

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Masteroppgaven markerer vår avslutning av masterstudiet Byggteknikk og Arkitektur ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap. Kristian Prøis Rusten avslutter et 5-årig masterstudium, mens Svein Atle Wilhelmsen har gått et 2-årig masterstudium. Vi har valgt å skrive om lufttetthet i bygg grunnet vår interesse for energieffektive bygg. Samtidig ser vi et økende fokus i byggenæringen på lufttette bygg, noe som gjør det ekstra interessant.

Oppgaven er et resultat av en langvarig og lærerik prosess som har inneholdt mye lesing, skriving, omskriving og sletting. Arbeidet har gitt oss ny kunnskap og større innsikt i bygningsfysikkens verden, og hvilke utfordringer entreprenører i Norge møter med strengere krav til lufttetthet i bygg.

Vi vil takke vår faglige ekspert og veileder, professor Tormod Aurlien, for god igangsetting og konstruktive og gode innspill underveis. Din raushet med ditt faglige nettverk har og vært til stor hjelp. I tillegg vil vi takke vår eksterne veileder ved AF, Tom Farstad, for innsyn i AF sine problemstillinger og materiale samt faglig veiledning og kontorplasser. Befaringene og tetthetsmålingene har og gitt oss en god praktisk innsikt i problemstillinger ved luftlekkasjer.

Videre vil vi takke Karl H. Grimnes og Morten Lian for at dere velvillig stilte opp på intervjusamtale med oss. Deres lange erfaring, ekspertise og synspunkter har vært til stor nytte ved utforming av oppgaven. Vi vil også gjerne takke Håkon Brager Larsen for at vi fikk være med på måling av lekkasjetall i stort bygg med mange vifter samtidig.

Ås, mai 2011

Kristian Prøis Rusten

Svein Atle Wilhelmsen

Sammendrag

Denne oppgaven ser på problemstillinger rundt lufttetthet i bygg. I hovedsak hva man skal forholde seg til dersom kravet til lekkasjetall ikke nås, og hvor stor betydningen av lufttetthet er i en totalenergisimulering.

I kapittel 2 presenteres utviklingen av kravene frem til i dag. Her gis en innføring i hva infiltrasjon og lufttetthet er, hvordan en tetthetsmåling foregår, og hvorfor det stilles krav til lekkasjetall i bygg. Videre gis det et innblikk i bruken av nyere bygg som er vesentlig tettere enn eldre bygg. Her går man også gjennom lokalisering og kvantifisering av luftlekkasjer.

Videre gjennomgås to av AF Gruppens prosjekter hvor lekkasjetallene har vært for høye. Her ser man hvilke tiltak som er gjort for å utbedre lekkasjene og hvor mye det har hjulpet på lekkasjetallet. Her vises også hva det gitte lekkasjetallet utgjør for energibruken til leilighetene i praksis.

Neste kapittel handler om total energisimulering. Her er det brukt SIMIEN, som er det mest anvendte energisimuleringsprogrammet for bygg i Norge. Det gis en introduksjon til hvordan en energisimulering utføres, og hvor mye lekkasjetallet påvirker denne.

For å høre hva personer i forskjellige posisjoner i byggenæringen mener om temaet er det gjort tre intervjuer. Intervjuene viste at det stort sett er enighet om utfordringene ved luftlekkasjer i bygg.

Før avslutningen drøftes eventuelle tiltak ved for høye luftlekkasjer. Da alt fra hvordan man skal forholde seg til kravene ovenfor TEK10 og beboere, hvilke tiltak man bør gjøre, og hva man må tenke på ved en eventuell økonomisk kompensasjon.

Det konkluderes med at man bør ha fokus på lufttetthet fra starten av prosjektet med alle involverte parter inkludert for å sikre et lufttett bygg. Dersom man ikke oppnår kravet til lekkasjetall bør man vurdere å søke om dispensasjon fra TEK. Dersom dette innvilges gjenstår det privatrettslige forholdet til beboer. Ved økonomisk kompensasjon vil det være rimelig å kompensere for økt energibruk pga for høyt lekkasjetall i inntil 20 år fra ferdigstilling. I bruk av bygg med lavt lekkasjetall er det viktig å være bevisst på hvordan innelufta ventileres, og vedlikeholde et eventuelt ventilasjonsanlegg.

Abstract

This thesis looks at different problems related to the airtightness of buildings. The main focus areas have been to decide what to do if the regulations and demands are not satisfied, and to find the effect of airtightness in a total energy simulation.

Chapter 2 discusses the development of the regulations from the past to present regulations. This includes a general introduction to infiltration and airtightness, how a test works, and the reason for the regulations. Next, the challenges related to using newer, more airtight buildings are considered. This includes localizing and quantification of air leaks.

Chapter 3 discusses two of AF Gruppen's projects, which fails to meet regulations. It summarizes the actions taken to improve the leakages, and the effect of these.

The next chapter deals with total energy simulation. This is shown by using SIMIEN, the most common calculation software for buildings in Norway. An introduction to the process is given, and we demonstrate the effect of different values for airtightness.

Chapter 5 summarizes opinions of people in the academic community regarding airtightness of buildings. It consists of interviews of three people, whose answers coincide fairly well.

Before the concluding chapter, different applicable measures in a situation where the regulations are not satisfied are discussed. This includes how one should relate to TEK10 and to residents, which actions should be taken and what to take into consideration in the case of an economic compensation.

The conclusion is that in order to meet airtightness regulations, the focus on airtightness must be present throughout the project. If the regulations are not satisfied, one should first try to improve airtightness until they are. If this shows to be too comprehensive, one should evaluate the amount of the overrun and consider applying for an exemption. If this is granted, the last thing to do is to deal with the residents. Regarding economic compensation, we find it reasonable to compensate for a period of 20 years after completion of the project. When using buildings with low air leakages, it is important to be aware of how the air is ventilated, and maintenance of the ventilation system.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|----|
| Forord..... | 1 |
| Sammendrag | 2 |
| Abstract | 3 |
| Figuroversikt..... | 7 |
| Formeloversikt..... | 8 |
| Tabelloversikt | 8 |
| 1 Innledning..... | 9 |
| 1.1 Introduksjon..... | 9 |
| 1.2 Problemstilling..... | 10 |
| 1.3 Materiale og metode | 10 |
| 1.4 Avgrensing | 10 |
| 1.5 AF – gruppen..... | 11 |
| AF og lufttetthet | 11 |
| 2 Lufttetthet i bygg..... | 12 |
| 2.1 Infiltrasjon..... | 12 |
| 2.2 Målemetode | 14 |
| 2.2.1 Usikkerhetsmomenter..... | 16 |
| 2.3 Forskjellige mål på lufttetthet | 17 |
| 2.4 Tekniske krav | 18 |
| 2.5 Historie - Fremtid..... | 20 |
| 2.5.1 Tettematerialer | 20 |
| 2.5.2 Tekniske krav..... | 21 |
| 2.5.3 Fremtid | 23 |
| 2.6 Bruk av boliger med lavt lekkasjetall..... | 25 |
| 3 Prosjekter | 27 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Metode og utstyr benyttet ved tetthetsmålinger | 27 |
| 3.2 | Prosjekt A..... | 27 |
| 3.2.1 | Historikk..... | 27 |
| 3.2.2 | Estimering av økt energibruk | 31 |
| 3.2.3 | Dispensasjon/kompensasjon | 32 |
| 3.3 | Prosjekt B..... | 35 |
| 3.3.1 | Historikk..... | 35 |
| 3.3.2 | Lekkasjelokalisering og kommentarer | 40 |
| 4 | Total Energisimulering..... | 43 |
| 4.1 | Metode | 43 |
| 4.2 | Inndata..... | 44 |
| 4.3 | Lekkasjetallets betydning i energisimuleringen | 44 |
| 4.4 | Resultat..... | 46 |
| 5 | Intervju | 47 |
| 5.1 | Oppsummering/sammenligning av intervjuer | 47 |
| 5.2 | Intervjusamtale med Karl H Grimnes | 49 |
| 5.3 | Intervjusamtale med Morten Lian..... | 53 |
| 5.4 | Intervjusamtale med Tormod Aurlien | 56 |
| 6 | Tiltak ved for høye luftlekkasjer | 60 |
| 6.1 | Byggdetaljblad 720.035 | 60 |
| 6.2 | Dagens praksis | 61 |
| 6.3 | Lokalisering og kvantifisering av luftlekkasjer | 61 |
| 6.4 | Redusert tilluft til ventilasjon | 62 |
| 6.5 | Økonomisk kompensasjon | 62 |
| 6.6 | Omfordeling av energibesparende tiltak..... | 65 |
| 6.7 | Dispensasjon fra TEK..... | 66 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7 | Evaluering..... | 67 |
| 7.1 | Måling i praksis..... | 67 |
| 7.2 | Diskusjon..... | 69 |
| 7.2.1 | Utfordringer ved kravene i TEK 10..... | 69 |
| 7.2.2 | Utfordringer ved økonomisk kompensasjon..... | 70 |
| 7.2.3 | Måleresultater som bakgrunn for økonomisk kompensasjon..... | 73 |
| 7.2.4 | Utfordringer ved bruk av tette bygg..... | 74 |
| 7.2.5 | Lokalisering av luftlekkasjer..... | 74 |
| 8 | Konklusjon..... | 76 |
| 9 | Videre arbeid..... | 79 |
| 10 | Referanseliste..... | 80 |
| 11 | Vedleggsliste..... | 81 |

Figuroversikt

- Figur 1.1 AF-logo.
- Figur 2.1 Trykkforholdene gjennom en bygning.
- Figur 2.2 Anblåsing og gjennomblåsing.
- Figur 2.3 Termografering av utetthet langs fotlist.
- Figur 2.4 Oppholdssonen i bygget.
- Figur 2.5 Dagens ullpapp brukt i gulv.
- Figur 2.6 Dampsperre av polyetylen.
- Figur 2.7 Økt lufttetthet vs. økt isolasjon.
- Figur 2.8 Weather protection system.
- Figur 2.9 Ventilasjonsanlegg til bolig med roterende varmeveksler.
- Figur 2.10 Støv- og partikkelansamling ved friskluftventil.
- Figur 3.1 Åpning av nedsenket himling i prosjekt A.
- Figur 3.2 Overgang yttervegg/TRP-plate med manglende lufttetting.
- Figur 3.3 Tilpasningsbit av gips til profiler i TRP-plate.
- Figur 3.4 Overgang brannisolert stålbeleg/TRP-plate med manglende lufttetting.
- Figur 3.5 Målinger gjort av Termografi og måleteknikk i prosjekt A.
- Figur 3.6 Sammenheng mellom pris på utbedring og størrelse på leilighet i prosjekt A.
- Figur 3.7 Stillas satt opp på nytt ved utvendige utbedringer.
- Figur 3.8 Målinger gjort av Termografi og måleteknikk i prosjekt B.
- Figur 3.9 Utett detalj over letthimling innvendig i prosjekt B.
- Figur 3.10 Utbedret detalj over letthimling innvendig i prosjekt B.
- Figur 3.11 Utett hjørnedetalj over innvendig himling.
- Figur 3.12 Åpning av fasade ved hulldekker.
- Figur 4.1 Sammenheng mellom energibehov og lekkasjetall.
- Figur 6.1 Nåverdibetraktning av økte fremtidige energiutgifter, forutsatt 1 kr/kWh.
- Figur 7.1 Forskjellige oppsett av Blowerdoor.
- Figur 7.2 Tetthetsmåling av bygg på 43 000 m³.
- Figur 7.3 Oppriss av eksempelleiligheter med uheldige interne luftlekkasjer

Formeloversikt

- Formel 2.1 Definisjon av lekkasjetall.
- Formel 2.2 Definisjon av infiltrasjon ifølge NS 3031.
- Formel 2.3 Trykkforskjell ute/inne generert av vindpåkjenning.
- Formel 6.1 Nåverderdiberegning, ”*Finansiering og investering. Kort og godt*” Morten Helbæk og Snorre Lindset

Tabelloversikt

- Tabell 2.1 Dagens tillatte lekkasjetall i forskjellige bygningskategorier.
- Tabell 2.2 Krav til lekkasjetall i år 1980.
- Tabell 3.1 Økning i energiforbruk som konsekvens av høyt lekkasjetall i prosjekt A.
- Tabell 3.2 Kostnad sett i forhold til størrelse og forbedring av lekkasjetall.
- Tabell 3.3 Lekkasjepunkter oppdaget ved termografering i prosjekt B.
- Tabell 3.4 Antall observerte lekkasjepunkter ved forskjellige målinger.
- Tabell 3.5 Differanser i energibehov fra reelt nivå til forskriftsnivå i prosjekt B.

1 Innledning

1.1 Introduksjon

I dagens samfunn øker stadig fokuset på å senke energiforbruket. Det innføres gebyrer og stilles krav til forskjellige tjenester og aktiviteter både offentlig og privat. Disse går på å senke forbruket, så vel som å finne alternative løsninger. Når man ser på byggenæringen, har tekniske krav til bygningers energibruk kommet til og endret seg i flere omganger. Kravene går på å senke varmetapet samt benytte miljøvennlige energikilder.

Det finnes to typer varmetap fra bygninger. Det ene er infiltrasjonsvarmetap, altså varmetap grunnet luftlekkasjer gjennom utettheter i klimaskjermen. Dette kommer som en følge av at det er trykkdifferanser mellom ute- og inneluft. Den andre typen er transmisjonsvarmetap, som er varmetap gjennom klimaskjermen pga temperaturforskjeller mellom inne og ute. Transmisjonsvarmetap kan beregnes og prosjekteres ettersom man vet bygningsdelenes U-verdi. Et bestemt infiltrasjonsvarmetap kan ikke beregnes i forkant, det må måles når bygget er ferdig tettet.

Stadig strengere krav til lufttette bygg stiller større krav til planlegging og utførelse av detaljer i overganger mellom forskjellige bygningselementer. Kravene er økt av flere grunner: Tettere bygg gir jevnere temperatur i rommet, mindre trekk og dermed økt komfort for brukeren. Det er en relativt billig og enkel form for energibesparelse. Økt isolasjonstykkelse setter høyere krav til tett dampsperrsjikt for å unngå fuktskader. Isolasjonen er også avhengig av tett vind- og dampsperrsjikt for å isolere optimalt.

Utgangspunktet for oppgaven er to forskjellige leilighetsprosjekter hvor lekkasjetallene var for høye ved ferdigstilling. Det ble satt i gang tiltak av entreprenøren og målt lekkasjetall igjen to ganger, men kravet i forskriften var allikevel ikke tilfredsstillt. Hva gjør man i slike tilfeller? Hvordan bør entreprenør forholde seg til de økte energikostnadene? Kan man få dispensasjon fra kravene i TEK? Dette er spørsmål entreprenører stiller seg, og bakgrunnen for problemstillingen i denne oppgaven.

1.2 Problemstilling

1. Hvor mye ressurser skal man bruke på utbedring av luftlekkasjer før man bør søke dispensasjon fra TEK og kompensere bruker økonomisk?
2. Hvordan skal måleresultater brukes som bakgrunn for økonomisk kompensasjon?
 - Skal det måles med eller uten støtetrykk?
3. Hvor stor er lufttetthetens betydning i det totale energibehovet i større boligbygg?
 - Hvordan skal man ta hensyn til lokalisering og kvantifisering av luftlekkasjer?
4. Hva er viktig ved bruk av boliger med lavt lekkasjetall?

1.3 Materiale og metode

Materiale er relevante standarder, forskrifter, diverse litteratur fra Sintef Byggforsk og materiale fra AF sine prosjekter. I tillegg vil det bli gjort trykktester på forskjellige typer bygg, samt intervjuer av sentrale personer i fagmiljøet. Metoden for denne oppgaven er kvalitativ.

1.4 Avgrensing

Temaet "*lufttetthet i bygg*" er et bredt tema som har innvirkning på mange sider ved ett bygg. Derfor er det nødvendig å avgrense omfanget av en masteroppgave.

Denne oppgaven er et produkt av et samarbeid med IMT og AF Gruppen. Derfor er det forsøkt å dekke temaer som er interessante for disse og oss studenter. Det endte til slutt opp med to hovedtemaer; økonomisk kompensasjon, og betydningen av lufttetthet i en totalenergisimulering av større boligbygg i Norge. Noen konklusjoner vil også gjelde for de fleste typer bygg.

Det er valgt å se på energiproblematikken relatert til luftlekkasjer fremfor andre skader grunnet luftlekkasjer. Dette vil si at det sees bort i fra faktorer som fukt med etterfølgende sopp og råtedannelse. Som også kan være et resultat av luftlekkasjer. I tillegg kan interne luftlekkasjer føre til transport av lyd og lukt mellom boenheter.

For å sette leserne av oppgaven inn i temaet faller det seg naturlig å gi en introduksjon til hva lufttetthet er og hvorfor man etterstreber å senke lekkasjetallet i bygninger.

1.5 AF – gruppen

AF – gruppen er Norges 3. største entreprenør med en omsetning på 5,4 mrd. og et resultat på 366 millioner kroner før skatt i 2009[1]. Det er delt inn i 5 virksomhetsområder: Bygg, Anlegg, Eiendom, Miljø og Energi, og har over 2000 ansatte i Norge, Sverige, Polen og Kina. AF står for "Adressing Future" og det gjenspeiler visjonen som sier: "Vi rydder fra fortiden og bygger for fremtiden".



Figur 1.1: AF-logo

I 1985 gikk en gruppe kolleger ut fra to entreprenørselskaper sammen og stiftet AF. Bakgrunnen var et ønske om frihet til å utøve entreprenørånd og belønning for å skape lønnsom vekst. Lønnsomhet og HMS-resultater godt over bransjens standard dannet grunnlaget for videre vekst og utvikling av AF. I 1986 hadde AF en omsetning på over 100 millioner kroner.

AF fusjonerte i 1997 med Ragnar Evensen AS og gikk på børs. Ragnar Evensen AS var et stort entreprenørselskap innenfor bygg i Oslo-området, og fusjonen bidro til en dobling av omsetningen, samt økte markedsandeler. Videre ble det gjort oppkjøp av selskaper i både fundamenterings- og rivebransjen, og innenfor energieffektivisering. Dette bidro til at AF i dag har store markedsandeler innen rivevirksomhet både på land og i Nordsjøen.

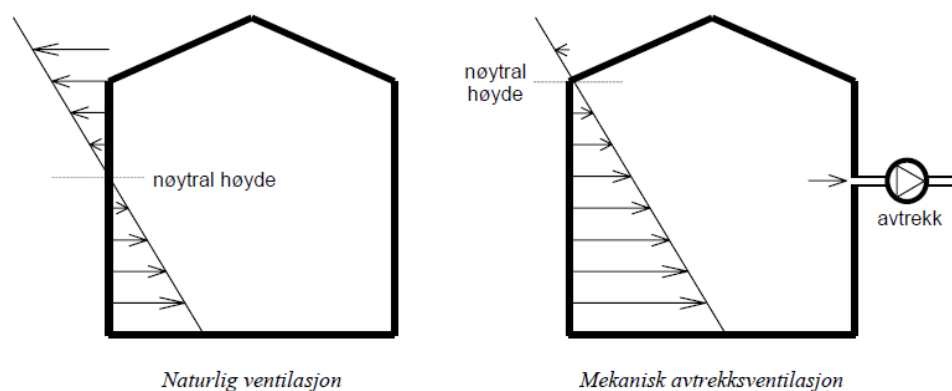
AF og lufttetthet

AF var den første av de store entreprenørene i Norge som i 2006 anskaffet eget utstyr for måling av lekkasjetall, og måler nå lekkasjetall på ca 10 % av alt de bygger. Dette gjøres for å kontrollere at man har oppfylt kravet, og virker forebyggende mot dårlig utførelse av viktige detaljer.

2 Lufttetthet i bygg

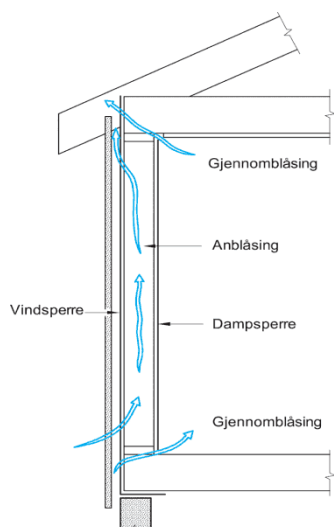
2.1 Infiltrasjon

Luftutskiftning i et bygg kan være kontrollert og ukontrollert. Den luftutskiftningen som skyldes utettheter i konstruksjonen kalles infiltrasjon. Utetthetene er ofte lokalisert i overganger mellom forskjellige bygningselementer hvor det er skjøter i vindsperre og dampspærre. Det kan også være rundt vinduer, dører og andre gjennomføringer. Graden av infiltrasjon avhenger av trykkforhold i og utenfor bygget. Trykkforholdene bestemmes av vind, termisk oppdrift, ventilasjonsvifter og luftlekkasjenes plassering i bygget.



Figur 2.1: Trykkforholdene gjennom en bygning[2]

Termisk oppdrift fører til en skorsteinseffekt i bygget som gjør at vi får et innvendig undertrykk nede og overtrykk oppe. Hvor nøytral høyde er, avhenger av luftlekkasjenes plassering i bygningen, vind og hvordan ventilasjon bygget har. Er luftlekkasjene jevnt fordelt over byggets høyde, vil nøytral høyde være omtrent midt i bygget. Dersom konsentrasjonen av utettheter er høyt i bygget vil også nøytral høyde være høyere. Som vist på figuren vil mekanisk avtrekk heve nøytral høyde ofte til taknivå. En interessant observasjon er at luftlekkasjer/friskluftsventiler ved nøytral høyde gir minimalt med luftutskiftning. Mens dette øker jo lenger fra nøytral høyde luftlekkasjen er. Ved balansert ventilasjon kan man styre hvor mye tilluft man ønsker i forhold til avtrekkslufta. Et svakt undertrykk kan være ønskelig for å forebygge mot fuktskader, mens det øker sjansen for radoninntrengning. Trykkforskjellen er størst ved sterk vind, men øker og ved større temperaturforskjeller mellom inne- og uteluft, og økt høyde på bygget. [2]



Det er vindsperra og dampsperra sammen som hindrer infiltrasjon (gjennomblåsning). Dersom vindsperra ikke er helt tett, kan vi også få anblåsning. Det skjer når kald luft trenger forbi vindsperra, inn i isolasjonsmaterialet, sirkulerer, og trenger ut av vindsperra en annen plass. Dette nedsetter isolasjonsevnen betraktelig, men er ikke merkbart som luftlekkasje innvendig. Derimot blir innervegger kaldere, og bygget mindre energieffektivt.[3]

Figur 2.2: Anblåsning og gjennomblåsning[3]

Infiltrasjonen i et bygg er definert i NS 3031 som $H_{inf} = 0,33 \times n_{inf}V$ [W/K], hvor V er oppvarmet luftvolum. For å finne H_{inf} må man først måle lekkasjetallet, n_{50} . Det angir luftskiftninger per time når bygget blir påsatt en trykkforskjell på 50 Pa og benevnes oms/t (luftomsetninger/time). Dette er et kjent begrep som er definert etter følgende formel:

$$n_{50} = \frac{V'50}{V}$$

Formel 2.1: Definisjon av lekkasjetall[4].

$V'50$ [m³/h] = Samlet luftlekkasje ved 50 Pa trykkforskjell

V [m³] = Volum av bygning/målt bygningsdel

Deretter setter man n_{50} inn i formelen for n_{inf} definert i NS 3031:

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

Formel 2.2: Definisjon av infiltrasjon ifølge NS 3031[4]

e, f = Terrenngskjermingskonstanter (Tabell B.6 i NS 3031 angir faktorene basert på skjermingsgrad rundt bygget og antall utsatte fasader)

n_{50} = Lekkasjetall ved 50 Pa

V'_1 = Tilluftsmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i m³/h

V'_2 = Avtrekksmengde i det mekaniske ventilasjonsanlegget, i m³/h

2.2 Målemetode

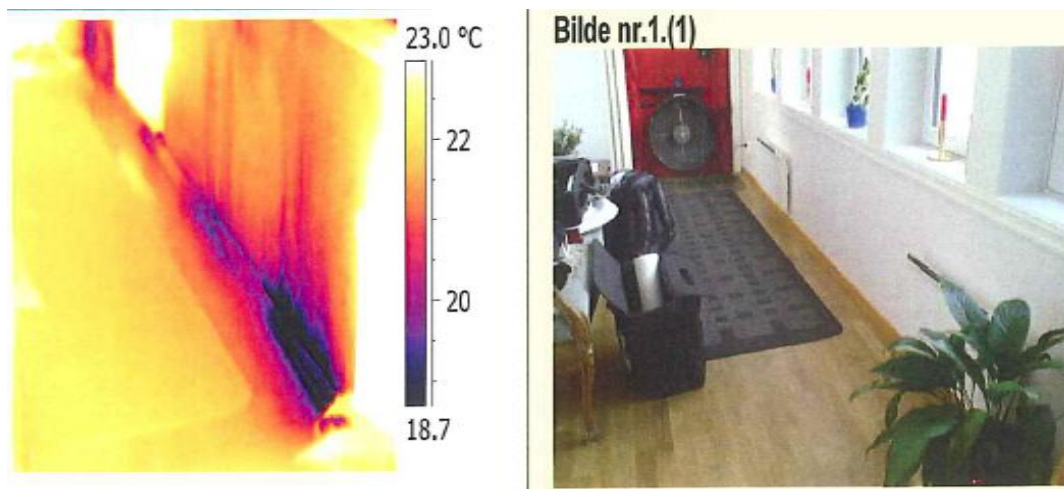
Måling av lufttetthet til et bygg er basert på en enkel metode, men krever noe utstyr. "NS-EN 13829 – Bygningers termiske egenskaper, bestemmelse av bygningers luftlekkasje, differansetrykkmetode" beskriver metoden og hvordan man skal utføre en slik måling. Et mye brukt og velfungerende produkt verden over er Minneapolis Blowerdoor. I det inngår en sammenleggbar dørramme med en tilpasset tett duk som passer i de fleste dørkarmer. I denne duken er det et hull med plass til vifta. Vifta blir drevet av en motor med effekt på $\frac{3}{4}$ hk, og har en kapasitet på 9090 m³/h ved 50 Pa trykkforskjell[5]. For å måle nøyaktig lekkasjetall på mindre volumer og ved lave lekkasjetall, følger det med 5 ringer av forskjellig størrelse til å regulere luftmengden gjennom vifta. Disse settes på vifta ved behov og dekker til så vifteåpningen blir mindre. Dersom det blir nødvendig å bytte ring, sier Tectite (dataprogrammet) ifra. I vifta sitter også en luftmengdemåler som registrerer hvor mange kubikkmeter luft vifta blåser per time.

Viftehastigheten styres automatisk av en hastighetskontroller som er koblet til en DG-700. DG-700 er en liten boks som måler trykk og luftgjennomstrømning. I dette tilfelle måler den trykkforskjellen mellom ute og inne og registrerer luftgjennomstrømningen gjennom vifta. Samtidig styrer den hastigheten på vifta ut i fra hvor stor trykkforskjell man skal måle ved. Denne boksen kobles igjen til en PC via en usb-port. For å gjøre en automatisk test, bruker man et dataprogram som heter Tectite. Tectite styrer så målingen automatisk ut i fra hva man har forhåndsinnstilt det til å gjøre. Vanlig metode er først å registrere baseline, altså trykkforskjellen mellom ute og inne mens man dekker til vifta. Det er et krav at man måler luftgjennomstrømning ved minst 5 forskjellige trykkforskjeller[6] rundt 50 Pa, altså for eksempel ved 30, 40, 50, 60 og 70 Pa. Imidlertid er det vanligere å måle ved opptil 10 forskjellige lekkasjetall, for eksempel ved 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 og 70 Pa. Dette gjøres ved under- og overtrykk. Deretter måler man igjen baseline for å sjekke at trykkforholdene ikke har endret seg betydelig. Dersom trykkforskjellen er for stor, vil programmet si ifra om at det er stor usikkerhet ved å gjennomføre måling. Er forholdene godkjente vil programmet regne ut et lekkasjetall som er snittet av målinger ved over- og undertrykk.

Måling ved bruk av flere vifter samtidig krever samkjøring av flere DG-700 til samme PC. Da kan man bruke et program som heter Teclog. Det styrer alle viftene til å holde en bestemt

trykkforskjell mellom ute og inne, samtidig som det logger alle data om luftgjennomstrømning kontinuerlig. Man setter viftene til å holde like mange bestemte trykkforskjeller over noe tid som i Tectite, for så å overføre dataene til Tectite og få ut et lekkasjetall.

Kapasiteten på vifta må tilpasses størrelsen på bygget og forventet lufttetthet. Skal man for eksempel måle lufttetthet til et bygg på 300 m^3 , og forventet lekkasjetall er under 1,5, bør vifta ha en kapasitet på minst $450 \text{ m}^3/\text{h}$ for å kunne måle ved minst 50 Pa trykkforskjell.



Figur 2.3: Termografering av utetthet langs fotlist.

Ved lokalisering og kvantifisering av luftlekkasjene er det vanlig å sette vifta til "cruising" ved 50 Pa undertrykk. Deretter går man rundt i bygget og leter etter luftlekkasjer med termograferingskamera, røykappull og håndbaken.

Før man skal måle et byggs lekkasjetall må man gjøre noen forberedelser:

1. Lukke og tape alle avtrekk- og tilluftsventiler
2. Lukke alle vinduer og utvendige dører
3. Åpne alle innvendige dører
4. Fulle vannlåser med vann
5. Sette inn målevifte i ytterdør som går til friluft
6. Måle/beregne volum av målt sone i bygget
7. Lukk oven- og peisdører samt tilhørende spjeld

2.2.1 Usikkerhetsmomenter

Ved måling med vifte satt inn i dør måler man både undertrykk og overtrykk, for så å bruke gjennomsnittsverdien som resultat. Dette fordi måling med undertrykk og overtrykk gir forskjellig resultat avhengig av hvilken vei ytterdører og vinduer slår, og hvordan gjennomføringer og detaljer er utført. Oftest blir lekkasjetallet høyest ved bruk av overtrykk, blant annet fordi vinduer og dører nesten alltid slår utover. Bruker man ventilasjonsanlegget til trykksetting, måler man bare undertrykk, og usikkerheten er noe større.

Er det vind dagen man måler, registrerer man vindstyrken i måleprogrammet slik at det tas hensyn til det. Vindstyrken bør være lavest mulig, og uansett ikke overstige 6 m/s under målingen. Trykkforskjellen som skapes av vindpåkjenning kan skrives som:

$$\Delta p_v = \frac{\rho \times v^2}{2}$$

Formel 2.3: Trykkforskjell mellom ute og inne grunnet vindpåkjenning[4].

ρ = luftas densitet (ca 1,2 kg/m³)

v = vindhastighet (m/s)

p_v = Trykkforskjell (Pa)

Av formelen ser man at 50 Pa trykkforskjell oppstår ved vindhastighet på 9 m/s, noe som kan gi vanskelige måleforhold. Metodens måleusikkerhet er hovedsaklig påvirket av vind, og er vanligvis mindre enn ± 15 % når det er vindstille ifølge NS-EN 13829. Ved mye vind kan usikkerheten komme opp i ± 40 %. For å få et jevnere målt utvendig trykk, kan man plassere måleslangen i en perforert pose som er fylt med f. eks. mineralull. Dette har fungert ved AF sine målinger.

2.3 Forskjellige mål på lufttetthet

NS-EN 13829:2001 viser 3 måter å angi lufttetthet til bygg:

$$n_{50} = V'_{50}/V \quad (\text{luftveksling})$$

$$w_{50} = V'_{50}/A_F \quad (\text{spesifikk luftlekkasje})$$

$$q_{50} = V'_{50}/A_E \quad (\text{luftlekkasje})$$

Luftveksling, n_{50} , er det mål på lufttetthet som anvendes i Norge når det er snakk om å tilfredsstille krav i henhold til TEK. Dette angir luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkdifferanse og benevnes h^{-1} , eller oms/t i Norge. De andre målemetodene w_{50} og q_{50} benevnes begge med $m^3/(h \cdot m^2)$. Alle metodene bruker V'_{50} som utgangspunkt. Dette tallet angir lekkasjeluftmengde i løpet av en time, ved 50 Pa trykkforskjell. Det vil si hvor mye luft som fortrenses (ved undertrykk) eller trekkes inn i enheten i løpet av en time.

Det finnes fordeler og ulemper med alle tre alternativene. w_{50} gir et ut resultat som relateres til den målte enhets netto gulvareal. Resultatet i seg selv gir lite innblikk i hvor stor lekkasjen er, annet enn å si noe om lekkasje i forhold til arealet på enheten. Det er tross alt volumet av luften som skal varmes opp. Imidlertid er det enkelt å kunne bruke dette tallet til å si noe om hvor mye lekkasjen har å si i forhold til krav i TEK 10 §14-4, her står rammekravene oppført i kWh/(m^2 oppvarmet BRA pr. år). Dette tilsier at det skal være forholdsvis lett å sammenligne resultat med krav. Denne metoden tar ikke hensyn til hvor stort gulvarealet er i forhold til klimaskjermen.

Metoden som bruker q_{50} som målemetode, gir ut et resultat som sees i sammenheng med areal av klimaskjerm som omgir den målte enheten. Det tas da med areal av alle omsluttende vegger, tak og gulv, selv om noen av disse skulle grense mot andre enheter. Denne sier lite om volum av luften i enheten i forhold til V'_{50} , siden vegghøyde er variabel. Den sier derimot hvor mye luft som passerer gjennom hver m^2 av klimaskjermen ved en test. Dette kan imidlertid gi et misvisende resultat da klimaskjermens areal kan variere mye uten at gulvarealet gjør de, avhengig av arkitekturen til bygget. Det er vist at kompakte bygg ofte får lavere lekkasjetall enn mindre kompakte bygg, også når man måler n_{50} .

n_{50} tar hensyn til fortrenget luftvolum i forhold til enhetens innvendige volum. Dette sier noe om hvor stor andel av det totale luftvolumet i enheten som skiftes i løpet av en time og gir

dermed et bedre bilde av hvor stor innvirkning luftlekkasjene har på energibruken. Det er tross alt et volum av luft som skal varmes opp, eventuelt kjøles ned, og det er lett å se hvor stort det faktiske luftskifte egentlig er, i forhold til volumet av enheten. Denne metoden eliminerer problematikken rundt størrelse av klimaskjerm i forhold til gulvareal.

2.4 Tekniske krav

I likhet med krav til transmisjonsvarmetap (U-verdier og kuldebroverdier), stiller myndighetene krav til infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap (lufttetthet) i bygninger med hensikt å få ned energibruken. Dette gjøres gjennom Teknisk Forskrift (TEK 10), hvor forskjellige typer bygg er klassifisert i kategorier med ulike krav. Nedenfor vises kravene til lekkasjetall for forskjellige bygningskategorier: [7]

| Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell: | |
|---|-------------------------------|
| -Småhus | ≤ 2,5 luftvekslinger pr. time |
| -Lavenergihus | ≤ 1,0 luftvekslinger pr. time |
| -Passivhus | ≤ 0,6 luftvekslinger pr. time |
| -Øvrige bygninger | ≤ 1,5 luftvekslinger pr. time |
| -Absolutt minstekrav | ≤ 3,0 luftvekslinger pr. time |

Tabell 2.1 Dagens tillatte lekkasjetall i forskjellige bygnings kategorier

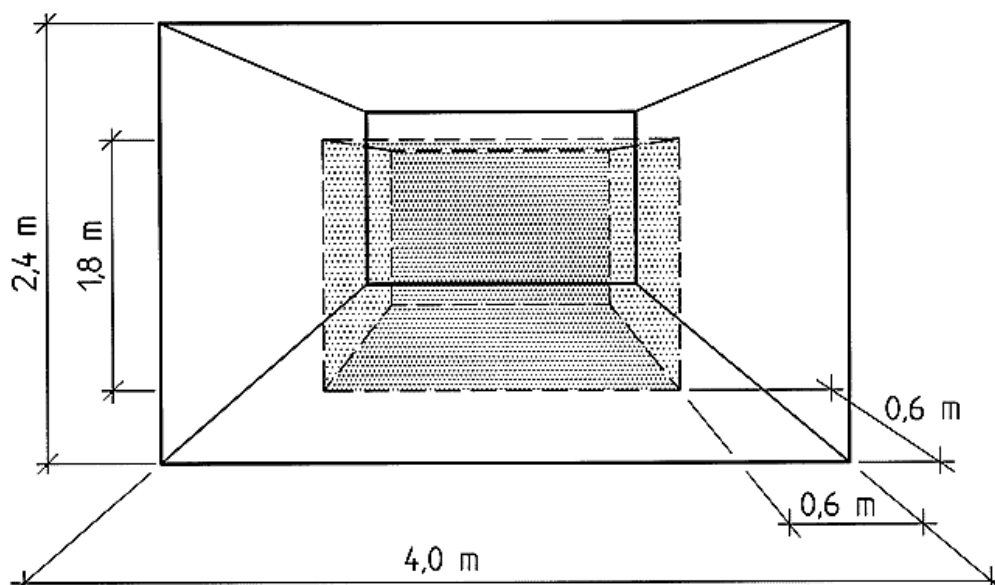
Til forskjell fra U-verdi kan man ikke beregne lufttetthet, dette må måles i etterkant. Det er derfor utfordrende å oppnå et bestemt lekkasjetall, og avvik oppdages ofte ikke før prosjektet nærmer seg avslutning, eller etter innflytting.

Det er ikke bare økonomien ved netto energibehov og hensynet til miljøet som er grunn til kravet om lufttetthet. Der det er luftlekkasjer, vil man også få fukt- og luftlydgjennomgang. Luftlekkasjer kan føre til kald trekk som kan oppfattes ubehagelig. Dette gjelder spesielt for mindre enheter som små leiligheter. Her oppholder man seg ofte nærmere vegger/yttervegger enn i større leiligheter/eneboliger. Derfor er det viktig å unngå luftlekkasjer.

Andre aspekter ved lufttetthet er kontroll av luftkvaliteten innendørs. Dette gjelder spesielt sykehus, men også sykehjem og andre steder hvor det bor mennesker med nedsatt

immunforsvar, astma osv. Dersom man ser til at all luft renses gjennom ventilasjonsanlegg, slipper man dårlig luftkvalitet som følge av dårlig uteluft. Hindrer man også lekkasjer mellom leiligheter, elimineres smittespredning mellom disse.

Byggdetaljblad 421.501 *Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort* angir måleprinsipper og anbefalte retningslinjer for termisk inneklime. I kapittel 3, punkt 31 *Oppholdssonen*, er oppholdssonen i et rom beskrevet. Dersom boenheten er liten, kan man være tvunget til å utvide oppholdssonen ut til veggen. Her vil eventuell trekk som følge av luftlekkasjer føles betraktelig verre enn 0,6 m inn i rommet, samtidig som kaldras fra vinduer vil være ubehagelig. Som det vises på figuren under, er oppholdssonen volumet av rommet minus alt som er mindre enn 60 cm fra både yttervegg og himling. [8]



Figur 2.4: Oppholdssonen i bygget[8]

2.5 Historie - Fremtid

2.5.1 Tettematerialer

Papp ble brukt som tette- og isoleringsmateriale fra slutten av 1800-tallet og frem til 1950 årene. I 1928 kom det krav til papp i bygg hvor det ytterste laget skulle være impregnert. På innsiden brukte man uimpregnert ullpapp basert på tekstilfiber. Først i løpet av 1950-årene ble det vanlig å benytte papp som dampsperre[9]. Gjerne også med aluminiumsfolie på innsiden (reflekspapp). Samtidig som papp ble vanlig som dampsperre kom polyetylenfolier (byggningsplast/byggfolie) på markedet. Dette ble raskt mye brukt som dampsperrmateriale i bygg hvor mineralull ble brukt som varmeisolasjon. De første foliene var 0,04 mm tykke, mens man senere gikk over til 0,15 mm folier i vegger og tak, og er dampsperreren slik vi kjenner den i dag. I konstruksjoner mot grunn er tykkelsen ofte 0,20 mm.

Det finnes og andre dampsperrertyper som:[3]

- *Dampsperrer med uttørkingsmulighet.* Disse er damptette i tørr tilstand, men slipper gjennom fukt i fuktig tilstand. Dermed kan man tørke ut fukt fra konstruksjonen til innvendig rom. Disse egner seg spesielt steder hvor utvendig veggtemperatur blir høyere enn innvendig temperatur, og fukt diffunderer innover i konstruksjonen og kondenserer på dampsperra.
- *Varmereflekterende, varmeisolerende folier* består av et tynt lag med aluminium med polyetylenlag på begge sider. Satt i et hulrom i veggen på 40 mm med aluminiumen rettet innover, kan dette ha samme varmeisolerende effekt som om hulrommet var fylt med mineralull.

Fra starten av 1950-årene ble det også produsert egne vindtettingsmaterialer som asfaltbaserte porøse trefiberplater. Senere har det kommet flere produkter til vindtetting som forhudningspapp, gipsplater, plastfiberduk og kartongplater. Vindsperra har ofte flere



Figur 2.5: Dagens ullpapp brukt i gulv.



Figur 2.6: Dampsperre av polyetylen.

funksjoner. Under bygging skal den lukke bygget og beskytte isolasjon og konstruksjon mot vind og regn. Platebaserte vindsperrer har ofte vindavstivende effekt på bygget. Vindsperra skal kunne slippe fukt ut av konstruksjonen, og fungere som 2. trinns tetting. Det er og viktig at det blir et kontinuerlig sjikt med tette skjøter, slik at luftlekkasjene blir minst mulig.

2.5.2 Tekniske krav

I byggeforskriften fra 1969 kom det første kravet til lufttetthet. I kap. 43:121 er det definert slik: [10]

”Veggen skal være så vindtett at det på innsiden ikke kan spores luftbevegelse pga vind som trenger gjennom veggen”.

Dette er et kraftig krav, men vanskelig å håndheve uten måletall å forholde seg til. Det første tallfestede kravet til lufttetthet i bygg kom i 1980. Da kom det krav til lufttetthet for hele bygget, og for hver enkelt bygningsdel. Kravene til hver enkelt bygningsdel falt senere bort. Endringen i TEK lød slik i kapittel 54:3:

”Bygning skal være så tett at lekkasjer målt etter NS 8200 ikke overstiger 3,0 m³ luft i timen pr. m³ oppvarmet volum for bygning i høyst 2 etasjer, og 1,5 m³ for øvrige bygninger. Volum i kjeller regnes ikke med. Kravet gjelder når trykkforskjellen mellom inneluft og uteluft er 50 Pa. De enkelte bygningsdeler mot det fri skal være så tette at luftlekkasjer ved trykkforskjell 50 Pa ikke overstiger 0,4 m³/m²h, for vinduer 1,7 m³/m²h, målt etter NS 3206. Tilslutninger og fuger skal være tette slik at det ikke oppstår sjenerende trekk eller nedfukting.”

For småhus gjelder kapittel 54:55:

”Den totale luftlekkasje hos bygningen målt etter NS 8200 skal ikke overstige 4,0 m³ luft i timen pr. m³ volum av primær del. Kravet gjelder når trykkforskjellen mellom inneluft og uteluft er 50 Pa.”

Dette oppsummeres i denne tabellen:

| Bygningstype | Lekkasjetall |
|--------------------------------------|--------------|
| Småhus | 4,0 |
| Andre bygninger med inntil 2 etasjer | 3,0 |
| Andre bygninger over 2 etasjer | 1,5 |

Tabell 2.2: Krav til lekkasjetall i som kom i 1980.

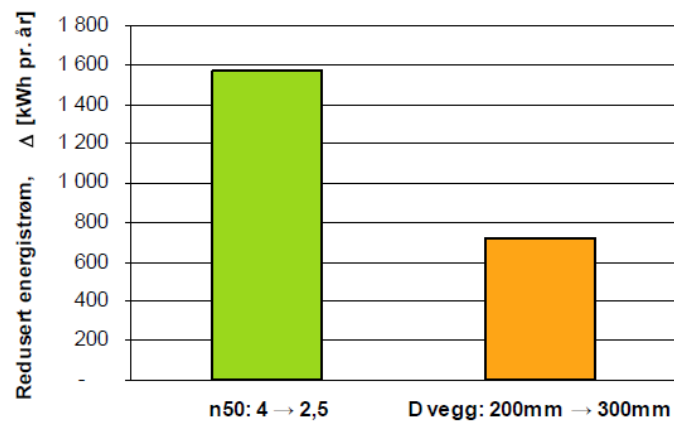
I TEK 1997 gjelder det samme kravet til lekkasjetall, men i 3. utgave av REN fra 2003 er det kommet inn følgende tekst i § 8-22:

”Anbefalt lufttetthet varierer med type ventilasjonssystem, spesielt for boliger. Boliger med naturlig ventilasjon eller mekanisk fraluftsventilasjon bør ikke være vesentlig tettere enn angitt i tabell 1 (referer tabell over), da luftlekkasjene vil utgjøre en ønsket del av tilluften i deler av året.”

Denne teksten ble fjernet i 2007, og man mener det er bra å bygge så lufttett som mulig så lenge man har de nødvendige ventiler for tilluft ved naturlig eller mekanisk fraluftsventilasjon. I tillegg ble kravene skjerpet, og man gikk over til og kun skille mellom småhus og alle andre bygg. Det kom også krav til lavenergi- og passivhus, samt et absolutt minstekrav som kan brukes ved omfordeling av varmetap. Selv om det gis anledning til omfordeling av infiltrasjonsvarmetap i TEK, frarådes dette i byggdetaljblad 471.023 – *Energikrav til bygninger. Omfordeling av varmetap*. Frarådingen er begrunnet med at det vil være vanskelig å vite hvilken lufttetthet man kommer til å få på ferdig bygning. I tillegg vil det være avhengig av skjermingsfaktoren, og det beregnede varmetapet vil da være forbundet med stor usikkerhet. Tabell 2.1 viser gjeldende krav i TEK10.

Det ble laget en overgangsordning slik at disse kravene gjelder prosjekter som er byggemeldt etter 1/7-2010. I TEK 10 er det ingen endrede krav til lufttetthet.

Som vi ser av kravene over, var kravet til leilighetsbygg det samme i 1980 som det er i dag. Men det er først de siste 6-7 årene dette har fått et større fokus. Årsaken til dette er en kombinasjon av flere ting, blant annet at de samtidig skjerpede krav til U-verdier og isolasjonstykkelse er avhengig av at bygget er tett dersom det skal ha en energieffektiviserende effekt. Det kommer tydelig frem i grafen under som demonstrerer betydningen av lufttetthet kontra veggtykkelse i et eksempelbygg. Det er forutsatt $BRA = 120 \text{ m}^2$, moderat skjerming, mer enn én utsatt fasade, $\theta_u = 5,6 \text{ °C}$ og balansert ventilasjon:



Figur 2.7: Økt lufttetthet vs. økt isolasjon.[11]

2.5.3 Fremtid

Risikoen for fuktskader som mugg- og soppvekst er noe økt ved større isolasjonstykkelse, desto viktigere er det med kontinuerlig tetting, og uttørking av konstruksjonen før det isoleres og tettes. På bakgrunn av dette vil bygging under telt (WPS) bli mer aktuelt i fremtiden. Det gir lettere uttørking, forutsigbar byggetid og jevnere byggeklima. Ved innføring av lavenergi- og passivhusstandard med enda lavere lekkasjetall, viser man hvor man vil i fremtiden. Dette er helt klart med på å øke fokuset på lufttetthet.



Figur 2.8: Weather protection system.[12]

I 2009 ble det utført en studie av Multiconsult i samarbeid med SINTEF Byggforsk om passivbygg som forskriftskrav i 2020[13]. Dette var på oppdrag av Statens Bygningstekniske Etat hvor målet var å *"vurdere forutsetninger, begrensninger og muligheter rundt myndighetenes ambisjon om innføring av passivbygg som forskriftskrav innen 2020"*.

Konklusjonen fra denne studien er at det er fullt mulig å innføre passivbygg som forskriftskrav innen 2020. Dersom det blir satset kraftig på de riktige punktene fra myndighetenes side, og i samarbeid med bransjen, mener man det vil være mulig å innføre passivbygg som forskriftsnivå allerede før 2015. Dog vil det være behov for en overgangsperiode til fordel for bransjen. Dette vil øke fokuset og behovet for kompetanse om lufttetthet betraktelig i årene fremover.

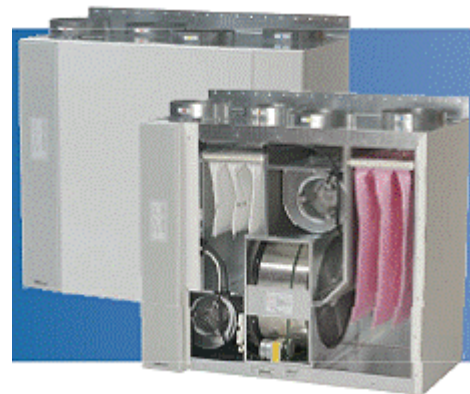
Rapporten fra Multiconsult sier også at det ikke er grunn til å se på passivhus som det endelige mål for hvor energieffektive bygg kan bli. Isolasjonstykkelsen har muligens nådd sitt ytterpunkt, særlig i tettbebygde strøk hvor kvadratmeterprisen er høy, men på energiforsyningsiden er det fortsatt mange tiltak man kan gjøre. Med dette menes solfangere, solceller, varmepumper, biobaserte systemer, vindturbiner, lokal fornybar varme osv. Det er ventet en høy teknologiutvikling og større etterspørsel på disse løsningene de nærmeste årene. Det vil gjøre komponentene mer energi- og kostnadseffektive. På noe lengre sikt (10-20 år) er det derfor fornuftig å sikte mot nullenergi og nullutslippsnivå for nye bygg.

2.6 Bruk av boliger med lavt lekkasjetall

Riktig bruk av boliger handler mye om å vite hvilken type ventilasjonssystem man har, og å kunne bruke det riktig. Frem til i dag har vi 3 forskjellige hovedtyper av ventilasjonssystemer i bygg:

- Naturlig ventilasjon, ofte med mekanisk avtrekk på kjøkken og bad
- Mekanisk ventilasjon (avtrekksventilasjon)
- Balansert ventilasjon

For at hvert system skal fungere optimalt, forutsettes det at brukerne er klar over hvordan det fungerer og anvender det korrekt. Ved naturlig og mekanisk ventilasjon er man avhengig av at ventiler og spalteåpninger er åpne for å skifte ut lufta. Disse blir ofte lukket for å spare energi, eller fordi det kan oppleves trekkfullt. Da blir isteden utetthetene i bygget brukt som lufteåpninger, hvilket ikke er gunstig. Det kan medføre at støv og partikler fra konstruksjonen blir sugd inn til innelufta, og skaper et dårlig inneklima.



Figur 2.9: Ventilasjonsanlegg til bolig med roterende varmeveksler.

Har man balansert ventilasjon skal det ikke brukes ventiler eller spalteåpninger. Isteden går lufta inn og ut av ventilasjonskanaler. Dersom filteret i ventilasjonsanlegget byttes/renses ved gitte intervaller, vil man oppnå god innvendig luftkvalitet. For bygg i bykjerner vil det være nødvendig å bytte filter hyppigere enn om bygget lå mer avsides. Hvis ikke filteret blir byttet kan det oppstå uønsket



Figur 2.10: Støv- og partikkelansamling ved friskluftventil.

bakterievekst som igjen kan føre til uønsket lukt og helseskader som følge av at inneluften blir dårligere enn den opprinnelige uteluften. I tillegg mister man effekt på ventilasjonen dersom filtrene tilstoppes. Erfaringsmessig blir filterbytte ofte glemt eller utelatt. For å unngå dette finnes det abonnementsordninger på filter fra produsentene av

ventilasjonsanleggene. Enten kan man få det tilsendt en gang årlig og bytte det selv, eller avtale filterbytte med en lokal leverandør.

I en nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning gjort av Sintef Byggforsk [14] har man konkludert med at balansert ventilasjon er en moden teknologi og et godt valg. Det gir den beste luftkvaliteten og det beste inneklimate samtidig som det reduserer fyringsutgiftene. Undersøkelsen omfatter hovedsakelig eneboliger, og kommer fram til at 90 % av de som har balansert ventilasjon er fornøyd/meget fornøyd med luftkvaliteten. Til sammenligning synes 77 % av husstandene med mekanisk og naturlig ventilasjon at inneluftkvaliteten er bra eller svært bra. Nordiske feltmålinger viser og at naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon ofte ikke overholder forskriftskrav til luftomsetning, mens balansert ventilasjon gir i gjennomsnitt det høyeste målte luftskiftet av de tre ventilasjonsstrategiene. En årsak kan være at avtrekkssystemer ikke er tilpasset dagens mer tette boliger. Derimot reagerer 30 % av husstandene som har balansert ventilasjon på støy fra anlegget i soverom/oppholdsrom. Det viser seg at plasseringen av aggregatet er avgjørende for om man sjeneres av støy. I eneboliger bør det plasseres i kjeller eller på loft, mens i leiligheter blir isolering og innkassing av aggregatet viktig da man ofte må plassere aggregatet i samme plan som oppholdsrommene. Undersøkelsen viser og at kun 2 % av husholdningene med balansert ventilasjon klager på ubehagelig trekk, samt at fuktighetsnivået er minst i boliger med balansert ventilasjon, litt høyere i boliger med mekanisk avtrekk, og høyest i boliger med naturlig ventilasjon.

3 Prosjekter

3.1 Metode og utstyr benyttet ved tetthetsmålinger

Leilighetene er termografert etter NS-EN 13187 ved bruk av kvalitativ og infrarød metode, og tetthetskontrollert etter differansetrykkmetoden i NS-EN 13829. Det er benyttet varmekamera av typen FLIR P65 som kalibreres jevnlig og tettheten er målt med Minneapolis Blower Door. Denne metoden og dette utstyret er felles for alle termografirapportene det er referert til i prosjekt A og B.

Forberedelser før termografering og tetthetsmåling:

- Samtlige ventiler, vinduer og ytterdører er kontrollert og lukket.
- Teipet mekanisk avtrekk på kjøkken, vaskerom og bad.
- Alle sluk og avløp er kontrollert og evt. fylt med vann.

Etter nødvendig tetting ble det målt lekkasjetall ved undertrykk og overtrykk med gjennomsnittet som resultat. Deretter ble det termografert ved konstant undertrykk på 50 Pa i leiligheten.

3.2 Prosjekt A

3.2.1 Historikk

Prosjekt A ligger som en 5 etasjer høy pir ut i et havnebasseng, og det er lite som skjermer for vinden. Det er bygget mellom 2002-2005 og har en meget spenstig arkitektur med mange hjørner og overganger, hver etasje er på ca 1300 m². Beboerne i toppetasjen mente det var uvanlig mye trekk i leilighetene, og gjorde i 2007 tetthetsmålinger på 5 leiligheter i 5. etasje. Dette for å undersøke hvor høye lekkasjetall det var, og om det var en trend med høye lekkasjetall i bygget. Leilighetene ble målt til å ha lekkasjetall på mellom 4,3 og 8,5 oms/t, altså mye høyere enn kravet på 1,5 oms/t i TEK. [15]

Etter målingene i 2007 ble det gjort noen tiltak for å senke lekkasjetallet. Man tettet rundt vinduer, terrassedører og enkelte områder ved gulv/yttervegg. Det ble og tettet rundt gjennomføringer i yttervegg, blant annet i forbindelse med peiser. I 2009 ble det igjen målt lekkasjetall og termografert i de samme leilighetene. Da var lekkasjetallet gått litt opp på 2

av leilighetene og noe ned på de 3 andre. Marginene var så små (jfr. figur 3.5) at de kunne ligge innenfor måleusikkerhetene, så man bestemte å utbedre ytterligere. I tillegg ble de resterende 4 leilighetene i 5. etasje og 5 leiligheter i 2. og 3. etasje målt. Følgende utbedringer ble gjort i 5. etasje:[16]

1. Overgangene mellom yttervegger og takkonstruksjoner over nedsenket gipshimling ble høyt prioritert. Her er det benyttet et lett-tak system med TRP takplater. Disse platene har en geometrisk utforming som gjør det svært ressurskrevende å tette rundt disse i etterkant (jfr. figur 3.2). Det ble her løst ved å spesiallage mange gipsplater som ble satt opp i TRP-platen og fuget rundt.
2. Det ble tettet rundt gjennomføringer av ventilasjonsanlegg.
3. Ved sjaktene ble det bygd tak over taket, for så å åpne takkonstruksjonen. Her ble profilene i TRP-platene tettet fra over- og undersiden.

Etter disse målingene ble det igjen målt lekkasjetall i leilighetene i 5. etasje. Lekkasjetallet hadde nå sunket mye, og man oppnådde et snitt på 3,6 oms/t. Dette er over dobbelt så høyt som kravet i TEK97 tilsier det skal være.

På de neste sidene følger bilder som illustrerer noen av utfordringene.



Figur 3.1: Åpning av nedsenket himling i store deler av leilighetene.



Figur 3.2: Overgang mellom yttervegg og TRP plater med manglende lufttetting.



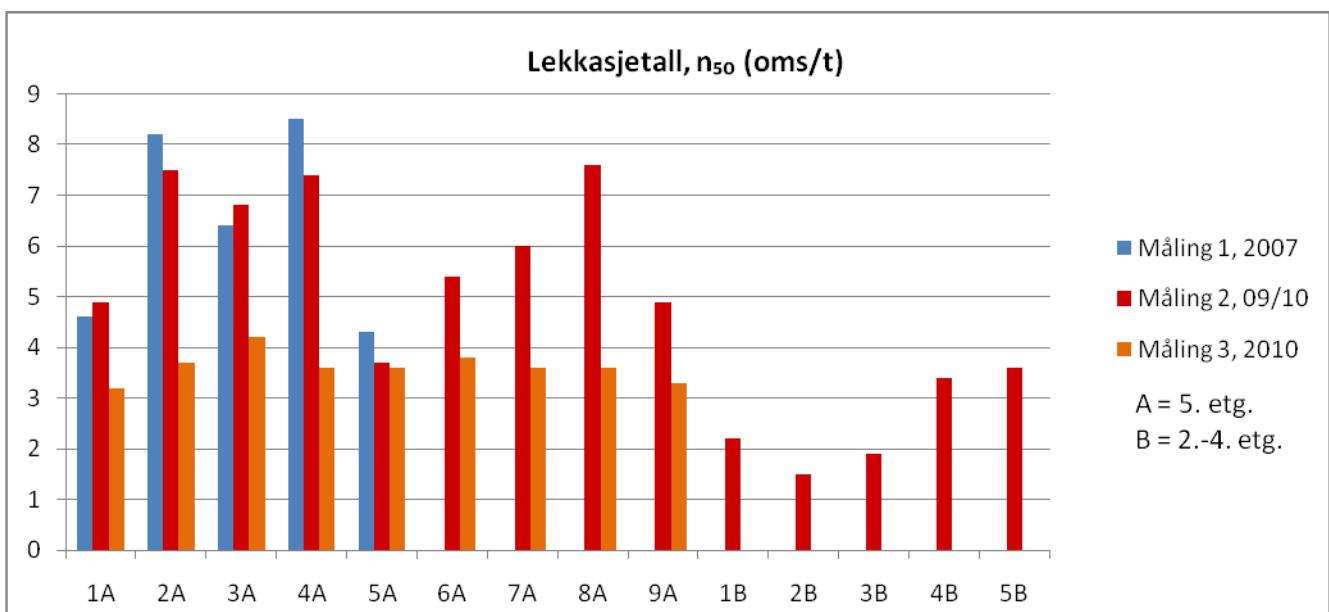
Figur 3.3: Tilpasningsbit av gips som er montert i åpning mellom TRP-plater og yttervegg for så å fuge rundt.



Figur 3.4: Overgang fra brannisolert stålbæring til TRP-plate med manglende lufttetting. Dette er utbedret med gips og fuging.

3.2.2 Estimering av økt energibruk

De siste tetthetsmålingene tilfredsstilte ikke kravet til lekkasjetall i TEK 97. Dette førte til at AF engasjerte SINTEF Byggforsk til å utføre energiberegninger for å estimere økningen i energiforbruk som konsekvens av for høyt lekkasjetall i prosjekt A. Rapporten ble først utarbeidet 16.1.2010 og revidert 4.1.2011 etter de siste utbedringene og målingene. I og med at lekkasjetallene i 5. etasje er forholdsvis like hverandre, og lekkasjetallene i 2.-4. etasje er ganske like, ble simuleringen noe forenklet ved å dele bygningen opp i 2 deler. Man brukte da et gjennomsnitt av lekkasjetallet i 5. etasje, og et annet gjennomsnitt for leilighetene i 2.-4. etasje. I tillegg er det forutsatt at luftlekkasjene er utelukkende eksterne fordi det ikke er gjort målinger med støttettrykk for å avdekke andelen av interne luftlekkasjer. Dette er dermed et såkalt konservativt estimat og reelt energitap kan være noe lavere enn estimert her.[17]



Figur 3.5: Målinger gjort av Termografi og Måleteknikk AS i prosjekt A.

| Skjermingsgrad | Måling | 2.-4. etasje | 5. etasje | Benevnelse |
|------------------|-----------|--------------|-----------|-----------------------|
| Ingen skjerming | 2. måling | 8,8 | 41,8 | kWh/m ² år |
| Normal skjerming | 2. måling | 6,1 | 28,8 | kWh/m ² år |
| Ingen skjerming | 3. måling | - | 22,2 | kWh/m ² år |
| Normal skjerming | 3. måling | - | 15,3 | kWh/m ² år |

Tabell 3.1: Økning i energiforbruk som konsekvens av lekkasjetall høyere enn 1,5 oms/t.[17]

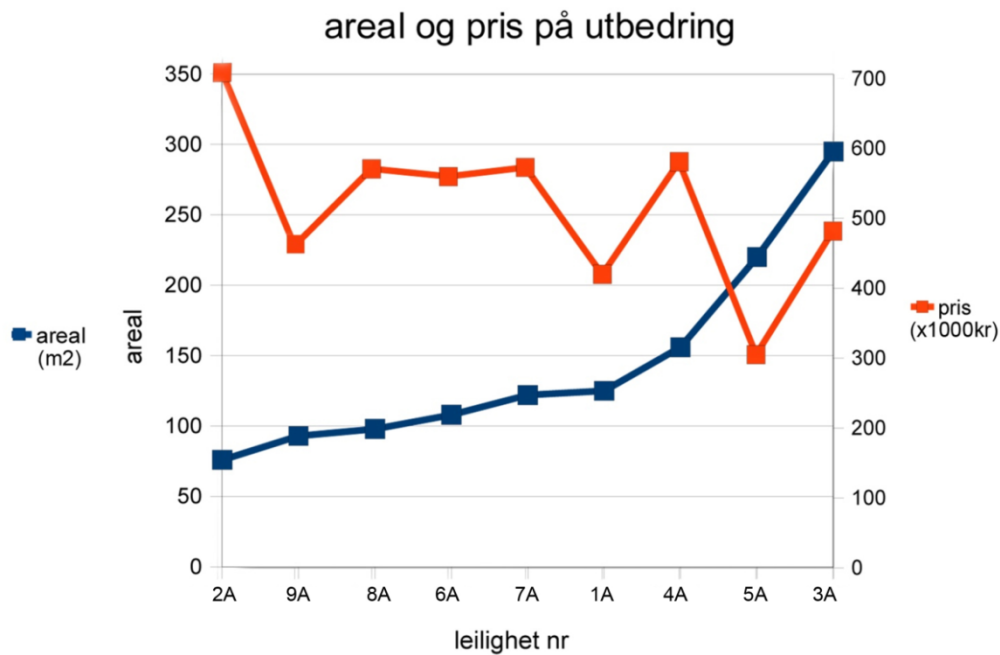
3.2.3 Dispensasjon/kompensasjon

Etter siste måling har det blitt søkt kommunen om dispensasjon fra TEK, dette har man fått, og det er gitt dispensasjon fra krav til tetthet i TEK97 § 8-22 til et lekkasjetall på 4,0 oms/t. Alle målte leiligheter er innenfor dette kravet, men en betingelse for dispensasjonen er at privatrettslige forhold overfor beboere ivaretas. Skal de få økonomisk kompensasjon for økt energibehov, hvor mye skal de eventuelt få, og hva blir konsekvensen av dette ved videresalg?

Økningen i netto energibehov fra kap. 3.2.2 (ingen skjerming) tilsvarer en beregnet total økning på omtrent 29 000kWh/år for 5. etasje i forhold til kravet i TEK. Disse tallene er beregnet med rente, r , lik 3 % og energipris lik 1 kr/kWh. Dette er en forbedring fra omtrent 54 000 kWh/år etter første utbedring, og utgjør over en periode på 20 år ca 430 000 NOK, en besparelse på omtrent 370 000 NOK, ref vedlegg A. Det er nesten en halvering av situasjonen ved det opprinnelige lekkasjetallet. Ved utregning av energibruk i etasjene 2-4 er det gått ut i fra at arealet er tilsvarende det for 5. etasje. Dette gir en samlet økning av energikostnadene for 3 etasjer på rundt 500 000 NOK under samme forutsetninger som for 5. etasje. Da dette også er beregnet uten skjerming, kan reell økning ligge lavere. Et snitt av resultatene for uten skjerming og normal skjerming med alle etasjene gir en økning i energikostnader på omtrent 790 000 NOK gjennom en eksempelperiode på 20 år.

Sammenlignet med utbedringskostnadene er dette en liten sum. Utbedringer etter dette har kostet entreprenør nærmere 7,5 millioner NOK i rene utgifter til håndverkere og materialer. I

tillegg kommer omtrent 1,5 million NOK til tetthetsmåling, administrasjonsutgifter og annet. Nedenfor vises en graf hvor leilighetenes areal og pris på utbedringen er brukt som inndata. Her ser man at det kan være en sammenheng mellom størrelse på leiligheten og kostnaden ved utbedring. Selv om kurven er noe stakkato og vi har et begrenset utvalg med kun 9 leiligheter, går trenden mot at større leiligheter koster mindre å utbedre.[18]



Figur 3.6: Sammenheng mellom pris utbedring og størrelse på leiligheter

Det er imidlertid flere aspekter som kan spille inn her, for eksempel hvilken leilighet som ble utbedret først, hvor høyt lekkasjetallet var opprinnelig og om leiligheten har mange hjørner og overganger. For å ta dette med i betraktningen har vi utarbeidet tabellen under. Den viser hvor mye utbedringene har kostet pr kvadratmeter, pr oms/t forbedring og en kolonne for hva dette vil si pr m² og pr oms/t i hver leilighet. Leilighetene står i rekkefølge etter når de ble utbedret.

| Normalisert utbedringskostnad | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------------|--------------------------------|----------------|
| Leilighet | x1000 kr/m ² | x1000 kr/oms | x1000 kr/(m ² *oms) | m ² |
| 2A | 9,30 | 187 | 2,44 | 76 |
| 4A | 3,72 | 153 | 0,97 | 156 |
| 6A | 5,20 | 350 | 3,25 | 108 |
| 1A | 3,36 | 247 | 1,97 | 125 |
| 3A | 1,63 | 185 | 0,63 | 295 |
| 7A | 4,70 | 238 | 1,95 | 122 |
| 9A | 5,00 | 288 | 3,13 | 93 |
| 5A | 1,38 | 3050 | 13,80 | 220 |
| 8A | 5,80 | 256 | 1,45 | 98 |

Tabell 3.2: Kostnad sett i forhold til størrelse på leilighet og forbedring av lekkasjetall.

Som vi kan se av tabellen (med ett klart unntak i 5A) er tendensen igjen at de minste leilighetene har kostet mest å utbedre. I leilighet 5A er det imidlertid brukt lite penger pr. kvadratmeter, men det er liten forbedring i lekkasjetall.

Grunnen til at utbedringen av leilighet 5A ble så dyr kan være at det er en stor leilighet over to etasjer og dermed har større klimaskjermareal. Den hadde mye lavere lekkasjetall enn de andre fra starten av, og det var problemer med gjennomføringer i forbindelse med peis, som er montert etter innflytting. Av tabellen er det vanskelig å se om rekkefølgen har hatt noen innvirkning, det høye utslaget på leilighet 5A kan tyde på at man har møtt på forskjellige utfordringer i leilighetene.

3.3 Prosjekt B

3.3.1 Historikk

Dette prosjektet ligger i et flatt innlandsområde på østlandet. Det er et bebygd boligområde med flere små leilighetskomplekser og bolighus. Her går vi nøyere inn på 2 toppleiligheter (leilighet 1 og 2) med en felles skillevegg. Det ble her målt lekkasjetall og termografert 12.3.2008 av Termografi og Måleteknikk AS etter oppdrag fra eiere av leilighetene som mente det var for mye trekk i boligen. Dette ble gjort for å avdekke eventuelle mangler mot byggeforskriften. Etter endt måling og termografering er konklusjonen at isoleringen er tilstede overalt, men det er tilfeller av anblåsing flere steder. Målt lekkasjetall var i 2008 3,6 oms/t for leilighet 1, og 4,5 oms/t for leilighet 2[19]. Kravet i TEK på 1,5 er dermed ikke tilfredsstillt. Det er i hovedsak overgang vegg/gulv og i forbindelse med downlights luftlekkasjene visualiseres (se kritiske punkter). Selve lekkasjen befinner seg mest sannsynlig i overganger i tettesjiktet. I tillegg er mange av vinduene utette mellom ramme og karm.

Dette førte til at AF gjorde enkle utbedringer i leilighet 1 og 2, og andre måling ble gjort etter oppdrag fra AF 25.2.2009. Lekkasjetallet var da kommet ned til 3,1 for leilighet 1 og 4,4 for leilighet 2, altså ikke de store forskjellene og heller ikke under kravet. Etter andre måling ble følgende utbedringer gjort med bakgrunn i termografirapport fra måling 25.2.2009.

Leilighet 1 – 158,5 m²: [20]

1. **Tak:** Åpnet taktekkning, og fjernet isolasjon ned til enden av hulldekkene. Det ble boret 2 hull i hver kanal i hulldekket, det ene ble brukt for å fylle opp med skum, det andre til observering med kamera.

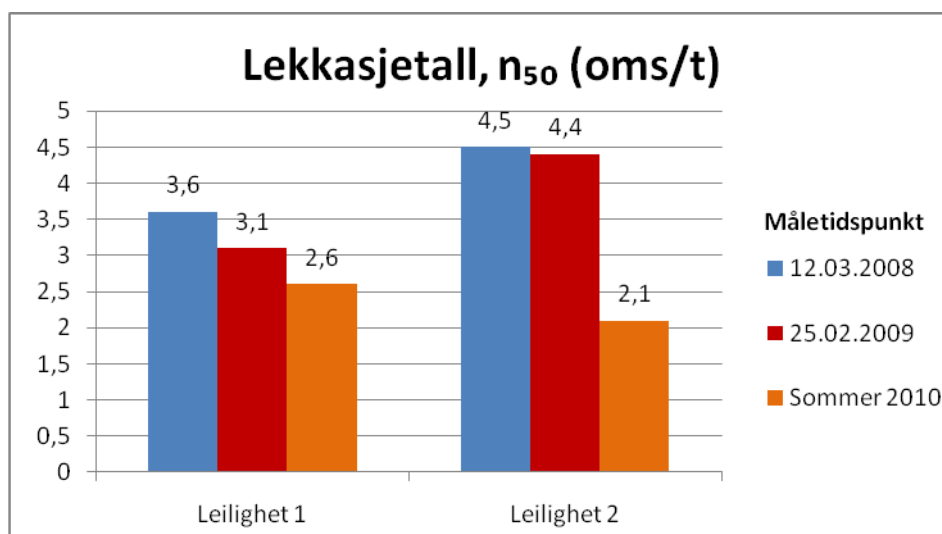


Figur 3.7: Stillas satt opp på nytt ved utvendige utbedringer

2. **Vinduer:** Skummet med polyuretanskum bak gerikter og dytteremser, fuget så med silikon mellom bindingsverk og vinduskarm. Deretter fylt igjen med dytteremser av mineralull tapet overgang gips/foring med spesialtape før geriktene ble remontert.
3. **Overgang gulv/vegg:** Fotlister tatt av, fuget mellom finér og gips på vegg før montering av fotlist.
4. **Vegg over kjøkkenvindu:** Avdekket et el.rør som var ført ut av yttervegg med mangelfull tetting. Røret ble fuget, og isolasjon, spikerslag, dampsperre og gips ble remontert.
5. **Hjørne i stue:** Utbedret tidligere av annet firma.

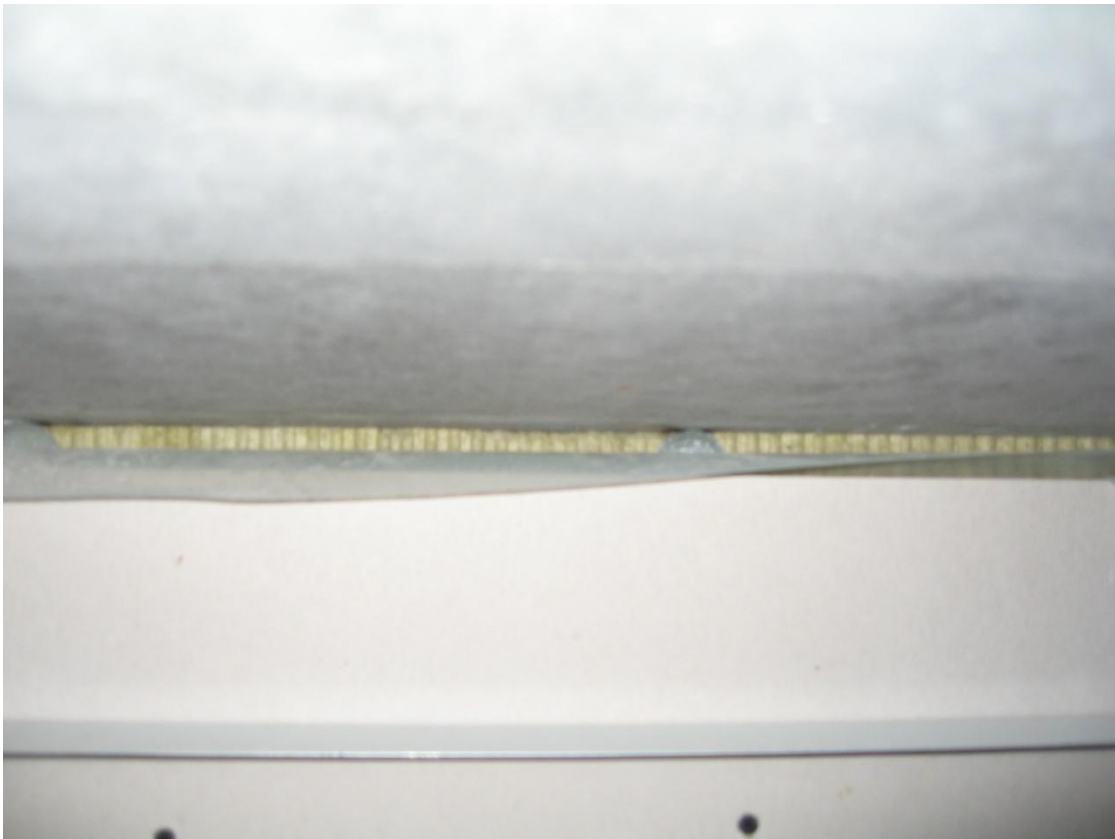
Leilighet 2 – 126,3 m²: [20]

1. **Tak:** Åpnet taktekkning, og fjernet isolasjon ned til enden av hulldekkene. Det ble boret 2 hull i hver kanal i hulldekket, det ene ble brukt for å fylle opp med skum, det andre til observering med kamera.
2. **Fasade:** Åpnet for å tette hulldekker i enden med byggskum og silikon.
3. **Vinduer:** Fjernet gerikter, foringer og dytteremser, fuget så med silikon mellom bindingsverk og vinduskarm. Remontert foringer, dytteremser og forseglet med spesialtape før gerikter ble satt på igjen.
4. **Overgang gulv/vegg:** Fotlister tatt av, fuget mellom finér og gips på vegg før montering av fotlist.
5. **Overgang vegg/underkant betongelementer:** Store deler er fuget i overgangen.



Figur 3.8: Målinger gjort av Termografi og Måleteknikk i prosjekt B.[19]

Tabellen over oppsummerer måleresultatene, og man ser at selv etter tredje måling er lekkasjetallet hhv 1,1 og 0,6 over anbefalte verdier i TEK97. Etter å ha brukt over 500 000 kroner på utbedringer i leilighet 2 og over 200 000 kroner i leilighet 1, er det verken energi- eller økonomimessig forsvarlig å gjøre flere utbedringer. I tillegg kommer ca 60 000 kroner til eksterne tetthetsmålinger og termografirapporter og administrasjonskostnader. Dette fører til at man kan søke dispensasjon fra lokale myndigheter og ivareta det privatrettslige ansvaret overfor kjøpere av leiligheten. Bildene på de neste sidene viser noen av problemstillingene man har hatt i dette prosjektet, og hva man har gjort for å løse det.



Figur 3.9: Bildet er tatt over himling, viser dampsperra hengende over gipsen og at det da er utett gjennom brannisolasjonssjiktet mellom stålbæring og hulldekke.



Figur 3.10: Bildet viser viser tilsvarende detalj som i figur 3.9 etter tetting. Her er det fuget i overgang dampsperre/hulldekke.



Figur 3.11: Bildet er tatt over himling, og viser hjørneløsning i yttervegg hvor det er utett i brannisolasjonssjiktet mellom dampsperre og hulldekke.



Figur 3.12: Åpning av fasade hvor åpningene i hulldekkene ikke er tett, og det er utett i brannisolasjonssjikt under stålet.

3.3.2 Lekkasjelokalisering og kommentarer

| Antall lekkasjepunkter oppdaget ved termografering | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Lokalisering | Leilighet 1 | | | Leilighet 2 | | |
| | Måling 1 12.03.08 | Måling 2 25.02.09 | Måling 3 19.01.11 | Måling 1 12.03.08 | Måling 2 25.02.09 | Måling 3 19.01.11 |
| Downlights | 23 | 7 | 12 | 25 | 20 | 20 |
| Overgang vegg/gulv | 7 | 2 | 2 | 4 | 5 | 3 |
| Vindusramme/karm | 6 | 5 | 5 | 6 | | 4 |
| Dør-/vinduskarm/vegg | | | | 2 | 5 | 1 |
| Terskel/gulv | 2 | | 2 | 2 | | 1 |
| Inspeksjonsluke i himling | 2 | | | | | |
| Overgang vegg/tak | 1 | | | | | |
| Rundt gasspeisinsetting | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Fastfelt/skyvedør | 1 | | 1 | 1 | | |
| Dørblad/karm | 1 | | 1 | | | |
| El. markise i vegg | 1 | | | | | |
| Gasspeisgjennomføring | 1 | 1 | 1 | | | |
| Sikringskap | 1 | | 1 | | | |
| Kaldluft i himling | | 3 | | 1 | 3 | |
| Ujevn isolering i vegg | | 2 | 4 | | | |
| Brannsprinkel i tak | | 1 | | | | |

Tabell 3.4: Viser antall observerte lekkasjer på de respektive lokaliseringene ved forskjellige målinger.[19]

Tabellen over viser lekkasjepunkter som er lokalisert av Termografi og Måleteknikk AS sine målinger. Forskjeller i funn av antall lekkasjer og plassering i bygget kan ha flere årsaker. Vi ser at ved måling 2 ble det oppdaget færre lekkasjer enn ved måling 1. I tillegg er det kommet inn noen nye lekkasjepunkter ved de senere målingene. Utbedringen har altså hjulpet mot noen lekkasjer, og avdekket noen nye. Lufta går letteste vei gjennom yttervegg, så de nye lekkasjene har alltid vært der, men er blitt større og mer merkbare når andre lekkasjer er utbedret. Det har og vært forskjellige termografører som har utført

termograferingen, noe som kan resultere i at man har oppdaget forskjellige lekkasjepunkter og at man rapporterer noe forskjellig fra hverandre.

Lekkasjene som har ført til trekk gjennom downlights i nedsenket himling er lokalisert mellom hulldekke og yttervegger som vist på bildene. Disse har blitt mye svakere ved siste måling, men det er fortsatt noe lekkasje. Det har og blitt mye teiping rundt gasspeis. Det er viktig å tenke tetting i hele dampspærre- og vindspærresjiktet. I tillegg er overgang vegg/gulv og vindusramme/karm hyppige lekkasjepunkter her. Lekkasjene mellom vindusramme og karm kan være en svakhet fra vindusleverandøren. Vinduene kan strammes for å tette bedre, men kan da bli for tunge å åpne/lukke for mange beboere, dette har kanskje skyld i for stive tettepakninger. Også mellom vinduskarm og vegg er det flere lekkasjer, noe som tyder på for lite fokus på tett dampspærre- og vindspærresjikt ved innsetting av vinduer. Lekkasjer i overgang vegg/gulv er spesielt merkbare fordi det kan bli gulvkaldt, og er kanskje hovedgrunnen til at beboere klaget på trekk. Årsaken til denne typen lekkasjer er utettheter mellom overkant hulldekke og yttervegg, og kan henge sammen med lekkasjer i downlights fra etasjen under.

Etter oppdrag fra AF har SINTEF Byggforsk utført energiberegninger av prosjekt B og estimert økt energibehov på grunn av for høyt lekkasjetall. Termografirapporten fra måling sommer 2010 er brukt som bakgrunn, og det er antatt at lekkasjene er utelukkende eksterne. I tillegg er lekkasjetallet korrigert for vanlig brukstilstand med åpne ventiler og dermed økt med 1 oms/t for å beregne korrekt infiltrasjonsmengde. Det samme er gjort med referansecasen med forskriftsmessig lekkasjetall som da er økt til 2,5 oms/t i vanlig brukstilstand med åpne ventiler.

| | Leilighet 1 | Leilighet 2 | Benevnelse |
|--|-------------|-------------|-----------------------|
| Netto energibehov ved målt lekkasjetall | 187,1 | 209,7 | kWh/m ² år |
| Netto energibehov ved forskriftskrav | 181,8 | 206,7 | kWh/m ² år |
| Energibehov ved målt lekkasjetall | 29650 | 26489 | kWh/år |
| Energibehov ved forskriftskrav | 28812 | 26107 | kWh/år |
| Differansen i energibehov | 838 | 382 | kWh/år |

Tabell 3.5: Differanser i energibehov fra reelt nivå til forskriftsnivå i prosjekt B[21].

I dette prosjektet er det kun disse leilighetene som er målt i denne blokka. Det viser seg at å måle kun leiligheter i toppetasje ikke gir et representativt resultat for hele blokker. Dette sees i både prosjekt A og i et annet prosjekt vi har fått måle sammen med AF hvor toppetasjen har høyere lekkasjetall enn resterende etasjer. Dette henger sammen med at toppetasjer ikke bare har vegger som klimaskjerm, men også tak.

Dette gir et betydelig større areal hvor man kan få luftlekkasjer, i tillegg til at det har vist seg at noen takkonstruksjoner kan være betraktelig mer utfordrende å tette. Samtidig bør det nevnes at prosjekt A og B ble påbegynt da det enda var mindre fokus på lufttetthet og at nyere prosjekter stadig blir bedre.

4 Total Energisimulering

4.1 Metode

Et byggs energibehov er vanskelig å fastslå nøyaktig før det er tatt i bruk og kan måles, fordi det avhenger av mange parametre og variable som igjen påvirkes av ytre forhold og hverandre. En simulering av energibehovet er allikevel nyttig til flere ting:

1. I tidligfase av byggeprosjekter kan man bruke en simulering til å finne den energimessig gunstigste plassering av bygget på tomta, og den mest energieffektive formen.
2. Til sammenligning av forskjellige alternative løsninger på bygget.
3. Ved energimerking av bygg må man simulere energibehovet.
4. Ved sammenligning med reell energibruk i det ferdige bygget kan man avdekke og kartlegge årsaker til avvik og eventuelt foreta nødvendige utbedringer.

For at simuleringer av energibehovet skal bli gjort på mest mulig likt grunnlag, er det utarbeidet en standard for dette. NS 3031:2007, "Beregning av bygningers energiytelse, metode og data" beskriver hvordan dette skal gjøres, og inneholder standardverdier basert på erfaringstall. Standardens kompleksitet og omfang tilsier at man er avhengig av et dataprogram for å få gjennomført simuleringer basert på denne. Det finnes flere slike programmer på markedet, som EcoDesigner, RIUSKA, VIP-Energy, ECOTECT og SIMIEN. Programmene fungerer på litt forskjellig måte, med forskjellige typer termodynamiske beregningsmodeller og brukergrensesnitt. Derfor bør man ved sammenligning av energieffektiviteten til bygg ha brukt samme simuleringsprogram og dokumentert hvilke inndataverdier man bruker.[22]

Vi har her konsentrert oss om SIMIEN, SIMulering av Innemiljø og Energibruk i bygninger, som er mest brukt i Norge. Det er utviklet av Programbyggerne og basert på den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS 3031. Denne metoden kan brukes til alle typer bygg, og må brukes dersom det er installert ventilasjonskjøling, det er et sykehus, forretningsbygg, kontorbygg eller universitet. SIMIEN kan beregne energibehov, effektbehov og inneklime i bygninger.

Programmet kan simulere på 6 ulike måter:

1. Dimensjonerende vinterforhold.
2. Dimensjonerende sommerforhold.
3. Årssimulering.
4. Evaluering mot forskrifter.
5. Energimerking.
6. Passivhus/lavenergihus.

4.2 Inndata

Det kreves at man legger inn nødvendige data om bygget og tekniske installasjoner manuelt i SIMIEN, det er ikke kompatibelt med modelleringsprogrammer. Andre programmer som EcoDesigner, er IFC - kompatibelt, og man kan importere bygningsinformasjonsmodeller direkte til programmet. Bygget vises da grafisk med dets geometri, materialer, u-verdier og lokasjon.

For SIMIEN må følgende inndata legges inn:

1. Klimasted for bygningen
2. Prosjektdata (byggningsdetaljer)
3. Valg av energikilder og innlegging av energipriser og virkningsgrader.
4. Bygget deles inn i soner/rom. Er det forskjellige bygningskategorier i samme bygg må det deles i hver sin sone. I hver sone legges det inn vegger, tak, gulv, vinduer og dører. Her beskrives også ventilasjonsanlegget, internlaster, oppvarmings- og kjøleanlegg, skjermingsklasse og lekkasjetall.

4.3 Lekkasjetallets betydning i energisimuleringen

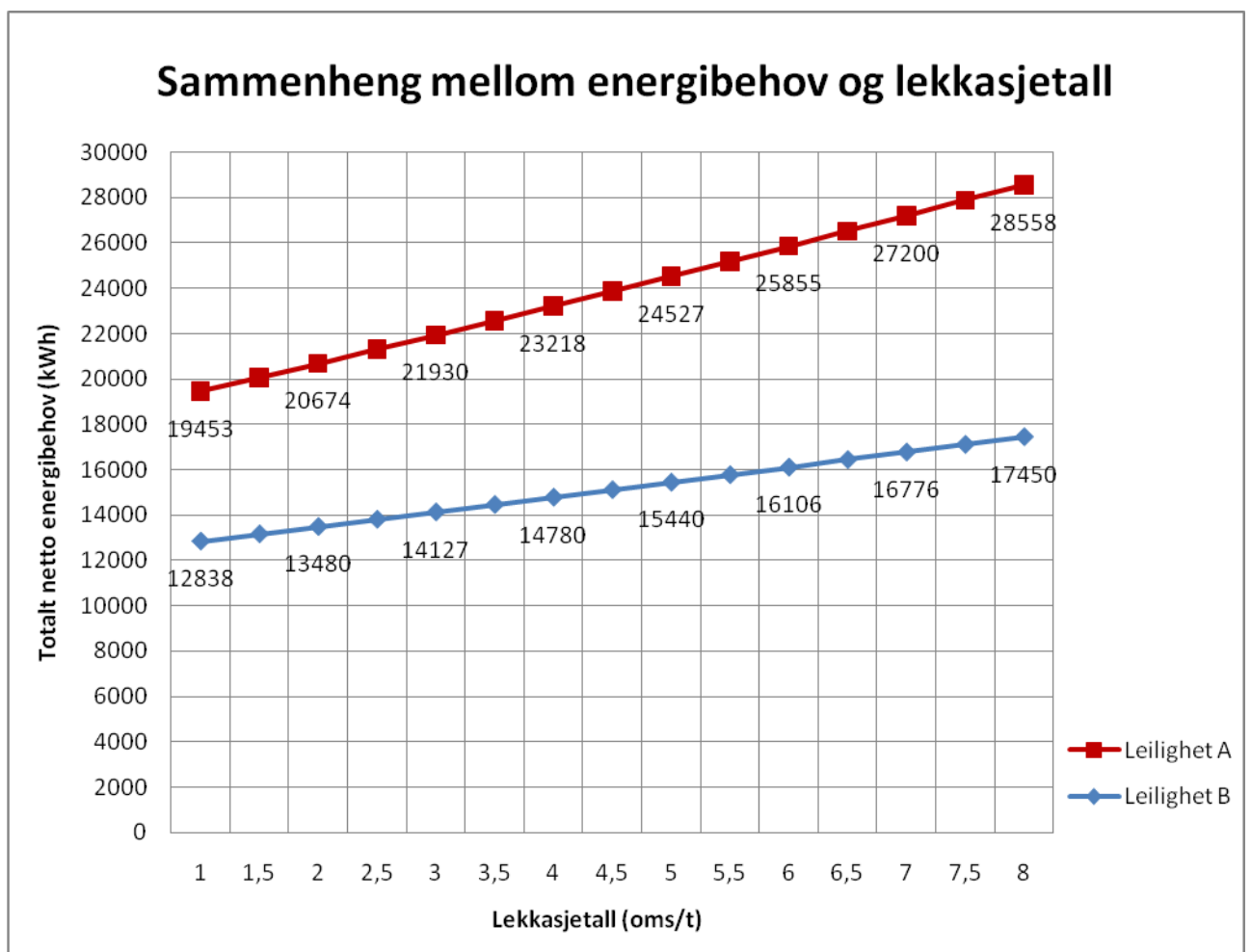
Ved bruk av SIMIEN er det simulert energibehov til 2 eksempeleiligheter, A og B, som ligner på 2 leiligheter fra henholdsvis prosjekt A og B omtalt i kapittel 3. Dette er gjort for å undersøke hvilken betydning størrelsen på lekkasjetallet har for energibehovet til leiligheten. Dette kan gjøres for å estimere økt energibehov som konsekvens av at lekkasjetallet ikke tilfredsstillir minstekravet i TEK.

Leilighet A

Dette er en toppleilighet på 160 m² med 3 fasader mot uteklima. Plassering er forutsatt i Vestfold med en midlere vindhastighet på 3,6 m/s, og en årsmiddeltemperatur på 7,6 °C. I tillegg er det satt til ingen vindskjerming, da bygget ligger åpent og vindutsatt til. Klimadata er hentet fra SIMIEN og inndata i SIMIEN kan sees i vedlegg D.

Leilighet B

Dette er en noe mindre toppleilighet på 100 m² med 3 fasader mot uteklima. Beliggenhet er i Osloområdet med en midlere vindhastighet på 2,2 m/s, og en årsmiddeltemperatur på 6,3 °C. Her skjermer andre bygg og trær mot vind, og det er valgt moderat skjerming. Klimadata er hentet fra SIMIEN og inndata fra SIMIEN kan sees i vedlegg D.



Figur 4.1: Sammenheng mellom energibehov og lekkasjetall.

4.4 Resultat

Grafene over viser hvor mye lekkasjetallet påvirker årlig energibehov i de respektive leilighetene. Vi ser at ifølge simuleringen og NS 3031 er det en lineær økning av energibehovet med økende lekkasjetall. Energiforbruket til leilighet A øker mer enn til leilighet B med økende lekkasjetall, og får dermed en brattere stigning. Noe av årsaken er at leilighet A er 60 m² større enn B, har dermed større areal yttervegg, og har et større energibehov i utgangspunktet.

I tillegg ser vi at energibehovet i leilighet A øker prosentvis mer enn i leilighet B med økende lekkasjetall:

$$\text{Leilighet A: Prosent økning fra lekkasjetall 1 til 3} = \frac{100}{19453} \times (21930 - 19453) \approx \mathbf{13 \%}$$

$$\text{Leilighet B: Prosent økning fra lekkasjetall 1 til 3} = \frac{100}{12838} \times (14127 - 12838) \approx \mathbf{10 \%}$$

Dette skyldes i hovedsak at leilighet A er i et bygg som ligger åpent til mot sjøen, og det her er satt til ingen skjerming i Simien. I realiteten vil nok skjermingsgraden til prosjekt A være mellom ingen og moderat skjerming. Simien, som bygger på NS 3031, tar ikke hensyn til hvor i bygget luftlekkasjene befinner seg. Om de er høyt eller lavt i bygget kan ha noe å si avhengig av hvordan trykkforholdene normalt er i bygget. Det finnes imidlertid andre simuleringprogrammer som tar hensyn til dette. De bygger på europeiske energistandarder.

5 Intervju

5.1 Oppsummering/sammenligning av intervjuer

Personene som er intervjuet ble valgt fordi de har lang erfaring med lufttetthet i bygg. Intervjuene er gjort for å undersøke om det generelt er enighet rundt temaet, eller om det varierer med hvilken posisjon man har i byggenæringen.

Intervjuobjektene er relativt samstemte når det gjelder introduksjonsspørsmålene, dette var som forventet da alle har måttet forholde seg til samme krav i sitt arbeide. I spørsmål 3 er det også enighet om at det er uvisst hvor lenge et bygg beholder sin opprinnelige tetthet. Noen forsøk viser at det er en viss forskjell, men dette er lenge siden, og det vil nok variere avhengig av konstruksjonstyper og materialbruk.

På spørsmål om holdbarheten av lufttettheten til bygg, er de enige om at dette er noe uvisst, men noe man absolutt bør se nærmere på. Dette er viktig med tanke på eventuelle økonomiske kompensasjoner, og i en slik sammenheng bør man også vite noe om holdbarheten til tettematerialene.

Alle har erfart at det blir utbedret der det er målt for høye lekkasjetall, men i noen prosjekter er det vanskelig å få utbedret godt nok. Flere av disse prosjektene er imidlertid påbegynt på starten av 2000-tallet, før perioden hvor lufttetthet fikk større fokus, og før det ble vanlig med egenkontroll.

Hvilke tettematerialer som brukes avhenger av situasjon og problem, men tendensen er at det brukes mer og mer teip og mindre fugemasser. Bruker man fugemasser er det viktig at disse er elastiske, slik at de ikke sprekker. 2 av de 3 nevner også direkte at kvaliteten er på bedringens vei når det gjelder slike produkter.

På spørsmål om bygg kan bli for tette svarer samtlige at det avhenger av ventilasjonsanlegget. Så lenge man får tilført ren friskluft, fungerer tette bygg som de skal. Utfordringen er at ventilasjonsanlegg må vedlikeholdes, og dersom anlegget skulle stanse kan det være vanskelig å få ventilert godt, samt at det er større fare for fukt i klimaveggen.

Et vanskelig tema er kvantifisering av luftlekkasjer. Det er stort sett enighet om at man bør rangere lekkasjer internt i ett bygg. Det er da viktig at man benytter samme fremgangsmåte ved alle målinger. På spørsmål om dette bør vektlegges mer, blir det svart at det ikke er forskjell på mange små og få store lekkasjer. Poenget er å eliminere sjenerende lekkasjer, spesielt med fokus på lekkasjer ved fotlist.

Angående hvilke volumer som skal regnes med ved måling av lekkasjetall, er man enige i å regne med volum innenfor dampspærre. Morten Lian fra Sintef Byggforsk er imidlertid inne på at det skal lages en bedre veileder for beregning av volumet som skal måles.

Generelt sett er alle intervjuobjektene relativt samstemte i sine svar. Dette er positivt, da det viser at forskjellige instanser tenker på samme måte, og deler omtrent samme meninger. Dette kan tyde på at utviklingen er på rett vei, og at det ikke nødvendigvis vil by på altfor store problemer å få utviklet krav og veiledning i riktig retning.

At det ikke er intervjuet representanter fra entreprenørsiden kan være noe uheldig, men inntrykket er at også vår veileder, Tom Farstad fra AF Gruppen, er nokså samstemt med de intervjuede i denne sammenheng. Entreprenører er selvfølgelig interesserte i å unngå for høye utbetalinger ved kompensasjon, men det er tydelig at problematikken rundt lufttetthet har høy prioritet, og man ønsker ikke å levere fra seg et bygg som ikke tilfredsstillers forskriften.

5.2 Intervjusamtale med Karl H Grimnes

Karl Grimnes driver firmaet "Termografi og måleteknikk AS" som er stasjonert i Oslo, Bergen og Gjøvik. Han har mer enn 30 års erfaring innen termografering, er ingeniør og lisensiert instruktør for ITC (Infrared Training Center). Ved siden av praktisk termografering og lufttetthetsmålinger holder han foredrag og kurs. AF har brukt Karl Grimnes som tetthetsmåler og termograf på flere av sine prosjekter, blant annet prosjekt A og B i denne oppgaven.

Spørsmål:

1. Hvordan har fokuset på lufttette bygg vært de siste 30 år?

Etter at det første tallfestede kravet til lekkasjetall kom i 1980, kom det et blaff av interesse i 1982 med Ragnar Evensen på hugget. Vi samarbeidet om noen målinger, og lagde flotte tetthetsbevis. Dette varte ca ¼ år, og man regnet med man hadde taket på det da. Så ble det ikke fokusert på dette før 2000-tallet.

2. Hvilke refleksjoner har du gjort rundt utbedringer av luftlekkasjer og kostnadene av dette?

Dersom man måler lekkasjetallet og finner ut at det er for utett, teiper vi ofte der vi finner lekkasjene mens vifta står på 50 Pa. Så sier vi fra til snekkeren med en gang hvor det må utbedres. Når man utbedrer er det og viktig at flest mulig lekkasjer blir tettet. Klarer man ikke å tette nok, vil luften finne andre utveier, og kanskje få en høyere hastighet. (Eks: Lukker man 2 av 3 vinduer er det fortsatt ganske utett.)

Ved bruk av mange underentreprenører kan det være vanskelig å vite hvor man kan utbedre. Man vet ofte ikke hva som har skjedd, og det er ikke dokumentert hvordan detaljer er utført.

Økonomimessig har man f. eks. på prosjekt A tenkt i ettertid at det hadde vært best å rive toppetasjen og bygge den opp igjen.

3. Kan man regne med at bygget har samme lekkasjetall gjennom hele livsløpet?

Dette er en interessant diskusjon, hvor lenge skal byggeforskriftene vare? For 20 år siden målte jeg lekkasjetallet til et hus en gang årlig i 5 år nettopp fordi jeg lurte på dette av egen interesse. Målingene ble gjort på et husbankhus, og lekkasjetallet steg noe hvert år fram til det 5. året. Da ble kjelleren innredet, bygget ble tettere, og lekkasjetallet sank.

Ved noen svenske undersøkelser på 80-tallet ble det etter datidens standard bygget ekstremt tett med lekkasjetall på rundt 2. Her oppdaget man at lekkasjetallet økte fra 2 til 3 det første året, for deretter å flate ut. Dette har nok sin grunn i at trehus kryper og sprekker. Da går man ofte tilbake og fikser evt. skader om et års tid.

Om hus holder seg bedre nå enn før er vanskelig å si. Kan for eksempel gammelt utstyrs målte lekkasjetall sammenlignes med dagens digitaliserte utstyrs målte lekkasjetall? Med gammelt utstyr menes U-rørs manometre fylt med rødsprit som målte trykk inne og ute. Man målte luftgjennomstrømning ved 45, 50 og 55 pascals undertrykk og overtrykk, og delte på 6. Kravet i dag er å måle med minst 5 forskjellige trykk.

4. Hva blir i praksis gjort ved for høye målte luftlekkasjer?

Det blir alltid utbedret. Jeg har flere ganger vært på samme prosjekt og målt 2 og 3 ganger før lekkasjetallet synker, og av og til 6-7 ganger før det kommer ned. Tankegangen har ofte vært at man må isolere mer for å få det tett, men det har bedret seg nå.

5. Hvilke tettematerialer brukes, og er de holdbare nok?

Eldre typer byggteip holdt bare i 2-3 år, så løsnet den. For noen år siden ble en grønn fugemasse kalt Tenotett brukt mye i badeland. Denne holdt godt over tid. Siga er kommet med nye tettematerialer, og teipene holder mye bedre enn før. Man er kanskje på vei bort fra å bruke fugemasse bak fotlist, og anbefaler heller å bruke teip som ikke fastholder parketten. Men det hadde vært veldig interessant med en sammenligning av tettematerialer for å kartlegge hva som holder best i ulike miljøer.

6. Kan bygg bli for lufttette?

Det er et tankekors at balansert ventilasjon krever mer vedlikehold. En idé jeg har pratet om tidligere er at feieren bytter filter og gjør vedlikeholdet. Det er eneste personen utenfra som kommer innom husene regelmessig.

7. Hvor finner du oftest luftlekkasjer? Hvor i bygget er de kritiske punktene?

Vanlige kritiske punkter er: overganger, gjennomføringer, nedforet himling, drenshull i sjakt, baderomskabiner. Ved bruk av Granab oppforet gulv blir det ofte ikke tett ordentlig fordi man tenker at det kommer et tett gulv over. Dette resulterer i luftsirkulasjon under hele gulvet. Et annet typisk sted er under terskler på ytterdører. Man tetter rundt og over, men glemmer ofte undersiden. Ytterdører rundt ganger blir heller ikke tett ordentlig. Her er det kravet til lydisolering som er avgjørende. Lokasjoner hvor det er brukt brannmaling og brannisolasjon som skal ese ut ved høy varme er og ofte utette. Vinduer begynner å bli bra!

Noen dører er utette mellom speilet og ramma i dørbladet. Det er ikke bra! Ved et tilfelle kledde jeg døra med plast, teipet fast en CD plate, trykksatt huset og målte hvor mye luft som gikk gjennom hullet i CD'en. Det var overraskende mye.

Knevegger med stort åpent rom mellom dampspærre og vindsperre er og et kritisk punkt. Her skapes luftgjennomgang/turbulens i hulrommet, og det er ofte markerte forskjeller i temperatur på disse flatene sammenlignet med andre ytterveggflater.

8. Hvordan kvantifiserer man luftlekkasjer?

Kravet til maksimal lufthastighet i oppholdssonen (0,6 m fra yttervegg) er 0,15 m/s. Her får man ikke målt hastigheten, så jeg måler noen cm fra lekkasjepunktet. Hastigheten er veldig stor helt inntil, men får heller ikke målt der fordi man må fylle måleinstrumentet med luft. Derfor måler jeg 2-5 cm fra punktet. Hastigheten her måles høyere, men er lavere enn helt inntil. Jeg bruker et slags gjennomsnitt av målinger på hvert lekkasjepunkt, og rapporterer det. Dette blir uansett noe subjektivt, men det er viktig at man gjør det samme i hele bygget, slik at lekkasjene

blir riktig rangert. Danskene har funnet ut at dette er vanskelig, og har krav på 1,2 m/s ved 50 Pa.

9. Burde man lagt mer vekt på størrelse og plassering av luftlekkasjen ved kvantifisering?

Det er viktig å nevne at forskjellen mellom få, store lekkasjer og mange, små lekkasjer har forskjellig innvirkning på lekkasjetallet og komforten i et bygg. For god komfort er det viktig å holde helt tett langs fotlister, hvis ikke får man nesten garantert klager. Downlights på bad er og veldig viktige, de er ofte ikke tette. Man perforerer dampsperra fordi det skal ledning gjennom. En varm downlight "suger" lufta opp, og spesielt på bad med opptil 100 % luftfuktighet blir det fort fuktig isolasjon i taket. Det fører til problemer på få år. Jeg har og vært i kontakt med Dagbladet som skal lage en sak på downlights og energiforbruk.

Kjøkkenventilatorer har ofte rør som går rett ut av yttervegg uten at det er tettet ordentlig rundt. Ved flere tilfeller har det blåst kraftig gjennom åpen foring rundt røret i yttervegg. Da blir det gulvkaldt i området rundt. Mange små lekkasjer sammenlignet med en stor er i prinsippet det samme, men plassering og størrelse kan ha stor betydning for komforten og om man får klager.

10. Er betydningen av lufttetthet ved energimerking stor nok?

Jeg mener energimerket bygg bør måles i hver enhet, selv om mange bygg ikke blir målt når det merkes. Jeg har ingen store formeninger om betydningen av lekkasjetallet i merkingen.

11. Hvilke volumer mener du bør være med ved måling av lufttetthet?

SINTEF Byggforsk har konkludert med at etasjeskillere og innvendige vegger ikke skal med. Og det ville være rimelig å måle fra OK nedre dekke til UK øvre dekke. Smyg i forbindelse med vinduer skal ifølge standard ikke være med. Skal det kanskje det? Hovedpoenget er at man gjør det samme i hele bransjen, slik at man lett kan sammenligne lekkasjetall. Det er gjort tester med bare vindsperre, hvilket areal skal man bruke da? Vi tok med ytterveggvolumet ut til vindsperre en gang, og da kom

man til et høyere lekkasjetall etter dampspærre var montert. Det er viktig å huske på at dersom resultater skal sammenlignes, må de også være målt på samme måte.

12. Kravet til lufttetthet gjelder i utgangspunktet til hele bygget. Bør det være slik?

For større bygg bør kravet være for hver enkelt leilighet, eller for hver brannseksjonering/lydisolering. Dette gjør det mye enklere å måle rent praktisk. Det er lettere å få til et godt lekkasjetall på store bygg enn på små bygg/leiligheter. Leiligheter som de på prosjekt A burde være enkle å måle fordi de er så store.

Et annet moment er interne luftlekkasjer. Disse kan være store! Jeg målte et hotell med røykappuller en gang for å finne interne luftlekkasjer, men disse er ofte vanskelig å få utbedret da det ikke er noe krav til dette. Jeg får da beskjed om at det ikke er min oppgave.

5.3 Intervjusamtale med Morten Lian

Morten Lian er Seniorrådgiver i SINTEF Byggforsk, sivilingeniør fra NTH.

Spørsmål:

1. Hvordan har fokuset på lufttette bygg vært de siste 30 år?

Siden det ble et tallfestet krav til lufttetthet i 1981 har det blitt mer og mer fokus på dette. De siste 5 år har dette tiltatt ettersom måleutstyret er blitt betydelig billigere og enklere å bruke. For eksempel ble det på byggforsk kjøpt et termograferingskamera til 500 000 kroner for ca. 10 år siden. I dag får man komplett utstyr til tetthetsmåling og termografering til drøye 100 000 kroner.

2. Hvilke refleksjoner har du gjort rundt utbedringer av luftlekkasjer og kostnadene av dette?

Jeg har ikke gjort meg opp formeninger om kostnadene, det er ikke mitt felt. Uansett bør man tilstrebe å utbedre slik at kravene i forskriftene tilfredsstilles. Dette kan imidlertid i mange tilfeller være svært vanskelig.

3. Kan man regne med at bygget har samme lekkasjetall gjennom hele livsløpet?

Nei, det kan man nok ikke. Vi kunne tenkt oss å gjøre noen forsøk på dette området, men har ingen konkrete planer enda.

4. Hva blir i praksis gjort ved for høye målte luftlekkasjer?

Erfaringen er at entreprenørene tar dette på alvor og foretar utbedringer.

5. Hvilke tettematerialer brukes, og er de holdbare nok?

Tettematerialene som brukes i dag er mye bedre enn før, og det er lettere å tette med dagens metoder. Ulike taper og spesielle butylbånd kan benyttes til å tette utettheter på utsiden av vindsperre. Selvfølgelig er den tradisjonelle metoden med klelekter en sikker løsning.

Fugemasse blir også benyttet som tettematerialer, det er da viktig at disse massene er elastiske. Den beste måten å utbedre på er å gå til tettesjiktene og lage skikkelige klelekter og lister der.

6. Kan bygg bli for lufttette?

Nei, men det er veldig avhengig av ventilasjonsanlegget hvis bygget er helt tett. Man kan kanskje få et problem hvis ventilasjonsanlegget stopper mens man er på ferie. Da kan det bli fukt i veggen.

7. Hvor finner du oftest luftlekkasjer? Hvor i bygget er de kritiske punktene?

Vanlige punkter er overgang gulv/vegg, himling/vegg, gjennomføringer, pipe og vinduer osv. Thor-Oscar Relander har gjort en undersøkelse på hvor de fleste luftlekkasjene er registrert fra Byggforsk skadearkiv. Det er også ofte vanskelig å få det tett rundt baderomskabiner. Det kan her være vanskelig å få trekt dampsperre bak kabinen mot yttervegg.

8. Hvordan kvantifiserer man luftlekkasjer?

Noen bruker lufthastighetsmåler, men vi gjør ikke det. Vi ser heller på omfang og størrelse av lekkasjene ved bruk av termogrammer. Lufthastighetsmåler er et bra

hjelpemiddel hvis man er i tvil, men det er store usikkerheter rundt bruken av disse. Det finnes derimot lufthastighetsmålere som er retningsuavhengige, og disse vil gi mer korrekte resultater. Er det store lekkasjer kan det være nyttig å bruke lufthastighetsmåler for å finne den verste. Røykempuller er og veldig bra til lokalisering, og kan oppdage lekkasjer termograferingskameraer ikke kan oppdage. For eksempel ved hull midt i vegg hvor overflatetemperaturen er omtrent uendret.

9. Burde man lagt mer vekt på størrelse og plassering av luftlekkasjen ved kvantifisering?

Et hus kan tilfredsstillere kravene, men fortsatt ha luftlekkasjer på en veldig ugunstig plass, da må man sjekke komfortbehov/krav. Det blir ofte klaget på lekkasjer ved gulv da dette merkes godt.

10. Er betydningen av lufttetthet ved energimerking stor nok?

Det kjenner jeg ikke så mye til, men det bør nok være det.

11. Hvilke volumer mener du bør være med ved måling av lufttetthet?

Her må man bare forholde seg til standarden. Det praktiseres litt forskjellig, så det skal lages en nøyaktig veileder for hvordan man skal gjøre det.

12. Kravet til lufttetthet gjelder i utgangspunktet til hele bygget. Bør det være slik?

Slik som det er i dag er det lite praktisk å måle hele leilighetsblokker. Man kan være uheldig å måle et lekkasjetall på 1,0 i hele bygget og 5-6 i toppleiligheten. Det er vanlig i dag at man måler et visst antall enheter og godtar det. Problemet med å måle deler av bygg er interne lekkasjer, de er vanskelige å måle.

13. Hvis man har utbedret, og kommet ned til 2-3 oms/t. Er det da fordelaktig/nødvendig å utbedre ytterligere?

Man må tilstrebe å senke lekkasjetallet til 1,5 siden det står i forskriften. Man bør sjekke alle fasader og klimaskjermen generelt. Hvis man ikke finner flere lekkasjer i klimaskjermen må man kanskje gi seg, for det tyder på at det er interne lekkasjer som sannsynligvis forårsaker at lekkasjetallet ikke er tilfredstilt.

14. Når man skal kompensere økonomisk, bør man se bort fra interne luftlekkasjer?

Hvordan skal dette antas i tilfelle?

Det tør jeg ikke svare på, det er et vanskelig tema.

5.4 Intervjusamtale med Tormod Aurlien

Tormod Aurlien er doktor ingeniør fra NTH, og har i 25 år vært ansatt som forsker under avdelingen "Energi og Arkitektur" på SINTEF Byggforsk. Nå er han professor ved seksjonen "Bygg og miljøteknikk" på Universitetet for Miljø og Biovitenskap.

Spørsmål:

1. Hvordan har fokuset på lufttette bygg vært de siste 30 år?

På starten av 80-tallet var det et veldig fokus på lufttetthet i bygg, det dabbet fort av, men i dette århundre har interessen rundt temaet økt kraftig igjen. På 80-tallet var det spesielt boliger det ble fokusert på, men i de senere årene har og større yrkesbygg fått fokus. Bakgrunnen for interessen på starten av 80-tallet var energikrisen, populært kalt oljekrisen, som rammet den vestlige verden i 1973. Man begynte da å tenke mer på energibruk og energieffektivitet.

2. Hvilke refleksjoner har du gjort rundt utbedringer av luftlekkasjer og kostnadene av dette?

Noen ganger kan de første utbedringer gi uttelling, mens svært mange ganger er det vanskelig å oppnå et lavere lekkasjetall etter ferdigstillelse. Det blir fort veldig dyrt.

3. Kan man regne med at bygget har samme lekkasjetall gjennom hele livsløpet?

Det vil avhenge av konstruksjonstypen. Det jeg har sett på som den største utfordringen til byggets lekkasjetall er endringer av bygget gjennom livsløpet. Ved ombygging og rehabilitering blir det sjeldent like tett som det var i utgangspunktet. I tillegg finnes det teorier på uttørking, klemming av lister osv. Fokus på aldriingsbestandige materialer av teip, fugemasser osv, har en berettigelse.

4. Hva blir i praksis gjort ved for høye målte luftlekkasjer?

Jeg har blitt involvert i stort sett klagesaker hvor det har blitt en diskusjon, og i de sammenhengene har det nesten alltid vært en utbedring. I Byggforsk fikk vi en del oppaver fra blant andre Karl Grimnes i Termografi og Måleteknikk, så det er ikke sikkert at sakene vi har fått er representative.

5. Hvilke tettematerialer brukes, og er de holdbare nok?

Det varierer veldig fra hvilket observert problem man har. Noen steder brukte vi en spesiell ikke-hinnedannende fugemasse som egnet seg spesielt til å klebe mot polyetylenfolie. Vi mente dette var en aldringsbestandig løsning.

6. Kan bygg bli for lufttette?

Nei. Men svært mange bygg er for dårlig ventilert. Ved mekanisk avtrekk og tette ventiler kan det oppstå svært ugunstige forhold. Ved et tilfelle hvor det var en eneste luftlekkasje ved gulvet, trakk det nok kaldluft til å fryse vann til is pga stort undertrykk.

7. Hvor finner man oftest luftlekkasjer? Hvor i bygget er de kritiske punktene?

Det kommer an på hva slags bygg man snakker om, men i blokkleiligheter er gjennomføringer et velkjent problem. I eneboliger er det ofte knyttet opp mot loft. Ellers er dører, vinduer, bjelkelag og pipegjennomføringer utfordrende punkter.

8. Hvordan kvantifiserer man luftlekkasjer?

De kan ikke kvantifiseres nøyaktig, det er basert på erfaring. Ved å bruke anemometer kan man måle lufthastigheter for intern rangering innad på et prosjekt hvis man utfører målingene likt. Altså er det ikke en repeterbar metode, men en kvalitativ. Det er vanskelig å kvantifisere, men man må lokalisere ved hjelp av termografikamera og gjøre antagelser basert på erfaring. Lufthastighetsmåling 60 cm ifra lekkasjepunkt kan brukes for å kontrollere om det er et komfortproblem etter standarden.

9. Burde man lagt mer vekt på størrelse og plassering av luftlekkasjen ved kvantifisering?

Hvis man kan reflektere over en kvantifisering mens man er under befaring i prosjektet kan det være nyttig, men dette er ikke en enkel vurdering.

10. Er betydningen av lufttetthet ved energimerking stor nok?

Den er stor nok når det gjelder passivhus. Men ikke nødvendigvis for de andre energimerkene, da tetthet ikke er en faktor for merker under B. Jeg er enig i at det burde måles på alle bygg som merkes.

11. Hvilke volumer mener du bør være med ved måling av lufttetthet?

Innvendig volum både i vindtettfase og ferdigfase. Det er viktig at dette blir gjort likt. Studenter i Trondheim har sett på dette og funnet store variasjoner i utregningsmetoder.

12. Kravet til lufttetthet gjelder i utgangspunktet til hele bygget. Bør det være slik?

Ja, se veiledning fra TEK 97, hvor denne teksten var, ble fjernet, men er nå tilbake i TEK 11:

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

Vi har alltid målt enkeltenheter fordi man ikke har greid å måle en hel blokk. Vi har derimot målt med støttettrykk noen ganger, og det har ikke betydd så mye de gangene jeg har gjort det. Jeg har påvirket BE for å få inn igjen denne teksten, og er veldig glad for at den nå er i TEK11 igjen. Det går an å bruke argumenter som lyd og brann for å ikke ville ha interne luftlekkasjer. Det betyr også noe for energibruken i bygget.

13. Er det merkbart sammenheng mellom forskjellige byggs arkitektur og luftlekkasjer?

Bygg med lite overflate har ofte bedre lufttetthet enn bygg med stor overflate. Arkitektur med vanskelige detaljer har vist seg å få høye lekkasjetall, men man har også lagt seg flid for å løse ting i prosjekter man har visst har hatt risiko for å få et høyt lekkasjetall.

14. Hvilke årsaker til måleusikkerhet finnes - Hva bør man regne med av usikkerhet ved måling?

Hvis man ikke har noe særlig vind, og setter en Blowerdoor til å måle tettheten over lang tid blir usikkerheten veldig liten. Det har alltid vært praktisert at usikkerheten kommer utbygger til gode. Dette har med bevisbyrde å gjøre, og er et jussrelatert spørsmål. Det er en forholdsvis toeretsk sak og legge til denne måleusikkerheten. Få gjør et ordentlig usikkerhetsregnestykke. Hovedårsaken til usikkerhet i metoden vindpåkjenning, uten vind er usikkerheten relativt liten. Men og kalibrering og avlesing kan påvirke usikkerheten noe.

15. Hvis man har utbedret, og kommet ned til 2-3 oms/t. Er det da fordelaktig/nødvendig å utbedre ytterligere?

Det har med kostnader å gjøre, og er mest sannsynlig ikke nødvendig/fordelaktig.

16. Når man skal kompensere økonomisk, bør man se bort fra interne luftlekkasjer? Hvordan skal dette antas i tilfelle?

Jeg syns ikke at man skulle se bort fra interne luftlekkasjer. Hvis man skulle målt et helt bygg, og fått et ok lekkasjetall, er det fortsatt et problem hvis alle lekkasjene er i en leilighet. Jeg kan godta et lekkasjetall på ca. 3 oms/t hvis det er påvist interne luftlekkasjer, men opp mot 6 oms/t er ikke ok.

6 Tiltak ved for høye luftlekkasjer

6.1 Byggedetaljblad 720.035

For å avgjøre hva som skal gjøres av tiltak ved for høye målte luftlekkasjer har vi valgt gå ut i fra byggedetaljblad 720.035 *Måling av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden*. Dette byggforskbladet beskriver metoden for å trykkteste bygninger, da med tanke på å finne bygningens lekkasjetall. I dette bladet tas det ikke hensyn til inneklimateet eller komfort.

Dersom det måles for høye luftlekkasjer, gjøres først en vurdering av størrelsen på overskridelsen[4]:

Inntil 10 % overskridelse: Bare svært enkle tiltak anbefales.

Mellom 10 og 50 % overskridelse: Det anbefales å utarbeide en liste med prioriterte tiltak for en egen, uavhengig utbedringsprosjektering. Kontrollmåling etter at tiltakene er utført betraktes ikke som nødvendig.

Over 50 % overskridelse: Det anbefales å utarbeide en liste med prioriterte tiltak. Kontrollmåling etter at tiltakene er gjennomført anbefales.

Hvis gjentatte tiltak og kontrollmålinger ikke fører fram til mål, kan energimessig konsekvens av luftlekkasjer beregnes i henhold til NS-EN 3031.

Ut i fra disse retningslinjene avgjør man hva man gjør videre. Ved over 50 % overskridelse anbefaler byggedetaljbladet en kontrollmåling etter utbedringstiltak er gjennomført.

Dersom lekkasjetallet fortsatt er for høyt fortsettes det med flere utbedringer til man oppnår et tilfredsstillende lekkasjetall. I noen tilfeller vil dette kreve ekstremt mye tid og ressurser, og man vil rett og slett ikke oppnå kravet til lekkasjetall. I disse tilfellene mener SINTEF Byggforsk at energimessig konsekvens av luftlekkasjer kan beregnes i henhold til *NS-EN 3031 - Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*.

6.2 Dagens praksis

Etter at det ble mer fokus på lufttette boliger på 2000-tallet, har antallet termografører og trykktestere økt betraktelig. En del entreprenører har begynt med egenkontroll av en bestemt andel av boenhetene de bygger. AF måler omtrent 10 % av sine enheter. Dette gjøres for å kontrollere at prosjektet er på riktig vei, utover dette er dagens praksis rundt kontroller at det utføres på forespørsel fra beboer. Faren ved å ikke trykkteste boligene før en mulig beboer krever det, er at en eventuell utbedring krever betydelig større ressurser jo lengre man er kommet i prosjektet. Da må kanskje beboere flytte ut, elementer i boenheten må rives, utbedres og bygges opp igjen. Mye av dette kunne vært spart dersom man oppdaget lekkasjene før ferdigstilling.

6.3 Lokalisering og kvantifisering av luftlekkasjer

Lokalisering av luftlekkasjer er essensielt med tanke på inneklimate og komfort. Små luftlekkasjer kan føles sjenerende avhengig av plassering. Disse er det viktig å lokalisere og eliminere. I situasjoner hvor forespørsel om måling kommer fra beboer, er dette ofte begrunnet med ubehag/irritasjon som kommer av trekk fra yttervegg. Beskrivelse av akseptabel trekk beskrives i byggdetaljblad *421.501 - Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort*. Det er imidlertid diskusjon rundt hvorvidt dette er godt nok og hvor nøyaktig det er mulig å måle slike luftstrømmer i oppholdssonen, ref. intervjuer. Temperaturforhold og lufthastigheter inne i boenheten har sammenheng med lufttettheten til boligen. Uten luftlekkasjer får man ikke utilsiktet lufthastighet, luftgjennomstrømningen skal kunne kontrolleres ved bruk av ventiler o.l. En luftstrøm vil også føles kjøligere enn stillestående luft, så en liten lekkasje ved fotlist eller ved dør/vindu kan føre til stor irritasjon, selv om lekkasjetallet er innenfor kravet.

Flere grunner til å lokalisere luftlekkasjer er at en god andel av målt lekkasjetall kan komme av interne luftlekkasjer. Dette er luftlekkasjer som ikke er lokalisert i klimaskjermen, men mellom interne enheter. Hvor stor andel som er interne er avhengig av størrelsen på klimaskjermarealet kontra areal på interne vegger og etasjeskillere. Fokus på utførelsen av tette detaljer mellom innvendige vegger er også avgjørende. Interne luftlekkasjers energimessige påvirkning vil variere med vind, bygningstype og plassering av lekkasjene. I bygg med større bygningshøyde kan interne luftlekkasjer ofte skape like store ulemper som

lekkasjer i ytterkonstruksjoner[2]. Skorsteinseffekten kan skape store trykkforskjeller i bygget, og spesielt i bygg med høye åpne arealer vil dette kunne føre til store ulemper lavt i bygningen hvor det kan bli et stort undertrykk. I tillegg kan interne luftlekkasjer bidra til at uønsket lyd, lukt og bakterier spres mellom ulike boenheter. Når Sintef Byggforsk beregner økt energibehov i bygg som konsekvens av for høyt lekkasjetall, inkluderer de interne luftlekkasjer i lekkasjetallet. Dette er en konservativ beregning, og sannsynligvis er økt energibehov noe mindre enn beregnet.

For å unngå interne luftlekkasjer i måleresultatet er man nødt til å tetthetsmåle hele bygningen. Dette krever mer utstyr, større eller flere vifter og tilgang til hele bygget. I mange bygg er dette problematisk da de kan være bebodd, eller det ikke er mulig å åpne hele bygget som et volum. I bygg med svalganger med mange innganger er dette umulig.

6.4 Redusert tilluft til ventilasjon

En løsning som kan vurderes ved overskridelse av lekkasjetallet, er effekten av å redusere hastigheten på ventilasjonsanlegget. Det fører til at dette vil gå på lavere effekt og skifte ut en mindre luftmengde, tilsvarende økning i luftskiftet grunnet for høyt lekkasjetall. Ved bruk av balansert ventilasjon med varmegjenvinning må man da ta med i betraktningen hva man taper av energi fordi en mindre luftmengde vil passere varmeveksleren.

6.5 Økonomisk kompensasjon

Det faktum at man ikke kan beregne lufttetthet, men må måle lekkasjetall når bygget er tett, har ført til store ekstrakostnader på bygg som har hatt behov for utbedringer. Dersom man ikke når kravet selv etter flere runder med trykktesting og utbedring, innser man at hvert skritt på veien mot kravet koster betydelig mer enn det forrige. Dette fører igjen til at man spør seg selv når man skal slutte å utbedre, og heller finne alternative løsninger som alle parter kan være fornøyde med.

Dette er ikke et smutthull for entreprenøren, slik at man skal kunne kjøpe seg fri fra kravet. Hadde dette vært et alternativ, burde det økonomisk sett vært gjort med en gang, referer kapittel 4 og 5 om referanseprosjekter. Dette er en siste utvei når prosessen har tatt lang tid og man innser at å fortsette prosessen for å nå kravet vil være tilnærmet umulig med alle

forutsetninger som stilles, i tillegg til at det rett og slett ikke er mulig å forsvare en videre prosess med tanke på selve ideen om å spare energi og miljøet.

Etter som man går gjennom flere omganger med utbedringer og målinger, innser man at det koster vesentlig mer å senke lekkasjetallet jo lavere man kommer. Til slutt må man godta at kravet ikke oppnås og vurdere økonomisk kompensasjon som følge av økte utgifter til oppvarming.

For å gjøre en slik utbetaling må det bestemmes en del forutsetninger. En strømpris må bestemmes og en rente må estimeres. Dette er variabler som er vanskelige å forutse, man kan kjøpe prognoser på det, men her har vi valgt å vise noen forskjellige eksempler med enkle forutsetninger for å vise hva variasjoner av de forskjellige inputene utgjør. Siden det er hensiktsmessig å gjøre en engangsutbetaling, vil nåverdimetoden være den korrekte måten for utregning.

Regnestykket blir da å finne nåverdien av en fremtidig kontantstrøm:[23]

$$PV = \frac{C}{(1+r)^n}$$

Formel 6.1: Nåverdiberegning.

PV = Nåverdien av kontantstrømmen

C = årlig beløp

r = rente

n = antall år

Formelen gjelder ved et årlig beløp utbetalt i slutten av hvert år, første utbetaling om 1 år. Når dette skal regnes ut må differansen mellom det oppnådde lekkasjetallet og kravet til lekkasjetall brukes til å finne økningen i energibehov. Det må også bestemmes en tidsramme for hvor lenge kompensasjonen skal beregnes for. Byggverk i Norge er vanligvis dimensjonert for en levetid på 50 år, spørsmålet blir da om det er rimelig å forvente at kravet til lekkasjetall er det samme gjennom hele livsløpet og da om kompensasjonen forblir konstant gjennom hele perioden eller ikke.

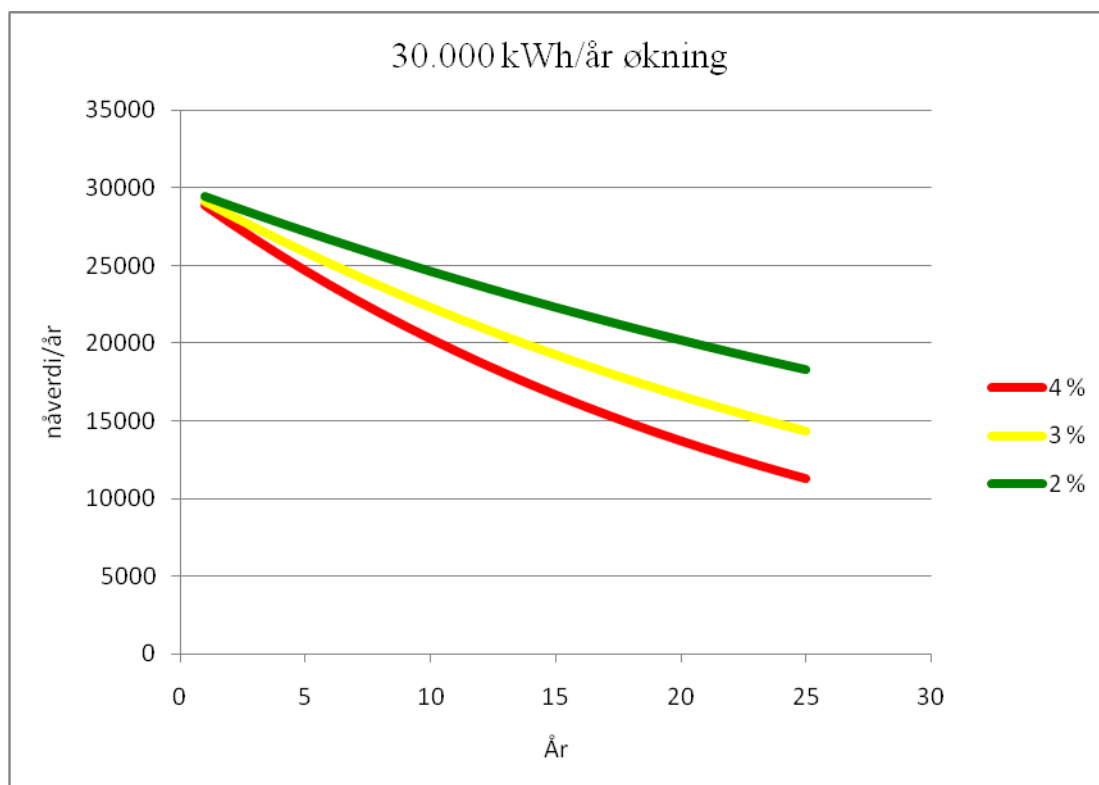
Når entreprenør har levert et ferdig bygg, bør det kunne antas at lekkasjetallet holder omtrent samme nivå gjennom hele livsløpet. Noen materialer, som treverk, kan oppta og

avgi fuktighet og vil av denne grunn leve litt, men dette vil nok ikke gjøre stort utslag på det totale energibehovet. Det største usikkerhetsmomentet er om tettematerialene holder stand år etter år. Teip brukes i utstrakt grad som tettemateriale ved overganger/skjøter og ved innsetting av vinduer/dører. Om hefteeffekten påvirkes av vær og tid er foreløpig noe usikkert, da disse produktene er relativt nye på markedet. Disse må testes før man kan være sikker på at de holder et livsløp. Forutsatt at de holder, kan man nok anta at lekkasjetallet holder seg relativt konstant. Dette gjelder også for fugemasser, det må dokumenteres at disse beholder sin tetteevne over tid, spesielt i bygg hvor det er brukt levende materialer, da dette kan føre til gjentatte påkjennelser på fuger.

Ut i fra dette er det vanskelig å si nøyaktig hvor lenge en slik kompensasjon bør gjelde for de prosjektene vi har sett på. Nye krav krever nye metoder og disse må prøves ut. Dette gjøres i praksis, men det må finnes rutiner for godkjenning av materialer. Dette er under utarbeidelse for øyeblikket og det tar forhåpentligvis ikke lang tid før de er klare til bruk. En rimelig antagelse pr dags dato er at entreprenør er ansvarlig for de 20 første årene av levetiden, og at da eventuell kompensasjon gis ut i fra dette. Dette er også gjort gjennom rettsforlik, i et prosjekt utført av annen entreprenør.

I vedlegg E viser vi eksempel på utregning av hvilken innvirkning renten og energiprisen har på kompensasjon av forskjellig størrelse over en realistisk tidsperiode. Nedenfor vises et grafisk eksempel av en slik beregning.

Av eksempelgrafen ser vi at etter noen år, øker forskjellen i nåverdi av den årlige kompensasjonen. Som vi kan se, av en sammenligning av alle grafene i vedlegget, utgjør noen prosent forskjellig rente og energipris ganske mange kroner. Ved en kompensasjon som krever 30.000 kWh/år er forskjellen på et scenario med 2 % rente og 1,2 kr/kWh og et scenario med 4 % rente og 1 kr/kWh nesten 180.000kr over en periode på 20 år.



Figur 6.1: Nåverdibetraktning av økte fremtidige energitgifter pga. for høyt lekkasjetall, forutsatt 1 kr/kWh

6.6 Omfordeling av energibesparende tiltak

TEK10 § 14-5-Minstekrav stiller minimumskrav til lekkasjetall og U-verdi. Punktene i denne paragrafen tolkes dit hen at man i teorien kan ha et lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell på 3,0 oms/t, da under forutsetning av at bygningens totale netto energibehov tilfredsstillers krav i § 14-4.

SINTEF Byggforsk fraråder imidlertid slik omfordeling av transmisjonsvarmetap i byggdetaljblad 471.023 *Energikrav til bygninger. Omfordeling av varmetap*, under prosjektering. Dette grunnet usikkerheten rundt nettopp transmisjonsvarmetapet. Allikevel bør muligheten til å senke U-verdien i f. eks. tak vurderes som et tiltak for å senke varmetapet dersom videre utbedring av luftlekkasjer er for kostbart, og det er muligheter for å senke energibruken ved å gjøre dette eller andre tilsvarende tiltak. [24]

6.7 Dispensasjon fra TEK

I tillegg til å tilfredsstille krav ovenfor kunder, må kravet overholdes overfor myndighetene. Dersom det er betydelige avvik, må det søkes kommunen om dispensasjon. Innvilges søknaden, er man fritatt fra kravet i TEK ovenfor kommunens Teknisk Etat. Dette har blitt gjort i referanseprosjekt A, med et resultat som tillater et lekkasjetall på 4 oms/t. Det endelige resultatet er godt innenfor dette.

7 Evaluering

7.1 Måling i praksis

Det å måle en bygnings lekkasjetall er i teorien en enkel affære. Lukk, teip, tett, sett opp vifter og man er i gang (se *kap. 2.2 Målemetode* for fullstendige forberedelser). Erfaringene vi har gjort oss etter å ha vært med ut på 3 målinger med AF og en større med firmaene Skanska, Termografi og Måleteknikk AS og Boligvurdering, er at det kreves en del forberedelser før man kommer i gang med selve målingen. Andre erfaringer som er gjort tidligere er at det er utfordrende å måle hele bygg etter innflytting. Dette fordi det er et stort antall leiligheter som må åpnes på samme tid, hvilket tilsier at man er avhengige av at dette passer for et stort antall mennesker på samme tid, samtidig som alle må samtykke til tetthetsmåling.

Viktigheten av å få tettet alle mulige små lekkasjer avtar jo større testvolumet er. Dette fordi en liten lekkasje utgjør en liten del av det totale volumet. Det betyr også at ved måling av hele bygninger er det lettere å oppdage små lekkasjer i mindre enheter som eneboliger og leiligheter enn i større, mer åpne bygg som kontorbygg.

Byggets grad av ferdigstillelse påvirker måleresultatet indirekte. Et halvferdig bygg inneholder mange ufullstendige gjennomføringer, manglende tetting osv. En måling av lufttetthet krever da mer planlegging og vurdering enn om bygget var ferdig.

Grunnene til at man måler enkeltenheter eller soner i bygg, når kravet gjelder hele bygg, er at det er lettere å gjennomføre i praksis uten å stenge produksjonen på byggeplassen. Den sonen som måles må sperres av og ingen kan bevege seg inn eller ut av denne, man er avhengig av en måling ved hvert trykk på minst 30 sekunder for å få troverdige verdier.

Et oppsett med Blowerdoor og en vifte har en kapasitet på ca 8500 m³/t ved 75 Pa.[5] Dette tilsier at et bygg på omtrent 5600 m³ kan måles med én vifte (gitt at man måler lekkasjetall på 1,5 eller bedre). Dersom volumet er større, eller lekkasjetallet betydelig høyere, må man bruke flere vifter. En utfordring ved å benytte flere vifter samtidig er at man ofte må låne utstyr av andre aktører, og det kan være vanskelig å samkjøre dette dersom DG-700 enhetene ikke bruker samme driver eller tilkobles med forskjellig grensesnitt. Dette erfarte vi på en måling hvor det ble benyttet 2 Blowerdoors med totalt 6 vifter fra 4 forskjellige

aktører. Her var det vanskelig å få kontakt med alle enhetene på samme tid, og det tok flere timer før vi fikk gjennomført en vellykket måling.



Figur 7.1: Forskjellig oppsett med Blowerdoor.



Figur 7.2: Noe av utstyret vi brukte til å måle et bygg på 43000 m³

Forutsatt at alt utstyr fungerer sammen og er koblet riktig, tar ikke selve testen mye tid for verken små eller store enheter. Derimot tar det lenger tid å forberede måling i et stort bygg med mange punkter å tette. Fordelen med å måle et helt bygg er eliminasjon av interne luftlekkasjer, og man kan med større sikkerhet estimere energiforbruket i hele bygget. Derfor virker det som entreprenørene er mer og mer interesserte i å måle større volumer. Denne observasjonen, i tillegg til det faktum at de mindre lekkasjene gir mindre utslag ved måling av et større volum, gjør det gunstigere å måle hele bygg. Allikevel er det viktig å nevne at komfortkrav må være tilfredsstillt i samtlige deler av bygget, slik at enkeltbrukere ikke får uforholdsmessige ulemper av gjennomsnittstallet.

Det bør imidlertid jobbes med en bedre løsning for måling av større volumer. Dagens metode kan, som nevnt, by på mange problemer som er med på å gjøre prosessen vanskeligere enn den er.

7.2 Diskusjon

7.2.1 utfordringer ved kravene i TEK 10

I veiledningen til TEK 10 gjøres det klart at vanskeligheter ved å måle lufttetthet i hele bygg kan by på problemer. Veiledningen til §14-3 sier *"Kravet til en bygnings lekkasjetall gjelder vanligvis for hele bygningen. Dersom det er vanskelig å måle hele bygningen, kan en representativ bruksenhet måles."*[25]

En representativ bruksenhet er i mange tilfeller hver enkelt leilighet. I bygg med svalganger må det være slik. I bygg med gang og trappeoppganger kan måling av en leilighet som en representativ bruksenhet for hele bygget oppfattes misvisende da man utelater annet innvendig volum. Kanskje burde begrepet vurderes endret til for eksempel "individuelle enheter".

I tillegg står det i § 14-1 i TEK 10, Generelle krav om energi pkt 1 at *"Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at lavt energibehov og miljøriktig energiforsyning fremmes."* Dette bør entreprenører se som sin mulighet til å komme med tilbakemeldinger hva angår selve arkitekturen, da denne er av stor betydning for vanskelighetsgraden ved oppnåelsen av lufttetthet. Mange hjørner, vinkler, overganger og forskjellige materialer gjør jobben

betraktelig verre for håndverkerne. Siden entreprenører ofte kommer i kontakt med arkitekt etter igangsettingstillatelse er gitt, kan det være en utfordring å gjøre endringer på bygget.

Et annet spørsmål er om kravet til lufttetthet og retningslinjene rundt dette er klare nok. Grunnen til dette er teksten fra byggdetaljblad 720.035 *Måling av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden*, som er gjengitt i starten av kap. 6.1. Dette sett i sammenheng med den ene kjente økonomiske kompensasjonen som er gjort, tyder på at det er behov for klargjøring. Der betalte entreprenør ut kompensasjon til beboere i enkeltleiligheter hvor målt lekkasjetall var helt ned i 1,6 oms/t. Dette er innenfor 10 % avvik fra kravet, og byggdetaljblad 720.035 sier da at kun enkle tiltak anbefales. Opp til et avvik på 50 %, som tilsvarer et lekkasjetall på 2,25 oms/t, er det heller ikke anbefalt med kontrollmåling i følge samme kilde. Dette skulle tilsi at man opp til lekkasjetall 2,25 oms/t lokaliserer lekkasjene, lager en plan på hva som skal gjøres, for så å gjennomføre disse utbedringene uten behov for etterfølgende måling.

Det observeres samtidig av man i Sverige har gått bort fra luftlekkasjekravet, samtidig som kravet til energibruk er opprettholdt. Dette kan oppfattes av entreprenør som at man får litt tillitt samtidig som man åpner for nye muligheter og nyskapning.

7.2.2 Utfordringer ved økonomisk kompensasjon

Ved vurdering av økonomisk kompensasjon støter man på flere spørsmål:

Hvordan skal denne regnes ut?

For hvor lang periode skal dispensasjonen dekke?

Hvem skal motta denne?

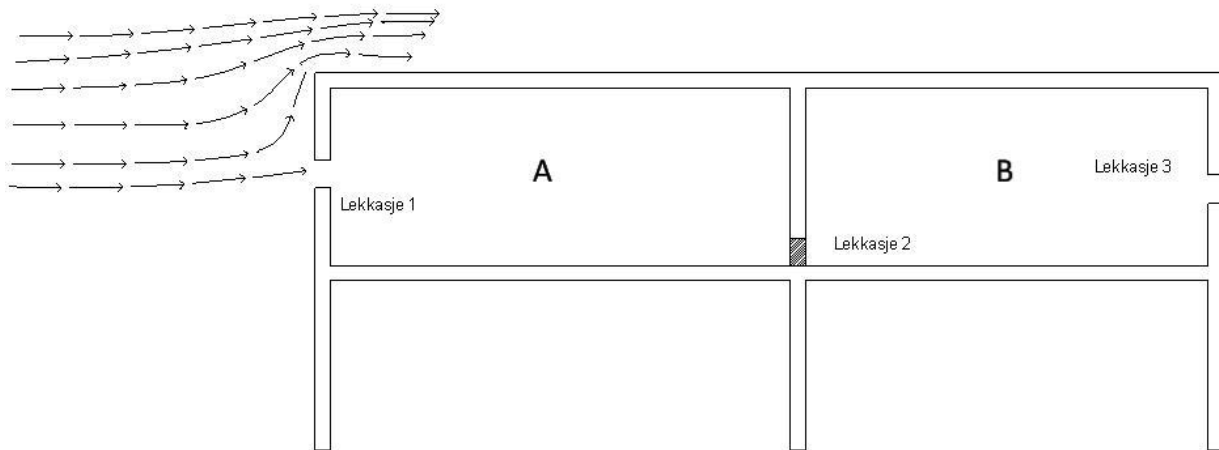
Når det kommer til utregningsmetode, er det rimelig å benytte en nåverdibetraktning. Da regner man ut nåverdien av en fremtidig kontantstrøm, slik at man utfører hele kompensasjonen i en utbetaling. Dette blir et estimat grunnet alle variablene som inflasjon, forandring i konsumprisindeksen og temperaturendringer gjennom kompensasjonsperioden, sammen med utvikling i energiprisen. Her har vi valgt å se bort fra disse siste variablene, da de er vanskelig å bestemme nøyaktig. Det er også mulig at de gjennom perioden utjevner hverandre. Dersom leiligheten har vært bebodd over en periode før utbetaling, må utgiftene

for denne perioden etterbetales, mens de resterende antall år kompenserer etter nåverdibetraktningen.

Angående tidsperspektiv på kompensasjonsperioden er det flere sider av saken. På den ene siden mener beboerne at det skal kompenseres for så lang tid som livsløpet til boligen skal være. I Norge bygges boliger vanligvis med en dimensjonert levetid på 50 år. På den andre siden står entreprenøren med sitt pålegg om reklamasjonsrett inntil det har gått 5 år etter overlevering. [26]

Dersom for høye luftlekkasjer oppdages innen de 5 første årene, er entreprenør pliktig å gjennomføre utbedringer. Oppdages noe etter dette, skal det være grove overskridelser for at man skal ha samme kravet om utbedring. I disse tider hvor lufttetthet er i fokus, vil overskridelser høyst sannsynlig oppdages innen fristen, og man er pliktig til å utføre utbedring. Etter hvert kan løsningen bli at man må gjøre en økonomisk kompensasjon dersom man ikke klarer å tilfredsstille kravet. I denne oppgaven har vi regnet med 20 år som kompensasjonsperiode. Argumenter for dette er at det finnes liten dokumentasjon på holdbarheten til tettematerialer. I tillegg er det rimelig å anta at rehabilitering eller annen omfattende oppussing skjer etter omtrent 20 år. Da må man igjen forholde seg til nye forskriftskrav. Dette har også blitt gjort en gang gjennom et rettsforlik mellom en norsk entreprenør og beboere av et borettslag.

Et annet moment er at når SINTEF Byggforsk regner ut økning i energiforbruk knyttet til luftlekkasjer, antar de at hele lekkasjetallet består av eksterne lekkasjer. En god del av lekkasjene kan være interne, og ikke alle disse har innvirkning på temperaturen innendørs. Dette betyr ikke at man kan ignorere interne luftlekkasjer, men mange tar det med i betraktningen. Allikevel mener entreprenører at dette er noe det bør skilles på ved en eventuell kompensasjon grunnet økning i energikostnader.



Figur 7.3: Oppriss av eksempelleiligheter med uheldige interne luftlekkasjer.

Formelen for infiltrasjon i NS 3031 er en forenklet formel som i en del tilfeller ikke gjenspeiler reell infiltrasjon. Den tar kun hensyn til lekkasjetallet og terrengfaktorer, og ikke hvor i leiligheten lekkasjene er, eller om det er interne lekkasjer. Figur 7.3 illustrerer hvordan den beregnede infiltrasjonen kan være misvisende. Dersom leilighet A har én luftlekkasje, vil infiltrasjonen være liten, nesten uavhengig av størrelsen på lekkasjetallet. (Flere luftlekkasjer nær hverandre kan, strømningsfysisk sett, opptre som én.) Er det i tillegg utett mellom leilighet A og B (lekkasje 2), vil begge leilighetenes lekkasjetall ha stor betydning for infiltrasjonen, som vil være betydelig større. I dette eksempelet vil leilighet A få ulempen med økte oppvarmingskostnader, og størrelsen på lekkasje 3 i leilighet B vil få betydning for hvor store oppvarmingskostnadene blir. Dette har man erfart etter forsøk i Malmö.[27]

Et viktig tema, er hvordan økonomisk kompensasjon skal betales ut og til hvem den skal betales. Dersom det blir enighet rundt en årlig sum og for hvor mange år denne skal betales, bør det være rimelig at dette festes ved boligen, slik at en eventuell ny eier vet at det er utbetalt en kompensasjon på grunn av det avvikende lekkasjetallet. En annen mulighet er å betale en sum felles til hele bygget/sameiet/borettslaget, for at denne forvaltes av et styre og blir brukt gjennom tilskudd til fellesutgifter, oppvarming eller på annen hensiktsmessig måte som tilfredsstillende beboernes interesser. I så tilfelle vil kompensasjonen gå til rette formål, og ved videresalg vil dette inngå i fellesutgiftene, eller på annen måte komme nye beboere til gode.

Boligkjøpere i Norge legger mer vekt på andre aspekter ved boligen enn lufttetthet og energimerket når de vurderer boliger opp mot hverandre. Dette mener Ole Øyvind Moen i

Takseringsforbundet. Samtidig sier han at Takseringsforbundet mener denne trenden kommer til å snu, og at energimerkeordningen på sikt vil være med å heve prisen på boliger med bedre energimerke.[28] Både i Danmark og Nederland ser man resultater av energimerkeordninger ved at hus med bedre energimerke selges til en høyere pris enn andre sammenlignbare hus.

En annen side ved økonomisk kompensasjon er fuktskader. Større lekkasjer fører til mer luftgjennomgang, hvilket kan resultere i kondensering i konstruksjonen. I Norge er 66 % av registrerte skader på bygg knyttet til klimaskjerm. Av disse er hele 76 % knyttet til fuktskader[29]. Fuktskader kan føre til forråtnelse av treverk i trekonstruksjoner, helseskadelige soppdannelser, og fukt kan trenge inn til armering i betong og føre til korrosjon av denne.

Byggdetaljblad 474.511 *Vurdering av fuktsikkerhet. Kontrollpunkter:* Det som er viktig å tenke på når det kommer til fukt er skorsteinseffekten. Den fører til overtrykk i øvre del av bygget. Det fører til at luft presses ut gjennom utettheter i dampsperre spesielt i dette området. Det er i tillegg fare for fukttransport pga diffusjon, dvs. at luften beveger seg generelt fra der det er høy vanndampkonsentrasjon til områder med lav vanndampkonsentrasjon. Dette skaper vanligvis en diffusjonsretning fra innsiden av konstruksjonen til utsiden. For å motvirke dette naturlige overtrykket er det vanlig å bruke ventilasjon til å skape et lite undertrykk slik at ikke fukt trenger ut i konstruksjonen. Det bør nevnes at fukttransporten grunnet diffusjon er betraktelig mindre enn den relatert til luftlekkasjer.[30]

7.2.3 Måleresultater som bakgrunn for økonomisk kompensasjon

For å undersøke hvor mye et forhøyet lekkasjetall har å si for energibehovet, kan man gjennom energikonsulenter få utført teoretiske beregninger som simulerer dette. Disse tar ikke hensyn til interne lekkasjer, men anser hele lekkasjetallet for å være et resultat av utett klimaskjerm. Dette er, som de selv skriver i rapportene, en konservativ antagelse, og kan resultere i et for høyt beregnet energibehov.

For å utelukke dette problemet kan man enten gjøre målinger ved bruk av støttettrykk, eller måle hele bygg. Begge disse alternativene har vist seg å være problematiske å gjennomføre, spesielt etter at bygg er tatt i bruk, men vil allikevel gi et mer nøyaktig bilde av

energibehovet for hele bygget. For å vite noe om en enkelt leilighets energibehov, vil det være naturlig å måle leiligheten uten støttettrykk, da man ikke vet betydningen av interne luftlekkasjer. Det kan avhenge av dominerende vindretning og størrelse og plassering av andre leiligheters lekkasjer.

7.2.4 utfordringer ved bruk av tette bygg

I dagens samfunn med dagens teknologi kan ikke bygg *bli for tette* ifølge fagekspertene. Dette er forutsatt at ventilasjonsanlegget fungerer, og blir vedlikeholdt på riktig måte. Mange bytter ikke friskluftfilter i ventilasjonsanlegget når det er på tide, noe som kan resultere i tette filter og forringet luftkvalitet. Dette kan igjen føre til astma og andre luftveissykdommer. Filteret bør byttes 1-2 ganger årlig avhengig av hvor forurenset uteluften er der man bor. I tillegg er det viktig at ventilasjonsanlegget blir brukt på riktig måte.

Hva gjør man dersom strømmen går? Da har man alltid muligheten til å åpne vinduene for å kompensere for manglende ventilasjon. Dette er en nødløsning som innebærer at man går glipp av varmegjenvinningen fra avtrekksluften. Dersom dette skulle inntreffe om vinteren kan det ha uheldige konsekvenser for et passivhus med få energikilder. Der er det ikke krav til skorstein, og hovedoppvarmingen er mest sannsynlig basert på elektrisk energi. Man er da nødt til å lufte gjennom vindu for å unngå å puste inn for mye CO₂. Dette kan føre til lav innetemperatur, og at det tar lang tid å heve denne når varmen kommer på igjen. Derfor er det viktig å planlegge for bruk av alternative energikilder som er uavhengige av elektrisitet fra strømmettet.

7.2.5 Lokalisering av luftlekkasjer

Hvor luftlekkasjene er lokalisert er essensielt med tanke på varmetap. Dette er et problemområde som energisimuleringsprogrammer i Norge ikke tar hensyn til, fordi NS 3031 ikke sier noe om det. Dette er allikevel noe som er verdt å tenke over når man skal bestemme en økonomisk kompensasjon. Lekkasjer oppunder himling/tak vil slippe ut mer varmluft i motsetning til lekkasjer lavere i rommet som heller vil slippe inn kald luft. En kombinasjon av disse er uheldig og kan føre til at luften trekker inn nede og ut oppe.

Dette vil i hovedsak være gjeldende for bygg med naturlig og mekanisk ventilasjon. For bygg med balansert ventilasjon er det vanlig å kjøre konstant undertrykk på et par prosent for å unngå fukt i konstruksjonen. Dette gjør at man trekker inn luft gjennom lekkasjene uansett

lokalisering, og det vil ha mindre å si hvilken høyde lekkasjene har i bygget, men mer å si om uteluften er varm eller kald. Temperaturforskjeller i uteluft avhenger av sol- og vindforhold rundt bygningen.

8 Konklusjon

Under er problemstillingene gjengitt med etterfølgende konklusjoner.

1. Hvor mye ressurser skal man bruke på utbedring av luftlekkasjer før man bør søke dispensasjon fra TEK og kompensere bruker økonomisk?

I utgangspunktet skal det ikke være nødvendig med utbedringer av luftlekkasjer. For å unngå dette må man ha fokus på kontinuerlige tettesjikt helt fra starten av prosjektet. Gjerne med et oppstartsmøte hvor man går gjennom kritiske detaljer sammen med involverte parter. All erfaring tilsier at det fører til et lavt lekkasjetall. Entreprenører bør også ha eget måleutstyr så man opparbeider intern kompetanse på hvilke løsninger som fungerer, det vil også øke motivasjonen for å bygge tett når man vet det blir målt lekkasjetall.

I tilfeller hvor man ikke har nådd kravet til lekkasjetall, blir dette ofte oppdaget etter innflytting, og man må da gjøre utbedringer som krever store ressurser fra entreprenør og medfører ulemper for beboer. Hvor mye ressurser man skal bruke før man eventuelt søker om dispensasjon fra TEK og kompenserer brukere økonomisk kommer an på omfanget av prosjektet og størrelsen på lekkasjetallet. Uansett utgangspunkt bør man prøve å nå et lekkasjetall i henhold til TEK10 § 14-5 (1). Kostnadene ved økonomisk kompensasjon er imidlertid mye lavere enn kostnadene ved å gjøre større utbedringer. Allikevel skal det utbedres (i henhold til byggdetaljblad 720.035). Dette også med tanke på at komfortkravene uansett bør være tilfredsstillende, og faren for fuktgjennomtrengning ikke skal være større enn ved et bygg som tilfredstiller kravet i TEK.

2. Hvordan skal måleresultater brukes som bakgrunn for økonomisk kompensasjon?

- Skal det måles med eller uten støttetrykk?

Hvis det skal utføres økonomisk kompensasjon må det være målt lekkasjetall etter utbedringer er utført. Kravet til lekkasjetall stilles til hele bygget, men i og med at representative enheter av bygget også kan måles, er det rimelig å bruke måleresultater fra hver enkelt leilighet der dette er gjort. Målinger med støttetrykk er veldig ressurskrevende da man må trykksette leilighetene over, under og ved siden av den aktuelle leiligheten. I tillegg vil interne lekkasjer ha litt å si for energibehovet da det kan føre til mer gjennomtrekk

i leiligheten. Det vil derfor være rimelig å måle uten støttettrykk. For å definere størrelse på kompensasjon må målt lekkasjetall etter utbedringer brukes i en energisimulering, for så å sammenligne med en energisimulering forutsatt lekkasjetall på kravnivå. Differansen i energibehov for de to tilfellene gir grunnlaget for hva det skal kompenseres for. Deretter må det antas en strømpris, og antall år det skal kompenseres for må fastsettes. Lekkasjetallet vil stige noe over tid, og 20 år vil være et rimelig antall år å kompensere for. Argumenter for dette er at rehabilitering eller annen omfattende oppussing antas å skje etter omtrent 20 år. Da må man igjen forholde seg til nye forskriftskrav. I tillegg er det usikkerhet knyttet til holdbarhet av tettematerialer. Dette har også blitt gjort en gang gjennom et rettsforlik mellom en norsk entreprenør og beboere av et borettslag.

Et alternativ til å få dispensasjon fra TEK og kompensere økonomisk kan være å omfordele energikravene i TEK. Da kan man tillate lekkasjetall opp til minstekravet på 3,0 oms/t for så å ta dette igjen på andre områder som bedre ventilasjon, vinduer, dører eller mer isolasjon i gulv og tak. Det er imidlertid ikke anbefalt å prosjektere med denne omfordelingen i forkant av et prosjekt.

3. Hvor stor er lufttetthetens betydning i det totale energibehovet i større boligbygg?

- Hvordan skal man ta hensyn til lokalisering og kvantifisering av luftlekkasjer?

Lufttetthetens betydning for det totale energibehovet er vanskelig å måle da man helst skulle målt energibruk i samme leilighet over en periode med like temperatur, vind og værforhold med to forskjellige lekkasjetall. I kapittel 3.3 er det derimot simulert et energibehov ved forskjellige lekkasjetall for to leiligheter, en i prosjekt A og en i prosjekt B. Det er brukt programmet SIMIEN som bygger på formlene og standardverdiene i NS 3031:2007.

Ut i fra simuleringen ser vi at i leilighet A, som er simulert med ingen skjerming, øker energibehovet med drøye 5,6 % når lekkasjetallet øker med 1 oms/t. Og i leilighet B, som er simulert med moderat skjerming, øker energibehovet med 4,6 % når lekkasjetallet øker med 1 oms/t. Da dette er sett i sammenheng med totalt energibehov, og ikke bare behov for oppvarming, konkluderes det med at lufttettheten har relativt stor betydning på energibehovet for en boenhet ifølge NS 3031. I en leilighet fra prosjekt A som hadde et

lekkasjetall på over 8 oms/t ved første måling, utgjør dette en økning i energibehovet på ca. 34 % opp fra forskriftskravet på 1,5 oms/t.

Ved lokalisering av luftlekkasjer brukes et termograferingskamera. Ved bruk av dette kan man enkelt ta bilder av lekkasjepunkter hvor forskjeller i overflatetemperaturen indikerer hvor luftstrømmen går. Dette kan kun brukes ved større temperaturforskjeller mellom ute- og inneluft. På sommerstid er derfor røykappuller bedre egnet til lokalisering. Luftlekkasjer kan ikke kvantifiseres nøyaktig, men ved bruk av anemometer kan man måle lufthastigheter for intern rangering på et enkelt prosjekt ved lik utførelse av målingene.

Termograferingskamera er og nyttig til kvantifisering på denne måten, samt at føling med hånda også kan gi en god pekepinn på størrelsen av luftlekkasjen.

Norske energisimuleringsprogrammer baserer seg på NS 3031, og eneste input med tanke på luftlekkasjer her er lekkasjetallet. Dermed er det her vanskelig å ta hensyn til lokaliseringen og kvantifiseringen av lekkasjene. Det finnes derimot andre europeiske standarder som tar hensyn til dette, men det er ikke gått inn på her. Ved utbedringer, og spesielt i bygg uten balansert ventilasjon, er det nyttig å vite at lufta ofte trekkes inn lavt i bygningen, mens den presses ut høyt i bygningen grunnet skorsteinseffekten.

4. Hva er viktig ved bruk av boliger med lavt lekkasjetall?

Riktig bruk av boliger med høy lufttetthet handler mye om å være bevisst på hvordan man ventilerer lufta for å oppnå god nok inneluft. Derfor er det viktig å vite hvordan ventilasjonsanlegg man har, og hvordan dette fungerer. Ofte er det balansert ventilasjon i boliger med lavt lekkasjetall, og det vil nok bli bygd enda flere boliger med balansert ventilasjon i fremtiden. Da er det viktig at det blir brukt, og at man bytter filter og vedlikeholder anlegget regelmessig for å sikre god luftkvalitet. Ved mekanisk og naturlig ventilasjon i et bygg med høy lufttetthet er det enda viktigere at ventiler og avtrekk er åpne der man oppholder seg for å oppnå god nok inneluft.

I tillegg er det viktig å være bevisst på hvor tettesjiktene er (dampsperre og vindsperre) så man ved fastmontering av gjenstander eller oppussing både utvendig og innvendig ikke perforerer disse. Ved vedfyring i bygg med lavt lekkasjetall er det viktig at ildstedet får nok tilluft ved å åpne ventiler eller ved direkteør med friskluft til ildstedet.

9 Videre arbeid

Ettersom oppgaven utviklet seg har det stadig dukket opp nye spørsmål og problemstillinger som kunne vært interessante å jobbe videre med. Mange av disse måtte vi sette til side grunnet at tidsrommet for oppgaven er begrenset. Videre følger noen forslag på hva som kan jobbes videre med:

1. Utarbeide veileder for måling og evaluering av luftlekkasjer slik at dette blir gjort likt av alle aktører i bransjen. I nærmeste framtid vil det høyst sannsynlig dukke opp mange nye termografører og tetthetsmålere pga innføring av uavhengig tredjepartskontroll.
2. Utarbeide veileder for hvordan økonomisk kompensasjon for økt energibehov ved for høyt lekkasjetall skal gjøres. Dette gjelder kun hvis man har brukt betydelige ressurser på utbedringer og allikevel ikke oppnår kravet i TEK.
3. Er beregningen av infiltrasjonen i NS 3031 for enkel?
4. Hvor lenge skal kravet til lekkasjetall gjelde? Gjelder det kun ved overlevering, etter 5 år, eller ut byggets levetid?
5. Burde det vært forskjellige krav til forskjellige deler av bygget? Eksempelvis et krav for en boenhet, et krav for en etasje, og et krav til hele bygget?
6. Gjøre forsøk i laboratorium med variabel luftfuktighet på forskjellige typer tettematerialer. Dette for å finne ut forskjeller på tetthet, antatt levetid og holdbarhet ved temperatur og fuktsvingninger. Eksempler på tettematerialer er forskjellige typer tape, svellebånd og fugemasser.
7. Forske på alternative ventilasjonsmuligheter. Er det kun balansert ventilasjon som er framtida?

10 Referanseliste

- [1] www.afgruppen.no
- [2] Byggforsk - Infiltrasjon og lufttetthet til bygninger – Statusrapport. Prosjektnr. O-9986, Trine Dyrstad Pettersen, Jørn Brunsell, Peter Schild, Lars Myhre og Tormod Aurlien, 2003.
- [3] Byggforskblad 573.121 – Materialer til luft- og dampetting, Sivert Uvsløkk, 2003.
- [4] Byggforskblad 720.035 – Måling av bygningers lufttetthet. Trykkmetoden. Tormod Aurlien, 2007.
- [5] The energy conservatory – Minneapolis Blower Door, Building Airtightness Testing Systems, 2010. <http://www.energyconservatory.com/download/bdbrochure.pdf>
- [6] NS-EN 13829 – Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje. Differansetrykkmetode, 2001.
- [7] Forskrift om tekniske krav til byggverk av 26. mars 2010 nr. 489. Ajourført med endringer, senest ved forskrift 7. april 2010 nr. 628 og 5. mai 2010 nr. 683, i kraft 1. juli 2010. (TEK10)
- [8] Byggforskblad 421.501 – Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort. Peter Blom, 1999.
- [9] Byggforskblad 770.006 – Eldre byggevarer. Trelast, trevarer, kledningsplater, rullprodukter og belegg. Knut I. Edvardsen og Hans Granum, 2008.
- [10] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap – Historiske arkiv:
Internettadresse: <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/plan-bygg/>
- [11] ASIEPI - Stimulation of good building and ductwork airtightness through EPBD. Gaëlle Guyot, F. Rémi Carrié, P. G. Schild, april 2010.
Internettadresse: http://www.asiepi.eu/fileadmin/files/WP5/ASIEPI_Airtightness-Technical_report_20100422.pdf
- [12] Internettadresse: <http://www.ramirent.no/produkt/weather-protecting-system-wps-1136.aspx>
- [13] Passivhus som forskriftskrav i 2020, Rapportnr. 119602, Niels Lassen, Anders Fylling, Mads Mysen, Tor Helge Dokka og Lilly Bordewich, desember 2009
- [14] Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning, prosjektrapport 341, Peter G. Schild, 2002.

- [15] Lukkede rapporter fra Termografi og Måleteknikk AS, prosjekt A
- [16] Lukket internt notat fra AF Gruppen, prosjekt A
- [17] Lukkede rapporter fra Sintef Byggforsk av 16.1.2010 og 4.1.2011, prosjekt A
- [18] Internt bokføringsdokument fra AF gruppen, prosjekt A
- [19] Lukkede rapporter fra Termografi og Måleteknikk AS, prosjekt B
- [20] Lukket internt notat fra AF Gruppen, prosjekt B
- [21] Lukket rapport fra Sintef Byggforsk av 17.11.2010, prosjekt B
- [22] Masteroppgave ved NTNU - Energifokus i tidligfase av byggeprosjekt, Håkon Bernhardsen og Steffen Johansen, 2010
- [23] Fra boken *"Finansiering og investering, Kort og godt"* av Morten Helbæk og Snorre Lindset
- [24] Byggdetaljblad 471.023 *Energikrav til bygninger. Omfordeling av varmetap*
- [25] *"Veiledning om tekniske krav til byggverk"*, publikasjonsnummer HO-2/2011
- [26] Budstadsoppløsningsloven, kapittel om reklamasjonsfrister.
- [27] Tormod Aurlien, 2011
- [28] Øyvind Moen, Norges TakseringsForbund,
<http://hjemme.enova.no:80/sitepageview.aspx?articleID=4185>
- [29] SINTEFs Byggskadearkiv fra tiårs- perioden 1993 til 2002
- [30] Byggdetaljblad 474.511 *Vurdering av fuktsikkerhet. Kontrollpunkter*

11 Vedleggsliste

- Vedlegg A Beregninger av kostnader grunnet økt energibehov, prosjekt A
- Vedlegg B Kostnader til utbedring, prosjekt A
- Vedlegg C Beregninger av kostnader grunnet økt energibehov, prosjekt B
- Vedlegg D Inndata i SIMIEN fra kapittel 4
- Vedlegg E Eksempel på nåverdiberegning

Vedlegg A

Prosjekt A

Økning i energibruk, grunnet lekkasjetall>kravet

| Forutsetninger: |
|-------------------------------------|
| r= 3% |
| strømpris (inkl. avgifter)= 1kr/kWh |

| SINTEF rapport datert 2010-01-16 | | |
|----------------------------------|--------|--------|
| etasje 5 | | |
| worst case | normal | |
| 54085 | 37264 | kWh/år |
| etasje 2-4 | | |
| worst case | normal | |
| 34056 | 23607 | kWh/år |

| Nåverdi= $C/(1+r)^n$ | | | |
|----------------------|------------|--------|----|
| etasje 5 | | | |
| | worst case | normal | |
| 15 år | 645663 | 444855 | kr |
| 20 år | 804648 | 554394 | kr |
| 25 år | 941790 | 648884 | kr |
| 30 år | 1060090 | 730391 | kr |
| 40 år | 1250162 | 861349 | kr |
| 50 år | 1391594 | 958794 | kr |
| etasje 2-4 | | | |
| | worst case | norm | |
| 15 år | 406558 | 281819 | kr |
| 20 år | 506667 | 351213 | kr |
| 25 år | 593022 | 411072 | kr |
| 30 år | 667513 | 462708 | kr |
| 40 år | 787197 | 545670 | kr |
| 50 år | 876253 | 607403 | kr |

**RESULTATENE ER KUN MENT SOM ET OMTRENTLIG
OVERSLAG OG ER DERFOR RUNDET AV VED BRUK I
OPPGAVEN!**

Dette grunnet alle variabler som spiller inn som vi har valgt å se bort fra, som variasjoner i rente, energipris, konsumprisindeks osv.

| SINTEF rapport datert 2011-04-01 | | |
|----------------------------------|-----------|--------|
| etasje 5 | | |
| worst case | normal | |
| 28725 | 19797 | kWh/år |
| etasje 2-4 | | |
| worst case | normal | |
| ikke målt | ikke målt | kWh/år |

| Nåverdi= $C/(1+r)^n$ | | | |
|----------------------|------------|--------|----|
| etasje 5 | | | |
| | worst case | normal | |
| 15 år | 342917 | 236335 | kr |
| 20 år | 427355 | 294529 | kr |
| 25 år | 500193 | 344728 | kr |
| 30 år | 563023 | 388030 | kr |
| 40 år | 663972 | 457603 | kr |
| 50 år | 739087 | 509372 | kr |

| Besparelse (kr) etasje 5 | | | |
|--------------------------|------------|---------|----|
| | worst case | normal | |
| 15 år | -302746 | -208520 | kr |
| 20 år | -377293 | -259865 | kr |
| 25 år | -441597 | -304155 | kr |
| 30 år | -497067 | -342361 | kr |
| 40 år | -586191 | -403746 | kr |
| 50 år | -652507 | -449422 | kr |

Tabellen viser hvor mye man sparer i det lange løp pga utbedringene som er gjort.

Kommentar:

Som vi ser av SINTEF rapporter har entreprenør nesten halvert økningen i netto energibehov grunnet luflekkasjer i etasje 5. Dette resulterer i at kostnadene vedrørende dette er omtrent halvverte. Det fører til at brukere har krav på mindre kompensasjon, men utbedringene har kostet entreprenør mer enn denne innsparingen. Til sammen har disse utbedringene kostet nesten 7.500.000,- pr mars 2011 (prosjektstyrings-og administrasjonskostnader for hele perioden er ikke medtatt). Dette viser tydelig at entreprenør tar ansvar for sine feil og legger en betydelig innsats i å gjøre opp for seg, uten å velge billigste vei ut.

SINTEF Byggforsk rapport datert 2010-01-16
etasje 5

| År | Worst case | | Normal | |
|----|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| | Nåverdi 3,00% | 54085 0,03 akkumulert | Nåverdi 3,00% | 37264 0,03 akkumulert |
| 1 | 52510 | 52510 | 36179 | 36179 |
| 2 | 50980 | 103490 | 35125 | 71304 |
| 3 | 49495 | 152985 | 34102 | 105405 |
| 4 | 48054 | 201039 | 33109 | 138514 |
| 5 | 46654 | 247693 | 32144 | 170658 |
| 6 | 45295 | 292989 | 31208 | 201866 |
| 7 | 43976 | 336965 | 30299 | 232165 |
| 8 | 42695 | 379660 | 29417 | 261582 |
| 9 | 41452 | 421112 | 28560 | 290142 |
| 10 | 40244 | 461356 | 27728 | 317869 |
| 11 | 39072 | 500428 | 26920 | 344790 |
| 12 | 37934 | 538362 | 26136 | 370926 |
| 13 | 36829 | 575192 | 25375 | 396301 |
| 14 | 35757 | 610948 | 24636 | 420937 |
| 15 | 34715 | 645663 | 23918 | 444855 |
| 16 | 33704 | 679367 | 23222 | 468077 |
| 17 | 32722 | 712090 | 22545 | 490622 |
| 18 | 31769 | 743859 | 21889 | 512511 |
| 19 | 30844 | 774703 | 21251 | 533762 |
| 20 | 29946 | 804648 | 20632 | 554394 |
| 21 | 29073 | 833722 | 20031 | 574425 |
| 22 | 28227 | 861948 | 19448 | 593873 |
| 23 | 27404 | 889353 | 18881 | 612755 |
| 24 | 26606 | 915959 | 18331 | 631086 |
| 25 | 25831 | 941790 | 17797 | 648884 |
| 26 | 25079 | 966869 | 17279 | 666163 |
| 27 | 24348 | 991217 | 16776 | 682939 |
| 28 | 23639 | 1014857 | 16287 | 699226 |
| 29 | 22951 | 1037808 | 15813 | 715039 |
| 30 | 22282 | 1060090 | 15352 | 730391 |
| 31 | 21633 | 1081723 | 14905 | 745296 |
| 32 | 21003 | 1102726 | 14471 | 759767 |
| 33 | 20391 | 1123118 | 14050 | 773816 |
| 34 | 19798 | 1142915 | 13640 | 787457 |
| 35 | 19221 | 1162136 | 13243 | 800700 |
| 36 | 18661 | 1180797 | 12857 | 813557 |
| 37 | 18118 | 1198915 | 12483 | 826040 |
| 38 | 17590 | 1216505 | 12119 | 838159 |
| 39 | 17078 | 1233582 | 11766 | 849925 |
| 40 | 16580 | 1250162 | 11424 | 861349 |
| 41 | 16097 | 1266260 | 11091 | 872440 |
| 42 | 15628 | 1281888 | 10768 | 883207 |
| 43 | 15173 | 1297061 | 10454 | 893662 |
| 44 | 14731 | 1311792 | 10150 | 903811 |
| 45 | 14302 | 1326095 | 9854 | 913665 |
| 46 | 13886 | 1339980 | 9567 | 923232 |
| 47 | 13481 | 1353461 | 9288 | 932521 |
| 48 | 13089 | 1366550 | 9018 | 941539 |
| 49 | 12707 | 1379257 | 8755 | 950294 |
| 50 | 12337 | 1391594 | 8500 | 958794 |
| | 1391594 | | 958794 | |

SINTEF Byggforsk rapport datert 2011-04-01
etasje 5

| År | Worst case | | Normal | |
|----|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| | Nåverdi 3,00% | 28725 0,03 akkumulert | Nåverdi 3,00% | 19797 0,03 akkumulert |
| 1 | 27888 | 27888 | 19220 | 19220 |
| 2 | 27076 | 54964 | 18661 | 37881 |
| 3 | 26287 | 81252 | 18117 | 55998 |
| 4 | 25522 | 106774 | 17589 | 73587 |
| 5 | 24778 | 131552 | 17077 | 90664 |
| 6 | 24057 | 155609 | 16580 | 107244 |
| 7 | 23356 | 178965 | 16097 | 123341 |
| 8 | 22676 | 201641 | 15628 | 138969 |
| 9 | 22015 | 223656 | 15173 | 154142 |
| 10 | 21374 | 245030 | 14731 | 168872 |
| 11 | 20752 | 265782 | 14302 | 183174 |
| 12 | 20147 | 285929 | 13885 | 197059 |
| 13 | 19560 | 305489 | 13481 | 210540 |
| 14 | 18991 | 324480 | 13088 | 223628 |
| 15 | 18437 | 342917 | 12707 | 236335 |
| 16 | 17900 | 360818 | 12337 | 248672 |
| 17 | 17379 | 378197 | 11978 | 260650 |
| 18 | 16873 | 395070 | 11629 | 272278 |
| 19 | 16381 | 411451 | 11290 | 283568 |
| 20 | 15904 | 427355 | 10961 | 294529 |
| 21 | 15441 | 442797 | 10642 | 305171 |
| 22 | 14991 | 457788 | 10332 | 315503 |
| 23 | 14555 | 472343 | 10031 | 325534 |
| 24 | 14131 | 486473 | 9739 | 335273 |
| 25 | 13719 | 500193 | 9455 | 344728 |
| 26 | 13320 | 513512 | 9180 | 353908 |
| 27 | 12932 | 526444 | 8912 | 362820 |
| 28 | 12555 | 538999 | 8653 | 371473 |
| 29 | 12189 | 551188 | 8401 | 379874 |
| 30 | 11834 | 563023 | 8156 | 388030 |
| 31 | 11490 | 574512 | 7919 | 395948 |
| 32 | 11155 | 585667 | 7688 | 403636 |
| 33 | 10830 | 596497 | 7464 | 411100 |
| 34 | 10515 | 607012 | 7247 | 418347 |
| 35 | 10208 | 617220 | 7036 | 425382 |
| 36 | 9911 | 627131 | 6831 | 432213 |
| 37 | 9622 | 636754 | 6632 | 438845 |
| 38 | 9342 | 646096 | 6439 | 445283 |
| 39 | 9070 | 655166 | 6251 | 451534 |
| 40 | 8806 | 663972 | 6069 | 457603 |
| 41 | 8549 | 672521 | 5892 | 463495 |
| 42 | 8300 | 680822 | 5721 | 469216 |
| 43 | 8059 | 688880 | 5554 | 474770 |
| 44 | 7824 | 696704 | 5392 | 480162 |
| 45 | 7596 | 704300 | 5235 | 485397 |
| 46 | 7375 | 711675 | 5083 | 490480 |
| 47 | 7160 | 718835 | 4935 | 495414 |
| 48 | 6951 | 725786 | 4791 | 500205 |
| 49 | 6749 | 732535 | 4651 | 504856 |
| 50 | 6552 | 739087 | 4516 | 509372 |
| | 739087 | | 509372 | |

SINTEF BYGGFORSK rapport datert 2010-01-16
etasje 2-4

| År | Worst case | | Normal | |
|----|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| | Nåverdi 3,00% | 34056 0,03 akkumulert | Nåverdi 3,00% | 23607 0,03 akkumulert |
| 1 | 33064 | 33064 | 22919 | 22919 |
| 2 | 32101 | 65165 | 22252 | 45171 |
| 3 | 31166 | 96331 | 21604 | 66775 |
| 4 | 30258 | 126590 | 20975 | 87750 |
| 5 | 29377 | 155967 | 20364 | 108113 |
| 6 | 28521 | 184488 | 19770 | 127884 |
| 7 | 27691 | 212179 | 19195 | 147078 |
| 8 | 26884 | 239063 | 18636 | 165714 |
| 9 | 26101 | 265164 | 18093 | 183807 |
| 10 | 25341 | 290505 | 17566 | 201372 |
| 11 | 24603 | 315107 | 17054 | 218427 |
| 12 | 23886 | 338994 | 16557 | 234984 |
| 13 | 23190 | 362184 | 16075 | 251059 |
| 14 | 22515 | 384699 | 15607 | 266666 |
| 15 | 21859 | 406558 | 15152 | 281819 |
| 16 | 21223 | 427781 | 14711 | 296530 |
| 17 | 20604 | 448385 | 14283 | 310813 |
| 18 | 20004 | 468390 | 13867 | 324679 |
| 19 | 19422 | 487811 | 13463 | 338142 |
| 20 | 18856 | 506667 | 13071 | 351213 |
| 21 | 18307 | 524974 | 12690 | 363902 |
| 22 | 17774 | 542748 | 12320 | 376223 |
| 23 | 17256 | 560004 | 11961 | 388184 |
| 24 | 16753 | 576757 | 11613 | 399797 |
| 25 | 16265 | 593022 | 11275 | 411072 |
| 26 | 15792 | 608814 | 10946 | 422019 |
| 27 | 15332 | 624145 | 10628 | 432646 |
| 28 | 14885 | 639030 | 10318 | 442964 |
| 29 | 14452 | 653482 | 10018 | 452982 |
| 30 | 14031 | 667513 | 9726 | 462708 |
| 31 | 13622 | 681135 | 9442 | 472150 |
| 32 | 13225 | 694360 | 9167 | 481318 |
| 33 | 12840 | 707200 | 8900 | 490218 |
| 34 | 12466 | 719666 | 8641 | 498859 |
| 35 | 12103 | 731769 | 8390 | 507249 |
| 36 | 11750 | 743519 | 8145 | 515394 |
| 37 | 11408 | 754927 | 7908 | 523302 |
| 38 | 11076 | 766003 | 7678 | 530980 |
| 39 | 10753 | 776757 | 7454 | 538434 |
| 40 | 10440 | 787197 | 7237 | 545670 |
| 41 | 10136 | 797333 | 7026 | 552697 |
| 42 | 9841 | 807173 | 6821 | 559518 |
| 43 | 9554 | 816728 | 6623 | 566141 |
| 44 | 9276 | 826004 | 6430 | 572571 |
| 45 | 9006 | 835009 | 6243 | 578813 |
| 46 | 8743 | 843753 | 6061 | 584874 |
| 47 | 8489 | 852241 | 5884 | 590758 |
| 48 | 8242 | 860483 | 5713 | 596471 |
| 49 | 8001 | 868484 | 5546 | 602018 |
| 50 | 7768 | 876253 | 5385 | 607403 |
| | 876253 | | 607403 | |

Vedlegg B

Utbedringer prosjekt A

Rev. KPR - 24.03.11 (etter rev. PHP 04.01.11)
Erstatter PHP - 26.10.10

| Fakt.nr. | Fakt.dato | VVS-senteret | Tak/sjakter | Brannnett | Gen.fellesk. | 2A | 6A | 4A | 1A | 5A | 9A | 7A | 8A | 3A | Totalt |
|--|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 43 | 14.05.10 | | | | | 22 340 | | | | | | | | | |
| 44 | 14.05.10 | | | | | | 60 121 | | | | | | | | |
| 49 | 01.06.10 | | 18 363 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 01.06.10 | | | | | | 148 392 | | | | | | | | |
| 59 | 12.06.10 | | 134 650 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 12.06.10 | | | | | 108 568 | | | | | | | | | |
| 61 | 12.06.10 | | | 87 345 | | | | | | | | | | | |
| 62 | 01.07.10 | | 156 380 | | | | | | | | | | | | |
| 63 | 01.07.10 | 16 535 | | | | | | | | | | | | | |
| 65 | 01.07.10 | | | 158 557 | | | | | | | | | | | |
| 66 | 01.07.10 | | | | | 147 726 | | | | | | | | | |
| 68 | 01.07.10 | | | | | | 119 283 | | | | | | | | |
| 69 | 01.07.10 | | | | | | | 6 455 | | | | | | | |
| 72 | 16.07.10 | | 107 823 | | | | | | | | | | | | |
| 74 | 16.07.10 | | | 143 320 | | | | | | | | | | | |
| 75 | 16.07.10 | | | | | 44 602 | | | | | | | | | |
| 76 | 16.07.10 | | | | | | 107 620 | | | | | | | | |
| 78 | 17.07.10 | 23 960 | | | | | | | | | | | | | |
| 79 | 17.07.10 | | | | | | | 5 612 | | | | | | | |
| 80 | 17.07.10 | | | | | | | | | | | | | 3 655 | |
| 85 | 30.07.10 | | | 101 088 | | | | | | | | | | | |
| 86 | 30.07.10 | | 101 732 | | | | | | | | | | | | |
| 87 | 30.07.10 | | | | | | | 62 572 | | | | | | | |
| 88 | 30.07.10 | | | | | | 74 536 | | | | | | | | |
| 90 | 30.07.10 | 1 705 | | | | 1 234 | | | | | | | | | |
| 92 | 14.08.10 | 5 219 | | | | | 41 218 | | | | | | | | |
| 93 | 14.08.10 | 3 000 | | | | | | 136 707 | | | | | | | |
| 94 | 14.08.10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 95 | 14.08.10 | | | | | | | | 8 780 | | | | | | 16 560 |
| 96 | 14.08.10 | | | 76 490 | | | | | | | | | | | |
| 97 | 14.08.10 | 6 500 | 107 730 | | | | | | | | | | | | |
| 98 | 14.08.10 | 4 355 | | | | 12 880 | | | | 14 260 | | | | | |
| 109 | 01.09.10 | | 119 863 | | | | | | | | | | | | |
| 113 | 01.09.10 | | | | | | | 178 160 | | | | | | | |
| 115 | 01.09.10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 115 | 01.09.10 | | | 168 914 | | | | | | | | | | | |
| 117 | 01.09.10 | | | | | | 58 800 | | | | | | | | 105 961 |
| 118 | 01.09.10 | | | | | | | | 59 809 | | | | | | |
| 119 | 01.09.10 | 3 095 | | | | 6 988 | | | | 6 567 | | | | | |
| 122 | 18.09.10 | | 58 749 | 58 749 | | | | | | | | | | | |
| 123 | 18.09.10 | | | | | | | | 196 344 | | | | | | |
| 124 | 18.09.10 | | | | | | | 37 848 | | | | | | | |
| 125 | 18.09.10 | | | | | | | | | | | | | | 120 879 |
| 126 | 20.09.10 | | | | | 37 792 | | | | | | | | | |
| 127 | 20.09.10 | | | | | | 32 599 | | | | | | | | |
| 128 | 20.09.10 | 14 110 | | | | | | | | 12 197 | | | | | |
| 131 | 08.10.10 | | | | | | | | | | | 211 277 | | | |
| 132 | 08.10.10 | | | | | 7 742 | 7 742 | 7 742 | 7 742 | 7 742 | 7 742 | 7 742 | 7 742 | 7 742 | |
| 133 | 10.10.10 | | | 20 829 | | | | | | | | | | | |
| 134 | 10.10.10 | | | | | | 9 939 | | | | | | | | |
| 135 | 10.10.10 | 35 000 | | | | | | | | | | | | | |
| 136 | 10.10.10 | 19 999 | | | | 5 710 | | | 15 805 | 4 765 | | | | | 36 553 |
| 140 | 01.11.10 | | | | | | | | | | 93 832 | | | | |
| 141 | 01.11.10 | 49 680 | | | | 17 220 | 8 435 | 10 937 | 24 858 | 1 127 | | | | | 14 183 |
| 142 | 01.11.10 | | | | | | | | | | | 234 360 | | | |
| 149 | 13.11.10 | | | | | | | | | | 140 274 | | | | |
| 150 | 13.11.10 | 57 548 | | | | | | | | | | | | | |
| 151 | 13.11.10 | | | | | | | | | | | | | 40 265 | |
| 152 | 13.11.10 | | | | | 19 675 | 2 013 | | | 25 689 | | | | | |
| 153 | 13.11.10 | | | | | | | 3 039 | | | | 11 668 | | | |
| 159 | 01.12.10 | | | | | | | | | | | | | 224 067 | |
| 160 | 01.12.10 | | | | | | | | | | 97 372 | | | | |
| 161 | 01.12.10 | | | | | | | | | 85 249 | | | | | |
| 162 | 01.12.10 | 34 148 | | | | | | | | | | | | | |
| 163 | 01.12.10 | | | | | 46 041 | 80 | | 2 232 | | | | | | 5 959 |
| 166 | 02.01.11 | | | | | | | 24 325 | | | | | | | |
| 167 | 02.01.11 | | | | | | | | | | | | 190 541 | | |
| 168 | 02.01.11 | | | | | | | | | 39 359 | | | | | |
| 169 | 02.01.11 | 34 537 | 66 416 | | | 60 411 | 10 271 | | | | 13 708 | | | | 325 |
| SUM | | 309 390 | 871 705 | 815 291 | 165 687 | 602 553 | 451 737 | 473 397 | 315 570 | 196 955 | 352 928 | 465 047 | 462 615 | 311 816 | 5 794 691 |
| Felleskost fordelt pr. leil. ekskl. vvs og brannnett | | | | | | 108 366 | 108 366 | 108 366 | 108 366 | 108 366 | 108 366 | 108 366 | 108 366 | 170 467 | |
| Sum brutto pr. leilighet. | | | | | | 710 919 | 560 102 | 581 763 | 423 935 | 305 321 | 461 294 | 573 413 | 570 981 | 482 283 | 4 670 011 |

| Erstatningsleilighet. | |
|-----------------------|--------|
| 38 10.05.10 | 72 491 |
| 51 01.06.10 | 6 355 |
| 57 12.06.10 | 1 953 |
| 81 17.07.10 | 7 617 |
| 89 30.07.10 | 4 986 |
| 108 01.09.10 | 7 281 |
| 137 | 4 154 |

TOTALE KOSTNADER:
 tot.kost. 5 794 691 inkl felleskost.
 mva 1 448 673 mva
 erst.leil. 131 045
 totalt **7 374 409** kr inkl. Mva

Ikke inkl.
VVS og
brannnett
kostnader

104 836 eks.mva 131 045 kr. inkl. Mva

Vedlegg C

Prosjekt B

Økning i energibruk, grunnet $n_{50} > 1,5$

| Forutsetninger: | |
|-----------------------------|----------|
| r= | 3,00% |
| strømpris (inkl. avgifter)= | 1 kr/kWh |

| SINTEF Byggforsk rapport datert 2010-11-17 | |
|--|--------|
| Økning energibruk, leil. 502 | |
| worst case | normal |
| 694 | 382 |
| Økning energibruk, leil. 501 | |
| worst case | normal |
| 1501 | 838 |

| | Nåverdi= $C/(1+r)^n$ | |
|-------|---------------------------------|-------------|
| | Økning energikostnad, leil. 502 | |
| | worst case | normal |
| 25 år | 12084,7245 | 6651,822418 |
| 30 år | 13602,7063 | 7487,368595 |
| 40 år | 16041,65175 | 8829,842894 |
| 50 år | 17856,45622 | 9828,769851 |
| | Økning energikostnad, leil. 501 | |
| | worst case | normal |
| 25 år | 26137,13468 | 14592,21777 |
| 30 år | 29420,26247 | 16425,16985 |
| 40 år | 34695,27273 | 19370,17891 |
| 50 år | 38620,37577 | 21561,54224 |

Kommentar:

Leil. 501

Som vi ser av SINTEF rapport utgjør luftlekkasjene en årlig utgift på 838 kWh, et worst case scenario tilsier en utgift på 1501 kWh i året. Ved måletidspunktet var lekkasjetallet for leiligheten nede i 2,55, etter å ha startet på 3,6. Denne utbedringen har kostet: ca 200.000,-

Leil. 502:

Her har SINTEF estimert tillegg grunnet luftlekkasje til normalt 382 kWh/år, worst case 694 kWh/år. Dette etter en utbedring fra et lekkasjetall på 4,5 til 2,08. Dette har kostet: ca 500.000,-

Kostnadene oppgitt her er ganske grove estimat, noe av kostnadene hos 502 har med stor sannsynlighet også kommet 501 til gode. I tillegg kommer også administrasjonskostnader og kostnader til lufttettetsmålinger. Det er rimelig å anta at dette beløper seg til ca 100.000,- ekstra.

SINTEF Byggforsk rapport datert 2010-11-17

leil. 502

| år | Worst case | | Normal | |
|----|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | 694 kWh | | 382 kWh | |
| | Nåverdi 3,00% | 3,00% akkumulert | Nåverdi 3,00% | 3,00% akkumulert |
| 1 | 673,79 | 673,79 | 370,87 | 370,87 |
| 2 | 654,16 | 1327,95 | 360,07 | 730,95 |
| 3 | 635,11 | 1963,06 | 349,58 | 1080,53 |
| 4 | 616,61 | 2579,67 | 339,40 | 1419,93 |
| 5 | 598,65 | 3178,32 | 329,52 | 1749,45 |
| 6 | 581,21 | 3759,53 | 319,92 | 2069,37 |
| 7 | 564,29 | 4323,82 | 310,60 | 2379,97 |
| 8 | 547,85 | 4871,67 | 301,55 | 2681,52 |
| 9 | 531,89 | 5403,56 | 292,77 | 2974,29 |
| 10 | 516,40 | 5919,96 | 284,24 | 3258,54 |
| 11 | 501,36 | 6421,32 | 275,96 | 3534,50 |
| 12 | 486,76 | 6908,08 | 267,93 | 3802,43 |
| 13 | 472,58 | 7380,66 | 260,12 | 4062,55 |
| 14 | 458,82 | 7839,47 | 252,55 | 4315,10 |
| 15 | 445,45 | 8284,93 | 245,19 | 4560,29 |
| 16 | 432,48 | 8717,40 | 238,05 | 4798,34 |
| 17 | 419,88 | 9137,29 | 231,12 | 5029,46 |
| 18 | 407,65 | 9544,94 | 224,38 | 5253,84 |
| 19 | 395,78 | 9940,72 | 217,85 | 5471,69 |
| 20 | 384,25 | 10324,97 | 211,50 | 5683,20 |
| 21 | 373,06 | 10698,03 | 205,34 | 5888,54 |
| 22 | 362,19 | 11060,22 | 199,36 | 6087,90 |
| 23 | 351,64 | 11411,86 | 193,56 | 6281,46 |
| 24 | 341,40 | 11753,27 | 187,92 | 6469,38 |
| 25 | 331,46 | 12084,72 | 182,45 | 6651,82 |
| 26 | 321,80 | 12406,53 | 177,13 | 6828,95 |
| 27 | 312,43 | 12718,96 | 171,97 | 7000,93 |
| 28 | 303,33 | 13022,29 | 166,96 | 7167,89 |
| 29 | 294,50 | 13316,79 | 162,10 | 7329,99 |
| 30 | 285,92 | 13602,71 | 157,38 | 7487,37 |
| 31 | 277,59 | 13880,30 | 152,80 | 7640,16 |
| 32 | 269,51 | 14149,80 | 148,34 | 7788,51 |
| 33 | 261,66 | 14411,46 | 144,02 | 7932,53 |
| 34 | 254,04 | 14665,49 | 139,83 | 8072,36 |
| 35 | 246,64 | 14912,13 | 135,76 | 8208,12 |
| 36 | 239,45 | 15151,58 | 131,80 | 8339,92 |
| 37 | 232,48 | 15384,06 | 127,96 | 8467,88 |
| 38 | 225,71 | 15609,77 | 124,24 | 8592,12 |
| 39 | 219,13 | 15828,90 | 120,62 | 8712,74 |
| 40 | 212,75 | 16041,65 | 117,10 | 8829,84 |
| 41 | 206,55 | 16248,21 | 113,69 | 8943,54 |
| 42 | 200,54 | 16448,74 | 110,38 | 9053,92 |
| 43 | 194,70 | 16643,44 | 107,17 | 9161,09 |
| 44 | 189,03 | 16832,47 | 104,05 | 9265,13 |
| 45 | 183,52 | 17015,99 | 101,02 | 9366,15 |
| 46 | 178,18 | 17194,16 | 98,07 | 9464,22 |
| 47 | 172,99 | 17367,15 | 95,22 | 9559,44 |
| 48 | 167,95 | 17535,09 | 92,44 | 9651,88 |
| 49 | 163,06 | 17698,15 | 89,75 | 9741,63 |
| 50 | 158,31 | 17856,46 | 87,14 | 9828,77 |
| | 17856,46 | | 9828,77 | |

SINTEF BYGGFORSK rapport datert 2010-01-16

Leil. 501

| år | Worst case | | Normal | |
|----|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | 1501 | | 838 | |
| | Nåverdi 3,00% | 3,00% akkumulert | Nåverdi 3,00% | 3,00% akkumulert |
| 1 | 1457,28 | 1457,28 | 813,59 | 813,59 |
| 2 | 1414,84 | 2872,12 | 789,90 | 1603,49 |
| 3 | 1373,63 | 4245,75 | 766,89 | 2370,38 |
| 4 | 1333,62 | 5579,36 | 744,55 | 3114,93 |
| 5 | 1294,78 | 6874,14 | 722,87 | 3837,79 |
| 6 | 1257,06 | 8131,20 | 701,81 | 4539,61 |
| 7 | 1220,45 | 9351,65 | 681,37 | 5220,98 |
| 8 | 1184,90 | 10536,56 | 661,52 | 5882,50 |
| 9 | 1150,39 | 11686,95 | 642,26 | 6524,76 |
| 10 | 1116,88 | 12803,83 | 623,55 | 7148,31 |
| 11 | 1084,35 | 13888,19 | 605,39 | 7753,70 |
| 12 | 1052,77 | 14940,96 | 587,76 | 8341,46 |
| 13 | 1022,11 | 15963,07 | 570,64 | 8912,09 |
| 14 | 992,34 | 16955,41 | 554,02 | 9466,11 |
| 15 | 963,43 | 17918,84 | 537,88 | 10003,99 |
| 16 | 935,37 | 18854,21 | 522,21 | 10526,20 |
| 17 | 908,13 | 19762,34 | 507,00 | 11033,21 |
| 18 | 881,68 | 20644,02 | 492,24 | 11525,44 |
| 19 | 856,00 | 21500,02 | 477,90 | 12003,34 |
| 20 | 831,07 | 22331,09 | 463,98 | 12467,32 |
| 21 | 806,86 | 23137,95 | 450,47 | 12917,79 |
| 22 | 783,36 | 23921,31 | 437,35 | 13355,14 |
| 23 | 760,54 | 24681,86 | 424,61 | 13779,74 |
| 24 | 738,39 | 25420,25 | 412,24 | 14191,98 |
| 25 | 716,89 | 26137,13 | 400,23 | 14592,22 |
| 26 | 696,01 | 26833,14 | 388,58 | 14980,79 |
| 27 | 675,73 | 27508,87 | 377,26 | 15358,05 |
| 28 | 656,05 | 28164,93 | 366,27 | 15724,32 |
| 29 | 636,94 | 28801,87 | 355,60 | 16079,92 |
| 30 | 618,39 | 29420,26 | 345,24 | 16425,17 |
| 31 | 600,38 | 30020,64 | 335,19 | 16760,36 |
| 32 | 582,89 | 30603,54 | 325,43 | 17085,79 |
| 33 | 565,92 | 31169,45 | 315,95 | 17401,73 |
| 34 | 549,43 | 31718,89 | 306,75 | 17708,48 |
| 35 | 533,43 | 32252,32 | 297,81 | 18006,29 |
| 36 | 517,89 | 32770,21 | 289,14 | 18295,43 |
| 37 | 502,81 | 33273,02 | 280,72 | 18576,14 |
| 38 | 488,16 | 33761,18 | 272,54 | 18848,68 |
| 39 | 473,95 | 34235,13 | 264,60 | 19113,28 |
| 40 | 460,14 | 34695,27 | 256,89 | 19370,18 |
| 41 | 446,74 | 35142,01 | 249,41 | 19619,59 |
| 42 | 433,73 | 35575,74 | 242,15 | 19861,74 |
| 43 | 421,09 | 35996,84 | 235,09 | 20096,83 |
| 44 | 408,83 | 36405,67 | 228,25 | 20325,08 |
| 45 | 396,92 | 36802,59 | 221,60 | 20546,68 |
| 46 | 385,36 | 37187,95 | 215,15 | 20761,83 |
| 47 | 374,14 | 37562,09 | 208,88 | 20970,71 |
| 48 | 363,24 | 37925,33 | 202,79 | 21173,50 |
| 49 | 352,66 | 38277,99 | 196,89 | 21370,39 |
| 50 | 342,39 | 38620,38 | 191,15 | 21561,54 |
| | 38620,38 | | 21561,54 | |

Vedlegg D

Inndata i SIMIEN til energiberegninger i kapittel 4.

Leilighet A:

| Dokumentasjon av sentrale inndata (1) | | |
|--|-------|---------------|
| Beskrivelse | Verdi | Dokumentasjon |
| Areal yttervegger [m ²]: | 83 | |
| Areal tak [m ²]: | 160 | |
| Areal gulv [m ²]: | 0 | |
| Areal vinduer og ytterdører [m ²]: | 27 | |
| Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]: | 160 | |
| Oppvarmet luftvolum [m ³]: | 388 | |
| U-verdi yttervegger [W/m ² K] | 0,21 | |
| U-verdi tak [W/m ² K] | 0,13 | |
| U-verdi gulv [W/m ² K] | 0,00 | |
| U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K] | 1,50 | |
| Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%] | 17,0 | |
| Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]: | 0,05 | |
| Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K] | 47 | |
| Lekkasjetall (n50) [1/h]: | 1,50 | |
| Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]: | 75 | |
| Dokumentasjon av sentrale inndata (2) | | |
| Beskrivelse | Verdi | Dokumentasjon |
| Estimert temperaturvirk. varmegjenvinner justert for frostsikring [%]: | 75,0 | |
| Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]: | 2,50 | |
| Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²] | 1,7 | |
| Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²] | 1,7 | |
| Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg: | 0,90 | |
| Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]: | 80 | |
| Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C] | 20,3 | |
| Systemeffektfaktor kjøling: | 2,50 | |
| Settpunkttemperatur for romkjøling [°C] | 0,0 | |
| Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]: | 0 | |
| Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]: | 0,00 | |
| Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]: | 0,00 | |
| Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]: | 0,50 | |
| Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]: | 0,00 | |
| Driftstid oppvarming (timer) | 16,0 | |
| Dokumentasjon av sentrale inndata (3) | | |
| Beskrivelse | Verdi | Dokumentasjon |
| Driftstid kjøling (timer) | 0,0 | |
| Driftstid ventilasjon (timer) | 24,0 | |
| Driftstid belysning (timer) | 16,0 | |
| Driftstid utstyr (timer) | 16,0 | |
| Oppholdstid personer (timer) | 24,0 | |
| Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²] | 2,9 | |
| Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²] | 2,9 | |
| Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²] | 4,0 | |
| Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²] | 2,4 | |
| Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²] | 3,4 | |
| Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²] | 0,0 | |
| Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²] | 0,0 | |
| Total solfaktor for vindu og solskjerming: | 0,55 | |
| Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer: | 0,20 | |
| Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring: | 0,50 | |

Leilighet B:

| Dokumentasjon av sentrale inndata (1) | | |
|--|-------|---------------|
| Beskrivelse | Verdi | Dokumentasjon |
| Areal yttervegger [m ²]: | 51 | |
| Areal tak [m ²]: | 100 | |
| Areal gulv [m ²]: | 0 | |
| Areal vinduer og ytterdører [m ²]: | 18 | |
| Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]: | 100 | |
| Oppvarmet luftvolum [m ³]: | 245 | |
| U-verdi yttervegger [W/m ² K] | 0,21 | |
| U-verdi tak [W/m ² K] | 0,13 | |
| U-verdi gulv [W/m ² K] | 0,00 | |
| U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K] | 1,50 | |
| Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%] | 18,5 | |
| Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]: | 0,05 | |
| Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K] | 47 | |
| Lekkasjetall (n50) [1/h]: | 1,50 | |
| Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]: | 75 | |
| Dokumentasjon av sentrale inndata (2) | | |
| Beskrivelse | Verdi | Dokumentasjon |
| Estimert temperaturvirk. varmegjenvinner justert for frostsikring [%]: | 75,0 | |
| Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]: | 2,50 | |
| Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²] | 1,7 | |
| Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²] | 1,7 | |
| Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg: | 0,90 | |
| Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]: | 80 | |
| Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C] | 20,3 | |
| Systemeffektfaktor kjøling: | 2,50 | |
| Settpunkttemperatur for romkjøling [°C] | 0,0 | |
| Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]: | 0 | |
| Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]: | 0,00 | |
| Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]: | 0,00 | |
| Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]: | 0,50 | |
| Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]: | 0,00 | |
| Driftstid oppvarming (timer) | 16,0 | |
| Dokumentasjon av sentrale inndata (3) | | |
| Beskrivelse | Verdi | Dokumentasjon |
| Driftstid kjøling (timer) | 0,0 | |
| Driftstid ventilasjon (timer) | 24,0 | |
| Driftstid belysning (timer) | 10,0 | |
| Driftstid utstyr (timer) | 16,0 | |
| Oppholdstid personer (timer) | 24,0 | |
| Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²] | 2,9 | |
| Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²] | 2,9 | |
| Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²] | 4,0 | |
| Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²] | 2,4 | |
| Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²] | 3,4 | |
| Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²] | 0,0 | |
| Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²] | 0,0 | |
| Total solfaktor for vindu og solskjerming: | 0,55 | |
| Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer: | 0,20 | |
| Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring: | 0,50 | |

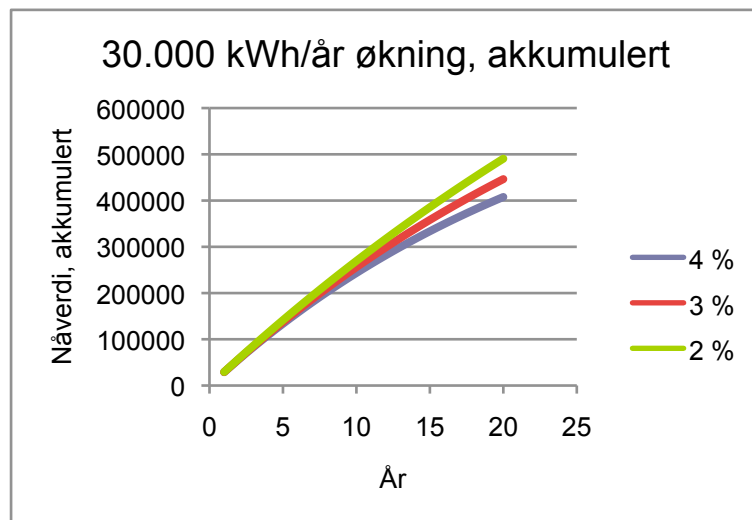
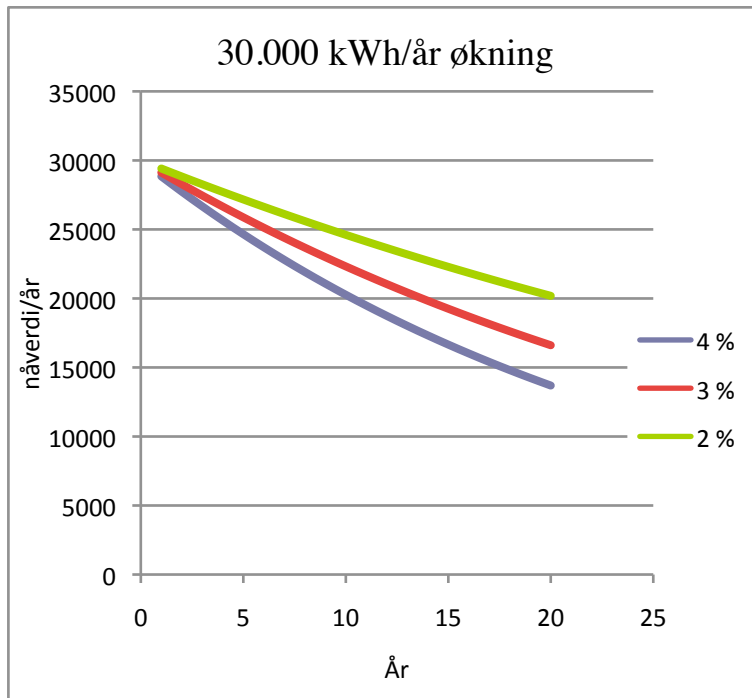
Vedlegg E

Energipris = 1kr/kWh

| Økning kWh/år 30000 rente 4% | | |
|---------------------------------|---------|------------|
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 28846 | 28846 |
| 2 | 27737 | 56583 |
| 3 | 26670 | 83253 |
| 4 | 25644 | 108897 |
| 5 | 24658 | 133555 |
| 6 | 23709 | 157264 |
| 7 | 22798 | 180062 |
| 8 | 21921 | 201982 |
| 9 | 21078 | 223060 |
| 10 | 20267 | 243327 |
| 11 | 19487 | 262814 |
| 12 | 18738 | 281552 |
| 13 | 18017 | 299569 |
| 14 | 17324 | 316894 |
| 15 | 16658 | 333552 |
| 16 | 16017 | 349569 |
| 17 | 15401 | 364970 |
| 18 | 14809 | 379779 |
| 19 | 14239 | 394018 |
| 20 | 13692 | 407710 |
| | 407710 | |

| Økning kWh/år 30000 rente 3% | | |
|---------------------------------|---------|------------|
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 29126 | 29126 |
| 2 | 28278 | 57404 |
| 3 | 27454 | 84858 |
| 4 | 26655 | 111513 |
| 5 | 25878 | 137391 |
| 6 | 25125 | 162516 |
| 7 | 24393 | 186908 |
| 8 | 23682 | 210591 |
| 9 | 22993 | 233583 |
| 10 | 22323 | 255906 |
| 11 | 21673 | 277579 |
| 12 | 21041 | 298620 |
| 13 | 20429 | 319049 |
| 14 | 19834 | 338882 |
| 15 | 19256 | 358138 |
| 16 | 18695 | 376833 |
| 17 | 18150 | 394984 |
| 18 | 17622 | 412605 |
| 19 | 17109 | 429714 |
| 20 | 16610 | 446324 |
| | 446324 | |

| Økning kWh/år 30000 rente 2% | | |
|---------------------------------|---------|------------|
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 29412 | 29412 |
| 2 | 28835 | 58247 |
| 3 | 28270 | 86517 |
| 4 | 27715 | 114232 |
| 5 | 27172 | 141404 |
| 6 | 26639 | 168043 |
| 7 | 26117 | 194160 |
| 8 | 25605 | 219764 |
| 9 | 25103 | 244867 |
| 10 | 24610 | 269478 |
| 11 | 24128 | 293605 |
| 12 | 23655 | 317260 |
| 13 | 23191 | 340451 |
| 14 | 22736 | 363187 |
| 15 | 22290 | 385478 |
| 16 | 21853 | 407331 |
| 17 | 21425 | 428756 |
| 18 | 21005 | 449761 |
| 19 | 20593 | 470354 |
| 20 | 20189 | 490543 |
| | 490543 | |

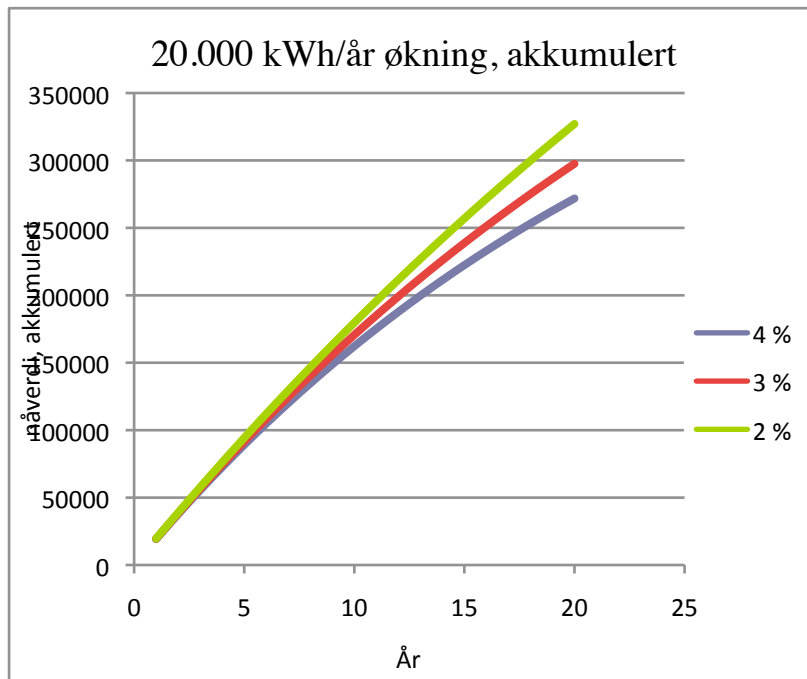
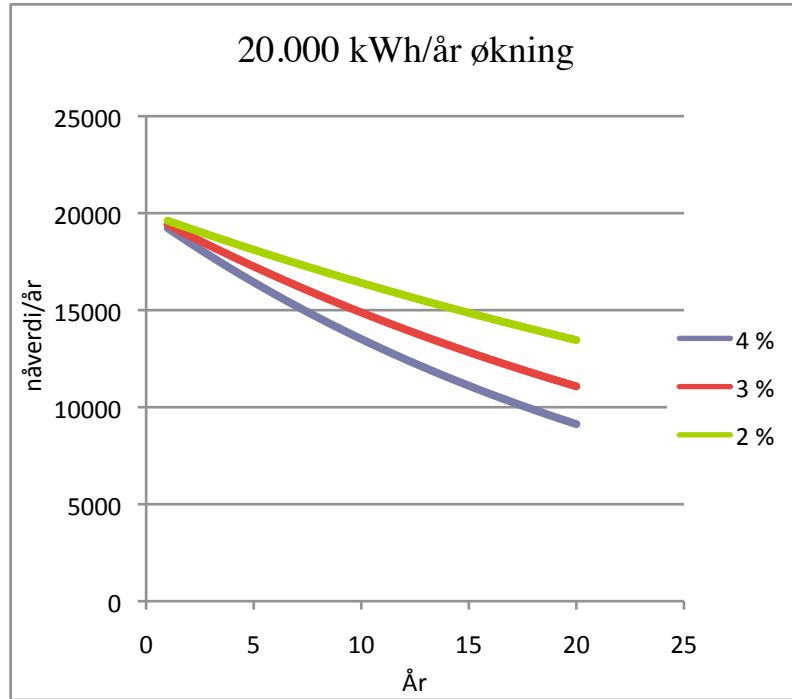


Energi pris = 1kr/kWh

| Økning kWh/år | | 20000 |
|---------------|---------|------------|
| rente | | 4% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 19231 | 19231 |
| 2 | 18491 | 37722 |
| 3 | 17780 | 55502 |
| 4 | 17096 | 72598 |
| 5 | 16439 | 89036 |
| 6 | 15806 | 104843 |
| 7 | 15198 | 120041 |
| 8 | 14614 | 134655 |
| 9 | 14052 | 148707 |
| 10 | 13511 | 162218 |
| 11 | 12992 | 175210 |
| 12 | 12492 | 187701 |
| 13 | 12011 | 199713 |
| 14 | 11550 | 211262 |
| 15 | 11105 | 222368 |
| 16 | 10678 | 233046 |
| 17 | 10267 | 243313 |
| 18 | 9873 | 253186 |
| 19 | 9493 | 262679 |
| 20 | 9128 | 271807 |
| 271806,5 | | |

| Økning kWh/år | | 20000 |
|---------------|---------|------------|
| rente | | 3% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 19417 | 19417 |
| 2 | 18852 | 38269 |
| 3 | 18303 | 56572 |
| 4 | 17770 | 74342 |
| 5 | 17252 | 91594 |
| 6 | 16750 | 108344 |
| 7 | 16262 | 124606 |
| 8 | 15788 | 140394 |
| 9 | 15328 | 155722 |
| 10 | 14882 | 170604 |
| 11 | 14448 | 185052 |
| 12 | 14028 | 199080 |
| 13 | 13619 | 212699 |
| 14 | 13222 | 225921 |
| 15 | 12837 | 238759 |
| 16 | 12463 | 251222 |
| 17 | 12100 | 263322 |
| 18 | 11748 | 275070 |
| 19 | 11406 | 286476 |
| 20 | 11074 | 297550 |
| 297550 | | |

| Økning kWh/år | | 20000 |
|---------------|---------|------------|
| rente | | 2% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 19608 | 19608 |
| 2 | 19223 | 38831 |
| 3 | 18846 | 57678 |
| 4 | 18477 | 76155 |
| 5 | 18115 | 94269 |
| 6 | 17759 | 112029 |
| 7 | 17411 | 129440 |
| 8 | 17070 | 146510 |
| 9 | 16735 | 163245 |
| 10 | 16407 | 179652 |
| 11 | 16085 | 195737 |
| 12 | 15770 | 211507 |
| 13 | 15461 | 226967 |
| 14 | 15158 | 242125 |
| 15 | 14860 | 256985 |
| 16 | 14569 | 271554 |
| 17 | 14283 | 285837 |
| 18 | 14003 | 299841 |
| 19 | 13729 | 313569 |
| 20 | 13459 | 327029 |
| 327029 | | |

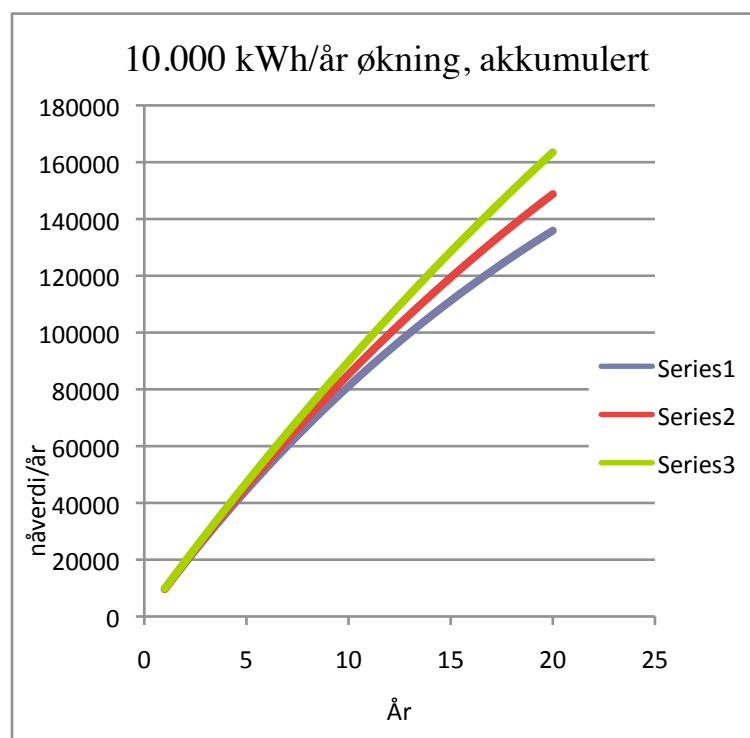
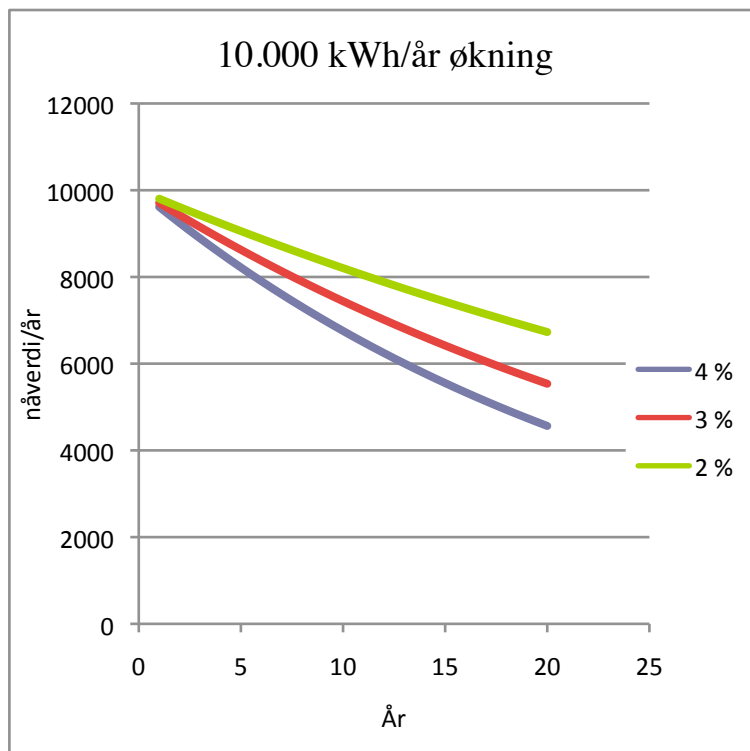


Energipris = 1kr/kWh

| Økning kWh/år rente | | |
|---------------------------|---------|------------|
| | 10000 | 4% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 9615 | 9615 |
| 2 | 9246 | 18861 |
| 3 | 8890 | 27751 |
| 4 | 8548 | 36299 |
| 5 | 8219 | 44518 |
| 6 | 7903 | 52421 |
| 7 | 7599 | 60021 |
| 8 | 7307 | 67327 |
| 9 | 7026 | 74353 |
| 10 | 6756 | 81109 |
| 11 | 6496 | 87605 |
| 12 | 6246 | 93851 |
| 13 | 6006 | 99856 |
| 14 | 5775 | 105631 |
| 15 | 5553 | 111184 |
| 16 | 5339 | 116523 |
| 17 | 5134 | 121657 |
| 18 | 4936 | 126593 |
| 19 | 4746 | 131339 |
| 20 | 4564 | 135903 |
| | 135903 | |

| Økning kWh/år rente | | |
|---------------------------|---------|------------|
| | 10000 | 3% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 9709 | 9709 |
| 2 | 9426 | 19135 |
| 3 | 9151 | 28286 |
| 4 | 8885 | 37171 |
| 5 | 8626 | 45797 |
| 6 | 8375 | 54172 |
| 7 | 8131 | 62303 |
| 8 | 7894 | 70197 |
| 9 | 7664 | 77861 |
| 10 | 7441 | 85302 |
| 11 | 7224 | 92526 |
| 12 | 7014 | 99540 |
| 13 | 6810 | 106350 |
| 14 | 6611 | 112961 |
| 15 | 6419 | 119379 |
| 16 | 6232 | 125611 |
| 17 | 6050 | 131661 |
| 18 | 5874 | 137535 |
| 19 | 5703 | 143238 |
| 20 | 5537 | 148775 |
| | 148775 | |

| Økning kWh/år rente | | |
|---------------------------|---------|------------|
| | 10000 | 2% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 9804 | 9804 |
| 2 | 9612 | 19416 |
| 3 | 9423 | 28839 |
| 4 | 9238 | 38077 |
| 5 | 9057 | 47135 |
| 6 | 8880 | 56014 |
| 7 | 8706 | 64720 |
| 8 | 8535 | 73255 |
| 9 | 8368 | 81622 |
| 10 | 8203 | 89826 |
| 11 | 8043 | 97868 |
| 12 | 7885 | 105753 |
| 13 | 7730 | 113484 |
| 14 | 7579 | 121062 |
| 15 | 7430 | 128493 |
| 16 | 7284 | 135777 |
| 17 | 7142 | 142919 |
| 18 | 7002 | 149920 |
| 19 | 6864 | 156785 |
| 20 | 6730 | 163514 |
| | 163514 | |

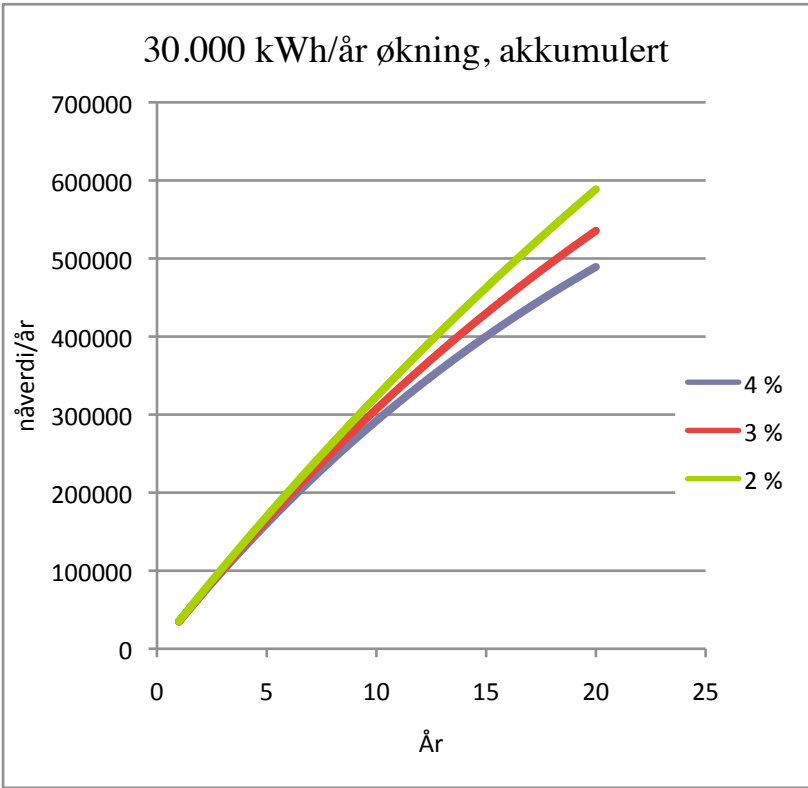
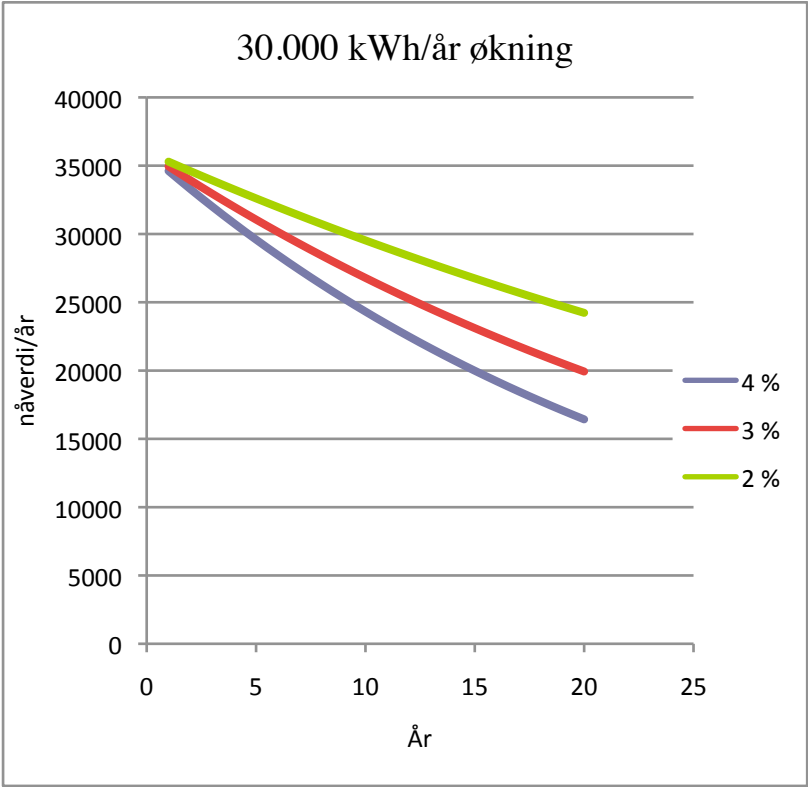


Energipris = 1,2 kr/kWh

| | Økning kWh/år | 30000 |
|----|------------------|------------|
| | rente | 4% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 34615 | 34615 |
| 2 | 33284 | 67899 |
| 3 | 32004 | 99903 |
| 4 | 30773 | 130676 |
| 5 | 29589 | 160266 |
| 6 | 28451 | 188717 |
| 7 | 27357 | 216074 |
| 8 | 26305 | 242379 |
| 9 | 25293 | 267672 |
| 10 | 24320 | 291992 |
| 11 | 23385 | 315377 |
| 12 | 22485 | 337863 |
| 13 | 21621 | 359483 |
| 14 | 20789 | 380272 |
| 15 | 19990 | 400262 |
| 16 | 19221 | 419483 |
| 17 | 18481 | 437964 |
| 18 | 17771 | 455735 |
| 19 | 17087 | 472822 |
| 20 | 16430 | 489252 |
| | | 489252 |

| | Økning kWh/år | 30000 |
|----|------------------|------------|
| | rente | 3% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 34951 | 34951 |
| 2 | 33933 | 68885 |
| 3 | 32945 | 101830 |
| 4 | 31986 | 133816 |
| 5 | 31054 | 164869 |
| 6 | 30149 | 195019 |
| 7 | 29271 | 224290 |
| 8 | 28419 | 252709 |
| 9 | 27591 | 280300 |
| 10 | 26787 | 307087 |
| 11 | 26007 | 333094 |
| 12 | 25250 | 358344 |
| 13 | 24514 | 382858 |
| 14 | 23800 | 406659 |
| 15 | 23107 | 429766 |
| 16 | 22434 | 452200 |
| 17 | 21781 | 473980 |
| 18 | 21146 | 495126 |
| 19 | 20530 | 515657 |
| 20 | 19932 | 535589 |
| | | 535589 |

| | Økning kWh/år | 30000 |
|----|------------------|------------|
| | rente | 2% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 35294 | 35294 |
| 2 | 34602 | 69896 |
| 3 | 33924 | 103820 |
| 4 | 33258 | 137078 |
| 5 | 32606 | 169685 |
| 6 | 31967 | 201652 |
| 7 | 31340 | 232992 |
| 8 | 30726 | 263717 |
| 9 | 30123 | 293841 |
| 10 | 29533 | 323373 |
| 11 | 28953 | 352327 |
| 12 | 28386 | 380712 |
| 13 | 27829 | 408541 |
| 14 | 27284 | 435825 |
| 15 | 26749 | 462573 |
| 16 | 26224 | 488798 |
| 17 | 25710 | 514507 |
| 18 | 25206 | 539713 |
| 19 | 24712 | 564425 |
| 20 | 24227 | 588652 |
| | | 588652 |

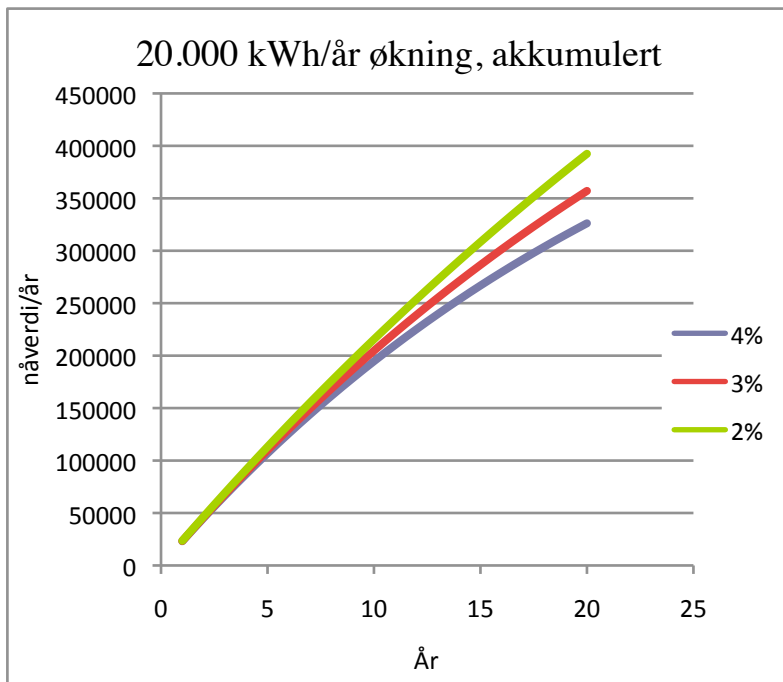
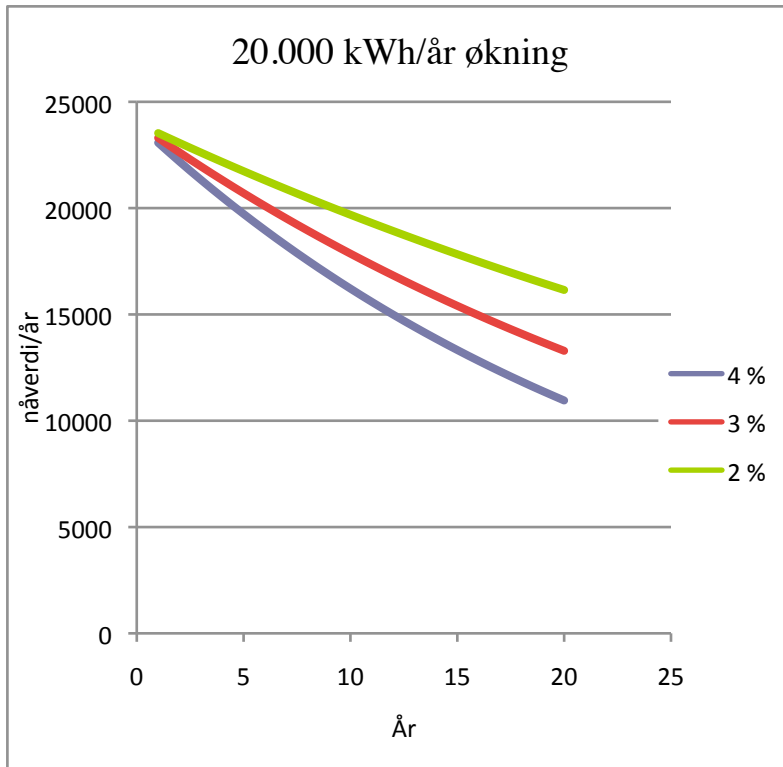


Energi pris = 1,2 kr/kWh

| | Økning kWh/år | 20000 rente 4% |
|----|------------------|----------------------|
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 23077 | 23077 |
| 2 | 22189 | 45266 |
| 3 | 21336 | 66602 |
| 4 | 20515 | 87117 |
| 5 | 19726 | 106844 |
| 6 | 18968 | 125811 |
| 7 | 18238 | 144049 |
| 8 | 17537 | 161586 |
| 9 | 16862 | 178448 |
| 10 | 16214 | 194662 |
| 11 | 15590 | 210251 |
| 12 | 14990 | 225242 |
| 13 | 14414 | 239656 |
| 14 | 13859 | 253515 |
| 15 | 13326 | 266841 |
| 16 | 12814 | 279655 |
| 17 | 12321 | 291976 |
| 18 | 11847 | 303823 |
| 19 | 11391 | 315215 |
| 20 | 10953 | 326168 |
| | | 326168 |

| | Økning kWh/år | 20000 rente 3% |
|----|------------------|----------------------|
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 23301 | 23301 |
| 2 | 22622 | 45923 |
| 3 | 21963 | 67887 |
| 4 | 21324 | 89210 |
| 5 | 20703 | 109913 |
| 6 | 20100 | 130013 |
| 7 | 19514 | 149527 |
| 8 | 18946 | 168473 |
| 9 | 18394 | 186867 |
| 10 | 17858 | 204725 |
| 11 | 17338 | 222063 |
| 12 | 16833 | 238896 |
| 13 | 16343 | 255239 |
| 14 | 15867 | 271106 |
| 15 | 15405 | 286510 |
| 16 | 14956 | 301466 |
| 17 | 14520 | 315987 |
| 18 | 14097 | 330084 |
| 19 | 13687 | 343771 |
| 20 | 13288 | 357059 |
| | | 357059 |

| | Økning kWh/år | 20000 rente 2% |
|----|------------------|----------------------|
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 23529 | 23529 |
| 2 | 23068 | 46597 |
| 3 | 22616 | 69213 |
| 4 | 22172 | 91385 |
| 5 | 21738 | 113123 |
| 6 | 21311 | 134434 |
| 7 | 20893 | 155328 |
| 8 | 20484 | 175812 |
| 9 | 20082 | 195894 |
| 10 | 19688 | 215582 |
| 11 | 19302 | 234884 |
| 12 | 18924 | 253808 |
| 13 | 18553 | 272361 |
| 14 | 18189 | 290550 |
| 15 | 17832 | 308382 |
| 16 | 17483 | 325865 |
| 17 | 17140 | 343005 |
| 18 | 16804 | 359809 |
| 19 | 16474 | 376283 |
| 20 | 16151 | 392434 |
| | | 392434 |

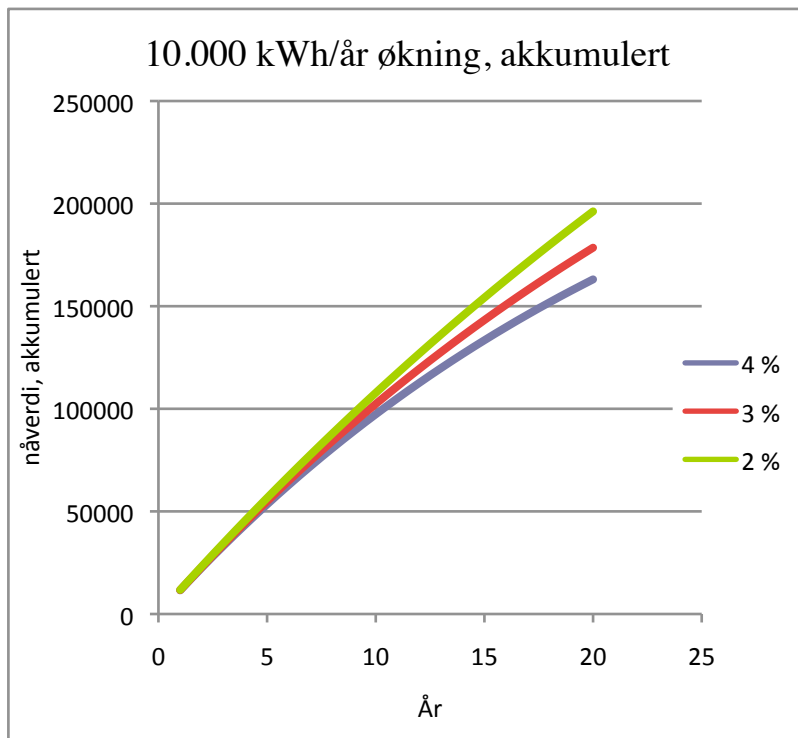
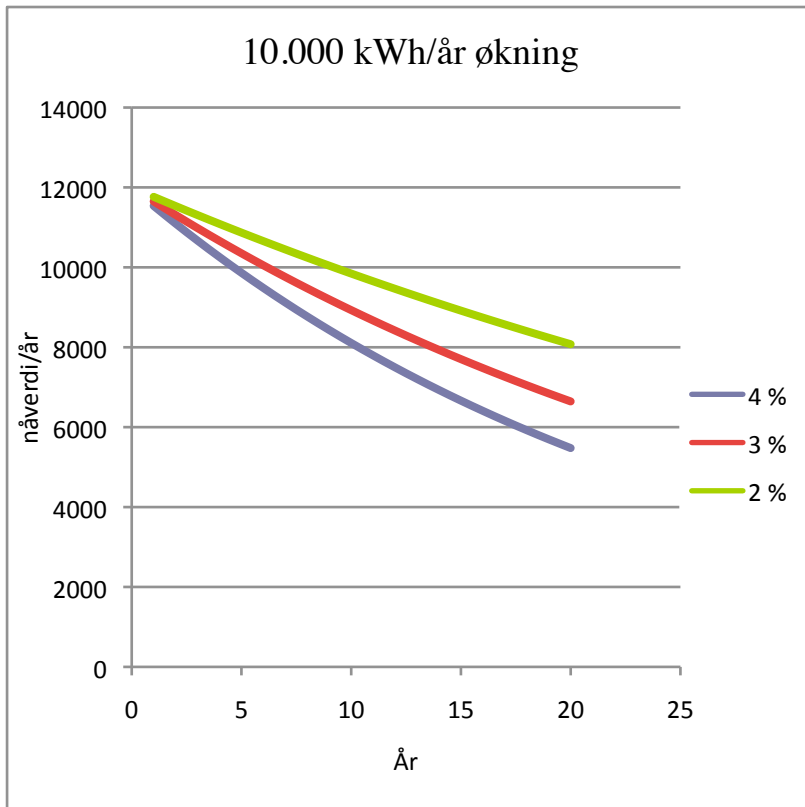


Energi pris = 1,2 kr/kWh

| | Økning kWh/år | 10000 |
|----|------------------|------------|
| | rente | 4% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 11538 | 11538 |
| 2 | 11095 | 22633 |
| 3 | 10668 | 33301 |
| 4 | 10258 | 43559 |
| 5 | 9863 | 53422 |
| 6 | 9484 | 62906 |
| 7 | 9119 | 72025 |
| 8 | 8768 | 80793 |
| 9 | 8431 | 89224 |
| 10 | 8107 | 97331 |
| 11 | 7795 | 105126 |
| 12 | 7495 | 112621 |
| 13 | 7207 | 119828 |
| 14 | 6930 | 126757 |
| 15 | 6663 | 133421 |
| 16 | 6407 | 139828 |
| 17 | 6160 | 145988 |
| 18 | 5924 | 151912 |
| 19 | 5696 | 157607 |
| 20 | 5477 | 163084 |
| | | 163084 |

| | Økning kWh/år | 10000 |
|----|------------------|------------|
| | rente | 3% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 11650 | 11650 |
| 2 | 11311 | 22962 |
| 3 | 10982 | 33943 |
| 4 | 10662 | 44605 |
| 5 | 10351 | 54956 |
| 6 | 10050 | 65006 |
| 7 | 9757 | 74763 |
| 8 | 9473 | 84236 |
| 9 | 9197 | 93433 |
| 10 | 8929 | 102362 |
| 11 | 8669 | 111031 |
| 12 | 8417 | 119448 |
| 13 | 8171 | 127619 |
| 14 | 7933 | 135553 |
| 15 | 7702 | 143255 |
| 16 | 7478 | 150733 |
| 17 | 7260 | 157993 |
| 18 | 7049 | 165042 |
| 19 | 6843 | 171886 |
| 20 | 6644 | 178530 |
| | | 178530 |

| | Økning kWh/år | 10000 |
|----|------------------|------------|
| | rente | 2% |
| År | Nåverdi | akkumulert |
| 1 | 11765 | 11765 |
| 2 | 11534 | 23299 |
| 3 | 11308 | 34607 |
| 4 | 11086 | 45693 |
| 5 | 10869 | 56562 |
| 6 | 10656 | 67217 |
| 7 | 10447 | 77664 |
| 8 | 10242 | 87906 |
| 9 | 10041 | 97947 |
| 10 | 9844 | 107791 |
| 11 | 9651 | 117442 |
| 12 | 9462 | 126904 |
| 13 | 9276 | 136180 |
| 14 | 9095 | 145275 |
| 15 | 8916 | 154191 |
| 16 | 8741 | 162933 |
| 17 | 8570 | 171502 |
| 18 | 8402 | 179904 |
| 19 | 8237 | 188142 |
| 20 | 8076 | 196217 |
| | | 196217 |



Sammenlikninger:

Lav energipris 1 kr/kWh

| | | |
|----------|----------|----------|
| 30000/2% | 30000/3% | 30000/4% |
| 490543 | 446324 | 407710 |
| | | |
| 20000/2% | 20000/3% | 20000/4% |
| 327029 | 297550 | 271807 |
| | | |
| 10000/2% | 10000/3% | 10000/4% |
| 163514 | 148775 | 135903 |

Høy energipris 1,2 kr/kWh

| | | |
|----------|----------|----------|
| 30000/2% | 30000/3% | 30000/4% |
| 588652 | 535589 | 489252 |
| | | |
| 20000/2% | 20000/3% | 20000/4% |
| 392434 | 357059 | 326168 |
| | | |
| 10000/2% | 10000/3% | 10000/4% |
| 196217 | 178530 | 163084 |

Kommentar:

Ser at forskjellige størrelser på input betydelig påvirkning på en nåverdiberegning for økonomisk kompensasjon. Det er et stort sprang fra situasjon med høy rente og lav energipris til situasjon med lav rente og høy energipris.