetthet på byggeplassen har som oftest også ansvaret for å kvalitetssikre alt annet ved bygget. Dette kan gjøre det vanskelig å ivareta fokus på lufttettheten ved kontrollrunder. Dersom ansvaret for kvalitetssikring av lufttettheten delegeres ned til bas, fordeles eierskapet til prosjektet og flere øyne vil ha et kritisk blick på lufttettheten.

Målinger av lufttetthet kan gjøres allerede ved tett bygg og på den måten gi god innsikt i kvalitet på detaljløsninger og utførelse. Ved å foreta en tidligtest får man muligheten til å gjøre eventuelle endringer i løsninger og utførelse, og på den måten sikre seg et mer lufttett bygg. Dersom veggen lukkes før det trykktestes kan skaden allerede ha skjedd. En annen viktig effekt av å gjøre tidligtester er at alle på byggeplass får et mer bevisst forhold til lufttetthet videre i byggeprosessen. En tidligtest er tid og ressurskrevende. Man må engasjere en fagkyndig, oppholde flere fagarbeidere ved bygging av provisoriske vegger samt stanse fremdrift i den delen av bygget som blir testet. Kostnadene dette utgjør kan reduseres kraftig ved god planlegging og vil være godt brukte penger på sikring av byggets kvalitet. Tidligtester kan på grunnlag av dette sies å være det beste virkemidlet i kvalitetssikringsprosessen av byggets lufttetthet.

Endringer i bransjen gjør at byggeprosessen må fornye seg og bli mer innovativ. Nye materialer, løsninger, kontraktsformer, krav og trender krever at man tilpasser seg og gjør ting på nye måter. Ettersom det er en bransje presset for tid og penger er det en utbredt holdning at man gjør det som man alltid har gjort det fordi man vet at det fungerer. Det er veldig trygt og noen ganger også det mest riktige å gjøre slik man alltid har gjort. Men for at bransjen skal følge utviklingen er det nødvendig å bevege seg utenfor komfortsonen og risikere litt for å prøve nye ting.

For å sikre god lufttetthet fra start til slutt i et byggeprosjekt er det viktig å ha et bevisst og aktivt forhold til lufttetthet i hele prosessen. Det er viktig å se helheten, samtidig som man må kunne dykke ned i detaljer. God lufttetthet er et resultat av godt samarbeid og engasjement fra alle involverte parter gjennom hele byggeprosessen.

Konklusjon

Nesodden kommunesenter er et ambisiøst prosjekt der lufttetthet har fått stor oppmerksomhet. Ved trykktesting i tidlig fase har løsninger og utførelser i klimavegg og store glassfasader blitt kvalitetssikret. Prosjektet bygges etter passivhus-standarden, som vil si at de må ha et lekkasjetall under $0,6 \text{ h}^{-1}$. I en sone målt i vindtettfase var lekkasjetallet $0,4 \text{ h}^{-1}$. Dette er godt innenfor grenseverdien for å tilfredsstillere kravet til lufttetthet. Etersom målingene er gjort før konstruksjonene er ferdig montert vil det endelige resultatet kunne bli enda bedre. Dette forutsetter at det lufttette sjiktet ikke perforeres ved senere arbeid og at løsninger og utførelser i målesonen er representativt for hele bygget. Det ble trykktestet flere soner for å kvalitetssikre at løsningene var gjennomgående bra.

Prosesen med å kvalitetssikre lufttetthet på Nesodden har vært svært god og har blitt tatt på alvor fra dag en. Prosjektleder har planlagt kvalitetssikring av lufttetthet ved å legge inn i fremdriftsplanen at hele seks soner av bygget skal trykktestes før ferdig bygg. Trykktester og termografør har vært synlig på prosjektet, noe som har ført til bevisstgjøring og erfaringsoverføring av lufttetthet. Nesodden kommunesenter har alt i alt hatt en god kvalitetssikringsprosess av lufttetthet og slik det ser ut i dag vil prosjektet tilfredsstillere kravet til lekkasjetall. Nesodden kommunesenter er et godt eksempel på hvordan god lufttetthet kan sikres i nybygg.

Viktige suksesskriterier for å ivareta god lufttetthet fra start til slutt i et byggeprosjekt er fokus, bevisstgjøring og kompetanseheving;

- Fokus vil si å ha en rød tråd gjennom hele prosjektet og holde øyet på målet. Utfordringen ved lufttetthet er at det ikke er visuelt, men det kan synliggjøres gjennom måling av lekkasjetall. Ved å måle et lekkasjetall i tidligfase gir man alle ved prosjektet noe å forholde seg til. I tillegg gir det motivasjon til forbedring. Slik vil man ivareta god fokus på lufttetthet ved prosjektet. Dersom fokuset forsvinner, eller kanskje aldri opparbeides kan et mål bli veldig vanskelig å strekke seg etter.
- Bevisstgjøring er et viktig kriterie. Å vite hvordan man bygger noe, er noe annet enn å vite hvorfor man bygger det nettopp på denne måten. Dersom man ikke vet hvorfor løsningen er som den er, risikerer man å gjøre feil uten å være i stand til å oppdage det. Det er derfor essensielt at fagarbeider forstår bakgrunnen for de løsninger som er valgt, hvor de kritiske punktene i løsningen ligger og hvorfor disse punktene er kritiske.
- Kompetanseheving er noe det er behov for i alle ledd av prosessen, både blant fagarbeidere og funksjonærer. Først og fremst er det viktig å få inn riktig kompetanse i skolesystemet. Det er her grunnlaget for vår kunnskap legges. I bransjen i dag skjer kompetanseheving i hovedsak ved samtaler mellom alle på byggeplassen. Etter hvert som det blir vanligere å trykkteste, vil det bli mer slik erfaringsoverføring.

For å lykkes med å sikre god lufttetthet fra start til slutt i et byggeprosjekt er det viktig å ha disse kriteriene med seg hele tiden, helt fra detaljprosjektering til utførelse.

Videre arbeid

Denne masteroppgaven har en vid problemstilling hvor det kunne ha blitt belyst veldig mange flere sider ved lufttetthet. Derfor er den et godt utgangspunkt for videre arbeid i fremtidige masteroppgaver ved UMB.

Mye av lufttettheten til ett bygg ligger i de små detaljene. Det er fugen, teipen eller klemmingen som avgjør hvorvidt bygget blir lufttett eller ikke. Men hvor lenge har teipen heft, og hvor lenge er fugen tett? Ofte forbinder disse tetteproduktene materialer med veldig varierte kvaliteter og oppførsler på sikt. Når treet kryper, betongen krymper og produktene utsettes for annen slitasje, hva skjer da med tettheten? Holdbarheten på de ulike tetteproduktene finnes i produktets dokumentasjon og varierer, men holdbarheten på løsningene produktene benyttes i er det ingen som har oversikt over. Det er lite data på dette.

En interessant undersøkelse kunne vært å trykkteste bygninger som har stått ferdig i noen år. Disse må da, for å få vurderingsgrunnlag, ha blitt trykktestet som nybygg. Dette gjør det mulig å sammenligne lekkasjetallet. Ved trykktesting av flere bygninger hadde det vært mulig å lage en statistikk. Dette er ekstra interessant med tanke på hvordan konstruksjonen oppfører seg og om dette har hatt en betydning for fugen/teip/klemming. Dersom det er gjort utbedringer eller påbygging er det ekstra spennende med tanke på hvordan dette har blitt håndtert.

På metodedelen hadde det vært interessant å se på betydningen av å lokalisere luftlekkasjer og kvantifisere de. Kunne det vært mulig å målt hver enkelt luftlekkasje?

Det finnes i dag ingen veiledning på hvordan trykktesting i tidlig fase skal utføres. Dette er noe som det burde vært større fokus på ettersom slike tester er svært viktige for kvalitetssikringen av byggets lufttetthet. Det er behov for en veiledning på dette temaet for eksempel i form av et byggdetaljblad. Trykktesting ved tidlig test er et område som det fortsatt ikke finnes mye informasjon om, og som det ville vært interessant å utforske ytterligere.

Mulighetene for å utvide denne oppgaven er store, og noe som hadde vært ønskelig dersom det hadde vært tid og ressurser. Det er mange problemstillinger rundt lufttetthet som er spennende å utforske og noe som vi håper at flere vil ta tak i ved masteroppgaveskriving eller doktoravhandling.

Referanser

- Revisjon av Teknisk forskrift 2007.
Bygningsteknisk etat
- Prosjektrapport 55 2010- Analyse og sammenlikning av krav til energieffektivitet i bygg i Norden og Europa.
Peter G. Schild, Michael Klinski og Cathrine Grini.
- Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varme- gjenvinning.
Peter G. Schild
- Bygningsfysikk og inneklima I passivhus.
Multikonsult
- Byggaktuelt nr 6- 2010- Laboratorietesting av fasaders luft- og regntetthet.
- Lufttetthet i trehus – hvor har vi utettheter og hvordan kan vi forebygge?
Thor-Oskar Relander
- Energibruk og fuktsikring
Sintef Byggforsk
- Energieffektive boliger for og muligheter.
Norsk Teknologi
- Bruksanvisning og funksjonsbeskrivelse av Flexit TM 250 Tetthetsmåler for bolig.
- Hold tett!
Byggforsk
- Utførelse av småhus
Lavenergiprogrammet
- Ny teknisk forskrift 2010- nye byggesaksregler
Avdelingsdirektør Lisbet Landfald STATENS BYGNINGSTEKNISKE ETAT

- Ny NBI-anvisning med samling av energieffektive løsninger og konstruksjoner
Lars Myhre Norges byggforskningsinstitutt.

- Evaluering av alternativer til balansert ventilasjon av byleiligheter.
Mads Mysen Sign, Kari Thunshelle, Peter G. Schild

- Temahefte 6- Nye Energikrav
Optimera proff.

- A Review of International Ventilation, Airtightness, Thermal Insulation and Indoor Air Quality Criteria, *Mark J. Limb*

- Vindusfugemetodenes betydning for luftlekkasjene av Thor-Oskar Relander

- Airtightness of buildings, Air Infiltration and Ventilation Centre
V. Dorer, C. Tanner, A. Weber EMPA, Switzerland

- Report of the 2nd European BlowerDoor Symposium – 2007, Air Infiltration and Ventilation Centre, *Bernd Rosenthal Energie- und Umweltzentrum am Deister Germany*

- An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness, Air Infiltration and Ventilation Centre, *François Rémi Carrié, CETE, France Bernd Rosenthal, e.u.[z.], Germany*

- An overview of national trends related to innovative ventilation systems, Air Infiltration and Ventilation Centre, *N. Heijmans and P. Wouters, BBRI, Belgium P. Heiselberg, Aalborg University, Denmark*

SKANSKA

Grønn arbeidsplass - bygg

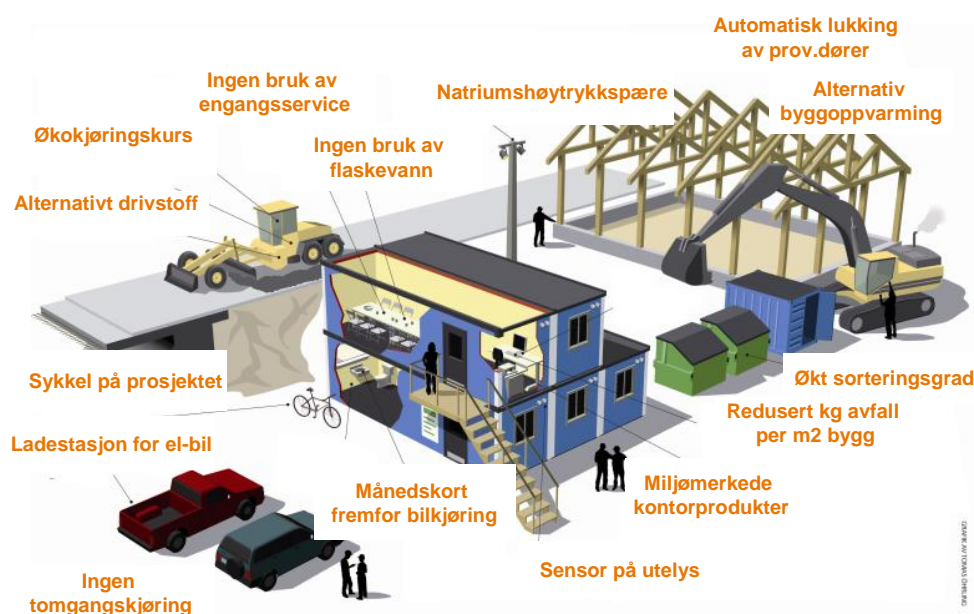
Grønn arbeidsplass er et egenutviklet miljøsertifiseringsverktøy for kontorer, bygg og anlegg. Konseptet er utarbeidet for å øke fokus på ulike miljøtema samt redusere kostnader i drift og byggeprosess.

Grønn arbeidsplass - bygg skal gi "Grønn status" til prosjekter som ønsker å gjøre noe ekstra for miljø i produksjonsfasen. Å være Grønn arbeidsplass - bygg krever mer enn å oppfylle lovkrav og rutiner i Skanska sitt styringssystem. Grønn arbeidsplass - bygg er avgrenset til produksjonsfasen og kriteriene behandler ikke byggverket (produktet vi leverer).

For å bli en Grønn arbeidsplass - bygg må prosjektet oppfylle gitte kriterier som gir ulik poengsum. Kriteriene er delt inn i temaene vist i tabellen under. Det er både Basiskriterier (obligatoriske) og Tillegskriterier som må oppfylles for å få tilstrekkelig poengsum. Totalt kan prosjektet oppnå 84 poeng, hvorav 14 er obligatoriske og resten er tilleggs-poeng. Minimum 35 tilleggs-poeng må oppnås for å bli Grønn arbeidsplass - anlegg.

Tema og poeng i Grønn arbeidsplass - bygg

Tema	Basis	Tillegg
Organisasjon	3	5
Energi og klima	3	37
Materialer og ressurser	5	17
Innemiljø	3	6
Innovasjon	-	5
SUM	14	70





1. Innledning

Dette notatet omhandler energiberegninger utført på Tangenten (NK), og tar for seg byggets status per i dag som forbildeprosjekt for lavenergibygg, og hvilke utsikter kommunesenteret har for å kunne møte dagens forslag til passivhusstandard for yrkesbygg og energimerkekravet innført i 2010.

Energiberegningene er gjennomført og presentert i tre deler;

1. Oppnådd energimerke- Ihht. NS 3031, TEK, minstekrav til bygningsdeler ifølge "Prosjektrapport 42" og prosjektert varmegjennvinningsgrad på de ulike aggregatene.
2. Status i forhold til "lavenergikrav"- Med verdier fra "Prosjektrapport 42", Kap 2.1; reduserte luftmengder, internlaster og prosjektert varmegjennvinningsgrad på de ulike aggregatene.
3. Status i forhold til "passivhuskrav"- Med verdier fra "Prosjektrapport 42", Kap 2.1; reduserte luftmengder, internlaster og prosjektert varmegjennvinningsgrad på de ulike aggregatene.

2. Bakgrunn:

Nesodden kommune skal bygge nytt kommunesenter. Mottoet for prosjektet er "Et bygg for alle". Ungdomsskole, fritidsklubb, bibliotek, kulturskole og kommuneadministrasjon blir samlet i et nytt, moderne og miljøvennlig bygg. Det legges vekt på sambruk for å utnytte arealene mest mulig effektivt.

I oktober 2009 ble det sendt søknad til Enova om tilskudd fra Enovas forbildeprogram for å oppnå prosjektets energimål. Etter dialog med Enova ble det vurdert som interessant å se på muligheter for oppgradering av bygningen til lavenergibygg/passivhusstandard. Det ble søkt om maksimal støtte for nye næringsbygg, 350 NOK/m² - totalt 2.945.250 kroner. Dette utgjør ca. 18 % av den totale kostnaden for gjennomføring av de aktuelle tiltakene for å oppnå energimålet i prosjektet. Enova besluttet i mars 2010 å gi maksimalt tilskudd til prosjektet.

I opprinnelig søknad var besparelsene basert på målsetning i miljøplanen om 25% lavere energirammekrav enn i TEK 07. Målsetningen er nå å oppnå lavenergihusstandard for hele bygget, og energibehovet er henholdsvis beregnet etter Prosjektrapport 42 og NS3031. Arealene er i forprosjektet økt med ca 700 m² BRA i forhold til skisseprosjektet, da alternativ "stort bibliotek" er inkludert. Det nye energimålet er levert energi i forhold til energimerkeskalaen og er listet under (tabell 1).

Energimål		
Bygningskategori	Krav TEK 07 (kWh/m ² år) Netto Energiforbruk	Nytt mål i prosjektet (kWh/m ² år) Levert energi
Skolebygg	135	62
Kontorbygg	165	67
Kulturbygg	180	80

Tabell 1- Energimål

3. Standarder og forskrifter:

Alle bygg som oppføres/rehabiliteres må tilfredsstillere energikravene gitt i Forskrift om krav til byggverk (TEK) /1/.

Tangenten skal bygges med en standard som har høyere krav enn TEK 2007. Forutsetningene er dermed lagt til grunn slik at bygget overgår kravene i TEK. Bygget detaljprosjekteres etter minstekravene i "Prosjektrapport 42" (beskrivelse følger). Disse minstekravene utgjør grunnlaget for foreløpig passivhusstandard, og er betydelig strengere enn kravene i TEK 2007.

Energimerkeforskriften tilsier at alle nyoppførte bygg over 1000 m² skal energimerkes fra 01.01.2010, og Tangenten bør ha som parallelt mål å tilfredsstillere kravet til er A-bygg.

Energiberegningene er utført ihht NS 3031 /2/ hvilket er en standard bygget på Europaparlamentets bygningsdirektiv 2002/91/EF. Denne standarden er hva det brukte beregningsverktøyet, Simien /3 / er bygget opp rundt. NS 3031 inneholder fellesbestemmelser og inndataverdier som skal benyttes i beregningsmetoden. Simien er et detaljert beregningsprogram som brukes til dynamiske beregninger. For bygg der ventilasjonskjøling er installert, settes det krav til dynamisk beregning. Den valgte beregningsmetoden tillater at det tas hensyn til dynamiske forhold som varmetilskudd, varmetap temperaturstyring av klimasystemer, ventilasjonssystemer og solavskjerming.

For å kunne evaluere TANGENTEN (NK) opp imot dagens foreløpige "passivhus og lavenergi standard", er fortsatt NS 3031 brukt som beregningsbasis, men inndataverdiene er endret ihht "Kriterier for passivhus- og lavenergibygg- yrkesbygg: Prosjektrapport 42" /4/. Norsk standard for passivhus bolig er utarbeidet, NS 3700. For yrkesbygg eksisterer det per dags dato ingen standard, men NS 3701 er under utarbeidelse og forventes ferdig 2012. Våre begrunnelser og beregninger er basert på "Prosjektrapport 42", hvilket det er forespeilet at vil utgjøre grunnlaget for standard NS 3701. Prosjekt rapport 42 kan lastes ned fra Enova sine hjemmesider; <http://naring.enova.no/sitepageview.aspx?articleID=3318>

4. Forutsetninger for lavenergi/passivhus

Kommunesenteret består av skole, bibliotek og administrasjonsbygg, og vi har i henhold til NS 3031 simulert disse tre hver for seg. De ulike delene faller under bygningskategoriene skolebygg, kulturbygg og kontorbygg. Hver av delene regnes som en sone da dette er et flerfunksjonsbygg. Utover dette er der ikke foretatt videre soneinndeling, hvilket er etter retningslinjer fra NS 3031 (Punkt 4.3 i NS 3031).

Kravene til dokumentasjon i "Prosjektrapport 42" er som følger;

- En referanse til rapporten
- Presisering av beregningsmetode/program
- Inndata til beregningene i henhold til kapittel 5.2
- Resultater av beregningene i henhold til kapittel 5.3
 - Varmetapsbudsjett
 - Årlig netto energibudsjett
 - Årlig levert energi fordelt på energiposter
 - Årlig utslipp CO₂
 - Beregninger av normalisert kuldebroverdi

Minstekrav (Tabell A.2.5 og tabell 8-Prosjektrapport 42)				
Egenskap	Lavenergihus	Passivhus	ADM og BIBL	SKOLE
U-verdi yttervegger	≤ 0,18 W/(m ² K)	≤ 0,15 W/(m ² K)	0,15 W/(m ² K)	0,15 W/(m ² K)
U-verdi gulv	≤ 0,15 W/(m ² K)	≤ 0,15 W/(m ² K)	0,15 W/(m ² K)	0,15 W/(m ² K)
U-verdi tak	≤ 0,13 W/(m ² K)	≤ 0,13 W/(m ² K)	0,13 W/(m ² K)	0,13 W/(m ² K)
U-verdi vindu	≤ 1,2W/(m ² K)	≤ 0,80 W/(m ² K)	0,80 W/(m ² K)	0,80 W/(m ² K)
U-verdi dør	≤ 1,2 W/(m ² K)	≤ 0,80 W/(m ² K)	0,80 W/(m ² K)	0,80 W/(m ² K)
Normalisert kuldebroverdi, ψ''	≤ 0,05 W/(m ² K)	≤ 0,03 W/(m ² K)	0,03 W/(m ² K)	0,047 W/(m ² K)
Virkningsgrad varmegjenvinner	≥ 70 %	≥ 80 %	83 %	83 %
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	≤ 2,0 kW/(m ³ /s)	≤ 1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)	1,5 kW/(m ³ /s)
Lekkasjetall ved 50 Pa, n ₅₀	≤ 1,50 h-1	≤ 0,60 h-1	0,60 h-1	0,60 h-1

Tabell 2: Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall for lavenergi/passivhus henholdsvis fra Tabell A.5 og 8, Prosjektrapport 42. Prosjekterte verdier er fargekodet etter hvilke minstekrav de oppfyller, og skriften er i tillegg uthevet med grønt på de områder der krav overgås ihht passivhuskrav.

* Skolebygget fraviker minstekravene til passivhus på kuldebroverdien. Bygget har en kuldebro som er innenfor kravene til lavenergibygg /4/, og en virkningsgrad på varmegjenvinneren som er over passivhuskravene. Totalt sett utgjør energibesparelsen på økt varmegjenvinning betraktelig mer enn hva varmetapet en økt kuldebroverdi på 0,017 W/m²K utgjør.

5. Oppbygging av modellfil i Simien:

Bygget er beregnet ut i fra bygningskategorier, dvs at det er beregnet i tre deler. Hver av delene er beregnet som en stor sone. Det installeres VAV – ventilasjon i hele kommunesenteret, fungerende på mye mindre sonenivå enn nevnt ovenfor. I følge Programbyggerne /5/, er det ikke heldig å utføre beregninger på bygningsnivå med VAV- ventilasjon i Simien. Dette bør kun benyttes på rom/ sone nivå da det vil kunne gi urealistiske resultater. Det er derfor lagt inn CAV - ventilasjon med luftmengder som er 20 % under hva som ville blitt brukt ved VAV- ventilasjon /6/.

Hvert bygg har fått medregnet det kjellerarealet som befinner seg under bygget, hvilket vil ha en innvirkning på arealene for gulv på grunn ift. skillekonstruksjon mot oppvarmet sone. Dette er på tross av at denne kjelleren er til felles forbruk. Denne fordelingen fører til resultater for hvert bygg er nærmest mulig virkeligheten relativt.

Se vedlagte input og resultat ark fra Simien i Vedlegg 1.1-2.3

6. Energimerkeberegning

Resultatene for vurdering av Energimerkekravet er tabulert under.

1.1 ADM-bygg		
	Energimerkekrav	Resultat
Netto energibehov	-	99,2 kWh/m ² år
Levert energi . A-bygg	84 kWh/m ² år	83 kWh/m ² år
Status	A-bygg	

1.2 Bibliotek		
	Energimerkekrav	Resultat
Netto energibehov	-	85,1 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	105 kWh/m ² år	55 kWh/m ² år
Status	A-bygg	

1.3 Skole		
	Energimerkekrav	Resultat
Netto energibehov	-	88,9 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	79 kWh/m ² år	63 kWh/m ² år
Status	A-bygg	

Kommentarer:

Alle tre bygg tilfredsstillt krav til A-merke.

U-verdier er i forhold til minstekrav i Prosjektrapport 42 og arealer finnes vedlagt som dokumentasjon på energiberegninger, se Vedlegg 1.1-1.3. Beregningene er utført ihht NS 3031 med hensyn til metode og normative verdier.

7. Status i forhold til foreløpig lavenergistandard

2.1 ADM-bygg			
	Lavenergikrav	Energimål	Resultat
Oppvarmingsbehov	30 kWh/m ² år		13,3 kWh/m ² år
Kjølebehov	15 kWh/m ² år		5,2 kWh/m ² år
Varmetapstall	0,7 W/m ² K		0,45 W/m ² K
Netto energibehov	-		70,1 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	84 kWh/m ² år	67 kWh/m ² år	54,4 kWh/m ² år
CO ₂	35 kg/m ² år		21 kg/m ² år
Status	<u>Oppfyller krav til lavenergibygg</u>		

Tiltak 2.1:

- Snitt luftmengde driftstid= 6m³/hm²
- Snitt luftmengde udriftstid= 1m³/hm²
- Varmetilskudd belysning= 5W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 6W/m²
- Varmegjenvinning= 83%

2.2 Bibliotek			
	Lavenergikrav	Energimål	Resultat
Oppvarmingsbehov	50 kWh/m ² år		19,9 kWh/m ² år
Kjølebehov	15 kWh/m ² år		5,8 kWh/m ² år
Varmetapstall	0,7 W/m ² K		0,50 W/m ² K
Netto energibehov	-		67,3 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	105 kWh/m ² år	80 kWh/m ² år	43,5 kWh/m ² år
CO ₂	40 kg/m ² år		17,0 kg/m ² år
Status	<u>Oppfyller krav til lavenergibygg</u>		

Tiltak 2.2:

- Snitt luftmengde driftstid= 7m³/hm²
- Snitt luftmengde udriftstid= 0m³/hm²
- Varmetilskudd belysning= 6W/m²
- Varmetilskudd belysning= 6W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 1W/m²
- Varmegjenvinning= 83%

2.3 Skole			
	Lavenergikrav	Energimål	Resultat
Oppvarmingsbehov	35 kWh/m ² år		25,2 kWh/m ² år
Kjølebehov	0 kWh/m ² år		3,3 kWh/m ² år
Varmetapstall	0,75 W/m ² K		0,61 W/m ² K
Netto energibehov	-		71,3 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	79 kWh/m ² år	62 kWh/m ² år	45,6 kWh/m ² år
CO ₂	35 kg/m ² år		18 kg/m ² år
Status	<u>Oppfyller ikke krav til lavenergibygg*</u>		

Tiltak 2.3:

- Snitt luftmengde driftstid= 8m³/hm²
- Snitt luftmengde udriftstid= 1m³/hm²
- Varmetilskudd belysning= 6W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 4W/m²
- Varmegjenvinning= 83%

Bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall er i forhold til minstekrav til passivhus i Prosjektrapport 42 (*foruten om skolebygget som har en kuldebroverdi som oppfyller lavenergikrav), og arealer finnes vedlagt som dokumentasjon på energiberegninger; se vedlegg 2.1-2.3. Beregningene er utført iht NS 3031 med hensyn til metode og normerte verdier er hentet fra Prosjektrapport 42 /4/.

8. Status i forhold til foreløpig passivhusstandard:

3.1 ADM-bygg			
	Passivhuskrav	Energimål	Resultat
Oppvarmingsbehov	15 kWh/m ² år		13,3 kWh/m ² år
Kjølebehov	10 kWh/m ² år		5,2 kWh/m ² år
Varmetapstall	0,5 W/m ² K		0,45 W/m ² K
Netto energibehov	-		70,1 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	84 kWh/m ² år	67 kWh/m ² år	54,4 kWh/m ² år
CO ₂	25 kg/m ² år		21 kg/m ² år
Status	<u>Oppfyller krav til passivhus</u>		

Tiltak 3.1:

- Snitt luftmengde driftstid= 6m³/hm²
- Snitt luftmengde udriktstid= 1m³/hm²
- Varmetilskudd belysning= 5W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 6W/m²
- Varmegjenvinning= 83%

3.2 Bibliotek			
	Passivhuskrav	Energimål	Resultat
Oppvarmingsbehov	25 kWh/m ² år		19,9 kWh/m ² år
Kjølebehov	10 kWh/m ² år		5,8 kWh/m ² år
Varmetapstall	0,5 W/m ² K		0,50 W/m ² K
Netto energibehov	-		67,3 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	105 kWh/m ² år	80 kWh/m ² år	43,5 kWh/m ² år
CO ₂	25 kg/m ² år		17,0 kg/m ² år
Status	<u>Oppfyller krav til passivhus</u>		

Tiltak 3.2:

- Snitt luftmengde driftstid= 7m³/hm²
- Snitt luftmengde udriktstid= 0m³/hm²
- Varmetilskudd belysning= 6W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 6W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 1W/m²
- Varmegjenvinning= 83%

3.3 Skole			
	Passivhuskrav	Energimål	Resultat
Oppvarmingsbehov	15 kWh/m ² år		25,2 kWh/m ² år
Kjølebehov	0 kWh/m ² år		3,3 kWh/m ² år
Varmetapstall	0,5 W/m ² K		0,61 W/m ² K
Netto energibehov	-		71,3 kWh/m ² år
Levert energi. A-bygg	79 kWh/m ² år	62 kWh/m ² år	45,6 kWh/m ² år
CO ₂	20 kg/m ² år		18 kg/m ² år
Status	<u>Oppfyller ikke krav til passivhus*</u>		

Tiltak 3.3:

- Snitt luftmengde driftstid= 8m³/hm²
- Snitt luftmengde udriktstid= 1m³/hm²
- Varmetilskudd belysning= 6W/m²
- Varmetilskudd utstyr= 4W/m²
- Varmegjenvinning= 83%

Bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall er i forhold til minstekrav til passivhus i Prosjektrapport 42 (*foruten om skolebygget som har en kuldebroverdi som oppfyller lavenergikrav), og arealer finnes vedlagt som dokumentasjon på energiberegninger; se vedlegg 3.1-3.3. Beregningene er utført iht NS 3031 med hensyn til metode og normerte verdier er hentet fra Prosjektrapport 42 /4/.

Kommentar:

Ingen av byggene oppfyller passivhuskravene med luftmengder og internlaster ihht NS 3031. Generelt vil svært få tilfredsstillende Passivhus Kravene ihht NS3031 da standarden ikke gir gevinst for prosjektets utbredte bruk av VAV-styring og laveffekt utstyr. Standard Norge arbeider med en revisjon av NS 3031, slik at gevinsten av avanserte tekniske anlegg kan la seg medregne. Det ventes at revisjonen av NS 3031 vil samsvare med Prosjektrapport 42.

Ved å redusere varmetilskudd og luftmengde, **oppfyller Administrasjon og bibliotek alle passivhuskravene.** Skoledelen av Tangenten forblir klassifisert som et lavenergi A-bygg.

Internlaster og ventilasjonsmengder er betraktelig lavere enn krav i NS3031 (ref Prosjektrapport 42) Dette begrunnes med forutsetninger om bruk av den beste tilgjengelige teknologien innen ventilasjon, belysning og annet teknisk utstyr, samt behovsstyring. Dvs. at resultatene 2.1-3.3 forutsetter at innkjøpt utstyr er lavenergiutstyr og behovsstyrt.

Skolebygget er tydelig det bygget vi har hatt størst problemer med å få tilnærmet passivhuskravene. Dette er grunnet byggets mengder med eksponerte flater mot friluft i forhold til oppvarmet bruksareal. Med tanke på kost/nytte, foreslås det ikke flere tiltak på skolebygget. Bygget er for langt unna passivhuskravene til at dette blir lønnsomt. Bygget oppfyller kravene som lavenergibygg* /7/, og har et levert energibehov som er langt bedre enn de oppgraderte energimålene (tabell 1).

*Skolebygget oppfyller dog ikke kravet til 0 kWh/m²år i kjølebehov. Bygget utgjør et læringsareal som krever et overordnet fokus på tilfredsstillende innemiljø. Internlaster i form av belysning, utstyr og personer kombinert med lave u-verdier, medfører et kjølebehov i bygget for å opprettholde et tilfredsstillende inneklima. Hele skolebygget er utstyrt med utvendige persiener, hvilket er et effektivt passivt tiltak for å redusere kjølebehovet. I tillegg benyttes store arealer med eksponert betong for passiv kjøling og oppvarming av bygget. Det resterende kjølebehovet dekkes av frikjøling via brønnparken. Den eneste energien som da går med til kjøling er drift av sirkulasjonspumper. Skolebygget tilfredsstiller det satte energimål, men overskrider et av kravene satt til enkeltposter i lavenergistandarden.

9. Oppsummering og konklusjon:

Følgende tiltak planlegges gjennomført på Tangenten:

- Administrasjonsdelen:
 1. Minstekrav under punkt 1 (ref Tabell 8 i "Prosjektrapport 42")
 2. Lavenergiutstyr skal benyttes
 3. Behovsstyring av ventilasjon, belysning og evt annet utstyr
 4. Varmegjenvinner må ha en gjenvinningsgrad på 83%
 5. Tettfelt aluminiumsprofil har en u-verdi på 0,4 W/(m²K)
- Bibliotekdelen:
 1. Minstekrav under punkt 1 (ref Tabell 8 i "Prosjektrapport 42")
 2. Lavenergiutstyr skal benyttes
 3. Behovsstyring av ventilasjon, belysning og evt annet utstyr
 4. Varmegjenvinner må ha en gjenvinningsgrad på 83%
 5. Tettfelt aluminiumsprofil har en u-verdi på 0,4 W/(m²K)
- Skoledelen*:
 1. Minstekrav under punkt 1 (ref Tabell 8 i "Prosjektrapport 42")
 2. Lavenergiutstyr skal benyttes
 3. Behovsstyring av ventilasjon, belysning og evt annet utstyr
 4. Varmegjenvinner må ha en gjenvinningsgrad på 83%

Tiltakene listet ovenfor er ikke absolutte, da Norsk Standard for passivhus og lavenergi hus i yrkesbygg (NS 3701) er under utarbeidelse.

Ser man dette i forhold til de ulike energiberegningene som er utført er der et par forhold å notere seg;

- o Prosjekt Rapport 42, er som nevnt tidligere kun et utkast til den kommende standarden for Passive Yrkesbygg NS 3701. De kriteriene som er listet, er beklageligvis ikke etterprøvd i forhold til gjennomførbarhet.
- o Alle tre byggene klassifiserer seg som A-bygg uten å gjøre videre tiltak utover minimumskravene i tabell 8, Prosjektrapport 42 og prosjekterte tekniske løsninger.
- o * Med reduserte internlaster og luftmengder (hvilket kan sees som verdier brukt til forskriftsberegning og ikke reelt forbruk), klassifiseres Administrasjon og bibliotek som passivhus, mens skoledelen forblir et lavenergi A-bygg.

Tangenten nærmer seg det foreløpige forslaget til passivhusstandard. Både administrasjon og bibliotek er godt innenfor kravene, mens skolen overskrider enkelte poster. Det er ønskelig at helheten av bygget tas regning for i vurderingen, da Tangenten legger vekt på å være et sambruksbygg.

Referanser

- /1/ § 8-2. Energikrav, Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK)
- /2/ Norsk Standard NS 3031;2007, Beregning av bygningers energiytelse Metode og data, Standard Norge
- /3/ Simien, Versjon 5,0, www.Programbyggerne.no
- /4/ Dokka Tor Helge, Klinski Michael, Haase Matthias, Mysen Mads (2009). Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg. (Prosjektrapport (SINTEF Byggforsk); 42
- /5/ Simien v 5,0, Inndata for ventilasjon med variable luftmengder. www.programbyggerne.no
- /6/ Norsk Standard NS 3031;2007, Beregning av bygningers energiytelse Metode og data, Standard Norge
- /7/ Dokka Tor Helge, Klinski Michael, Haase Matthias, Mysen Mads (2009). Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg. (Prosjektrapport (SINTEF Byggforsk); 42



Nesodden kommunesenter - Et hus for alle

Forbildeprosjekt - tillegg til søknad - Oppgradering til passivhusstandard

Sammendrag

Nesodden kommune skal bygge nytt kommunesenter. Mottoet for prosjektet er "Et bygg for alle". Ungdomsskole, fritidklubb, bibliotek, kulturskole og kommuneadministrasjon blir samlet i et nytt, moderne og miljøvennlig bygg. Det legges vekt på sambruk for å utnytte arealene mest mulig effektivt.

I oktober 2009 ble det sendt søknad til Enova om tilskudd fra Enovas forbildeprogram for å oppnå prosjektets energimål. Etter dialog med Enova ble det vurdert som interessant å se på muligheter for oppgradering av bygningen til passivhusstandard.

Beregninger av kostnader og besparelser er nå gjennomført, og **energimål i for prosjektet med passivhusstandard er på totalt 742.688 kWh/år redusert energibehov sammenlignet med kravene i TEK 07. I tillegg skal oppvarming skje med varmepumpe, som gir en beregnet andel ny fornybar energi på 106.124 kWh/år, hentet fra borehull i bakken.**

Det søkes nå om maksimal støtte for nye næringsbygg, 350 NOK/m² - totalt 2.945.250 kroner. Dette utgjør ca. 18 % av den totale kostnaden for gjennomføring av de aktuelle tiltakene for å oppnå energimålet i prosjektet.

1. Oppgradert energimål

I opprinnelig søknad var besparelsene basert på målsetning i miljøplanen om 25% lavere energibehov enn kravet i TEK 07. Målsetningen er nå å oppnå passivhusstandard for hele bygget, og energibehovet er beregnet ihht. NS3031. Arealene er i forprosjektet blitt noe justert i forhold til skisseprosjektet.

Bygningskategori	Krav TEK 07 (kWh/m ² år)	Nytt mål i prosjektet (kWh/m ² år)	Differanse (kWh/m ² år)	Areal (m ²)	Besparelse (kWh/år)
Skolebygg	135	62	73	3.464	252.872
Kontorbygg	165	67	98	2.642	258.916
Kulturbygg	180	80	100	2.309	230.900
Totalt				8.415	742.688

Tiltak for å oppnå energieresultater:

U-verdi på fasade i glass og vinduer: 0,8 W/m²K

Kontinuerlig oppfølging med tetthetsmålinger for å oppnå lekkasjetall på 0,6 oms/h

Isolasjon yttervegger: 300 mm

Isolasjon tak: 350 mm

Isolasjon gulv: 250-300 mm

Kuldebroverdi: 0,03 W/m²(BRA)K

SFP: 1,5 kW/(m³/s)

Virkningsgrad gjenvinner: 0,82

Ved oppgradering til passivhus-standard reduseres varmebehovet i bygget vesentlig, men det er fortsatt planlagt å dekke varmebehovet med en mindre varmepumpe som henter varme fra borehull i grunnen. Denne vil dekke behovt for oppvarming og varmt tappevann, samt at det vil kunne gi "gratis kjøling" til bygget i sommerhalvåret. Det er beregnet at 106.124 kWh/år av varmebehovet dekkes av varmepumpen.

2. Økonomi

Total kostnadsramme for Nesodden kommunesenter er på ca. 303 millioner kroner eks mva. Prosjektet finansieres over Nesodden kommunes budsjetter, og det er ingen ekstern finansiering.

Merkostnad for å oppnå energimålene var opprinnelig beregnet til kr. 14.118.000,- (eks. mva). Oppgradering til passivhus vil gi følgende merkostnader i forhold til kostnader skissert i søknaden av 15. oktober 2009:

Aktivitet/tiltak	Merkostnad
Fasade	
- U-verdi glass	974.850
- Eliminering av kuldebroer	292.670
- Ekstra isolasjon yttervegger	93.840
- Bedre tetthet	359.950
- Ekstra tetthetsmålinger	<u>100.000</u>
Totalt Fasade	1.821.310
Tak	
- Dekke over 2. etasje	329.000
- Dekke over U-et.	<u>37.350</u>
Total dekker	366.350
Økt isolasjon P-kjeller	300.000

Økt isolasjon gulv på grunn	140.000
Uforutsett (10 %)	262.766
Prosjektering (10 %)	289.042
Påslag entrepenør (8 %)	254.357
Totalt (eks mva):	3.433.825

Fordi antall borehull og størrelse på varmepumpen kan reduseres, vil kostnaden til varmepumpe bli noe lavere enn det som er anslått i den opprinnelige søknaden.

Totale merkostnader i forhold til minstekrav i TEK 07, er da anslått til ca. 17.000.000,-

Finansiering av energimål:

Egenfinansiering (Nesodden kommune)	Kr.	14.054.050
Ekstern finansiering	Kr.	0
Støtte fra Enova	Kr.	2.945.950
Annen offentlig støtte?	Kr.	0
Total finansiering	Kr.	17.000.000

Soner



Bilde: Sone 1

Sone 1

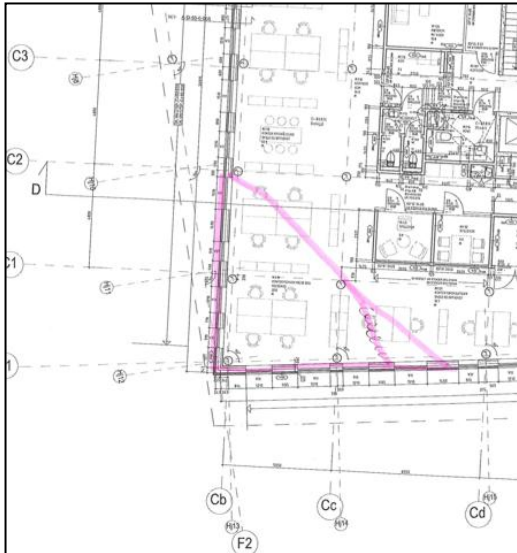
Etasje: 1
Type test: Tidlig test
Hensikt med test: Teste løsning på detalj i klimavegg
Utført: Ja



Bilde: Sone 2

Sone 2

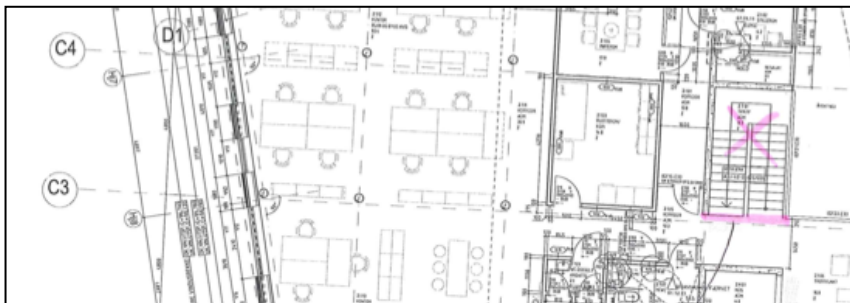
Etasje: 1
Type test: Tidlig test
Hensikt med test: Teste stort aluminiumsvindu
Utført: Nei



Bilde: Sone 3

Sone 3

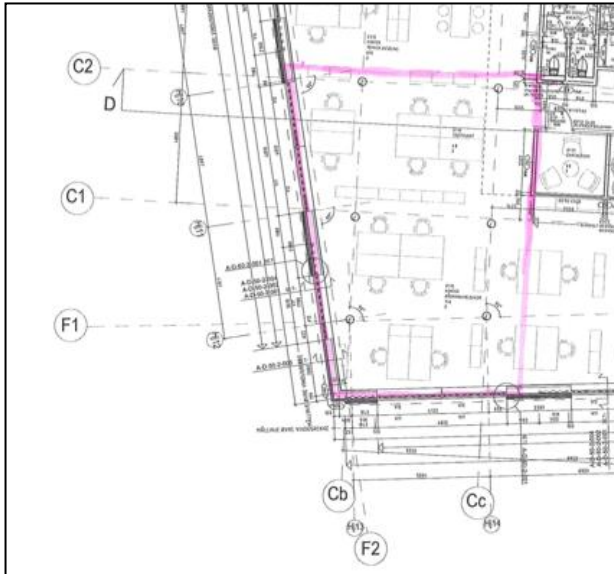
Etasje: Mellometasje
Type test: Tidlig
Hensikt med test: Kvalitetssikre at løsningene i klimavegg er gjennomgående bra
Utført: Ja



Bilde: Sone 4

Sone 4

Etasje: Alle etasjer
Type test: Tidlig
Hensikt med test: Sjekke sjakten
Utført: Nei



Bilde: Sone 5

Sone 5

Etasje: 2. Etasje
Type test: Ikke avklart
Hensikt med test: Det er mer teknisk i veggen, stålskinne og litt andre typer vinduer som skal sjekkes
Utført: Nei



Bilde: Sone 6

Sone 6

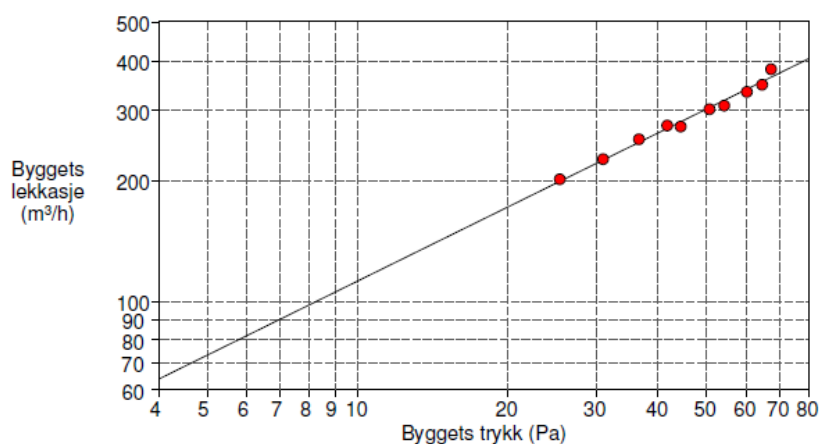
Etasje: 2
Type test: Ikke avklart
Hensikt med test: Teste aluminiumsvinduer, og utføre test med både metode A og B
Utført: Nei

Vedlegg nr. 5- Trykktestrapporter fra Nesodden kommunesenter (Tangenten)

TEST AV BYGNINGERS TETTHET

Testdato: 10.03-2011	Måleansvarlig: Håkon Brager-Larsen
Testfil: Testsone 1.	
Oppdragsgiver: Skanska Norge AS	Bygningens adresse: Nesodden kommunesenter Test sone 1 1.etg
<p>Luftmengde ved 50 Pascal: 303 m³/h (+/- 0.9 %) Luftmengde n50: 0.41 1/h Luftskifte pr.time w50:</p> <p>Lekkasjeareal: 125.5 cm² (+/- 5.5 %) Canadian EqLA @ 10 Pa 69.0 cm² (+/- 8.5 %) LBL ELA @ 4 Pa q50:</p> <p>Bygningens lekksejkeurve: Luftmengdekoefisient (Cenv) = 26.5 (+/- 13.1 %) Luftlekkasjekoeffisient (CL) = 27.3 (+/- 13.1 %) Eksponent (n) = 0.615 (+/- 0.033) Korrelasjonskoeffisient = 0.98850</p> <p>Test standard: NS-EN 13829 Testmetode: Undertrykk Testmetode: B Hvis annen testmetode er brukt: Benyttet utstyr: Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor</p>	

Innetemperatur:	8 °C	Volum:	735 m ³
Utetemperatur:	-2 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:	Prov. varmluft		
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 10.03-2011 Testfil: Testsone 1.

Kommentarer

Provisorisk avgrenset testområde med stenderverk og plast som er teipet og fuget mot betong og mot klimavegg. Dette er en test av vindtetten

Data: Undertrykk

Nominell Bygnings trykk (Pa):	vifetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m ³ /h)	Luftmengde justert for temperatur (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.8	n/a				
-68.2	342.1	391	381	4.7	Ring C
-65.5	288.0	358	348	-1.8	Ring C
-61.1	265.7	343	334	-1.6	Ring C
-55.1	227.9	317	309	-3.0	Ring C
-51.5	218.8	311	302	-1.0	Ring C
-45.2	180.3	281	274	-2.7	Ring C
-42.5	182.5	283	275	1.7	Ring C
-37.4	156.6	261	254	1.8	Ring C
-31.9	125.5	233	227	0.5	Ring C
-26.2	100.2	208	202	1.3	Ring C

TEST AV BYGNINGERS TETTHET

Testdato: 5.05-2011
 Testfil: Testzone 2- under

Måleansvarlig: Håkon Brager-Larsen

Oppdragsgiver: Skanska Norge AS

Bygningens adresse: Nesodden kommunesenter
 Test sone 2 1.etg

Luftmengde ved 50 Pascal: 87 m³/h (+/- 5.4 %) Luftmengde
 n50: 1.50 1/h Luftsifte pr.time
 w50: 7.04 m³/(h*m² Gulvareal)

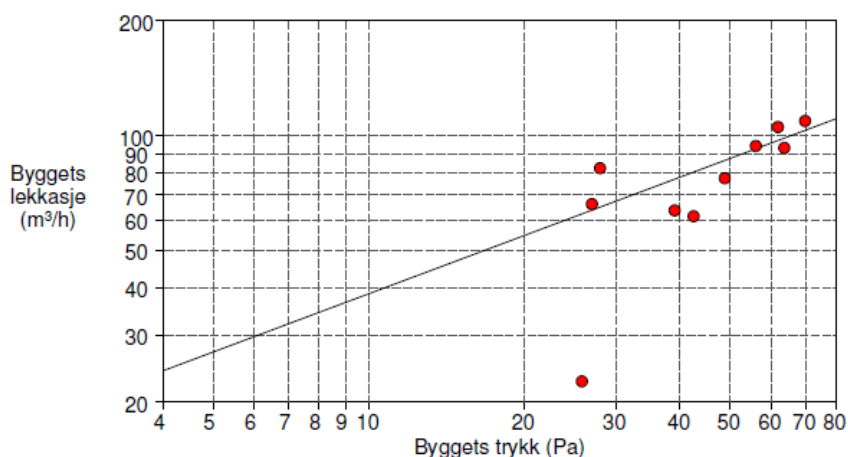
Lekkasjeareal: 43.0 cm² (+/- 27.4 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
 26.1 cm² (+/- 42.4 %) LBL ELA @ 4 Pa

q50:

Bygningens lekkesjekurve: Luftmengdekoefisient (Cenv) = 11.8 (+/- 65.2 %)
 Luftlekkasjekoeffisient (CL) = 12.0 (+/- 65.2 %)
 Eksponent (n) = 0.507 (+/- 0.166)
 Korrelasjonskoeffisient = 0.73468

Test standard: NS-EN 13829 Testmetode: Undertrykk
 Testmetode: B Hvis annen testmetode er brukt:
 Benyttet utstyr: Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor

Innetemperatur:	13 °C	Volum:	58 m ³
Utetemperatur:	12 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	12 m ²
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:	Prov. varmluft		
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 5.05-2011 Testfil: Testzone 2- under

Kommentarer

Provisorisk avgrenset testområde med stenderverk og plast som er teipet og fuget mot betong og mot klimavegg. Dette er en test av glassfelt i tidlig fase.

Data: Undertrykk

Nominell Bygnings trykk (Pa):	viftetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m ³ /h)	Luftmengde justert for temperatur (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.0	n/a				
-70.9	29.0	110	109	5.8	Ring C
-64.8	21.2	93	93	-5.8	Ring C
-63.0	71.7	106	105	8.4	Ring D
-57.2	57.1	94	94	1.6	Ring D
-49.9	38.8	78	77	-10.2	Ring D
-43.6	24.6	62	62	-23.4	Ring D
-40.1	26.4	64	64	-17.2	Ring D
-29.1	249.5	82	82	26.5	Ring E
-26.9	20.7	23	23	-63.6	Ring E
-28.1	164.1	66	66	3.7	Ring E
-1.2	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -1.0 p01+ = 0.0 p02- = -1.2 p02+ = 0.0

TEST AV BYGNINGERS TETTHET

Testdato: 10.03-2011
 Testfil: Testsone 3

Måleansvarlig: Håkon Brager-Larsen

Oppdragsgiver: Skanska Norge AS

Bygningens adresse: Nesodden kommunesenter
 Test sone 3 2.etg

Luftmengde ved 50 Pascal: 84 m³/h (+/- 0.9 %) Luftmengde
 n50: 0.84 1/h Luftsifte pr.time
 w50: 2.70 m³/(h*m² Gulvareal)

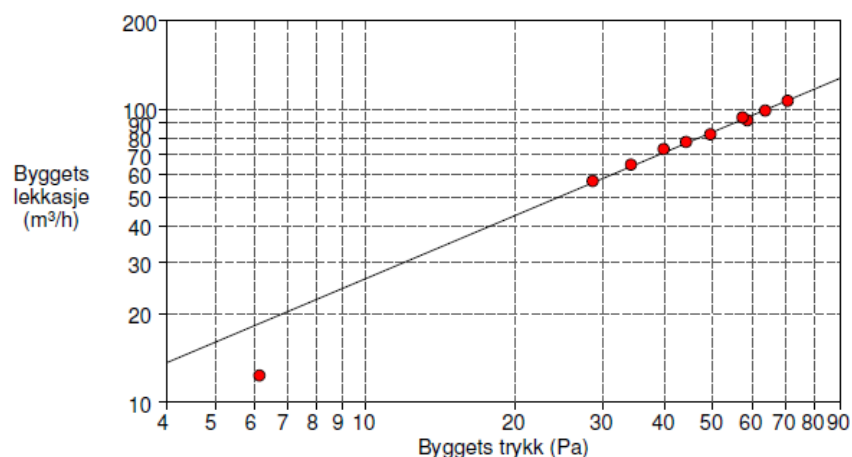
Lekkasjereal: 29.5 cm² (+/- 5.4 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
 14.8 cm² (+/- 8.3 %) LBL ELA @ 4 Pa

q50:

Bygningens lekkesjekurve: Luftmengdekoefisient (Cenv) = 5.0 (+/- 12.7 %)
 Luftlekkasjekoeffisient (CL) = 5.1 (+/- 12.7 %)
 Eksponent (n) = 0.717 (+/- 0.032)
 Korrelasjonskoeffisient = 0.99213

Test standard:	NS-EN 13829	Testmetode:	Undertrykk
Testmetode:	B	Hvis annen testmetode er brukt:	
Benyttet utstyr:	Modell 4 (230V) Minneapolis Blowerdoor		

Innetemperatur:	10 °C	Volum:	100 m ³
Utetemperatur:	-2 °C	Overflateareal:	
Barometertrykk:	101325 Pa	Gulvareal:	31 m ²
Vindstyrke:	0 Vindstille	Usikkerhet om byggets dimensjoner:	%
Bygning er:	Godt beskyttet bygning	Byggeanmeldt år:	
Type oppvarming:	Prov. varmluft		
Type klimaanlegg:			
Type ventilasjon:	Ingen		



TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2

Testdato: 10.03-2011 Testfil: Testsone 3

Kommentarer

Provisorisk avgrenset testområde med stenderverk og plast som er teipet og fuget mot betong og mot klimavegg. Dette er en test av vindtetten

Data: Undertrykk

Nominell Bygnings trykk (Pa):	viftetrykk (Pa)	Nominell luftmengde (m ³ /h)	Luftmengde justert for temperatur (m ³ /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.5	n/a				
-72.2	79.3	111	107	-0.5	Ring D
-65.3	68.2	103	99	-0.7	Ring D
-60.2	58.7	95	92	-2.2	Ring D
-58.9	61.4	98	94	1.6	Ring D
-51.0	47.2	86	82	-1.0	Ring D
-45.7	41.8	80	77	0.9	Ring D
-41.3	37.3	76	73	2.8	Ring D
-35.7	29.3	67	65	1.4	Ring D
-30.2	22.7	59	57	1.2	Ring D
-7.7	-6.9	13	12	-33.6	Ring E
-2.6	n/a				

Test 1 Basislinje (Pa): p01- = -0.7 p01+ = 0.1 p02- = -2.6 p02+ = 0.0

Spørsmål til prosjektene

Skanska Produkt Design(SPD) utvikler et lagringssystem for data som omhandler lufttetthet i bygninger. Dette systemet skal brukes til å lage statistikk som er av viktig verdi for SPD og Skanska med tanke på hvilke anbefaling som skal ut til prosjektene. Alle prosjekter det er gjort trykktestinger ved legges nå inn i dette systemet, og alle trykktestinger i fremtiden skal legges inn. I den anledning trenger vi litt mer informasjon fra de ulike prosjektene for å lage gode statistikker som fanger opp hva som er viktig å fokusere på og ikke minst hva som ikke fungerer.

Vi er to masterstudenter fra Universitetet for miljø- og biovitenskap(UMB) som skriver om lufttetthet i bygninger for Skanska og UMB. Som en del av masteren skal vi sortere data og lekkasjetall, som Håkon Brager- Larsen (SPD) har utført ute på prosjekter. Vi har i den anledning noen utdypende spørsmål som vi håper dere kan være hjelpelige med.

Vi er veldig takknemlig for all hjelp vi kan få, og skulle dere ha noen informasjon om prosjektets lufttetthet som dere tror ville være nyttig for oss å vite, så er det bare å legge til på slutten av undersøkelsen.

Det hadde vært veldig fint om dere kan svare så konkret som mulig på samtlige spørsmål:

Informasjon om prosjektet:

Byggeår: _____

Adresse: _____

Byggherre: _____

Nybygg Rehabilitering

1. Type bygg- Hvordan bygg er det?

Bolig- småhus	<input type="checkbox"/>	Bolig- boligblokk	<input type="checkbox"/>
Barnehage	<input type="checkbox"/>	Skole	<input type="checkbox"/>
Kontorbygg/ Yrkesbygg	<input type="checkbox"/>		

Annet: _____

2. BRA på prosjektet - Hvor stort er det totale bruksarealet på prosjektet?
Dersom prosjektet består av flere bygg så vennligst oppgi BRA per bygg.
-

3. Entrepriseform- Hvilken entrepriseform har prosjektet? Hva var Skanskas ansvarsområde?

Samspillsentreprise	<input type="checkbox"/>	Totalentreprise	<input type="checkbox"/>
Hovedentreprise	<input type="checkbox"/>	Delt entreprise	<input type="checkbox"/>
Levetidsentreprise OPS	<input type="checkbox"/>	Rehabilitering	<input type="checkbox"/>

Evt. Merknad:

4. Hvilke energikrav ble stilt til bygget? (TEK97,TEK07 ect)
(dersom det ble stilt særskilte krav til energi eller lufttetthet så vennligst opplys om det.)
-

5. Detaljprosjektering- Hvem har tegnet detaljløsningene på prosjektet?

- Tilslutning sokkel/klimavegg
- Vindu/klimavegg
- Etasjeskille/klimavegg

Arkitekt	<input type="checkbox"/>	Prosjekterende RIB	<input type="checkbox"/>
SPD	<input type="checkbox"/>	Det forelå ikke detaljprosjektering	<input type="checkbox"/>

Evt. Merknad

6. Hvilken måned i året ble bygget tett?

7. Hvilket hovedbæresystem er benyttet?

8. Hvilken yttervegløsning har blitt brukt/ brukes i bygget?

Bindingsverk tre	<input type="checkbox"/>	m/teglforblending	<input type="checkbox"/>
Bindingsverk tre m/stålsvill	<input type="checkbox"/>	m/teglforblending	<input type="checkbox"/>
Bindingsverk stål	<input type="checkbox"/>	m/teglforblending	<input type="checkbox"/>
Betong med utv. Isolasjon	<input type="checkbox"/>	m/teglforblending	<input type="checkbox"/>
Betongelement	<input type="checkbox"/>		

Evt. Merknad:

9. Hvilke betong/murløsning er brukt på etasjeskille og sokkel i prosjektet?

Etasjeskille:	Hulldække <input type="checkbox"/>	Plass-støpt /plattendække <input type="checkbox"/>	
Kjellervegg / ringmur:	Plass-støpt <input type="checkbox"/>	Leca /Mur <input type="checkbox"/>	Ringmurselement <input type="checkbox"/>

Evt. Merknad:

10. Hvilken vindtetting ble brukt i ytterveggen?
(Vennligst angi merke/type)

Enkel tetting med plater, type _____

Enkel tetting med duk, type _____

Dobbel tetting med plater og duk, typer _____

11. Hva brukte dere for å tette skjøtene i det vindtette sjiktet?
Dersom en kombinasjon ble benyttet så kryss av flere.

Plater: - horisontal H- profil Klemming Teip

- vertikal H- profil Klemming Teip

Vindsperre duk: Klemming Teip

Spørsmål til Trykktester

Navn: Håkon Brager-Larsen

1. Hva er din bakgrunn før du ble trykktester?
Fagbrev som tømrer, jobbet selvstendig som tømrer i 8 år.
2. Når begynte du å jobbe som trykktester?
Januar 2009.
3. Hvilken opplæring fikk du innenfor trykktesting og termografering da du først begynte?
Termografikurs nivå 1 og bygg termografi. Senere termografikurs nivå 2. Samt tett samarbeid med ekstern termografør.
4. Hvordan vil du beskrive utviklingen du har hatt innen fagfeltet siden du begynte?
Enorm. Bratt lærekurve.
5. Hvordan vil du vurdere dine tidligste tester og verdien og kvaliteten på dem i dag?
De tidligste rapportene mangler en del informasjon av selve test objektet, men verdien og kvaliteten av målingene er ellers den samme da som nå. Den største forskjellen er den erfaringen jeg har tilegnet meg gjennom alle disse testene frem til i dag. Denne erfaringen har gitt meg en større forståelse og innsikt i hvert enkelt testresultat.
6. Opplever du at de fleste i din bransje har samme bakgrunn som deg?
Ja!
7. Hvordan føler du at du blir mottatt på byggeplass?
Jeg blir alltid godt mottatt. Men noen er mer skeptiske enn andre, men det går som regle raskt over.
8. Opplever du at ditt arbeid gjør en vesentlig forskjell i resultatenes endelige kvalitet?
Ja definitivt. De første mnd jeg trykktestet reiste jeg rundt på 7 forskjellige prosjekt i ulike faser, hvor ingen av de var innenfor kravet. Etter dette har jeg fulgt opp 39 prosjekter fra oppstart av, hvor alle har kommet godt innenfor kravet.
9. Hva er trykktesternes utfordringer i dag?
Komme tidlig inn i planleggingsfasen. Mye er gjort bare ved å sette fokus så tidlig i prosjektet.

10. Hvilke uklarheter sitter du med når det kommer til praksis og metode?
Volumberegning.
11. Er det noen konkrete endringer/forbedringer du ville gjort med vanlig praksis i dag?
Økt kompetansekravet til de aktørene som finnes i dag. Det er dessverre altfor store variasjoner, og dette skaper usikkerhet hos kundene.
12. Hvilken oppfølging får du fra høyere hold?
Jeg får støtte og anerkjennelse for mitt arbeid og engasjement, men ingen konkret oppfølging.
13. Hvordan synes du tilgang på informasjon i form av litteratur og kurs om temaet er?
Lite på markedet, men Karl Håkon Grimnes gav ut en bok om termografi og trykktesting (praktisk erfaring fra 30 år i bransjen) i 2010, som jeg bruker som et oppslagsverk.

Tusen takk!

Hilsen Merethe og Anne Sofie

Dato for trykktesting:	Byggeår:	Prosjektnavn:	Byggherre:	Adresse:	Teststype:	Over/ Undertrykk:	Hvor i bygget:
09-01-10	2008- 2009	Follebu skole	Gausdal kommune	Follebu, Gausdal kommune	F	O	Fløy 1
09-01-10	2008- 2009	Follebu skole	Gausdal kommune	Follebu, Gausdal kommune	F	U	Fløy 1+ inngang
09-01-10	2008- 2009	Follebu skole	Gausdal kommune	Follebu, Gausdal kommune	F	U	Fløy 2 og 3 m/trappgang ned til kjeller
09-01-10	2008- 2009	Follebu skole	Gausdal kommune	Follebu, Gausdal kommune	F	O	Fløy 2 og 3
09-01-10	2008- 2009	Follebu skole	Gausdal kommune	Follebu, Gausdal kommune	F	O	Gymsal + kjeller
09-01-10	2008- 2009	Follebu skole	Gausdal kommune	Follebu, Gausdal kommune	F	U	Gymsal + garderobe og kjellerdel
21-10-10	2010- 2011	Teigar skole	Nøtterøy kommune	Øvreveien 9, 3121 Nøtterøy	F	O	Del 4
21-10-10	2010- 2011	Teigar skole	Nøtterøy kommune	Øvreveien 9, 3121 Nøtterøy	F	U	Del 4
21-10-10	2010- 2011	Teigar skole	Nøtterøy kommune	Øvreveien 9, 3121 Nøtterøy	F	O	Tilrettelagt avd.
21-10-10	2010- 2011	Teigar skole	Nøtterøy kommune	Øvreveien 9, 3121 Nøtterøy	F	U	Tilrettelagt avd.
10-09-10	2009- 2011	Hundsund	Hundsund AS	Lillerutsvei 71- 101, 1364 Fornebu	T	U	Leil 1.etg
10-09-10	2009- 2011	Hundsund	Hundsund AS	Lillerutsvei 71- 101, 1364 Fornebu	T	U	Leil 1.etg
09-11-10	2009- 2011	Hundsund	Hundsund AS	Lillerutsvei 71- 101, 1364 Fornebu	T	U	Leil B1- 201
09-11-10	2009- 2011	Hundsund	Hundsund AS	Lillerutsvei 71- 101, 1364 Fornebu	T	U	Leil B1- 202
10-11-10	2009- 2011	Hundsund	Hundsund AS	Lillerutsvei 71- 101, 1364 Fornebu	T	U	Leil B1- 401
10-11-10	2009- 2011	Hundsund	Hundsund AS	Lillerutsvei 71- 101, 1364 Fornebu	T	U	Leil B1- 402
07-01-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Leil A4 102 Sokkelleilighet/ 1.etg.
07-01-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Leil A4 301 Endeileilighet
24-03-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	O	Leilighet 3 roms visningsleilighet
24-03-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Leilighet 3 roms visningsleilighet
12-05-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	O	Leil A4 201 2 Etg. med balkong
12-05-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Leil A4 201 2 Etg. med balkong
16-06-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Leil A4 205 2 Etg. med balkong
16-06-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Leil A4 505 2 Etg. med balkong
23-06-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	O	Hele 2 etg Del A (Leilighetene A4 201- A4 212)
23-06-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Hele 2 etg Del A (Leilighetene A4 201- A4 212)
23-06-10	2010	Metro boliger Del A	Bori utbygging AS	Bibliotekgata 2, 1473 Lørenskog	T	U	Hele 2 etg Del A (Leilighetene A4 201- A4 212)

Referat oppstartsmøte
14.01.2011

Sted: Skanskas hovedkontor

Tid: 08.00- 10.00

Til stede: Håkon Brager- Larsen, Merethe Solvang, Anne Sofie Bjelland

1. Budsjett

– Håkon synes budsjettet var rimelig og tar det videre til høyere hold, respons vil bli gitt på tirsdag 18.01.

2. Valg av detaljer

- Vi ble enig om å holde oss til detaljer i vegg. Valg av løsninger vi skal se nærmere på vil Håkon, Tormod, Merethe og Anne Sofie alle ta del i å avgjøre. Vi anser det som fornuftig å lande på rundt fire forskjellige løsninger per detalj. Disse bør bestemmes så snart som mulig. Håkon plukker ut fra Skanskas database, Merethe og Anne Sofie ser i byggforsk og snakker med andre kontakter. Vi håper Tormod her har forslag til ulike løsninger vi bør se på. Ellers vil de løsningene som benyttes på Nesodden selvsagt inngå.

Detaljene er;

- Vegg/vindu- aluminium/tre
- Vegg/sokkel
- Vegg/tak eller etasjeskille
- Vegg/ skillevegg i betong

3. Sortering og systematisering av Skanskas måldata

- Dette bør gjøres nå i starten, vi ønsker å være ferdig med arbeidet i februar
- To dager i uken på skanskas hovedkontor?
- Krever tilgang til internettet til skanska
- Det er rundt 100 rapporter som er fra 2,5 år tilbake og frem til i dag.

- Foreløpige kategorier for sortering;

- Tre-/stål- stenderverk
- Hvor i bygget

- Hvor i landet
- Entrepriseform
- Type oppbygning vegg
- Tidspunkt for ferdigstilling
- Når på året bygget ble tett
- Plasstøpt, hulldekker, elementer
- Type bygg, leilighet ect.

4. Annet

- Håkon merker at det er manglende kursing av fagarbeidere når det gjelder forståelse av hvorfor ting blir gjort som de blir. Det er også en dalende yrkesstolthet samtidig som akkorden presser på slik at kvalitet må vike for produksjonstid.
- Fokuset på lufttetthet er relativt nytt og har kommet med innskjerping av energikravene og kravet til varmegjenvinning på ventilasjonsanlegget.
- Vi så på en vegg/sokkel- detalj med perforert stålvill, her er det viktig at svillelisten trekkes helt forbi det perforerte området for å unngå kontinuerlig "luftpipe" gjennom etasjene.

Møte på Nesodden

Tirsdag 01.02

Deltakere: Ståle Haakull
Merethe Solvang
Anne Sofie Bjelland

Befaring: - Prosjektet ligger litt etter med betongen pga kulde i desember. De støper nå takdekket før de fortsetter på skoledelen, der det foreløpig kun er støpt søyle i 1. etg. Stenderverk er kommet opp i sørvestlig hjørne i 1. etg. Her fikk de feilleveranse av 300 m bunnsvill. Bunnsvillene hadde ikke ferdig pålimt svillmembran også hadde de hull til drenering. Svillmembran tilsvarende den som skulle vært ferdig pålimt har blitt festet under svill med SIGA- teip, og dreneringshullene er også teipet igjen. Preparering av dekkekant før svill bestod i å koste og skrape for å ta de groveste ujevnheter. Det teipes med SIGA- teip på hver svilleskjøt.

1. Første trykktesting. Sone 1

Beliggenhet: Sør-vestlig hjørne, 1. etasje, kontorlokaler.

Størrelse: 80-100 m²- avhengig av avgrensning.

Detaljer som her blir kontrollert:

- Oppbygning klimavegg, samt skjøtemetode av GU
- Svillmembran mellom klimavegg og sokkel
- Tilslutning av klimaveggen i hjørnet
- Tetting rundt trevinduer i klimaveggen
- Tilslutning klimavegg/etasjeskiller

- Det er ikke nødvendig med ferdig montert Tyvekk under trykktesting. Det skal være tett uten tyvekk. Tyvekken er der for å beskytte mot vær i hovedsak.
- Trevinduer kommer i uke 7, så trykktestingen må skje etter det.
- Kanskje trykktesting i uke 8-9?
- Innervegger bygges først når det er tett bygg. Vi kan med andre ord ikke regne med noen av disse til avgrensning av soner. Avgrensninger som kan brukes er betongsjakter og søylene.
- PL er bevisst på at det er dyrt å teste da det krever tid og skaper litt tilstand på byggeplass. Det som har vært snakket om tidligere om 10 testsoner er nok ikke lenger realistisk.

Problemområde: Aluminiumsvinduene i glassfasaden. Disse monteres av Bøkkmann. Aluen monteres først og senere settes glasset inn. Disse glassflatene strekker seg forbi et etasjeskille noe som gjør trykktesting på

byggeplass vanskelig. PL lurer på om man kan stille krav til Bøkkmann om dokumentasjon av lufttetthet før oppstart. Evt at Bøkkmann tester tetthet ved egen utførelse i labb eller liknende på forhånd. I praksis vil PL her komme til å måtte legge en stor del av ansvaret for lufttettheten på Bøkkmann, noe han synes er uheldig. Han er redd for å miste kontrollen over endelig lekasjetall for bygget. PL har snakket litt med Bøkkmann om tetthet tidligere, men det er på tide å ta opp tråden igjen. Anleggsleder vil komme til å ha møte med Bøkkmann om dette i nærmeste fremtid.

- Enkelte alu-vinduer som er i klimavegg kan testes, hele glassfasaden er vanskelig pga. stor takhøyde. Problemer med glassing av alu- vinduer fordi de ikke tettes før senere.
 - avventer alu.
- GU-platene skjøtes ikke med h-profiler tror PL, men bare teip.
- Vi vil ikke få noen temp. differanse ved første måling, så termografering har ingen hensikt. Trykkforskjellen gjør at vi kan indikere utettheter ved røykindikator el.
- Hvordan trekkes Tyvekken oppe rundt de utvendige persiennene? Persiennene må festes på et vis og da må man unngå å lage hull i tyvekken.
- Aktivitetsmøte der man informerer tømrere om utførelse av klimavegg og fokusområder skal finne sted snart.
- Vi må sende disposisjon til Ståle
- Møte om soneinndeling for trykktestene er 9. feb. etter lunsj.

Resultat av tetthetsmøte

onsdag 09.02.11

Deltakere: Ståle Haakull
Håkon Sunde
Ihlni Rekstad
Jan
Fredrik Dæhli
Kristian
Håkon Brager- Larsen
Merethe Solvang
Anne Sofie Bjelland

Testsone 1.

Kontroll av løsninger i klimavegg, skjøter i vindtettsjikt, tilslutning topp- og bunnsvill mot betong og tetting rundt trevinduer. Avgrensning ved provisoriske vegger festes ved heissjakt i betong og stål i vegg til hallområdet.

- Testareal ca 100 m².
- Ventilasjon skal ikke være noe problem i denne sonen men det bør kontrolleres.
- Test A. Ferdig monterte GUX-plater.
 - Hva er krav til skrueavstand ved feste av platene?
 - Hvor vidt lekter og Tyvek skal være på ved denne testen ble ikke avklart.
 - Det vil være liten temperaturredifferanse mellom ute og inne ved denne testen så varme må settes på et døgn i forkant av testen, for å skape differanse nok til å kunne benytte termografering til indikasjon på lekkasjer.
 - SIGA- teip 60 mm benyttes til tetting av skjøter. Den er kjøpt inn men det foreligger ikke datablad på produktet. Det må skaffes.
- Test B. Ferdig montert dampsperre.
 - Det skal brukes så lite stifter som mulig på dampspærren og alle skjøter teipes med Sikral SIGA-teip.

Testsone 2.

Ved overgang til biblioteket. Løsningen her går for alle glassfasader i bygget og kan derfor fungere som miniatyrtest på løsningen i den store hallen. Får ikke glass i det

feltet enda. Likevel er det viktig å få testet alu- løsninger tidlig for er de utett må de fylles med fugemasse for de kan ikke rives. Viktig å følge godt med på UE her, at de ikke stiller med sin tetteteip som ikke er tilstrekkelig. Man kan kanskje lage test på lab av alu- vinduene, det må i så fall være i Schukos regi. Man kunne også bygget prøvevegg med de mindre alu- vinduene.

Testsone 3.

Ligger i "godhjørnet" i mellometasjen. Testes samme dag som sone 1.

Testsone 4.

Heissjakt for å teste takluke i administrasjonen, ligger ved sone 1. Når er usikkert. Det er 11 luker totalt.

Testsone 5.

Ligger i "godhjørnet" i 2. etasje. Her er det gjennomgående el- skinne i vegg, det er det ikke nede. Det er mer teknisk i veggen i denne etasjen, og litt andre vindusløsninger.

Testsone 6.

Ligger i bro, overbygg 2. etasje. Her er det andre alu- vinduer. Her gjør man både test A og B. Ventilasjon skille er midt på broen, dette må sees på i forhold til avgrensning. Luft på fire sider av konstruksjonen.

Planlagte testdatoer:

- Torsdag 3. mars 11.30. Test A, sone 1 og sone 3.
- Torsdag 24. Mars. Test av sone 2.

Praktisk rundt testing.

- Hvor lang tid det tar avhenger av om alle provisoriske vegger er satt opp, det er riggingen som tar tid.
- Selve testen tar rundt en time.
- Det gjøres befaring et par dager på forhånd der vi ser på provisorisk tetting.
- Merethe og Anne Sofie tar formannsjobben og kommer ut i forkant og ser over om ting er klar for testing.
- Provisoriske vegger. Teipes i skjøt og fuges mot gulv og tak.

Tett bygg seminar.

1. Med tømrere og tekniske. Skal virke holdningsskapende for alle fag. El kommer til å ha med en person ved vindtetting. Kunne det være en ide med tett kampanje? "Er du helt tett eller!?" ol.

2. Tett bygg særmøte med tømmerne i regi av PL og anleggsleder. Her gjennomgås viktige detaljer ol. Det skal gå litt sport i å nå et godt lekkasjetall. Tetting rundt vindu kan gjøres uheldig ved fuging til kile. Det bør presiseres at det skal unngås på dette prosjektet. Tømrere må involveres hele veien, skal være viktig for dem å.
3. 1. mars er det himlingsseminar.

Forventet lekkasjetall:

Veldig forskjellig, kommer an på hvor tett svillelist er blitt ect. All perforering i topp- og bunnsvill må tettes med svillelisten som teipes til svill med SIGA- teip. Etasjeskille er avgjørende. Her må det tettes også mellom toppsvill i underkant og bunnsvill i overkant da disse stikker utenfor dekkeanten og dermed gir rom for luftstrøm ut av testzone. Dersom disse tingene er i orden forventes et tall ned mot kravet. Uavhengig resultat vil trykktester likevel peke på ting som kan være bedre slik at man får noe å strekke seg etter. Dersom klemløker ikke er på enda under test A bør 1,0 være bra resultat på en slik test mener Ståle. Dampsperre skal ikke være en sikring sier Håkon Sunde. Lekkasjetallet her er ikke avgjørende for Enova, men for eget bruk og tømmerne.

Trykktesting NVE- huset

Fredag 04.02.11

Deltakere: Håkon Brager Larsen- SPD
Merethe Solvang
Anne Sofie Bjelland

1. Skanska rehabiliterer NVE- huset i Middeltunsgate 29 i Oslo.
2. En sone i nordre fløy er avgrenset for trykktesting. Denne sonen har et volum på 3150 m³.
3. Dette er en underveistrykktesting, da prosjektet er usikker på om vinduer har tiltrekkelig med tetting og hvor eventuelle luftlekkasjer vil komme inn i bygget. Deler av bygget er verneverdig og det er derfor ikke byttet ut vindusrammer, siden disse er verneverdige. Selve glasset i rammen er byttet ut og panel og karmen i veggene er tatt opp og etterisolert.
En del av brystning under selve vinduet er ikke fuget pga at riksantikvaren ikke har tillatt dette.
Bygningen skal ha energiklasse B og må derfor ha et lekkasjetall på 0,8 for å klare dette.
Det er foretatt trykktesting av bygget før hvor lekkasjetall ble på 1,8
Det er siden da foretatt utbedringer ved enkelte vinduer som de nå ville teste ut om var tilstrekkelige tettet.
4. Vi rigget opp ustyret og gjorde provisoriske tettinger i sjakter, vifter, avtrekk, og teipet rundt dørkanter som grenset ut av sonen. Hvite plastikkposer med isolasjon ble brukt for å tette rundt rør.

Viften ble startet og det ble gjort en test for å sjekke den naturlige trykkforskjellen som var 0,9 Pa. Etter dette var gjort ble viften satt i gang for fullt og opp til 60 Pa

Første test viste: n50: 1,68 ved 50 Pa

Det viste seg at viftene på badene ikke var tettet. Disse ble tettet igjen og det ble gjort en ny test.
Andre test viste: n50: 1,42 ved 50 Pa

Dette er fortsatt ikke godt nok, og vi tok med termografi kamera rundt for å dokumentere avvik ved forskjellige vinduer som de ville at vi skulle se på. Dette

ble gjort og det ble klart at noen av vinduene hadde bedre tettingslister enn andre. Det viste seg også at det er dårlig fuging i panel over vindu.

Pga manglende fuging nedenfor vindu var det også mye utettheter her. Dette er et område riksantikvaren har sagt at det ikke er lov å fuge, noe som må tas opp på nytt. Dette kan være et kritisk område for å få ned lekkasjetallet

Termografkamera og mikrometer ble brukt for å dokumentere.

5. Det ble i samtale med prosjektleder snakket om mulige løsninger og bytting av lister ved samtlige 1600 vinduer, både oppe og nede i bygget ble diskutert, da både tykkere lister eller doble.

