



# I-VENT

Intelligent ventilation  
som radonsikring

UDVIKLINGSPROJEKT

14. NOVEMBER 2019

midt  
regionmidtjylland

NIRAS

Titel:

I-vent - Intelligent ventilation som radonsikring.

Redaktion:

Mette Neerup Jeppesen, Winnie Hyldegaard og Mette Havgaard Vorre, NIRAS A/S.

Børge Hvidberg, Region Midtjylland.

Udgiver:

Realdania, Filantropi.

Grundejernes Investeringsfond.

# Indhold

---

1	Forord	6
2	Introduktion til rapport	7
2.1	Hvordan du bedst opnår god viden	7
3	Resume og perspektivering	8
3.1	Undersøgelser, testhuse og resultater	8
3.2	Overordnede konklusioner	9
3.3	Valg af ventilationsform	11
3.4	Perspektivering	12
4	Indledning	15
4.1	Baggrund	15
4.2	Projektets grundidé	16
4.3	Projektets overordnede formål	16
5	Indtrængning af radon i bygninger	18
5.1	Lidt om radon og lovkrav	18
5.2	Radonindtrængning til indeklima	19
6	Tidligere studier	20
6.1	Behovsstyret ventilation til enfamiliehuse	20
6.2	Metode research ift. neutralt tryk/let overtryk i boliger	20
6.3	Vindpåvirkning af og trykforhold i et hus	20
6.4	Måling af differenstræk ved indeklimaundersøgelser	21
6.5	Tæthed af klimaskærmen i eksisterende boliger	21
6.6	Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse	21
6.7	Differenstræk, erfaringsopsamling	22
6.8	Forsøg med intelligent styring af afværgeanlæg	22
7	Luftstrømning (teori/konceptuel forståelse)	23
7.1	Differenstræk	24
7.2	Atmosfæretryk	25
7.3	Vind	26
7.4	Temperatur (inde/ude)	27
7.5	Klimaskærmens tæthed og luftskiftet i bygningen	27

---

8	Teori og problematik om fugt i bygninger	33
8.1	Overtryksventilation	33
8.2	Konstruktioner med risiko for fugtproblemer	36
9	Udførte målinger og anvendt måleudstyr	37
9.1	Detaljer om måleudstyr	38
10	Undersøgelser	41
10.1	Undersøgelsesstrategi	41
10.2	Testhus i Køge	42
10.3	Bolig i Viborg	55
10.4	Bolig i Aalborg	67
10.5	Fire boliger med mekanisk ventilation	83
11	Opsamling af undersøgelsesresultater	98
11.1	Undersøgelser i testhus i Køge	99
11.2	Undersøgelser i bolig i Viborg	100
11.3	Undersøgelser i bolig i Aalborg	101
11.4	Undersøgelser i 4 boliger med mekanisk ventilation	103
12	Konklusion	106
12.1	Delkonklusioner	106
12.2	Sammenfattende konklusion	108
13	Referencer og baggrundslitteratur	110
13.1	Referencer	110
13.2	Relevant baggrundslitteratur	111

---

# Bilag

## Bilag 1, Testhus i Køge

- 1.1 Situationsplan
- 1.2 Rapport fra tæthedsprøvning

## Bilag 2, Bolig i Viborg

- 2.1 Situationsplan
- 2.2 Rapport fra tæthedsprøvning
- 2.3 Datarapport
- 2.4 Datanotat omkring måling af temperatur, fugt og CO<sub>2</sub>

## Bilag 3, Bolig i Aalborg

- 3.1 Situationsplan
- 3.2 Rapport fra tæthedsprøvning
- 3.3 Datarapport
- 3.4 Resultater af sporgasundersøgelse

## Bilag 4, Bolig i Lyngø

- 4.1 Vurdering af fugtforhold i tagkonstruktion baseret på måling med tracergas
- 4.2 Datanotat omkring måling af temperatur, fugt og CO<sub>2</sub>

## Bilag 5, Fugtstudier – typiske og kritiske konstruktioner

## Bilag 6, Differenstryk, Erfaringsopsamling, notat fra Region Midt



Projekt ID: 1030960  
Dokument ID:  
XTAXEUDDNY4W-75177900-787  
Ændret: 14-11-2019 14:21  
Revision

Udarbejdet af WHY / MEVO  
Kontrolleret af JAS/BHJ  
Godkendt af MNJ

# 1 Forord

Denne rapport udgør formidlingen af projektet "Intelligent ventilation som radon-sikring", der er udført i et samarbejde mellem NIRAS og Region Midtjylland samt med inddragelse af SBI, Danfoss, VIA University College, Region Hovedstaden og Region Syddanmark. Projektet er finansieret af Realdania og Grundejernes Investeringsfond.

Motivationen for projektet har været et ønske om at indsamle viden og formidle et overblik over de parametre, som har betydning for indtrængningen af radon i vores boliger, og dernæst at undersøge muligheden for at udvikle en simpel løsning for *Intelligent styret ventilation til at nedbringe radonindholdet i boliger*.

En særlig tak skal rettes til de familier, som har stillet deres bolig til rådighed som forsøgshus for projektet. Derforuden også en stor tak til følgegruppens deltagere, der alle har bidraget aktivt gennem hele projektet med idégenerering, kvalitetssikring, granskning og sparring.

Følgegruppen har bestående af:

- Miljøstyrelsen, Preben Bruun (AC-tekniker)
- Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, København, Niels Christian Bergsøe (seniorforsker) / Alireza Afshari (professor)
- DTU-byg, Carsten Rode (professor)
- Via University College, Inga Sørensen (lektor) / Loren Ramsay (docent) / Torsten Sack-Nielsen (Programleder FoU, Adjunkt, Ph.D.)
- CISBO/Aarhus Universitet, Torben Sigsgaard (Ph.D, professor)
- Region Midtjylland, Anja Melvej (civilingeniør) / Karin Birn Nielsen (civilingeniør) / Morten Bondgaard (kontorchef)
- Region Hovedstaden, Arne Rokkjær (civilingeniør) / Ann Pernille Holm (specialkonsulent)
- Region Sjælland, Susanne Rinette Pedersen (projektleder)
- Danfoss, Rune Skjøt Andersen (productmanager)

## 2 Introduktion til rapport

Afrapporteringen for det samlede udviklingsprojekt består af denne rapport samt rapporten *I-vent, Fase 1A – Differenstryk og vind, /11/*. Gennem projektet er der lavet omfattende undersøgelser på flere ejendomme, som alle er præsenteret i denne rapport for at dokumentere det samlede projekt. Den afsluttende dokumentation er derfor relativt omfattende.

Rapporten er derfor udarbejdet, så den kan læses i sin helhed, men kan også læses ved nedslag i enkeltafsnit.

### 2.1 Hvordan du bedst opnår god viden

Ønsker du alene et overblik over, hvad der er gennemført af undersøgelser, indblik i overordnede resultater og konklusioner samt projektets perspektivering, foreslås det, at læsningen fokuseres på Forord (kapitel 1) samt Resume og perspektivering (kapitel 3). Hvis du ønsker lidt mere viden om resultatet af de enkelte undersøgelser, læses også Opsamling af undersøgelsesresultater (kapitel 11) og Konklusion (kapitel 12). Og endeligt, er du en af dem der ønsker indgående indblik i de gennemførte studier og undersøgelser, læses hele eller supplerende dele af rapporten.

God læselyst!

### 3 Resume og perspektivering

Projektets overordnede formål har været at undersøge muligheden for at udvikle et intelligent styret mekanisk ventilationsanlæg, som simpelt kan reducere radonindholdet i indeluften i eksisterende boliger.

Projektet har været et udviklingsprojekt, og som en del af projektet er de udfordringer undersøgt, der kan være knyttet til at ændre praksis. Et væsentligt delformål i projektet har derfor også været, at vurdere om ændrede trykforhold (svagt overtryk i indeluft) skaber betydende risiko for kritisk fugtdannelse i bygningskonstruktionerne.

Varmetab fra boliger er i dag et stort fokusområde fra henholdsvis boligejere, boligudlejere og myndigheder. Et opmærksomhedspunkt i projektet har derfor været, at den intelligente ventilation *ikke* vil få negative konsekvenser i varmeregnskabet i forhold til en traditionel ventilationsløsning.

#### 3.1 Undersøgelser, testhuse og resultater

Undersøgelsesstrategien er løbende blevet revurderet og tilrettet gennem projektet. I alt har der i perioden fra januar 2017 til april 2019 været gennemført fire separate feltundersøgelserunder. Endvidere har der været en sideløbende teoretisk fase i forhold til bl.a. at vurdere risikoen for om ventilationsløsningen medfører kritisk fugtdannelse i bygningskonstruktionerne. Nedenfor er de fire undersøgelserunder kort beskrevet;

- Testhus i Køge - ubeboet (Hus 1). Målet var her at undersøge, om det var muligt at vende trykgradienten og at se hvilken effekt, det ville have. Forsøget blev gennemført ved at indbygge en ventilator i ydervæggen, som påførte ejendommen et overtryk.

Ved det påførte overtryk på huset lykkedes det at vende trykgradienten over terrændækket, så luftbevægelsen blev ændret fra opadrettet til nedadrettet. Den ændrede trykgradient resulterede i en kraftig reduktion af indholdet af radon (reduktionsfaktor 20-50) og tilsvarende en reduktion af indholdet af chlorerede opløsningsmidler i indeluften (reduktionsfaktor 30-134). Opløsningsmidlerne stammede fra en jordforurening under bygningen. Bygningen stod ubeboet i hele undersøgelsesperioden.

- Bolig i Viborg (Hus 2). Målet var også her at undersøge, om det var muligt at vende trykgradienten og igen se hvilken effekt, det ville have. Huset her var væsentlig mere utæt end hus 1. Samtidig var det et mål at undersøge, i hvilken grad komforten i huset blev påvirket. Der blev også her etableret en ventilator i ydervæggen, som påførte ejendommen et overtryk. Indblæsningen blev i forsøget gennemført på simpel vis uden opvarmning af indblæsningsluften.

Undersøgelserne viste, at det også her var muligt at vende trykgradienten over gulvet – også i en almindelig "brugssituation" for en bolig. Det blev endvidere vist, at overtrykket medførte en betydelig reduktion i indholdet af radon i boligen (reduktionsfaktor ca. 30). Beboerne oplevede i samme periode væsentlige komfortmæssige gener i form af kulde og træk.

- Bolig i Aalborg (Hus 3). Målet var igen at undersøge, om det var muligt at vende trykgradienten og igen se, hvilken effekt det ville have. Huset her var mere utæt end de foregående huse, og det viste sig hurtigt ikke at være



muligt, at gennemføre forsøget uden opvarmning af indblæsningsluften. Forsøget blev derfor gennemført i en ny variant, hvor mulighederne ved anvendelse af et traditionelt mekanisk ventilationsanlæg blev undersøgt.

Undersøgelserne viste, at det ved at påføre boligen *et let overtryk* (indblæsning ca. 20 vol% større end udsugning), var muligt at reducere radonindholdet med en reduktionsfaktor på ca. 8, svarende til at der så blev fjernet ca. 87 % af radonindholdet i indeluften. Samtidig blev effekten af en traditionel indjustering af ventilationsanlægget undersøgt. Ved den *almindelig balanceret mekanisk* ventilation i boligen blev opnået en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor på ca. 5, svarende til at ca. 80% af radon i indeluften blev fjernet ved ventilationen.

- Yderligere 4 boliger (Hus 4-7). Målet var at forsøge at reproducere undersøgelserne gennemført i hus 3, og derved undersøge effekten af varierende indstillinger af en mekanisk ventilation i forskellige huse. Husene her blev derved inddraget som understøttende dataindsamling. I disse huse blev trykdifferencen over gulv af økonomiske grunde dog ikke undersøgt.

Ved at påføre de fire boliger *et let overtryk* (indblæsning ca. 20 vol% større end udsugning) blev radonindholdet reduceret, så der blev fjernet ca. 83-90% af radon i indeluften, svarende til en reduktionsfaktor på ca. 6-10. Til sammenligning blev der ved traditionel mekanisk ventilation opnået en reduktion af radonindholdet med en faktor 4-10, svarende til at der er fjernet ca. 75-90% af radon.

### 3.2 Overordnede konklusioner

De udførte undersøgelser har vist, at det er muligt at ændre trykgradienten over gulvet fra opadrettet til nedadrettet, også selvom en bolig er i normal brugssituation. Den ændrede trykgradient reducerer samtidig radonindholdet i boligen markant. Denne del af projektet var et af hovedstudierne.

Samtidig kan det dog på baggrund af studierne, konkluderes at det formodentlig i størstedelen af den danske eksisterende ældre boligmasse, vil kræve en relativ stor luftmængde at sikre en nedadrettet trykgradient. Dette vil igen medføre et stort varmetab og i en del huse give risiko for fugtdannelse i bygningskonstruktionerne.

Undersøgelserne har endvidere vist, at et traditionelt balanceret mekanisk ventilationsanlæg medfører en betydelig reduktion af radonindholdet i de undersøgte boliger. Effekten øges i mindre grad ved at indstille ventilationsanlægget til et svagt overtryk, hvilket formodentlig primært vil være en fordel i huse med høje radonindhold.

Traditionel balanceret mekanisk ventilation. Som en del af projektet er det undersøgt, hvad effekten er af traditionel balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Sammenfattende indikerer de udførte undersøgelser, at almindeligt balanceret ventilation sandsynligvis ofte vil være tilstrækkelig til at reducere radonindholdet i en stor del af de boliger, som er påvirket af radonindtrængning i niveauer over den anbefalede værdi på 100 Bq/m<sup>3</sup>. Ved de gennemførte undersøgelser ses en reduktion af radon på omkring 80% (75-90%), og derved en nedbringelse af radonkoncentrationen med omkring en faktor 4-5.

Overtryksventilation med balanceret mekanisk ventilation. De udførte undersøgelser har endvidere vist, at overtryksventilation kan reducere

radonindholdet i alle de undersøgte boliger. Ved svagt overtryk reduceres radonindholdet lidt mere end ved traditionel mekanisk balanceret ventilation – her med omkring 85% (83-90%), og nedbringer derved radonkoncentrationen med omkring en faktor 6-8. Det svage overtryk, der er benyttet i projektet, er beskedent og dannet ved en indblæsning, der er ca. 20 vol% større end udsugningen. Undersøgelserne viste også, at det traditionelle ventilationsanlæg har flere væsentlige begrænsninger, hvis man ønsker at indjustere det til overtryksventilation (f. eks. driftsudfald pga. underafkøling af varmelegeme).

Da projektet der i projektet har været mange udviklingselementer, har det ikke været muligt samtidig at opnå et stort statistisk materiale. Det er derfor vigtigt at bemærke, at ovenstående konklusioner alene baserer sig på få undersøgelses-huse. Hvor og hvordan datagrundlaget anbefales styrket, er beskrevet i afsnit om perspektivering.

Vurdering af fugtrisiko. Løbende gennem projektet er der lavet undersøgelser for at vurdere risikoen for, at de undersøgte ventilationsløsninger øger risikoen for fugtskader i boligerne.

Når der etableres et almindeligt balanceret mekanisk ventilationsanlæg, fjernes en stor del af den fugt, der genereres i boligen. Risikoen for fugtskader nedsættes derved. Risikoen for at der sker betydende fugtspredning, når et mekanisk ventilationsanlæg benyttes til overtryksventilation, falder dermed kraftigt, men er dog ikke 100% elimineret. Risikoen begrænses endvidere, ved at det nødvendige overtryk er meget begrænset og næsten på størrelse med den usikkerhed, der i forvejen er knyttet til indregulering af mekanisk balanceret ventilation.

Indledende forsøg i de undersøgte boliger har ikke vist tegn på fugtproblemer når boligerne påføres overtryk.

Overvejes overtryksventilation som middel til at øge effekten i tiltag hvor radonindholdet i indeluften ønskes reduceret, bør det, trods ovenstående, ske efter grundig overvejelse i forhold til risikoen for afsætning af fugt i de konkrete bygningskonstruktionerne og tilsvarende risiko for efterfølgende mulig skimmeldannelse.

Løsningen med overtryksventilation vurderes derfor kun at være relevant at overveje, hvis radonindholdet i indeluften er højt.

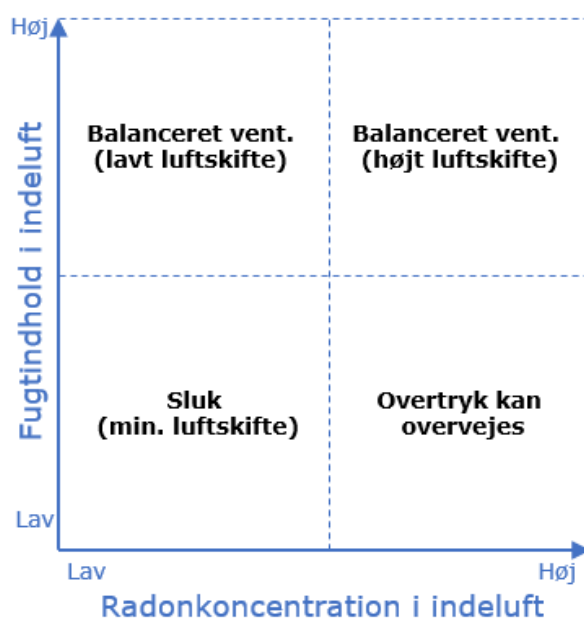
### 3.3 Valg af ventilationsform

I forhold til en eventuel fremtidig ny praksis for, hvornår der vælges ventilationsløsning, er der udarbejdet nedenstående simple figur. Figuren illustrerer forskellige mulige ventilationsløsninger, og hvordan disse umiddelbart anbefales bragt i anvendelse under forskellige vilkår (radonindhold, fugtindhold i indeluften/fugtfølsomme konstruktioner). Som nævnt ovenfor, vurderes det fordelagtigt at supplerer studierne for at styrke det statistiske grundlag. Anbefalingerne i figuren nedenfor skal derfor betragtes som foreløbige anbefalinger.

Figur 3.1: Mulige ventilationsløsninger ved mekanisk ventilation afhængig af indholdet af hhv. radon og fugt i indeluften.

Ved lavt radonindhold i indeluften kan anlægget reguleres til lavt luftskifte eller evt. slukkes helt afhængig af, om der er fugt i indeluften. Ved fugtig indeluft bør der fortsat ventileres (nødvendigt i boliger).

Ved højt radonindhold i indeluften kan anlægget reguleres til højt luftskifte eller evt. overtryk afhængig af, om der er fugt i indeluften. Ved fugtig indeluft og fugtfølsomme konstruktioner frarådes det at lave overtryk.



### 3.4 Perspektivering

Der påvises positive resultater i forhold til reduktion af radonindholdet ved både overtryksventilation og traditionel mekanisk ventilation. Overtryksventilation vil formodentlig typisk komme på tale i bygninger med særligt høje radonindhold.

Undersøgelserne har vist, at et traditionelt balanceret mekanisk ventilationsanlæg medfører en betydelig reduktion af radonindholdet i de undersøgte boliger, og effekten øges en smule ved at indstille ventilationsanlægget til et svagt overtryk. I efterfølgende afsnit er diskuteret og perspektiveret over uafklarede emner eller nye emner, der anbefales afklaret som understøttende viden for projektet.

#### 3.4.1 Overtryksventilation (projektets hovedformål)

Effekt af overtryk. Det påvises i projektet muligt at ændre trykgradienten over terrændækket, og der påvises indikationer på, at effekten øges ved overtryksventilation (svagt overtryk) når der sammenlignes med effekten ved almindelig balanceret ventilation.

Konklusionerne er dog behæftet med usikkerhed, bl.a. da radonindtrængningen i de undersøgte huse er varierende over tid, og det i forhold til projektets tidsplan kun har været muligt at lave undersøgelser i en begrænset tidsperiode. Variationerne i radonindtrængningen skyldes forhold som f.eks. variationer i de atmosfæriske forhold, temperaturvariationer ude samt variationer i brugeradfærd. Med et samtidigt svagt statistisk materiale, bliver resultaterne ved sammenligning uundgåeligt behæftet med usikkerhed. Herudover er radonindholdet desværre relativt lavt i samtlige testhuse (67 - 197 Bq/m<sup>3</sup> som gennemsnitsmålinger i normalsituationen). Materialet vurderes relativt simpelt at kunne styrkes ved undersøgelser i flere huse med enkelt undersøgelsesomfang, i stil med det der er gennemført i den afsluttende undersøgelsesrunde (hus 4-7).

Overtryk og fugt. I de boliger, hvor radonindholdet er for højt til, at balanceret ventilation kan reducere indholdet tilstrækkeligt, kan det overvejes at påføre et let overtryk. Hvis overtryksventilation overvejes i forhold til at fjerne radon fra indeluften, skal der forud gennemføres en vurdering af opfugtningsrisikoen. Herunder vurderes, *hvor i bygningskonstruktionerne* der specifikt er risiko for afsætning af fugt og efterfølgende mulig skimmeldannelse.

De gennemførte studier indikerer, at det i en del situationer formentligt kun vil være nødvendigt at etablere overtryk i en begrænset del af driftsperioden, for at nedbringe radonindholdet. Også denne del af studierne kan med fordel styrkes ved inddragelse af flere huse i en supplerende undersøgelsesrunde. Målingerne i Aalborg vil sandsynligvis være repræsentative for en lang række boliger i Danmark fra samme byggeperiode. Målingerne her har vist et tydeligt fald i fugtniveauet, når perioder *uden ventilation* sammenlignes med perioder *med ventilation*. I perioder med overtryk i dette hus vurderes der ikke at være nogen fugtrisiko, da disse perioder er begrænsede i tid (lille del af driftsperioden), og da fugtindholdet i indeluften er lavt på grund af den mekaniske ventilation. Disse forhold skal dog granskes fra projekt til projekt for ikke at generere fugtrisici. I dette projekt er det netop erkendt, at modellering, laboratorieforsøg og lignende på dette område er vanskelige at inddrage til generelt brug.

#### 3.4.2 Mekanisk balanceret ventilation

De udførte undersøgelser har i de undersøgte huse vist, at almindelig balanceret ventilation her medfører en betydelig reduktion af radonindholdet i indeluften. På baggrund af dette vurderes det umiddelbart, at problemet med forhøjet

radonindhold i indeluften sandsynligvis vil kunne afhjælpes i rigtig mange boliger ved etablering af balanceret mekanisk ventilation.

Det er dog væsentligt samtidig at påpege, at det statistiske grundlag i undersøgelse er meget begrænset og derved for spinkelt til, at der drages en endelig éntydig konklusion af, hvor stor en del af radonindholdet der kan fjernes ved blot at øge luftskiftet i en bolig ved etablering af mekanisk balanceret ventilation. Undersøgelsen af effekten ved at etablere balanceret ventilation, har alene været en sekundær del af de gennemførte studier.

De gennemførte studier vurderes dog relativt let at kunne suppleres med understøttende data, såfremt der ønskes større sikkerhed for resultaternes gyldighed. Samtidig skal det bemærkes, at alle radonlogninger i dette projekt er gennemført i boliger med begrænset radonindhold i normalsituationen (uden ventilation).

### 3.4.3 Nødvendigt luftskifte

Ud fra de gennemførte undersøgelser ses det, at øget luftskifte har stor og gavnlig effekt på nedbringelse af radonkoncentrationen i indeluften. Det er dog ikke muligt, at give et bud på det resulterende radonindhold i boligerne ved *forskellige luftskifter* og dermed give et bud på, om sammenhæng mellem luftskifte og radonindhold i praksis følger den teoretiske sammenhæng (omvendt proportional) beskrevet i afsnit 7.5.2. Det vides, at der er en sammenhæng, men hvor stor betydning ændringer i luftskiftet har i forhold til ændringer i differenstrykket, er uklart. Viden om dette forhold er interessant, hvis det nærmere skal vurderes, om der for en konkret ejendom opnås størst effekt ved at øge luftskiftet eller ved at påføre et let overtryk.

På baggrund af de i projektet gennemførte undersøgelser er der opnået viden om radonindholdet i indeluften ved normalsituationen samt ved den valgte ventilationsydelse. F.eks. er der i Aalborg lavet forsøg ved et beregnet luftskifte på  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Luftskiftet i normalsituationen i Aalborg blev målt til  $0,03\text{-}0,12 \text{ h}^{-1}$ . Undersøgelserne i Aalborg viste således, at radonkoncentrationen i indeluften reduceres med ca. 80% ved at øge luftskiftet ved mekanisk ventilation til  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Det er ikke undersøgt, hvordan radonindholdet reduceres, hvis luftskiftet i stedet havde heddet  $0,4 \text{ h}^{-1}$  eller  $0,8 \text{ h}^{-1}$ .

Der savnes viden om effekten af forskellige luftskifter på radonindholdet i indeluften. Det vurderes sandsynligt, at en større reduktion af radonindholdet ville kunne opnås, hvis luftskiftet i en bolig øges ved mekanisk balanceret ventilation fra  $0,6 \text{ h}^{-1}$  (som ventilationsanlæggene typisk indreguleres til i dag) til f.eks.  $0,8$  eller  $1,0 \text{ h}^{-1}$ . I boliger med høje radonindhold, som måske ikke kan nedbringes ved balanceret ventilation indstillet til  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , vil et øget luftskifte måske være løsningen, hvis ikke der kan etableres en overtryksløsning. Problemstillingen her er naturligvis, at et øget luftskifte vil betyde øget energiforbrug og øget varmetab. Tilsvarende vil boliger med moderate radonkoncentrationer sandsynligvis kunne afhjælpes ved lavere luftskifter.

Med baggrund i ovenstående ville det således være interessant at styrke viden om, hvorvidt høje radonkoncentrationer kan nedbringes ved højere luftskifter, og omvendt om lavere luftskifter end de traditionelle tilsvarende kan være tilstrækkeligt ved mere moderate radonkoncentrationer.

### 3.4.4 Transport fra jord mod indeklima (flux)

Undersøgelser gennemført i dette projekt har ikke omfattet en specifik undersøgelse af transporten af radon til indeklimaet. Ved alle udførte undersøgelser er der

skabt et øget luftskifte i bygningerne. Der er således ikke lavet forsøg, som alene har ændret trykgradienten over gulvet uden at ændre luftskiftet. Det er derfor ikke muligt, på baggrund af de udførte undersøgelser, at sige noget om effekten af ændret flux på radonindholdet i indeluften.

Derimod er det på baggrund af undersøgelserne muligt at give et bud på reduktionen af radon i indeluften ved øget luftskifte i boligerne.

#### 3.4.5 Radonlogning som styringsmekanisme

Den intelligente styring af ventilationsanlæg kan evt. udbygges ved at indbygge en radonsensor i udsugningsrøret inden ventilatoren. Dette er ikke undersøgt i dette projekt, men kan med fordel undersøges nærmere.

Ved at supplere den typiske fugtstyrede mekaniske ventilation med radonlogning, vil ventilationsanlæggets luftskifte efter behov øges eller justeres til let overtryk, afhængig af hvad der har vist sig at være bedste løsning i den enkelte bolig. Så snart radonindholdet aftager i udsugningsluften, nedjusteres anlægget til normal drift.

## 4 Indledning

Radon trænger naturligt ind i bygninger fra undergrunden, og forventeligt er der for høje koncentrationer i ca. 350.000 danske boliger /7/. Påvirkning med radon kan have helbredsmæssig påvirkning, og radon anslås at forårsage ca. 300 dødsfald om året i Danmark. Der mangler tilgængelige og billige løsninger på problemet, og det primære formål med projektet har derfor været, at udvikle en intelligentstyret ventilationsløsning, som simpelt kan medvirke til at nedbringe radonindholdet i boliger.

Projektet har haft fokus på ventilationsløsninger inde i boligerne, og skal derfor betragtes som en mulig radonafværgeløsning på tilsvarende vis som afskærende løsninger som f.eks. radonsug under gulve eller udlægning af radonmembraner og lign.

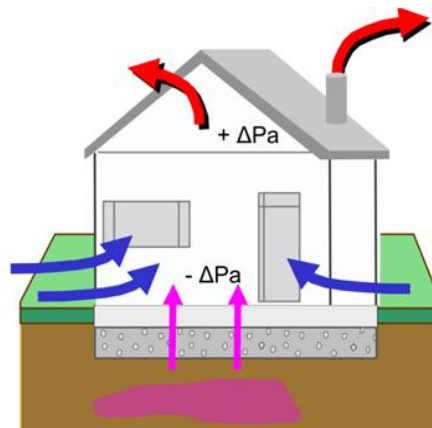
### 4.1 Baggrund

Radon er en radioaktiv gas, som findes naturligt i undergrunden i hele Danmark og mange andre steder i verden. Mængden af radon i undergrunden afhænger af jordtypen. Fra jordluften (også kaldet poreluften) trænger radon ind i bygninger via utætheder i terrændæk eller rørgennemføringer og påvirker derved indeklimaet. Da radon er naturligt forekommende og frigives konstant, bliver mængder, der strømmer op mod eventuelt overliggende bygninger, ikke mindre med tiden. For at mindske eksponeringen er det derfor nødvendigt med enten naturlig, regelmæssig udluftning og/eller byggetekniske tiltag.

Nordeuropæiske boliger projekteres ud fra, at der generelt skal være undertryk i indeklimaet i forhold til trykket uden for boligen. Herved bliver der også undertryk i forhold til jordluften under boligen. Undertrykket er et bevidst byggeteknisk ønske, idet det herved undgås, at varm, fugtig indeluft presses ud i boligens konstruktion, hvorved der opstår risiko for råddannelse.

Det svage undertryk i boliger dannes naturligt ved, at opvarmet luft stiger opad og danner undertryk. På grund af undertrykket opstår der imidlertid en opadrettet trykgradient (luftstrømning) over terrændækket i størstedelen af tiden, og derved "suges" den radonholdige poreluft ind i boligen via smårevner og sprækker i gulve og vægge. Denne "indsugning" er vist på figur 3.1.

Figur 4.1: Principskitse af trykforhold omkring en bygning, der illustrerer, hvordan der skabes en opadrettet gradient over terrændækket.



De sidste 10-20 år er der foretaget en betydelig indsats for at tætne klimaskærmen (ydervægge, vinduer, tag mv.) i den ældre boligmasse. Tætningen kan

indebære, at undertrykket i boligen bliver forstærket. Samtidig reduceres det "naturlige" luftskifte gennem utætheder i klimaskærmen, hvilket netop er et af formålene med klimaskærmen.

Bagsiden er, at luftskiftet i mange boliger som et resultat heraf efterfølgende ligger langt under det anbefalede luftskifte på ca. 0,5 gang i timen ( $h^{-1}$ ). Samlet set medfører dette, at koncentrationen af radon og flygtige stoffer vil blive højere i indeklimaet. Endvidere er der risiko for øget luftfugtighed og partikeltæthed på grund af det lavere luftskifte.

Den opadrettede trykgradient over terrændæk er endvidere den primære drivkraft, der medfører indtrængning af radon (og andre flygtige forbindelser) til boligen fra jorden under boligen. Ved en styring af trykgradienten over gulvet kan indtrængning af radon og flygtige forureninger derfor reduceres væsentligt.

## 4.2 Projektets grundidé

Grundidéen for projektet med intelligent ventilation var fra starten bl.a. at udnytte viden om vindforhold til at klarlægge zoner med hhv. overtryk og undertryk omkring en bygning og dernæst at udnytte bl.a. denne viden til at sikre et lidt højere tryk i indeklimaet og ad den vej minimere indtrængningen af radon fra undergrunden.

Den oprindelige tanke var, at ventilationen skulle ske ved styret *naturlig* ventilation. Forstudier, som er beskrevet i denne rapport, har dog efterfølgende vist, at vindforhold og trykzoner omkring en bygning er yderst komplekse og varierer fra bygning til bygning. Alt dette gør, at en styring på baggrund af disse parametre vil være meget kompleks. Ydermere da forholdene ændres konstant og over kort tid. Projektet har derfor ændret fokus til at undersøge, om det er muligt at reducere radonindtrængningen ved en intelligent styret *mekanisk* ventilation.

For at gøre det muligt at etablere en intelligent mekanisk ventilationsløsning er det centralt at have et klart billede af de trykforhold, der typisk eksisterer over terrændækket skabt ved diverse påvirkninger (vind, temperatur, atmosfæretryk, brugeradfærd osv.). Denne del har derfor også været et fokus i projektet.

Og endeligt - varmetab fra boliger er ikke blevet et mindre fokusområde fra henholdsvis boligejere, boligudlejere og myndigheder. Et opmærksomhedspunkt i projektet har derfor også været, om den intelligente ventilation samtidig kunne medvirke til et reduceret varmetab i forbindelse med ventilationen – eller blot som minimum have fokus på, at nye måder ventilere på *ikke* ville få negative konsekvenser i varmeregnskabet.

Projektets endelige formål er beskrevet nedenfor.

## 4.3 Projektets overordnede formål

Projektets overordnede formål har været at undersøge muligheden for at udvikle et intelligent styret mekanisk ventilationsanlæg, som simpelt kan reducere radonindholdet i indeluften i boliger.

Projektet er et udviklingsprojekt, og som en del af projektet undersøges de udfordringer, der kan være knyttet til at ændre praksis. Et delformål med projektet har derfor også været at vurdere, om ændrede trykforhold skaber betydende risiko for kritisk fugtdannelse i bygningskonstruktionerne.



Projektet er overordnet opdelt i en afklarende fase og eventuelt en udviklingsfase, hvor denne rapport beskriver resultaterne fra den afklarende fase. Udviklingsfasen igangsættes først, hvis den afklarende fase bekræfter, at der er grundlag for at gå videre med projektet, herunder om projektideen ved implementering kan resultere i byggetekniske risici.

Nedenfor er de overordnede delformål for de to projektfaser skitseret;

*Afklarende fase / undersøgelsesfasen (denne fase)*

Formålet med den afklarende fase har været at gennemføre nødvendige forundersøgelser for afdækning af ventilations-, fugt- og bygningsfysiske forhold samt grundlæggende at få afdækket, om den foreslåede løsning er gangbar.

*Eventuel udviklingsfase*

Formålet med en evt. udviklingsfase er at udvikle, konstruere, teste og demonstrere et intelligent styret mekanisk balanceret ventilationsanlæg. Anlægget skal kunne skabe et neutralt eller let nedadrettet differenstryk over terrændækket og derved et anlæg, der minimerer indtrængningen af radon til indeklimaet. Beslutning om, hvorvidt udviklingsfasen skal igangsættes, træffes først efter afslutningen af denne projekt.

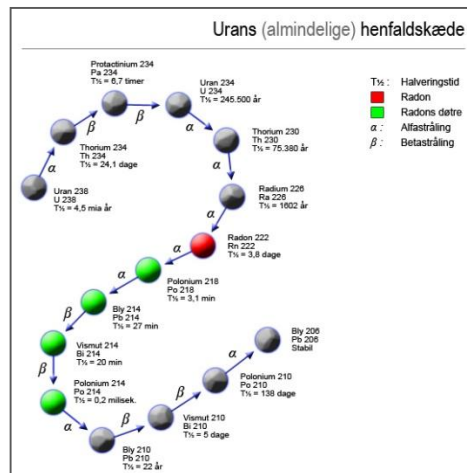
## 5 Indtrængning af radon i bygninger

### 5.1 Lidt om radon og lovkrav

Radon er en radioaktiv og kræftfremkaldende gasart, der findes i alle boliger.

Radon stammer fra det uran, der er naturligt forekommende i almindelig jord og mange byggematerialer. Da uran er ustabil, henfalder det og danner bl.a. luftarten radon jf. nedenstående Figur 5.1. I urans henfaldskæde er radon det eneste stof, der er en luftart.

Figur 5.1: Viser henfald af uran, som blandt andet bliver til radon. Til højre er en faktaboks om radon.



Faktaboks om radon:

Naturligt forekommende luftart (ædelgas)

Betegnes  $^{222}\text{Rn}$

Halveringstid,  $T_{1/2}$ : 3,8 døgn

Kræftfremkaldende

Indtrængning af radon fra undergrunden til indeklimaet udgør en betydelig sundhedsmæssig risiko og dermed en væsentlig samfundsmæssig udfordring i det byggede miljø.

Radon i boliger vurderes at være skyld i ca. 300 dødsfald om året i Danmark. I EU vurderes radon at være skyld i ca. 21.000 dødsfald om året. Ca. 350.000 danske boliger vurderes at have radonkoncentrationer over  $100 \text{ Bq/m}^3$ , hvor bygningsreglementet anbefaler afhjælpning. Private boligejere skal selv etablere radonforanstaltninger, men mangler ofte effektive og billige løsninger for at komme påvirkningen til livs. Det vurderes derfor samfundsmæssigt værdiskabende at udvikle nye, simple metoder til afhjælpning af radonindtrængningen i bygninger.

Siden 1998 har der været krav i Bygningsreglementet om, at nybyggeri skal radonsikres. I 2010 blev der desuden indført krav om, at radonniveauet i nybyggeri ikke må overstige  $100 \text{ Bq/m}^3$  /13/.

I forhold til allerede eksisterende byggeri anbefales det, at radonniveauet ikke bliver højere end  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Hvis radonniveauet er mellem  $100\text{-}200 \text{ Bq/m}^3$ , anbefales det at gennemføre mindre tiltag for at nedbringe niveauet af radon. Hvis radonniveauet er over  $200 \text{ Bq/m}^3$ , bør der overvejes effektive tiltag og forbedringer for at nedbringe niveauet. /13/

I udeluften er radonniveauet ca.  $5 \text{ Bq/m}^3$ . /1/

## 5.2 Radonindtrængning til indeklima

Herunder gives en kort introduktion til, hvilke parametre der overordnet er styrende for indtrængningen af radon til vores boliger.

Overordnet kan siges, at koncentrationen af radon i indeklimaet er baseret på tre forskellige parametre, der hver især styres af forskellige kræfter, /1/:

- Transporten af poreluft (jordluft) til indeklimaet (fluxen).
- Radonkoncentrationen i den indtrængende poreluft.
- Luftsiftet i indeklimaet.

Da flere samtidige faktorer er bestemmende for den endelige radonkoncentration, er hverken alene høj transport, høj radonkoncentration i undergrunden eller lavt luftskifte afgørende for en resulterende høj radonkoncentration.

### Transporten af poreluft til indeklimaet

Transporten af poreluft til indeklimaet er bestemmende for, hvor stor en luftstrøm der foregår fra jorden under en bygning til indeklimaet. Den er ikke betydende for radonkoncentrationen i luften, men for, hvor meget luft der kommer ind til indeklimaet fra jorden. Radon bevæger sig ved hjælp af en såkaldt bæregas (poreluft).

I danske boliger er der ofte et svagt undertryk i indeklimaet i forhold til trykket i udeluften, og derved også i forhold til poreluften (jordluften) under boligen. Dette giver anledning til, at der opstår et opadrettet differensterik over terrændækket, hvorved radon "suges" ind i bygningen fra den underliggende poreluft.

Indholdet af radon i indeklimaet varierer som følge af variationen i differensterikket over terrændækket, idet differensterikket er bestemmende for transporten til indeklimaet. En stigning i differensterikket (forudsat at det er opadrettet) vil typisk medføre en stigning i indholdet af radon i indeluften (såfremt der er radon i jordluften under bygningen) - og omvendt for et faldende differensterik.

Det vurderes, at diffusion af radon gennem bygningsmaterialer er ubetydelig ift. den direkte trykdrevne indtrængning af radonholdig poreluft til indeklimaet.

Hvilke faktorer der påvirker transporten til indeklimaet og derved er drivkræfter, er undersøgt som en del af projektet og er nærmere beskrevet bl.a. i kapitel 7 (teori og konceptuel forståelse) og kapitel 10 (undersøgelser). Undersøgelsesresultaterne er endvidere sammenfattet i kapitel 11.

### Radonkoncentrationen i den indtrængende poreluft

Radonkoncentrationen i poreluften er bestemt af de geologiske forhold på grunden. Jo højere mængder uran, der forekommer i jordarten under en given bygning, jo større er potentialet for en højere radonkoncentration i den poreluft, der trænger ind. Og jo højere radonkoncentrationen er i poreluften, jo højere vil koncentrationen typisk blive i indeklimaet.

### Luftsiftet i indeklimaet

Ventilationen af den indendørs luft, altså luftsiftet, er primært bestemt af beboernes adfærd jf. /7/. Jo højere luftskifte, desto lavere vil radonkoncentrationen typisk være. Dette grundet fortynding med radonfattig udeluft.

## 6 Tidligere studier

I tilknytning til projektet eller med relevans til projektet er der tidligere gennemført og afsluttet en række forstudier, som alle er beskrevet kort nedenfor.

### 6.1 Behovsstyret ventilation til enfamiliehuse

Udført af DTU Byg, Institut for Byggeri og Anlæg, 2009 /2/.

I dette projekt blev muligheden for behovsstyring af luftskiftet i en-familiebolig undersøgt ved praktisk afprøvning af to forskellige strategier:

1. *Simpel regulering:* Luftudskiftningen varierer ensartet for alle rum, svarende til et gennemsnitligt luftskifte for hele boligen på enten 0,1 l/s pr. m<sup>2</sup> eller 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup>. Variationen i luftskifte styres af centrale ventilationsaggregatsensorer (relativ luftfugtighed, temperatur og CO<sub>2</sub>), placeret i udsugningsluften og udeluften. Reguleringen foretages på baggrund af CO<sub>2</sub>-koncentration og absolut fugtighed i både indblæsnings- og udsugningsluft.
2. *Avanceret regulering:* Luftskiftningen varierer dynamisk for alle rum, svarende til et gennemsnitligt luftskifte for hele boligen i intervallet fra 0,1 l/s pr. m<sup>2</sup> til 0,35 l/s pr. m<sup>2</sup>. Variationen i luftskifte for de enkelte opholdsrum styres af CO<sub>2</sub>-sensorer, placeret i hvert opholdsrum og reguleringsspjæld i indblæsningssystemets tilslutningskanaler.

Konklusionen på dette projekt var, at den avancerede regulering giver mulighed for større energibesparelser end den simple regulering, da det samlede luftskifte i boligen reduceres. Selvom de to forskellige strategier er implementeret og afprøvet i boligen over længere tid, kan imidlertid kun den simple regulering anbefales, da den sikrer, at luftkvaliteten i boligen er stort set den samme som ved en konstant ventilation.

### 6.2 Metode research ift. neutralt tryk/let overtryk i boliger

Udført af NIRAS for Region Midtjylland, afsluttet april 2015 /3/.

Formålet var at undersøge, om der allerede fandtes tekniske løsninger til styring af ventilation af boliger med henblik på at opnå et neutralt tryk eller et let overtryk i boligen i forhold til trykket under terrændækket.

Konklusionen af erfaringsopsamlingen var, at der ikke fandtes eksisterende løsninger til styring af ventilation af boliger med henblik på at opnå et neutralt tryk eller et let overtryk i boligen i forhold til trykket under gulvet.

### 6.3 Vindpåvirkning af og trykforhold i et hus

Udført af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet for Region Midtjylland, afsluttet april 2015 /4/.

Formålet var at undersøge, hvor store differenstryk der dannes omkring et hus ved givne vindpåvirkninger, hvor ofte de dannes, og om disse trykforskelle har en størrelse, der gør det muligt at anvende dem til at øge luftrykket i huset ved en intelligent styring af ventiler i husets klimaskærm.

Konklusionen af litteraturstudie og modelberegninger var, at vindpåvirkning af et hus giver differenstryk omkring huset, der ved en intelligent styring af åbning af

ventiler kan øge lufttrykket (i retning mod et overtryk) i huset og øge luftskiftet i huset.

I projektet gøres opmærksom på, at der kan optræde høje luftskifter i huset, såfremt ventilernes åbningsgrad ikke styres meget nøje, og dette kan have indflydelse på komfort og energiforbrug. Der blev desuden gjort opmærksom på, at det generelt frarådes at påføre en bygning overtryk (inde i forhold til ude), idet dette indebærer risiko for, at fugtig indeluft trænger ud i husets konstruktion.

## 6.4 Måling af differenstryk ved indeklimaundersøgelser

Udført af NIRAS for Region Hovedstaden, afsluttet november 2016 /5/.

Formålet var at belyse, hvilke forhold der har indvirkning på differenstrykket over gulvkonstruktionen og om muligt fastlægge en velegnet procedure til fremtidige målinger af differenstryk over gulv i forbindelse med indeklimaundersøgelser på forurenede lokaliteter.

Konklusionen af feltmålingerne viste, at temperaturforskellen mellem ude- og indeluften udgjorde den mest betydende faktor i forhold til de målte variationer i differenstrykket. Betydningen af vindpåvirkning kunne ikke afklares på grund af testlokalitetens beskaffenhed.

Projektet indeholdt endvidere anbefalinger ift., hvilke relaterede parametre det var hensigtsmæssigt at måle samtidigt med differenstrykkene. Dette for at opnå den bedste forståelse for differenstrykkenes variation.

## 6.5 Tæthed af klimaskærmen i eksisterende boliger

Udført af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København for Videncenter for energibesparelser i bygninger, afsluttet juni 2016 /6/.

Formålet var at skaffe viden om 20 eksisterende boligers tæthed og sammenholde denne med målinger af samme boligers gennemsnitlige luftskifte (boliger uden mekanisk ventilation).

Klimaskærmens tæthed blev målt til at være i intervallet 1,1-5,8 l/s pr. m<sup>2</sup>, og udelufttilførslen blev målt i intervallet 0,09-0,28 l/s pr. m<sup>2</sup> (gennemsnit på 0,18 l/s pr. m<sup>2</sup>). Grafer med resultater fremgår af Figur 7.4 og Figur 7.5 i afsnit 7.5. Der blev ikke fundet sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførslen.

## 6.6 Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse

Udført af Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet for Trafik- og byggestyrelsen, afsluttet maj 2017 /7/.

Formålet var at bestemme klimaskærmens tæthed i 20 eksisterende boliger. Tætheden er særligt relevant for boliger, hvor der kan være ønske om etablering af mekanisk ventilation, men for at udnytte effekten af varmegenvinding kræves en tæt klimaskærm. Målingerne af klimaskærmens tæthed blev suppleret med målinger af ventilationen i 10 af boligerne for at undersøge, om der var sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførslen.

Klimaskærmens tæthed blev målt til at være i intervallet 1,1-7,8 l/s pr. m<sup>2</sup>, og udelufttilførslen blev målt i intervallet 0,12-0,54 l/s pr. m<sup>2</sup> (gennemsnit på 0,31 l/s

pr. m<sup>2</sup>). Grafer med resultater fremgår af Figur 7.4 og Figur 7.5 i afsnit 7.5. Der blev ikke fundet sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførslen, og udelufttilførslen vurderedes at være påvirket af varmt vejr i undersøgelsesperioden.

Resultaterne viste særligt utætheder ved husene fra før 1960'erne og starten af 1970'erne inden energikrisen, hvor det gik stærkt i byggeriet. Utæthederne sås bl.a. ved gennembrydning af elinstallationer, radiatorrør, skorstene samt ved vinduer og døre. Ved lofter blev der desuden fundet utætheder mellem loft og vægge.

Resultaterne af tæthedsprøvningserne udgjorde ikke et tilstrækkeligt stort datagrundlag til, at det var muligt at generalisere med hensyn til klimaskærmens tæthed i boliger med lignende bygningstypologier. Det vurderedes dog alligevel, at denne undersøgelse kan udgøre et af flere bidrag til at foretage vurdering af de eksisterende bygningers tæthed.

På baggrund af de samlede resultater fra /6/ og /7/ blev det vurderet, at udelufttilførslen i naturligt ventilerede enfamiliehuse primært er styret af beboernes adfærd.

## 6.7 Differenstryk, erfaringsopsamling

Udført af Region Midtjylland, ikke offentliggjort, maj 20017 (vedlagt i bilag 6).

Region Midtjylland har gennemført en række tests af brug af Blowerdoor til bestemmelse af forureningsbidrag fra poreluftforurening og fra interne kilder til indeklimaet i boliger.

På baggrund af de udførte tests vurderes det, at i bygninger med et rimeligt tæt gulv vil et overtryk i huset på 4-5 Pa (differenstryk på 4-5 Pa over klimaskærmen) være tilstrækkelig til at sikre nedadrettet trykgradient over gulvet. Det må forventes, at den nedadrettede trykgradient over gulvet ikke kan opretholdes i mindre områder tæt ved utætheder i gulvet (ved f.eks. rørgennemføringer m.m.).

## 6.8 Forsøg med intelligent styring af afværgelanlæg

Udført af NIRAS for Region Midtjylland, udkast til rapport, september 2019 /8/.

Formålet var at teste måleudstyr til styring af differenstryk over gulv under opretholdelse af et aktivt sug under gulv. Dette sug opretholdes som afværgeforanstaltning over for en uacceptabel forureningspåvirkning af indeklimaet, hvor suget netop skal opretholde et nedadrettet differenstryk over gulvkonstruktionen. Det vurderedes, at denne test, i forhold til indeværende projekt, kan bidrage med viden om, hvordan permanente differenstrykmålinger kan inddrages som en del af styringen af en intelligent ventilation.

Anlæggets drift og effekt har vist sig at være en del påvirket af de meteorologiske forhold. Anlæggets flow ændres løbende og følger ændringer i udetemperaturen, selvom anlægget i en periode har kørt med fast pumpeydelse. Endvidere har det vist sig, at anlægget har meget varierende effekt på differenstrykket over gulvet på hele boligens areal.

Det anbefales på baggrund af undersøgelserne at gå væk fra den traditionelle indstilling med fast pumpeydelse, da det vurderes, at en variabel styring altid vil sikre det ønskede differenstryk således, at der ikke er perioder, hvor der er risiko for en opadrettet trykgradient.

## 7 Luftstrømning (teori/konceptuel forståelse)

I det følgende beskrives den grundlæggende teori, som ligger til grund for projektets udførelse. Desuden gives en konceptuel forståelse af luftstrømninger i og omkring en bygning samt de parametre, der kan påvirke trykforholdene i bygningen.

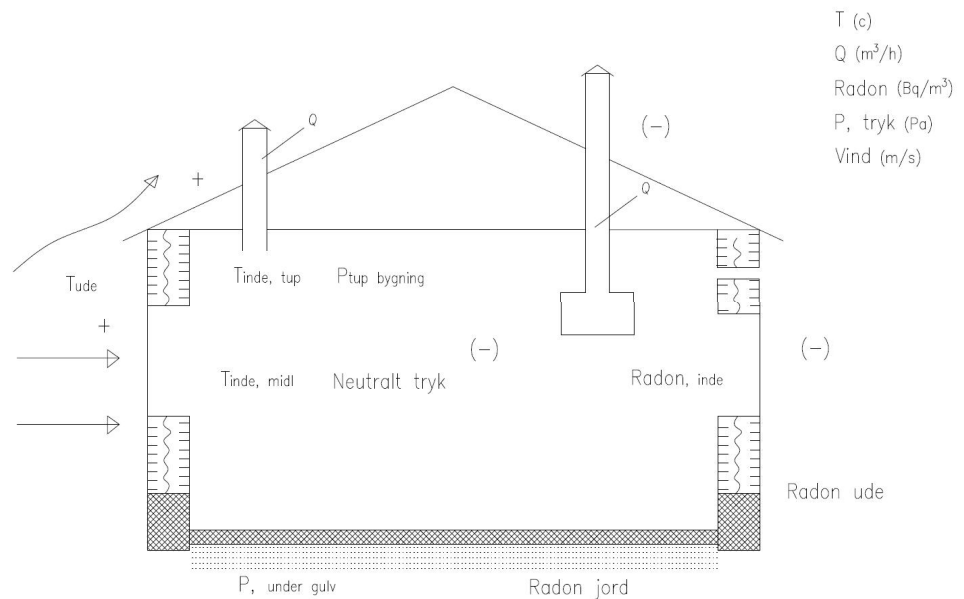
Trykforholdene i en bygning afhænger af en række parametre, herunder bl.a.:

- Atmosfæretryk
- Vind
- Temperatur (inde og ude)
- Klimaskærmens tæthed og luftskiftet i bygningen

Nedenstående figur 7.1 viser en konceptuel model af de parametre, der har indflydelse på trykforholdene i en bygning. Efterfølgende er lavet en definition af differensstrykket, som det anvendes i dette projekt (afsnit 7.1) samt overstående parametre (afsnit 7.2-7.5).

Kapitlet indeholder også en beskrivelse af afklarende undersøgelser gennemført i projektet til fastlæggelse betydende parametre for luftstrømningen, fx bygningernes tæthed.

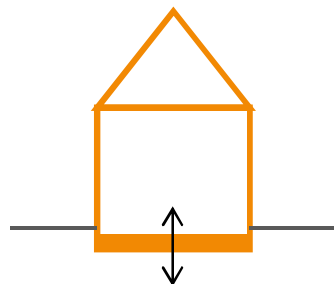
Figur 7.1: Konceptuel model.  
(+) angiver overtryk og (-) angiver neutralt tryk eller undertryk.



## 7.1 Differenstryk

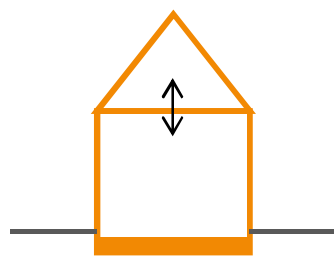
Ved feltstudierne i dette projekt undersøges og arbejdes der med flere forskellige typer af differenstryk. Disse differenstryk beskrives og defineres kort nedenfor.

### Differenstryk over terrændæk/gulv



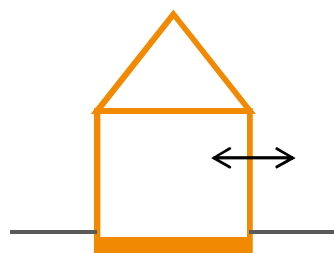
Trykforskellen mellem trykket "umiddelbart under gulvet i bygningen", og trykket "i indeluften umiddelbart over gulvet" betegnes i denne rapport som differenstrykket over terrændækket. Ved positive værdier er trykgradienten opadrettet fra poreluft under gulv mod indeluften, dvs. med overtryk under terrændæk i forhold til indeluften, og omvendt for negative værdier.

### Differenstryk over loft



Trykforskellen mellem trykket "umiddelbart over" og trykket "under loftflade i stueplan" betegnes som differenstryk over loft. Ved positive værdier er trykgradienten nedadrettet mod indeluften, dvs. med overtryk over loftet i forhold til umiddelbart under loftet, og omvendt for negative værdier.

### Differenstryk ude/inde (over klimaskærm)



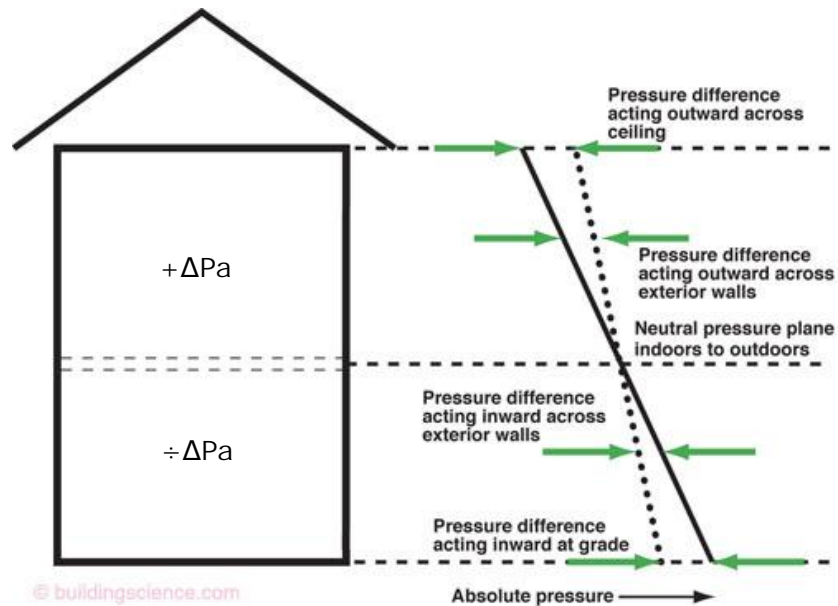
Differenstrykket mellem "ude" og "inde" vil med positive værdier betyde, at der findes et overtryk ude i forhold til inde, og at trykgradienten derved vil være indadrettet mod indeluften i huset, og omvendt for negative værdier.

Om differenstrykket ude/inde er sammenfaldende med differenstrykket over terrændækket, vil afhænge af tætheden af fundamentet og terrændækket. Et tæt fundament og terrændæk vil give en langsommere forplantning af trykændringer omkring bygningen til under bygningen. Er de derimod mere utætte, forventes det, at trykændringer lokalt omkring bygningen hurtigt vil forplantes til under gulv, og dermed forventes der ikke at være betydelig forskel mellem differenstrykket over terrændæk og differenstrykket mellem ude/inde /5/.

Når luften indendørs er varmere end udendørs, er densiteten af luften også mindre indendørs end udendørs. Bevæger man sig opad i et hus, vil trykket blive mindre, ligesom det sker udendørs (da der er mindre luft, jo højere man bevæger sig opad), men dette trykfald opad vil indendørs, grundet den lavere densitet indendørs, være mindre end udendørs, jf. nedenstående figur. 7.2.



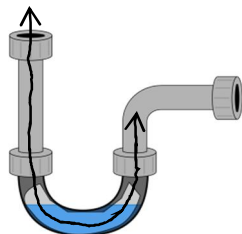
Figur 7.2: Den stiplede linje illustrerer det indendørs trykniveau, mens den sammenhængende linje illustrerer det udendørs trykniveau. /9/



Grundet utætheder og åbninger i et hus vil luft blive suget ind nederst i bygningen og bevæge sig opad som i en skorsten. Der vil skabes et undertryk indendørs i forhold til udendørs (positivt differenstræk) i den nederste del af huset ( $\div \Delta Pa$ ). Dette tryk vil falde, som man bevæger sig opad i huset, men ikke lige så hurtigt som trykket falder udendørs. Ved en vis højde i bygningen vil trykket indendørs derfor være identisk med trykket udendørs. Dette kaldes neutralt trykplan. Bevæger man sig længere opad herfra, vil trykket udendørs være mindre end trykket indendørs (negativt differenstræk), og dette vil bevirke, at luft over det neutrale trykplan vil søge at bevæge sig udad ( $+ \Delta Pa$ ). Det neutrale plans placering i huset afhænger af størrelsen af åbninger og fordelingen af disse i huset /9/.

Jo højere bygning, jo større er den termiske opdrift og dermed trykdifferencerne fra øverst til nederst. I etplanshuse er der således forholdsvis beskedne drivkræfter ved termisk opdrift, og her vil vinden ofte have en mindst lige så stor betydning for det naturlige luftskifte.

#### Differenstræk over kloak



Differenstrækket over kloakken (afløb og bag vandlås i wc) vil med positive værdier betyde en opadrettet gradient fra "kloakken bag vandlåsen" mod "indeluften", dvs. med overtryk i kloakken i forhold til indeluften, og omvendt for negative værdier.

## 7.2 Atmosfæretryk

Det naturlige lufttryk, atomsfæretrykket, varierer på daglig basis på grund af meteorologiske forhold. Ændringer i atmosfæretrykket samt de øvrige meteorologiske

forhold som f.eks. vind vil give en direkte ændring i trykforholdene omkring en bygning.

Teoretisk set kan atmosfæretrykket have en indflydelse på differenstrykket over gulv i bygningen. Stiger atmosfæretrykket, vil der uden for bygningen skabes et midlertidigt overtryk i forhold til indenfor og under gulv i bygningen. Atmosfæretrykket vil forplantes til bygningen og forventeligt forplantes langsommere til under gulv end til indeluften, hvorved der skabes et fald i differenstrykket over terrændækket. Hastigheden, hvormed denne forplantning sker, vil afhænge af revner og sprækker i fundamentet samt terrændækkets sammensætning.

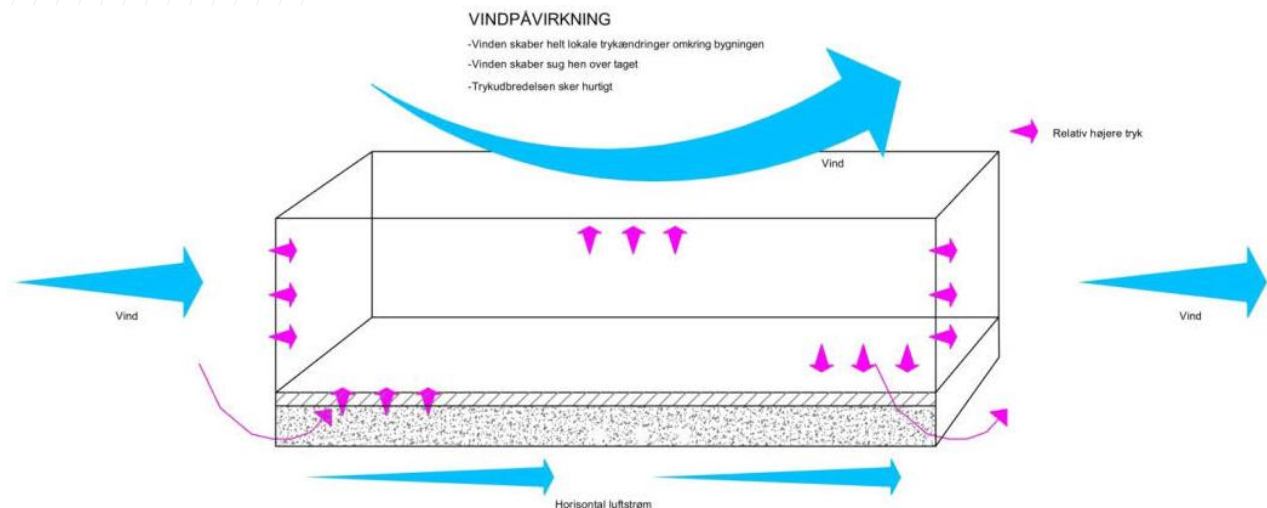
Det forventes, at hurtige ændringer i meteorologiske forhold, som f.eks. vind, vil have stor påvirkning på differenstrykket over gulv, da forplantningen sker hurtigt til indeluften og langsomt til under gulvet, mens ændringer i atmosfæretrykket sker mere langsomt og derfor ikke har betydelig indflydelse på differenstrykket, fordi forplantningen af tryk under gulvet dermed vil kunne følge med forplantningen af trykket i indeluften.

### 7.3 Vind

Vindhastighed og -retning varierer konstant. Når der sker en vindpassage over en bygning, opstår der lokale trykændringer omkring bygningen, som afhængigt af bygningens tæthed vil påvirke lufttrykket inde i bygningen.

Af Figur 7.3 ses den konceptuelle opfattelse af vindens påvirkning af en bygning.

Figur 7.3: Konceptuel opfattelse af vindpåvirkning af en bygning /5/.



Ved bygningens facader opstår der ved vindpassage et vindpres ved luv siden og undertryk ved læsiden, hvilket vil kunne medføre en stigning i differenstryk over gulv ved luv siden og omvendt ved læsiden. Midt i bygningen forventes disse modsatte påvirkninger at udligne hinanden. Det kan ligeledes tænkes, at der kan skabes en trykgradient fra luv- til læsiden af bygningen, der opbygger en horisontal luftstrøm under gulvkonstruktionen. Desuden kan det tænkes, at der kan opstå en horisontal luftstrøm under gulvet som følge af vind. Denne luftstrøm vil være

størst ved utætte fundamenter og ved høj porøsitet eller hulrum under gulvkonstruktionen /5/.

Trykforhold i og omkring bygningen på grund af vind er sædvanligvis væsentligt større end trykforhold på grund af termik.

## 7.4 Temperatur (inde/ude)

Hovedparten af de udførte forsøg har fundet sted i perioden oktober-marts, hvor udetemperaturen forventes at være betydeligt lavere end indetemperaturen i de undersøgte bygninger. Udetemperaturen forventes grundet meteorologiske forhold at svinge, mens indetemperaturen forventes at være mere ensartet, da alle bygninger har været opvarmet i forbindelse med undersøgelserne.

Ved temperaturforskelle mellem udeluften og indeluften opstår der termisk opdrift, der trækker luften opad i bygningen. Temperaturforskellen mellem ude og inde forventes derfor at skabe et positivt differenstryk over terrændækket (opadrettet gradient) og over klimaskærmen (indadrettet gradient). Jo større temperaturforskel mellem ude og inde, jo større gradient /5/.

## 7.5 Klimaskærmens tæthed og luftskiftet i bygningen

Boligens klimaskærm er det, der adskiller ude fra inde. Hvis klimaskærmen er meget utæt, slipper varmen ud, for eksempel omkring vinduer, døre og ved samlinger mellem bygningsdele. Dette medfører varmetab og dårlig komfort (fx trækgener), fordi kold udeluft presses ind gennem klimaskærmen, og varm indeluft suges ud.

En utæt klimaskærm kan endvidere medføre skader på bygningerne, især hvis luften har et højt vandindhold, som dermed kan give fugtophobning i konstruktionerne.

Med henblik på at reducere energibehovet til opvarmning og ventilation af bygninger blev der i 2006 indført krav i byggelovgivning til klimaskærmens tæthed. Kravene gælder alene nybyggeri, og der er således ikke krav til klimaskærmens tæthed i boliger opført før 2006 /7/.

For nybyggeri er kravet jf. bygningsreglementet, at utætheder i klimaskærmen ikke må overstige 1,0 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa /10/. Trykprøvning er nærmere beskrevet i afsnit 7.5.1.

Luftskiftet i en bygning (udlufttilførsel) afhænger af omfanget af den passive (naturlige) og evt. aktive (mekaniske) ventilation af bygningen i kombination med bygningens tæthed. Bygningsreglementet foreskriver et luftskifte på 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> (svarende til et luftskifte på ca. 1/2 gang i timen (ca. 0,5 h<sup>-1</sup>)) i nye huse med ventilationssystemer til styring af udluftningen /10/. I ældre og mindre tætte huse, hvor udluftningen i større grad foregår gennem vinduer, døre og generelle utætheder, er der erfaringsmæssigt et luftskifte på 0,3 h<sup>-1</sup> /1/.

Ved udluftning af bygninger sikres et øget luftskifte og dermed også en ændring af den sammensætning, luften i bygningen har. Ved udskiftning af varm, fugtig luft inde fra bygningerne med kold, tør luft udefra ændres betingelserne for luftstrømning i bygningen.

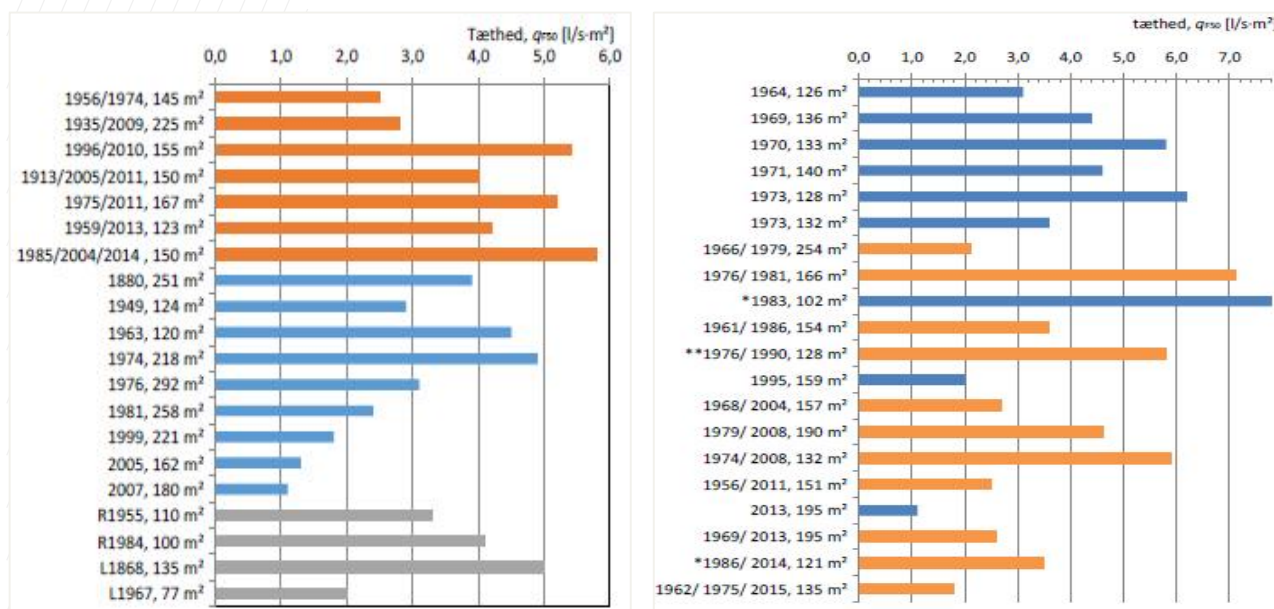
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København har i 2016-2017 lavet undersøgelser i 20 eksisterende enfamiliehuse med målinger af tæthed og udelufttilførsel /6/, /7/. Resultaterne af undersøgelserne fra hhv. 2016 og 2017

fremgår nedenfor af Figur 7.4 for tæthedsprøvninger og af Figur 7.5 for sammenhæng mellem udelufttilførsel og tæthed.

Følgende sammenfattes i de to rapporter:

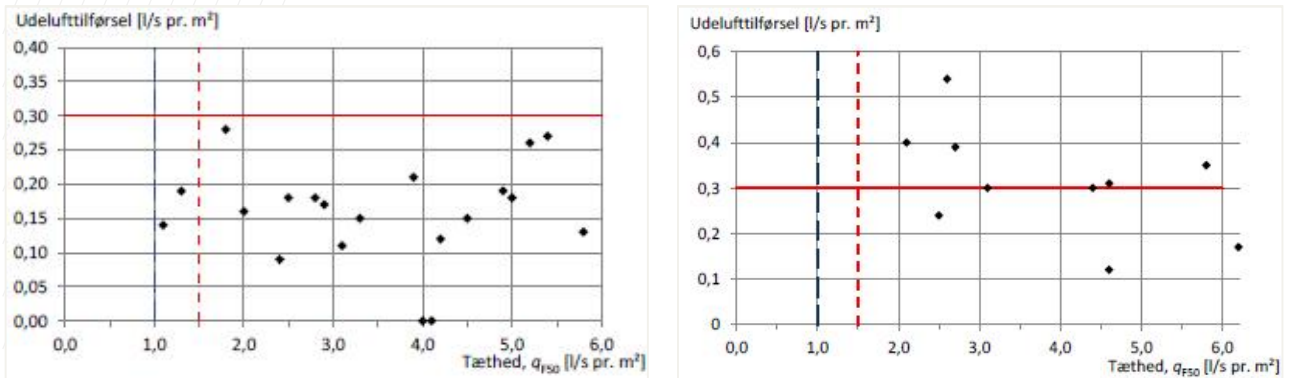
- Klimaskærmens tæthed afhænger navnlig af udførelsen af specifikke samlinger.
- Luftsifte/udlufttilførsel er præget af beboernes adfærd og udetemperaturen.
- Ingen sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførslen.

Figur 7.4: Oversigt over resultater af tæthedsprøvningerne af 20 boliger fra 2016 (til venstre) /6/ og 2017 (til højre) /7/. Farveangivelserne henviser til forskellige typer af boliger.



Af Figur 7.4 fremgår det, at resultaterne viste store forskelle i klimaskærmens tæthed i de undersøgte boliger, med tætheder i intervallet 1,1-7,8 l/s pr. m<sup>2</sup> ved 50 Pa. Men generelt ses en langt større utæthed end krav til nybyggeri i dag.

Figur 7.5: Sammenhæng mellem udelufttilførsel og klimaskærmens tæthed ved undersøgelser af 20 boliger fra 2016 (til venstre) /6/ og 2017 (til højre) /7/.



Undersøgelsen i 2016 viste en udelufttilførsel i intervallet 0,09-0,28 l/s pr. m<sup>2</sup> samt en gennemsnitlig udelufttilførsel på 0,18 l/s pr. m<sup>2</sup>. Det vil sige, at alle undersøgte boliger lå under bygningsreglementets krav på 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>, på trods af at de er meget utætte. Undersøgelsen i 2017 viste højere værdier af udelufttilførsel, med en gennemsnitlig værdi på 0,31 l/s pr. m<sup>2</sup>. Det blev vurderet, at målingerne i 2017 var påvirket af varmt vejr, som havde medført øget udluftning, og deraf følgende udelufttilførsel, i måleperioden.

På baggrund af de gennemførte undersøgelser kunne der, jf. figur 7.5, ikke udledes en sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og den målte udelufttilførsel.

### 7.5.1 Tæthedsprøvning / Blowerdoor test

Inden igangsættelse af de aktuelle undersøgelser i Køge, Viborg og Aalborg blev der lavet en tæthedsprøvning af bygningerne (eller udvalgte dele af bygningerne).

Tæthedsprøvning kaldes også en Blowerdoor test og udføres ved, at en yderdør i bygningen åbnes, og i døråbningen monteres en ventilator (Blowerdoor), som vist på figur 7.6. Ventilatoren anvendes til at skabe henholdsvis overtryk og undertryk i bygningen. Trykforskellene ved overtryk og undertryk medfører, at luft trænger ud og ind gennem de utætheder, der findes i huset (klimaskærmen). På baggrund af trykforskellene, der frembringes, kan man angive en værdi for tætheden af huset.

Figur 7.6: Foto af blowerdoor monteret i yderdør på bolig i Aalborg.



Blowerdoor set udefra.



Blowerdoor set indefra.

Ved en tæthedsprøvning etableres et differenstryk på 50 Pa mellem ude og inde. Derved simuleres en vindpåvirkning på ca. 10 meter pr. sekund på alle sider af bygningen.

Inden en prøvning skal større åbninger i klimaskærmen lukkes. Eventuel mekanisk ventilation skal afbrydes, og passive udluftningsventiler, emhætte, brændeovn, størstene mv. skal forsegles eller tætnes. Endvidere sikres set, at der er vand i vandlåsene i gulvafløb.

Følgende Blowerdoor tests er udført og indgår som en del af det aktuelle projekt:

- Køge: Blowerdoor test er udført af Isolink. Bilag 1.2.
- Viborg: Blowerdoor test er udført af Factum2 Skive. Bilag 2.2.
- Aalborg: Blowerdoor test er udført af Jysk Trykprøvning A/S. Bilag 3.2.

I tilknytning til projektet er der også lavet indledende undersøgelser med blandt andet tæthedsprøvning i en bolig i Lyngby. Dette med henblik på at inddrage boligen i projektet. Det blev efterfølgende besluttet ikke at lave yderligere undersøgelser i boligen, hvorfor den ikke er beskrevet nærmere. Resultaterne af de indledende undersøgelser er vedlagt i bilag 4.

Endvidere er der uafhængigt af dette projekt lavet en tæthedsprøvning af en af boligerne beskrevet i afsnit 9.5 (boligen i Åbyhøj).

Nedenstående Tabel 7.1 samler resultaterne af de udførte tæthedsprøvnings på boliger tilknyttet dette projekt:

Tabel 7.1: Resultater af tæthedsprøvnings på boliger tilknyttet dette projekt.

Bolig	Opført	Resultat af tæthedsprøvning [l/s pr m <sup>2</sup> ved 50 Pa]
Køge	1987	2,99
Viborg	1856 (renoveret)	2,19
Aalborg	1965	4,7
Lyngby	1973	6,2
Åbyhøj	1903	3,2

### 7.5.2 Bestemmelse af luftskifte / sporgasmålinger

Miljøstyrelsen har udviklet et regneark (JAGG), som kan bruges i arbejdet med at risikovurdere forurenede grunde. JAGG-programmet kan således anvendes til at beregne en teoretisk indeklimakoncentration på baggrund af en given koncentration af stoffet i poreluften under en bolig. Da det vurderes, at indtrængning af radon til boliger er nogenlunde sammenlignelig med indtrængningen af flygtige stoffer, kan JAGG ligeledes anvendes til at give et bud på radonindtrængning.

På baggrund af en række standardparametre i JAGG kan der laves teoretiske beregninger af indeklimakoncentrationer. Flere af disse parametre kan justeres, så beregningen bliver mere lokalitetsspecifik. Blandt andet kan luftskiftet i bygning ændres, så det passer til de aktuelle forhold, men hvis det aktuelle luftskifte ikke kendes, så anvender JAGG en standardværdi på 0,3 h<sup>-1</sup>.

Beregningsprincippet i JAGG-modellen er baseret på nedenstående formel:

$$C = J / (H \times L_s)$$

Hvor:

C: Koncentrationen i indeluften [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

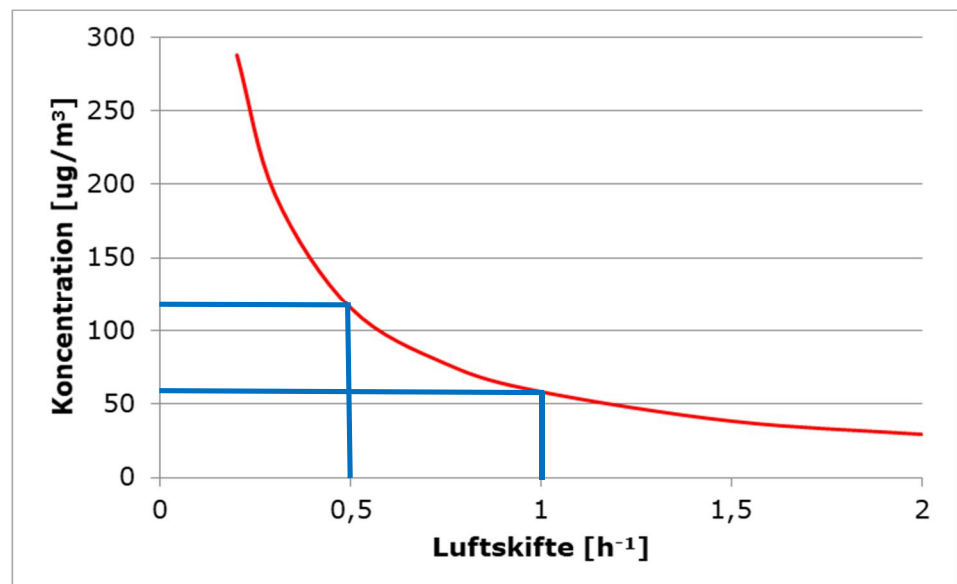
J: Fluxen over gulvet [ $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ]

H: Loftshøjden i bygningen [m]

$L_s$ : Luftsiftet i bygning [ $\text{s}^{-1}$ ]

Af overstående formel ses det, at koncentrationen af et stof (f.eks. radon) i en bolig teoretisk set er omvendt proportional med luftsiftet i boligen, såfremt fluxen af stoffet er uændret. Dette er illustreret ved nedenstående graf.

Figur 7.7: Teoretisk sammenhæng mellem luftsifte i en bygning og koncentrationen af et stof i bygningen.



Af grafen fremgår det således, at en fordobling af luftsiftet i en bolig medfører en halvering af indeluftkoncentrationen af et stof.

I denne rapport skelnes mellem beregnet og målt luftsifte, som er beskrevet nærmere nedenfor.

- Med beregnet luftsifte menes der det luftsifte, som beregnes på baggrund af en tilført luftmængde ved ventilation og bygningens volumen. Der er således tale om et teoretisk beregnet luftsifte, som ikke medtager bygningens naturlige luftsifte (uden ventilation).
- Med målt luftsifte menes der det luftsifte, som er beregnet på baggrund af udførte sporgasmålinger.

I forbindelse med projektet er der lavet sporgasmålinger i boligen i Aalborg til bestemmelse af det naturlige luftskifte i boligen, mens der for de øvrige boliger ikke er kendskab til bygningernes naturlige luftskifte. Dog er der i tilknytning til projektet lavet sporgasmålinger i en bolig i Lyngø, som dog ikke er undersøgt nærmere efterfølgende.

Sporgasmålingerne er gennemført ved hjælp af passiv sporgasteknik (PFT), som giver et udtryk for den gennemsnitlige udelufttilførsel til en bolig for den periode, der måles over.

PFT-metoden er baseret på kontinuert passiv udsendelse af sporgas fra små sporgaskilder og en samtidig opsamling af sporgas på adsorptionsrør, der er anbragt i boligen, jf. Figur 7.8. Målingerne udføres over en periode, og resultatet er det gennemsnitlige luftskifte over perioden. Analyserne i forbindelse med dette projekt er lavet af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI).

Figur 7.8: Figur til venstre viser sporgaskilde, og figur til højre viser adsorptionsrør/6/.



Sammenhængende værdier for tæthed af klimaskærmen og luftskiftet for boligerne i Aalborg og Lyngø fremgår af nedenstående Tabel 7.2.

Tabel 7.2: Sammenhængende målinger af tæthed og luftskifte i bolig i Aalborg og Lyngø.

Bolig	Klimaskærmens tæthed [l/s pr. m <sup>2</sup> ]	Luftskifte h <sup>-1</sup>
Aalborg	4,7	0,03-0,12
Lyngø	6,2	0,05

Af tabellen ses det, at begge boliger er forholdsvis utætte og samtidig har et meget lille naturligt luftskifte (udelufttilførsel). Dette understøtter resultaterne fra /6/ og /7/, hvor det er fundet, at der ikke nødvendigvis ses et højt luftskifte i boliger med utæt klimaskærm.



## 8 Teori og problematik om fugt i bygninger

### 8.1 Overtryksventilation

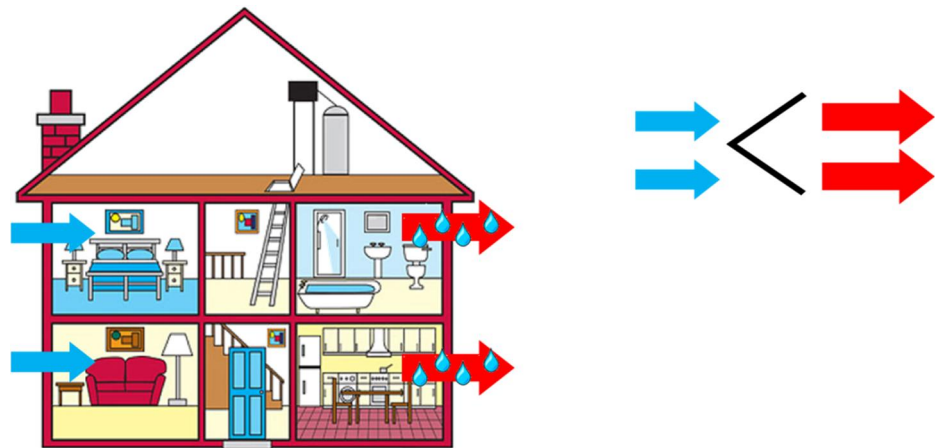
Det er vist, at forureningsindtrængningen via terrændækket kan reduceres ved at skabe en nedadrettet trykgradient over terrændækket. En trykgradient, som bl.a. kan etableres ved at påføre bygningen et overtryk gennem mekanisk ventilation.

Ud fra målingerne særligt i Køge, men også de øvrige lokationer, ses det, at overtryk er en effektiv måde til at minimere forureningsindtrængning. Desværre vil et overtryk i bygningen presse fugt ud i bygningskonstruktioner, hvor det kan give anledning til råd og svamp. Som følge af denne risiko er der i Danmark tradition for, at mekanisk ventilation indreguleres, så der opnås et let undertryk i bygningen. Det er derfor ikke ønskeligt generelt at anbefale at benytte overtryk i huse.

Figur 8.1: I Danmark er der tradition for at holde let undertryk i bygninger.

Der er udsugning fra køkken og bad, der fjerner fugtig luft. I nogle huse er der desuden indblæsning i opholdsrum, ellers tilføres luften gennem friskluftventiler, revner og sprækker.

Hvis der er mekanisk indblæsning, justeres denne typisk til at give lidt mindre luft, end der suges ud fra køkken og bad.



#### 8.1.1 Forudsætninger for råd mv. i bygningskonstruktioner

Råd, skimmel og svamp i konstruktioner opstår, hvis der både er organiske materialer og fugt til stede i konstruktionen. Ved at undgå enten organiske materialer eller fugt vil der ikke opstå fugtproblemer.

Luftfugtigheden og dermed dugpunktet for indeluften kan sænkes ved hjælp af et ventilationsanlæg, enten ved at tilføre tilstrækkelig tør udeluft eller ved at affugte luften med en køleflade. Det kan således indbygges i et ventilationsanlæg med intelligent styring.

#### 8.1.2 Sammenhæng mellem luftfugtighed, temperatur og vandudfældning

Varm luft kan indeholde mere vanddamp end kold luft. Når varm, fugtig luft køles ned, udfældes den del af fugten, som den koldere luft ikke kan bære.

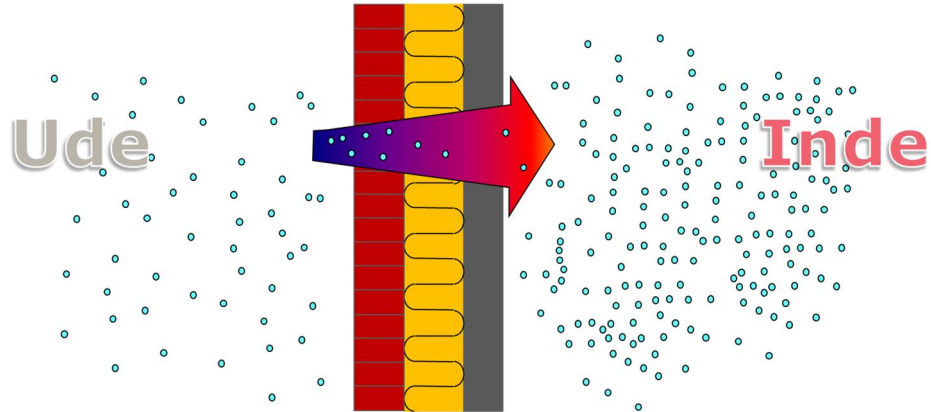
Eksempel:

Luft ved 24°C kan indeholde 21,8 g vand pr. m<sup>3</sup>, mens luft ved 10°C kun kan indeholde 9,4 g vand pr m<sup>3</sup>. Derfor vil alt fugt ud over de 9,4 g pr. m<sup>3</sup> blive udfældet som vand, når luften køles ned fra 24°C til 10°C.

Så længe der er undertryk i en bygning, er det (i største delen af året) kold udeluft, der lige så stille vil sive ind gennem konstruktionen. På vej gennem

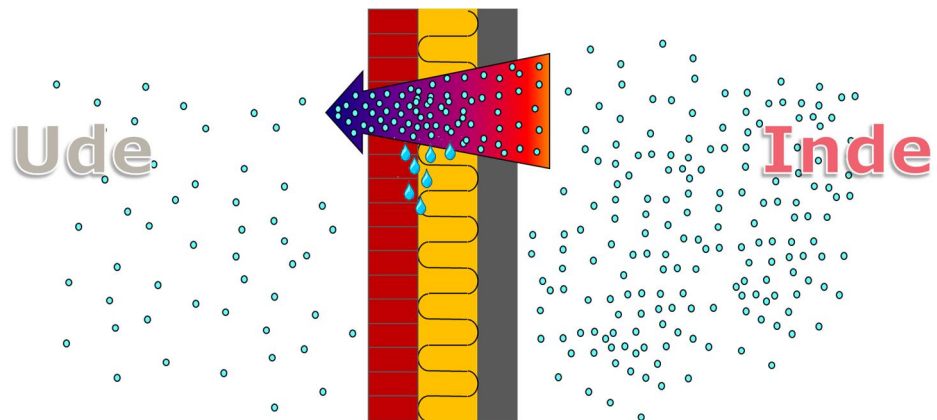
konstruktionen opvarmes luften og vil potentielt kunne indeholde mere fugt. Dermed er der ikke risiko for udfældning af fugt i konstruktionen (se figur 8.2).

Figur 8.2: Når der er undertryk i bygningen, vil det være udeluften, der trækkes gennem konstruktionen. Dette giver ikke problemer, fordi dugpunktet i udeluften er lavt.



Hvis vi laver overtryk i bygningen, er det den varme, fugtige indeluft, der presses gennem konstruktionen. På vej gennem konstruktionen falder temperaturen, specielt om vinteren, og luften kan derfor indeholde mindre vanddamp. Den overskydende vanddamp vil fortættes til vand og give fugt i konstruktionen (se figur 8.3).

Figur 8.3: Når vi vil skabe overtryk i bygningen, vil det være indeluften, der presses gennem konstruktionen. Da indeluften er både varmere og mere fugtholdig end udeluften, vil en del af fugten fortætte til vand i konstruktionen, når den møder en temperatur, der er under luftens dugpunkt. Dette er særligt udpræget om vinteren.



For en given temperatur og relativ luftfugtighed kan dugpunktet beregnes. Dugpunktet er den temperatur, hvor der vil begynde at blive udfældet vand.

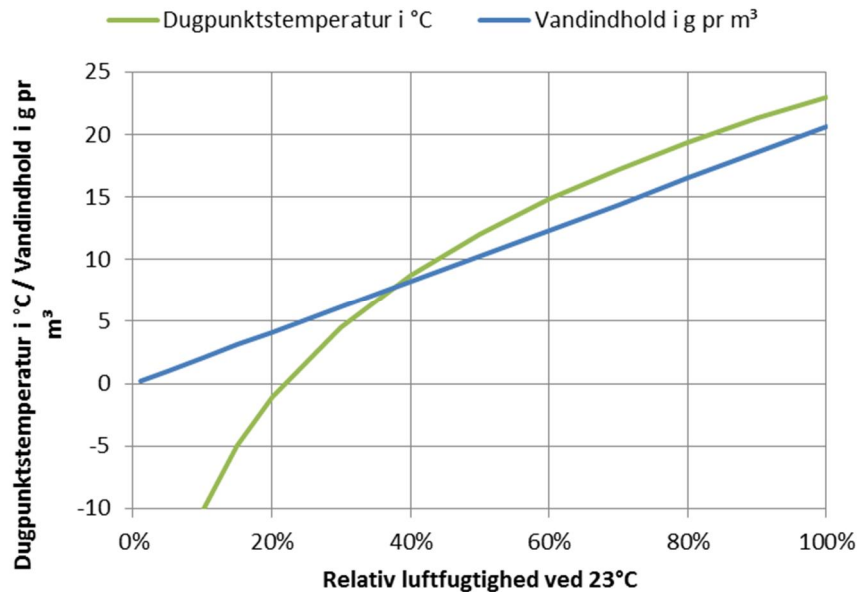
Eksempel:

Luft ved 23°C og 60% relativ luftfugtighed indeholder 12,4 g vand pr m<sup>3</sup>. Dette svarer til et dugpunkt på ca. 15°C.

Det betyder, at hvis luften køles ned fra de 23°C, vil vanddampen begynde at fortætte og dermed udskille som vand, når luften bliver 15°C.

Har luften derimod kun 50% luftfugtighed ved 23°C, er dugpunktet nede på 12°C. Og ved 40% relativ luftfugtighed er dugpunktet helt nede på ca. 8,7°C.

Figur 8.4: For luft ved 23°C er sammenhængen mellem relativ luftfugtighed og dugpunkt samt vandindhold optegnet. Det ses f.eks., at ved en relativ luftfugtighed på 20% er dugpunktet nede under 0°C, mens en relativ luftfugtighed på 80% har et dugpunkt på knap 20°C.



Ved at sikre en lav luftfugtighed i indeluften, kan fugt i konstruktionerne minimeres og måske undgås.

En intelligent ventilationsløsning, der både sikrer overtryk og tilstrækkelig lav luftfugtighed, vil kunne være en farbar vej til at mindske indtrængning af forurening via terrændækket med mindre risiko for fugt i konstruktioner.

### 8.1.3 Skiftende ventilationsdrift (over-/undertryk) til sikring mod fugtproblemer

I vinterperioden er radonindtrængningen størst, og det er også her, vi ser den største temperaturforskel mellem ude og inde. Det er derfor umiddelbart kritisk at etablere overtryk i en bygning i vinterperioden, da der her, jf. figur 8.3, er stor risiko for at afsætte fugt/vand i konstruktionen, hvis bygningen ukritisk påføres et overtryk.

Heldigvis er den absolutte luftfugtighed lav, når det er koldt udenfor. Det betyder, at når vi ventilerer en bygning, suger vi fugtig luft ud og blæser tør luft ind i stedet. Derved sænkes fugtniveauet i indeluften, hvilket er essentielt, hvis overtryksventilation overvejes. Samtidig kan skimmel ikke gro ved lave temperaturer, men vil dog starte med at gro, når temperaturen stiger, hvis der fortsat er fugtigt. Hvis der opbygges fugt i en vintersituation, er det derfor vigtigt at sikre, at det tørrer ud igen. Det åbner for at se nærmere på muligheden for at skifte mellem over- og undertryk i vinterperioden. Det vil dog være en forudsætning, at det sikres, at fugtniveauet i boligen holdes nede.

Fugtbelastningen i boliger er meget individuel, og den er i høj grad afhængig af antallet af personer og disses adfærd. Fugtbelastningen er f.eks. afhængig af, hvor ofte der bliver taget bad, hvordan der laves mad, hvor meget der luftes ud og tørres tøj indendørs. Det betyder, at for et område med helt ens huse fungerer systemet med overtryk måske uden problemer i 4 ud af 5 huse, men i det sidste bliver der problemer, fordi beboerne genererer mere fugt.

Overtryksventilation bør derfor altid ske ud fra en individuel beregning.

## 8.2 Konstruktioner med risiko for fugtproblemer

Fugtproblemer vil kun optræde i organiske konstruktioner. I en del konstruktionsopbygninger er der ikke organisk materiale, og der kan man skabe overtryk med minimal risiko for fugtproblemer.

En samlet vurdering af de mest almindelige konstruktioner i lav bebyggelse i forhold til overtryksventilation er vedlagt i bilag 5.

De konstruktioner, der forekommer ofte, og som man skal være forsigtig med, er:

- Lette ydervægge.
- Tag/loftskonstruktioner (skråtag uudnyttet tagrum, skråtag udnyttet tagrum, fladt tag).
- Dæk over uopvarmet kælder.
- Krybekælderdæk.

Ved etablering af overtryksventilation vil konstruktionerne beskrevet her kunne give udfordringer. Det er specielt samlingsdetaljer, der skaber kuldebroer, som giver risiko for fugt i en konstruktion. Det er specielt, hvis der er uregelmæssigheder i konstruktionerne, at der kan opstå problemer og risiko for fugt. F.eks. en samling, der ikke er tæt, så der reelt er en revne, eller søm og beslag, der kan lede kulden ind.

Derudover kommer der et tidsmæssigt perspektiv ind, idet nogle konstruktioner vil kunne tåle at være fugtige i korte perioder, hvis de blot bliver udtørret bagefter, f.eks. teglsten.

## 9 Udførte målinger og anvendt måleudstyr

Gennem projektet er der lavet en lang række målinger i forskellige huse. I Tabel 9.1 er angivet, hvilke målinger der er lavet i de forskellige forsøgshuse.

Tabel 9.1: Udførte målinger i forsøgshuse i forbindelse med I-vent projektet.

Måling	Køge (testhus)	Viborg (bolig)	Aalborg (bolig)	3 boliger i Aarhus
Vind	X	X		
Temperatur	X	X	X	X
Differenstryk	X	X	X	
Radon	X	X	X	X
CO <sub>2</sub>		X	X	
Blowerdoor test	X	X	X	
Sporgas			X	

I nedenstående afsnit 9.1 og i Tabel 9.2 ses en præsentation af det udstyr, der er anvendt ved feltundersøgelserne. Det er tilstræbt at bruge samme type udstyr til målinger, der under projektet skal sammenlignes. Dette er opnået i stor udstrækning. Hvis der har været udfordringer i sammenligningen pga. udstyr, er det bemærket specifikt.

Tabel 9.2: Anvendt måleudstyr i forbindelse med I-vent projektet.

Måling	Udstyr	Nøjagtighed
Vind	Davis (S-WCF-M003)	Vindretning: 7 grader Vindhastighed: $\pm 1,1$ m/s eller 5 %
Temperatur	ElmaLOG 181TH	0,5 °C
	VoltCraft DL-181THP	0,5 °C
	Testo 175T3	0,3 °C
Differenstryk	Systronik	0,3 Pa eller 0,5 %
	Greisinger	0,1 %
Radon	RAD7	5 %
	Corentium Pro	>1 dag: <7 % + 5 Bq/m <sup>3</sup> >7 dage: <5 % + 2 Bq/m <sup>3</sup>
	Corentium Plus	>1 uge: < 12 % ved 50-350 Bq/m <sup>3</sup> >1 md: <9 % ved 90-220 Bq/m <sup>3</sup>
	Corentium Home	>1 uge: < 20 % ved 100 Bq/m <sup>3</sup> >1 md: <10 % ved 100 Bq/m <sup>3</sup>
	Ramon	<5 %
CO <sub>2</sub>	Tinytag TGE-0011	< $\pm$ (50 ppm +3% af aflæst værdi)

## 9.1 Detaljer om måleudstyr

I følgende afsnit beskrives kort det udstyr, der er benyttet i forbindelse med undersøgelserne.

### 9.1.1 Vind

Den benyttede vindmåler er af typen Davis (S-WCF-M003), som logger den aktuelle vindhastighed og vindretning. Begge parametre logges hvert 3. sekund.

Figur 9.1: Foto af anvendt vindmåler.



### 9.1.2 Temperatur

Der er benyttet tre typer af termperaturmålere: ElmaLOG 181TH, Voltcraft DL-181THP og Testo 175T3.

Figur 9.2: Foto af anvendte termaturmålere.



ElmaLOG181TH logger temperatur og luftfugtighed. Loggeinterval 30 sek. – 24 timer.



Voltcraft DL-181THP logger temperatur, luftfugtighed og atmosfæretryk. Loggeinterval 2 sek. – 24 timer.



Testo 175T3 logger temperatur. Loggeinterval 10 sek. – 24 timer.

### 9.1.3 Differenstryk

Der er gennemgående i projektet benyttet en differenstrykmåler af typen Systronik S4602ST. I enkelte målepunkter er der samtidig målt med typen Greisinger GMH 3151 for dermed at kunne sammenligne resultaterne fra de to differenstrykmålere med hinanden.

Figur 9.3: Foto af anvendte differenstrykmålere.



Systronik S4602ST logger differens-tryk, temperatur og atmosfæretryk. Loggeinterval 1 sek. – 1 time.



Greisinger GMH 3151 logger differens-tryk. Loggeinterval 1 sek. – 1 time.

### 9.1.4 Radon

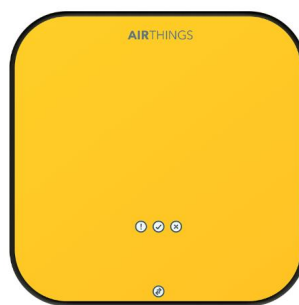
Følgende instrumenter har været benyttet til måling af radon:

- RAD7 logger radonindholdet ved aktivt af suge en lille luftmængde ind i instrumentet. Instrumentet kan opsættes til kontinuert måling, fx hvert 30. min.
- Corentium Pro er en præcis radon-monitor, som er udviklet til professionel anvendelse. Instrumentet logger radonindholdet i luften, og data kan overføres trådløst til en app på mobiltelefonen. Radondetektoren har indbyggede sensorer til endvidere at logge luftfugtighed, temperatur og atmosfærisk tryk.
- Corentium Plus er ligeledes rettet til professionel anvendelse. Instrumentet logger, og data kan overføres via et kabel. Radondetektoren har indbyggede sensorer til endvidere at logge luftfugtighed, temperatur og atmosfærisk tryk. Udlånt til projektet af VIA University College, Horsens.
- Corentium Home udfører en simpel måling af radon. Efter 2 dage kan radonniveauet i rummet, der måles i, aflæses. Der måles "longterm" (gennemsnit af hele perioden, indtil instrumentet nulstilles), "shortterm" (1 dag) og 7 dages gennemsnit. Instrumentet logger ikke måledata.
- Radondetektoren Ramon måler gennemsnittet af radonniveauet over perioden, der måles i (gennemsnit af hele perioden, indtil instrumentet nulstilles). Data aflæses direkte på instrumentet. Instrumentet logger ikke måledata.

Figur 9.4: Foto af anvendte radonloggere



Rad7 logger radon.



Corentium Pro logger radon, temperatur og atmosfæretryk.



Corentium Plus logger radon.



Corentium Home logger radon.



Ramon logger radon.

### 9.1.5 CO<sub>2</sub>

Der er benyttet en CO<sub>2</sub>-logger af typen Tinytag TGE-0011. Måleren har et loggeinterval på 1 min. – 10 dage.

Figur 9.5: Foto af anvendt CO<sub>2</sub>-logger.



## 10 Undersøgelser

### 10.1 Undersøgelingsstrategi

Undersøgelingsstrategien er løbende blevet revurderet og tilrettet gennem projektet. I alt har der i perioden fra januar 2017 til april 2019, svarende til den afklarende fase været fire separate undersøgelingsrunder, hvorfra resultaterne er beskrevet i denne rapport. De fire undersøgelingsrunder er indledningsvis overordnet beskrevet nedenfor og efterfølgende beskrevet mere detaljeret i afsnit 10.2-10.5. Endvidere har der været en sideløbende teoretisk fase i forhold til at vurdere risikoen for, at ventilationsløsningen medfører kritisk fugtdannelse i bygningskonstruktionerne, hvilket er beskrevet nærmere i afsnit 7.

#### Testhus i Køge

I perioden fra januar til marts 2017 blev der lavet en omfattende undersøgelse i et testhus i Køge, som blev udlånt af Region Sjælland. Ejendommen er ejet af regionen, da ejendommen er kraftigt forurenset med chlorerede opløsningsmidler. I forbindelse med undersøgelserne stod testhuset ubenyttet. Resultaterne er beskrevet i afsnit 10.2 samt i bilag 1.

Formålet med undersøgelserne var at undersøge forskellige parametres betydning og indflydelse på det differenstryk, der forekommer over gulvet. Desuden blev det undersøgt, om det var muligt at vende differenstrykket over gulvet ved at påføre bygningen et overtryk, samt hvor stort et overtryk der i så fald skulle påføres den specifikke bygning.

På baggrund af resultaterne fra undersøgelserne i testhuset blev det besluttet at udføre undersøgelser på yderligere to ejendomme for at se, om det også her var muligt at vende differenstrykket over terrændækket. I denne forbindelse blev der lavet undersøgelser i to *beboede huse*, så det var muligt samtidigt at vurdere eventuelle komfortmæssige gener ved at påføre et overtryk på bygninger, der bruges til boligformål. Undersøgelingsprogrammet blev reduceret væsentligt i forhold til de første undersøgelser i testhuset i Køge.

#### Bolig i Viborg

I perioden fra oktober til december 2017 blev der lavet undersøgelser ved at påføre overtryk til en bolig i Viborg. Resultaterne er beskrevet i afsnit 10.3 samt i bilag 2.

Undersøgelserne viste, at der var muligt at vende trykgradienten over gulvet i en bolig, der anvendes som normalt i undersøgelsesperioden. I perioden med overtryk på boligen blev der konstateret komfortmæssige gener for beboerne (kulde/træk) forbundet med at påføre tilstrækkeligt overtryk til boligen for at skabe en nedadrettet gradient over gulvet. På baggrund af forsøget i Viborg blev det besluttet, at næste undersøgelse skulle udføres i en mere utæt bolig, for at vurdere, om det her var muligt at skabe nedadrettet trykgradient over terrændækket.

#### Bolig i Aalborg

I perioden fra februar til maj 2018 blev der lavet undersøgelser i en bolig i Aalborg. Undersøgelserne viste, at det ikke var muligt at vende trykgradienten over terrændækket uden at medføre uacceptable komfortmæssige gener for beboerne.

Det blev derfor besluttet sammen med grundejer at etablere et mekanisk balanceret ventilationsanlæg, så undersøgelserne kunne fortsættes i samme bolig (uden ovennævnte gener).

Anden del af undersøgelserne blev udført i perioden fra december 2018 til april 2019, hvor der blev lavet forsøg med det mekaniske ventilationsanlæg for at undersøge effekten i forhold til trykgradient, luftskifte og radonindtrængning. Resultaterne er beskrevet i afsnit 10.4 samt i bilag 3.

#### Boliger i Midtjylland (med mekanisk ventilation)

Det blev besluttet at undersøge yderligere 4 boliger med mekanisk balanceret ventilation for at få større sikkerhed for resultaterne af undersøgelserne i boligen i Aalborg. Der blev lavet et meget begrænset undersøgelsesprogram, som blev udført i 4 boliger omkring Aarhus/Horsens. Undersøgelserne blev udført i perioden fra marts til april 2019. Resultaterne er beskrevet i afsnit 10.5.

#### Bolig i Lynge

Ud over ovenstående ejendomme blev der, som en del af nærværende projekt, lavet indledende målinger i en bolig i Lynge. Boligen har tidligere fået målt tæthed ved blowerdoortest og luftskifter med sporgasmålinger i forbindelse med undersøgelserne til "Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse" /7/. Det blev ifm. indeværende projekt valgt at kun at udføre forsøg i to boliger, og her var det geografisk mere praktisk med boligerne i Viborg og Aalborg. Undersøgelserne er derfor ikke beskrevet nærmere i rapporten, men resultaterne af målingerne er vedlagt i bilag 4.

## 10.2 Testhus i Køge

Dette afsnit beskriver omfang og resultater for de udførte undersøgelser på testhuset i Køge, som er gennemført i perioden fra januar til marts 2017. Testhuset ejes af Region Sjælland, som har opkøbt ejendommen, da den er kraftigt forurenet med chlorerede opløsningsmidler. Region Sjælland har udlånt testhuset til undersøgelser i forbindelse med I-vent projektet. Testhuset stod tomt (ubenyttet) i forbindelse med undersøgelserne.

Undersøgelserne i testhuset i Køge er afrapporteret som første del af I-vent projektet og er beskrevet detaljeret i /11/. I indeværende rapport er der derfor lavet en overordnet beskrivelse af undersøgelserne og de tilhørende resultater. For en mere uddybende beskrivelse henvises til /11/.

Udgangspunktet for undersøgelserne har været at opnå en bedre forståelse af, hvad der påvirker trykforholdene i en bygning ved nærmere at undersøge forskellige parametres betydning og indflydelse på det differenstryk, der forekommer over gulvet.

Det viste sig muligt at vende trykgradienten over gulvet. Det "nødvendige overtryk" og en række samtidige forhold er sideløbende nærmere undersøgt over en længere periode. Herunder er også differenstrykkets påvirkning af radonkoncentrationen og koncentrationer af chlorerede opløsningsmidler (TCE) i indeluften undersøgt.

### 10.2.1 Formål med undersøgelserne

Formålet med undersøgelserne i testhuset i Køge var at opnå viden om følgende:

- Bedre forståelse af, hvad der påvirker trykforholdene i en bygning.
- Hvor stort et differenstryk skal der være over klimaskærmen for at ændre differenstrykket over gulvet til nedadrettet? Herunder hvornår (ved hvilket påført overtryk over klimaskærmen) påvirker det ændrede differenstryk radon-koncentrationerne i indeluften?
- Hvilke væsentlige indtrængningsveje er der til bygningen?

Inden der arbejdes videre med supplerende undersøgelser i flere testhuse, har det været vigtigt at sikre, at der er opnået et grundlæggende vidensniveau og en indikation på, at det er realistisk at kunne ændre trykgradienten over terrændækket ved at skabe overtryk i hele huset.

### 10.2.2 Beskrivelse af lokalitet

Testhuset er et étplans parcelhus fra 1987 på 134 m<sup>2</sup> med tilhørende garage. Forsøgene har udelukkende foregået i og umiddelbart uden for selve parcelhuset. Garagen har ikke været inddraget i undersøgelserne. Nedenfor ses foto af testhuset.

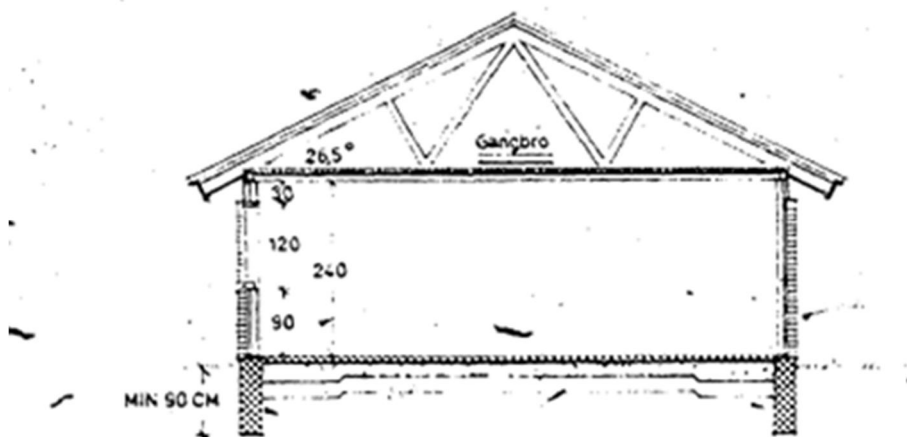
Figur 10.1: Foto af testhus i Køge.



I Figur 10.2 ses tværsnit af testhuset. Ifølge materiale fra byggesagsarkivet er terrændækket i testhuset bygget op af 80 mm beton, 220 mm leca i randfelterne og 170 mm leca de resterende steder. Terrændækket i badeværelserne og bryggers er bygget op af 100 mm afretningslag, 50 mm beton, 170-220 mm leca og 200 mm sand.

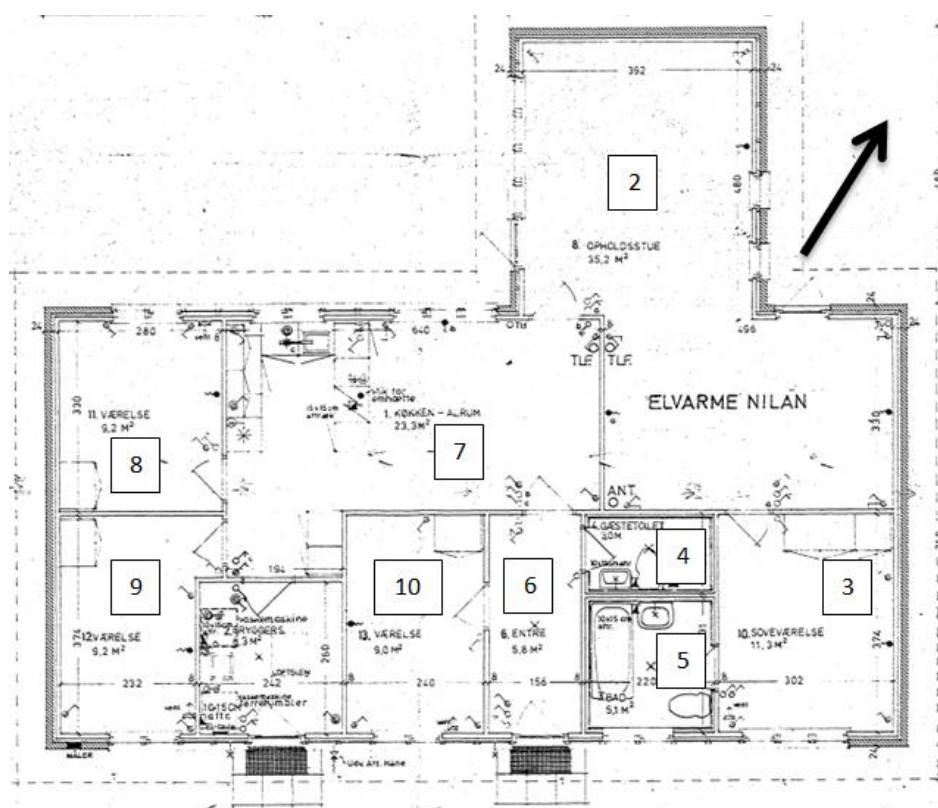
Ydervæggene består af en muret væg og indervægge af multielementer.

Figur 10.2: Tværsnit af testhus i Køge.



Nedenstående Figur 10.3 viser en situationsplan over testhuset. To af de tidligere indervægge er brudt ned, således at rum 2, 7 og 8 reelt er et stort rum.

Figur 10.3: : Situationsplan for testhus i Køge.



### 10.2.3 Undersøgelserprogram og måleudstyr

#### 10.2.3.1 Undersøgelserprogram

Feltundersøgelserne er delt op i 3 dele, hvor datoerne er angivet i parentes:

- Logning af data i normalsituationen, 6 uger (26.01.17-10.03.17).
- Tæthedsprøvning med blowerdoor og test med overtryk på bygningen (10.03.17).
- Logning af data med overtryk på bygningen, 2 uger (10.03.17-24.03.17).

Indledningsvis er der gennemført målinger over en ca. 6 ugers periode, som i det følgende kaldes normalsituation. I denne periode er der ikke foretaget nogen tryk-påvirkning af huset. Efter normalsituationen er der gennemført en 2 ugers testperiode, hvor huset har været påført et "lille" overtryk.

#### 10.2.3.2 Måleudstyr

Der er udført omfattende logning af forskellige parametre, herunder forskellige typer differenstræk, temperatur og radon i testhuset, hvilket er opsummeret nedenfor og beskrevet mere uddybende i /11/.

For at få en vurdering af, hvilken effekt på forureningsniveauet i indeluften det konstante overtryk på bygningen har, er der foretaget passive forureningsmålinger i indeluften med opsamling på ORSA-rør, hhv. i perioden før og efter påføring af overtryk på bygningen.

Inden opsætning af udstyr i normalsituation er det tjekket, at dræn under huset er proppet af. Desuden er vandlåsene fyldt op med glycerin for at forhindre udtørring af vandlåsene. Luftindtag til tørretumbler samt alle friskluftindtag og ventiler i huset er lukket til.

Tabel 10.1: Anvendt feltudstyr til målingerne i testhus i Køge.

Parameter	Udstyr	Placering
Vind	Davis (S-WCF-M003)	Logning af vindretning og vindhastighed i haven, så målingerne ikke er påvirket af særlige trykforhold omkring bygningen.
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	Der er lavet 5 målinger ude og 6 målinger inde i midten af rummene. Endvidere er der lavet 4 sammenhængende målinger inde ved gulv og loft.
	Testo 175T3	2 målinger under gulv.
Differenstræk	Systronik	10 målinger over gulv, 3 målinger over kloak, 5 målinger inde/ude, 3 målinger loft/gulv og 3 målinger over/under loft.
	Greisinger	Supplerende måling i 1 punkt hhv. over gulv, gulv/under loft og over/under loft samt 2 målinger inde/ude.
Radon	RAD7	1 måling under gulv.
	Corentium Pro	4 målinger inde.
	Corentium Home	4 målinger inde.
	Ramon	1 måling over afløb.

## 10.2.4 Tæthedsprøvning

### 10.2.4.1 *Blowerdoor*

Den 10. marts 2017 er der foretaget tæthedsprøvning med blowerdoor til vurdering af testhusets bygningstæthed. Tæthedsprøvningen er foretaget i henhold til dansk standard af Isolink, og rapporten fremgår af bilag 1.2.

Inden blowerdoortesten til måling af husets tæthed blev der tætnet med tape langs nogle polystyren-plader, der var sat op ved ydervæggen i det tidligere køkken, hvor der tidligere havde været en vandskade. Derudover blev emhætte, brændeovn og udsugninger fra badeværelser blændet. Det vil sige, at alle tilsigtede åbninger i klimaskærmen blev lukket. Dette er standardprocedure i forbindelse med blowerdoortest for dermed at kunne måle betydningen af utilsigtede åbninger, revner og sprækker.

Standardtesten blev gennemført ved en trykforskel på 50 Pa mellem ude og inde, og det blev målt, hvilken luftstrøm der skulle til for at opretholde denne trykforskel. Den nødvendige luftstrøm er et mål for tætheden af bygningen, og testen blev gennemført med både overtryk og undertryk i huset.

Blowerdoortesten viste en tæthed på 2,99 l/s pr. m<sup>2</sup> ved 50 Pa.

For bygninger fra denne periode forventes normalt en tæthed på 3-7 l/s pr m<sup>2</sup> /11/. Bygningen er dermed blandt de mest tætte bygninger fra perioden, hvilket kan skyldes opbygningen af væggene med sandwich-elementer, der hver især er lufttætte.

### 10.2.4.2 *Termografikamera*

Samtidig med udførelsen af tæthedsprøvningen, mens der var undertryk på huset, blev der benyttet et termografikamera til at lokalisere utætheder. Dette kan gøres, når udetemperaturen er lavere end indetemperaturen. Viden om utætheder hjælper til med at opnå en større forståelse for, hvor "normalt" huset er i forhold til tætheden af huset.

Målingerne med undertryk viste, at der er en del utætheder i huset, men ikke noget, som ikke ville kunne forventes ved denne type bygning.

### 10.2.4.3 *Test med overtryk*

Der blev foretaget en test af, om det var muligt at ændre differenstrykket over terrændækket til nedadrettet ved påføring af forskellige tryk/flow, ligeledes blev det mindst mulige tryk/flow eftersøgt. Forsøget blev udført i direkte forlængelse af tæthedsprøvningen.

For at sikre en nedadrettet trykgradient over terrændækket i hele huset blev det fundet, at der skal etableres et overtryk i huset i forhold til udeluften på minimum 4-5 Pa, hvilket kræver et luftflow på 250-300 m<sup>3</sup>/h (71-86 l/s).

Det lave overtryk, der er nødvendigt for at sikre nedadrettet trykgradient, blev ikke vurderet at give gener i forhold til susen ved vinduer, problemer ved åbning og lukning af døre og vinduer mv. eller i forhold til subjektivt vurderet almen komfort i huset.

### 10.2.5 Etablering af overtryk på bygning

Den 10. marts 2017 blev der installeret en ventilator til indblæsning af udeluft i boligen med det formål at etablere et let overtryk i forhold til udeluften og dermed vende trykgradienten over terrændækket fra opadrettet til nedadrettet.

Der blev monteret en ventilator af typen Lindab kanalventilator Type C ErP, der har en max. kapacitet på 300 m<sup>3</sup>/h (83 l/s), svarende til et beregnet luftskifte i bygningen på 0,92 h<sup>-1</sup>. Ventilatoren blev monteret af Isolink og etableret gennem ydervæggen, som vist på foto i Figur 10.4.

Figur 10.4: Etablering af ventilator i ydervæg på testhus i Køge.



### 10.2.6 Resultater

Udvalgte data fra undersøgelserne er beskrevet nedenfor. For gennemgang af samtlige resultater henvises til /11/.

#### 10.2.6.1 Differenstryk

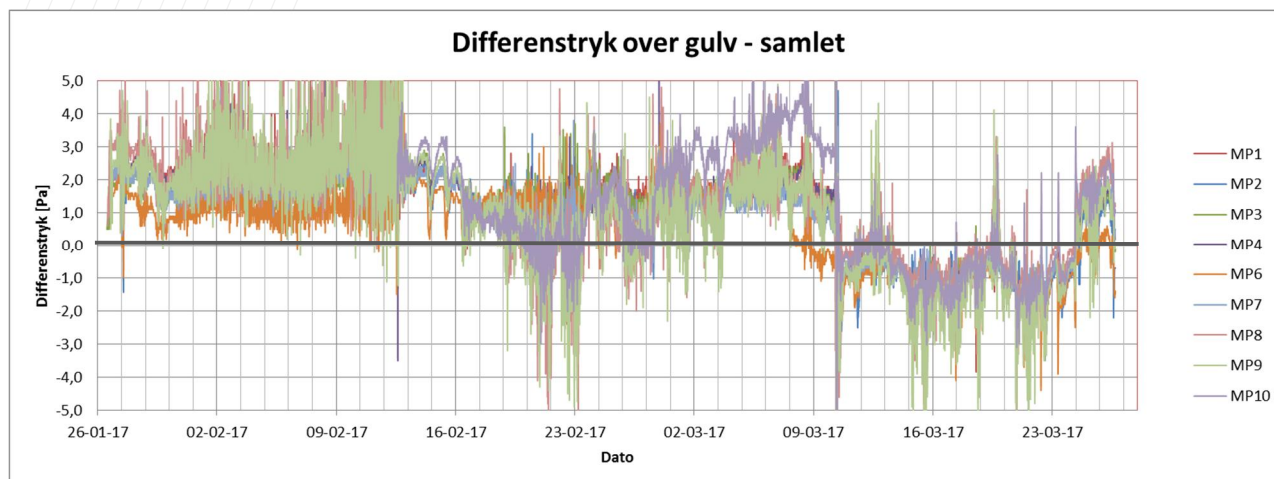
Data fra differenstrykmålingerne viser ustabile målinger, der giver sig til udtryk ved et utal af peaks i løbet af dataserierne. Disse forstyrrelser i målingerne vurderes at være et udtryk for, at data i måleapparaterne optages som en øjebliksmåling, og at enhver forstyrrelse i måleøjeblikket har indflydelse på de målte værdier. Hovedårsagen til forstyrrelserne vurderes at være kortvarige vindpåvirkninger af bygningen. Målingerne med størst forstyrrelse er optaget i perioder med de største vindhastigheder og omvendt.

På baggrund af dette vurderes vinden at have en vis indflydelse på differenstrykket; både i form af rolige/urolige data og i form af påvirkning i forhold til positivt/negativt differenstryk. Denne sammenhæng er dog ikke tydelig gennem hele undersøgelsesperioden, og vinden kan ikke i sig selv forklare alle variationer i de registrerede i differenstryk, hvorfor andre faktorer også forventes at have en betydelig indflydelse.

### Differenstryk over gulv

Der blev målt og logget differenstryk i 10 målepunkter over/under gulv, og resultaterne er vist i Figur 10.5.

Figur 10.5: Differenstryk over gulv. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.



Til trods for de urolige data ses en tendens i målingerne. Det vurderes, at målingerne følger samme tendens og ligger på sammenlignelige niveauer. Dermed er målingerne formentligt styret af den/de samme mekanismer. Der observeres periodelvise døgnvariationer i differenstrykket over terrændækket.

Differenstrykket har i størstedelen af måleperioden været positivt, indtil huset udsættes for overtryk den 10. marts, og der er målt differenstryk mellem +1 Pa og +3 Pa (svarende til en opadrettet gradient).

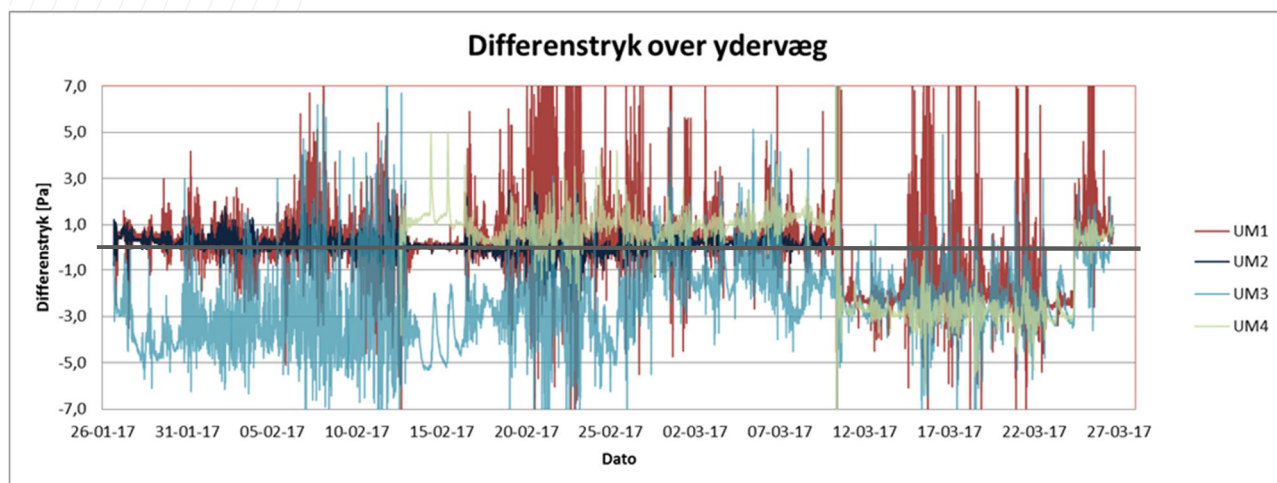
I perioden fra den 10. til den 24. marts 2017 blev huset udsat for et overtryk, skabt ved at blæse udeluft ind i bygningen med en ventilator (ca. 83 l/s). Ventilatoren blev indstillet, så der på måleinstrumenterne i MP1-MP10 kunne konstateres negativt differenstryk over terrændækket i samtlige målepunkter. Differenstrykket ændres i perioden med overtryk i indeklimaet fra 1-3 Pa til  $\div 1$ - $\div 2$  Pa, altså en ændring fra opadrettet gradient til nedadrettet gradient.

### Differenstryk over ydervægge

Der blev målt og logget differenstryk i 5 målepunkter over ydervæggene, hvor det ene måleinstrument var præget af dataudfald og dermed ikke er benyttet i vurdering af data. Data for de resterende 4 målepunkter over ydervæggene er vist i Figur 10.6.



Figur 10.6: Differenstryk over ydervægge. Negative værdier angiver overtryk i bygningen i forhold til udeluften (udadrettet gradient).



Værdierne for differenstrykket over ydervæggene varierer mellem ca.  $\pm 3$  Pa i UM3 til ca. 0-1 Pa i UM1, UM2 og UM4 i måleperioden inden påtrykning af overtryk i bygningen.

I perioden med overtryk i bygningen måles der overvejende negative værdier på  $\pm 2$  til  $\pm 4$  Pa, svarende til overtryk i bygningen i forhold til udeluften.

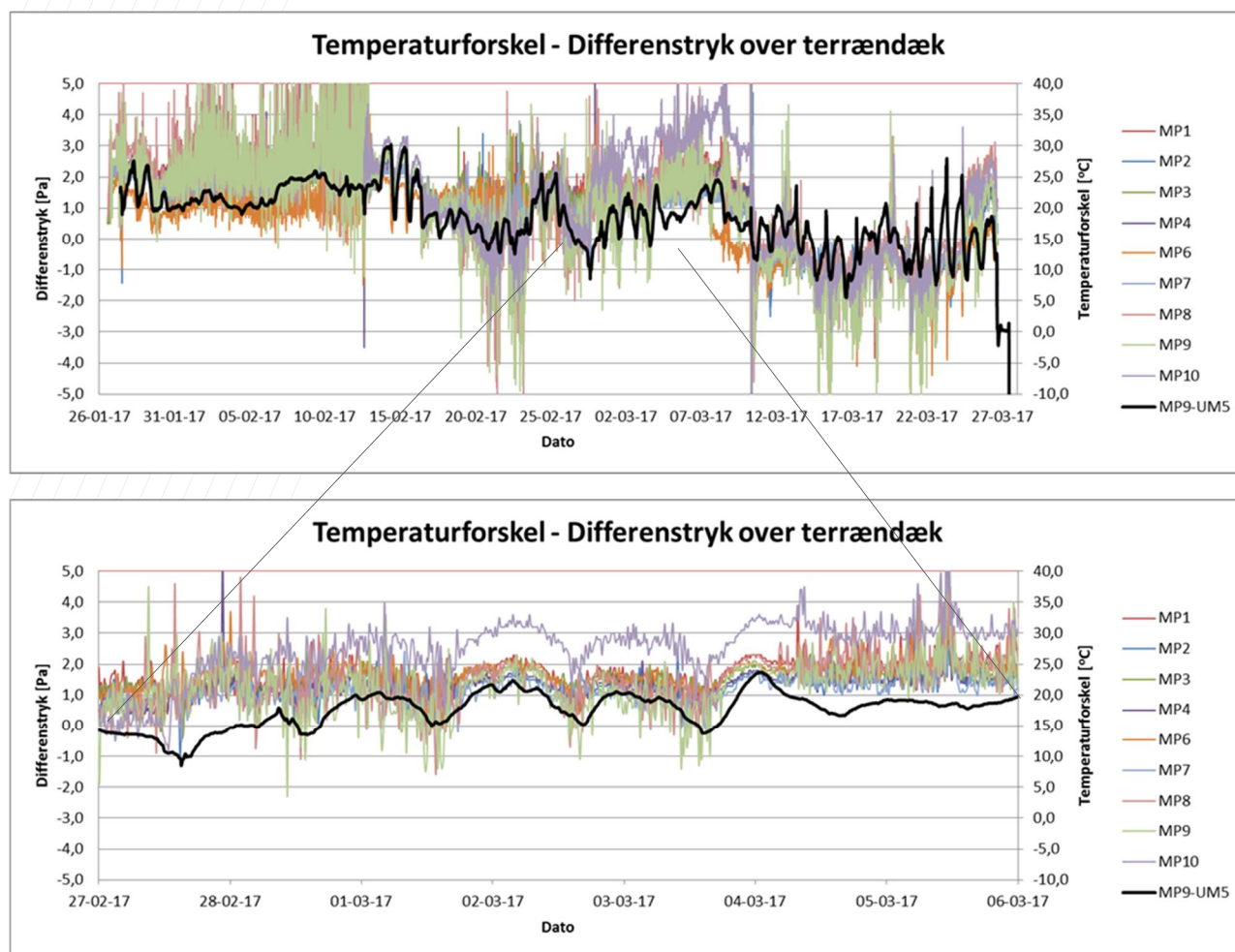
#### 10.2.6.2 Temperatur

Bygningen har været opvarmet gennem hele undersøgelsesperioden. I normalsituationen blev indetemperaturen målt til 23-24°C, hvilket faldt til ca. 19-23°C i overtryksperioden. Der ses et gennemgående fald i temperaturen i indeluften fra den 10. marts 2017, hvilket er sammenfaldende med indblæsning af køligere udeluft i forbindelse med påføring af overtryk i bygningen.

Udetemperaturen har været svagt stigende over hele undersøgelsesperioden fra 0-5°C i den første del af perioden til 5-10°C i den sidste del af perioden.

I /5/ er beskrevet en entydig og umiddelbar sammenhæng mellem differenstrykket over terrændæk og temperaturforskellen mellem udeluften og indeluften. Figur 10.7 viser disse to parametre for hhv. hele undersøgelsesperioden og for en udvalgt del af undersøgelsesperioden (1 uge). Temperaturforskellen er beregnet ud fra den udetemperatur og indetemperatur, som vurderes at være mest repræsentativ.

Figur 10.7: Temperaturforskel mellem inde og ude (MP9-UM5) og differenstryk over gulv (MP1-MP10). Øverst i hele undersøgelsesperioden og nederst i udvalgt del af undersøgelsesperioden (1 uge).



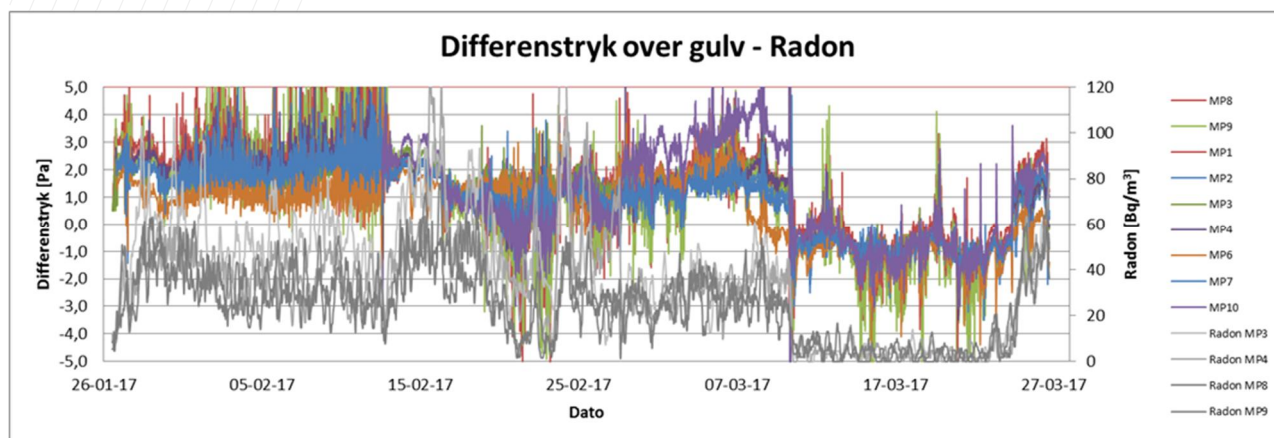
Der ses sammenfald mellem de overordnede variationer i hele måleperioden, ligesom døgnvariationerne i temperaturforskellen og differenstrykket nærmest entydigt varierer sammenfaldende. Den opadrettede trykgradient er størst om natten, hvor udetemperaturen er lavest og temperaturforskellen dermed størst.

#### 10.2.6.3 Radon

Radon er logget kontinuert 4 steder i indeluften samt ét sted under gulv i hele undersøgelsesperioden.

I Figur 10.8 er de sammenhængende målinger af radon i indeluft og differenstryk over terrændækket vist for hele undersøgelsesperioden.

Figur 10.8: Radonindhold i indeluft (MP3-MP4, MP8-MP9) og differensterik over/under gulv (MP1-MP10) i hele undersøgelsesperioden.



Indholdet af radon i indeluften i de 4 målepunkter viser tydelig sammenhæng med differensterikket over terrændækket. Ved positivt differensterik er der en opadrettet gradient og konvektiv strømning af radonholdig luft fra under terrændækket til indeluften.

I normalsituationen er der målt et radonindhold i intervallet 20-60 Bq/m<sup>3</sup> i indeluften, og dette indhold er reduceret til 0-10 Bq/m<sup>3</sup> efter påsætning af overtryk på bygningen.

Af Tabel 10.2 ses de målte radonkoncentrationer i indeluften i de målepunkter, hvor der er målt med instrumenter, der ikke logger, men udelukkende måler gennemsnitsværdier.

Tabel 10.2: Målte gennemsnitsindhold af radon (Bq/m<sup>3</sup>) i indeluften under hhv. normalsituationen (tre perioder) og under situationen med overtryk på bygningen.

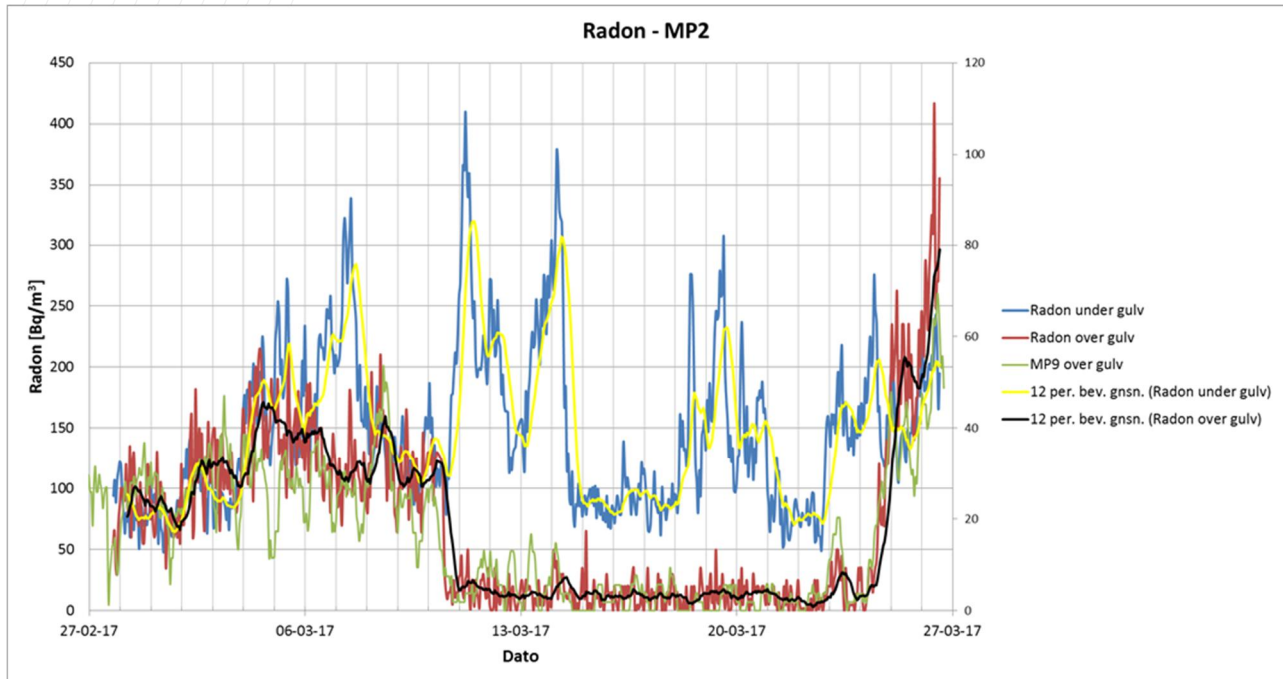
	26. jan – 12. feb. 2017 (normal sit.)	12. feb. – 27. feb. 2017 (normal sit.)	27. feb. – 10. marts 2017 (normal sit.)	10. – 24. marts 2017 (overtryk)
MP1	19	19	21	1
MP5	63	61	56	4
MP6	33	45	42	2
MP7	38	34	31	2
MP10	73	107	100	2

De påviste radonkoncentrationer - under overtryksperioden sammenlignet med normalsituationen - bekræfter tendensen, som fremgår af de loggede radondata, og som er beskrevet ovenfor. Gennemsnitskoncentrationerne i indeluften, efter der er sat overtryk på huset, falder fra 19-63 Bq/m<sup>3</sup> til 1-4 Bq/m<sup>3</sup>, hvilket svarer til baggrunds niveauet for radon i udeluft.

Et enkelt sted i bygningen (MP2) blev der endvidere foretaget specifik måling af radonindholdet hhv. under og over gulv. Resultaterne er vist i Figur 10.9 sammen

med resultaterne af radonmåling i indeluft ved MP9. Målingerne er tilføjet et glidende gennemsnit for at udjævne peaks og for at tydeliggøre evt. døgnvariationer.

Figur 10.9: Sammenhørende værdier for radonindhold over og under gulv i MP2 samt radon i indeluft ved MP9. Kun data fra sidste del af normalsituation og hele overtryksperiode. Skalaen til venstre er for radon under gulv, skalaen til højre er for radon i indeklimaet.



Radonmålingerne viser i perioden indtil den 10. marts 2017 tegn på døgnvariationer i både indhold over og under gulv. Der ses også tegn på, at indholdet under gulv påvirker indholdet i indeluften med en forsinkelse på nogle timer. Under gulvet blev der målt indhold af radon på mellem ca. 50-350 Bq/m<sup>3</sup>, mens der i indeluften blev målt indhold mellem ca. 10-60 Bq/m<sup>3</sup>.

I perioden fra den 10. til den 24. marts 2017, hvor der sættes overtryk på bygningen, reduceres indholdet af radon i indeluften markant til ca. 0-5 Bq/m<sup>3</sup>. Umiddelbart efter fjernelse af overtrykket på bygningen ses indtrængning af radon igen. Helt til slut af måleperioden ses der radonindhold i indeluften på over 400 Bq/m<sup>3</sup>, hvilket er højere end inden forsøget med overtryk.

#### 10.2.6.4 Målinger i indeklimaet (chlorerede opløsningsmidler)

Som tidligere beskrevet er ejendommen forurennet med chlorerede opløsningsmidler i jord, grundvand og poreluft. Der er derfor lavet indeklimamålinger i forbindelse med de udførte undersøgelser, og resultaterne fremgår af Tabel 10.3. Der er alene angivet resultater for det chlorerede opløsningsmiddel TCE. I de første to måleperioder har bygningen stået, som den var (ubenyttet og upåvirkede tryk-/ventilationsforhold), mens der i den sidste måleperiode har været overtryk på bygningen.

Tabel 10.3: Analyseresultater for indholdet af TCE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) i indeluften hhv. under normal-situationen (to perioder) og under situationen med overtryk på bygningen.

	26. jan. – 27. feb. 2017 (normal sit.)	27. feb. – 10. marts 2017 (normal sit.)	10. – 24. marts 2017 (overtryk)
MP1	23	26	0,57
MP2	30	26	0,71
MP3	31	34	0,62
MP4	92	34	1,0
MP5	38	43	0,66
MP6	75	30	0,77
MP7	29	24	0,71
MP8	29	21	0,69
MP9	25	23	0,64
MP10	70	87	0,65

De påviste koncentrationer af TCE i perioden med overtryk på bygningen viser en helt tydelig reduktion af koncentrationerne af TCE i forhold til normalsituationen, med en reduktion af koncentrationerne på mellem 30 og 134 gange. Gennemsnitskoncentrationerne i indeluften falder fra 23-92  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  til 0,57-1,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , efter der er sat overtryk til huset.

### 10.2.7 Datasammenfatning og vurdering

Den undersøgte bygning blev fundet til at have en tæthed på 2,99 l/s pr  $\text{m}^2$  ved 50 Pa. Efterfølgende test med overtryk på bygningen viste, at der skal tilføres luft med ca. 300  $\text{m}^3/\text{h}$ , svarende til ca. 83 l/s, for at opnå en nedadrettet gradient over terrændækket. Luftsiftet i overtrykssituationen beregnes til 0,92  $\text{h}^{-1}$ .

Undersøgelserne har vist, at differenstrykket over bygningens terrændæk især er påvirket af temperaturforskellen mellem ude og inde, men til dels også af vindforhold. Der er ikke fundet en tydelig sammenhæng mellem differenstrykket over terrændæk og atmosfæretrykket.

Der er endvidere observeret en klar sammenhæng mellem indholdet af radon i indeluften og differenstrykket over terrændækket. Dette vurderes at skyldes, at der ved et stort positivt differenstryk, og dermed tilsvarende høj opadrettet gradient vil være en høj konvektiv strømning af luft fra under terrændækket til indeluften, og omvendt ved negativt differenstryk.

Et lille overtryk på huset på 2-5 Pa (ved tilførsel af luft med 300  $\text{m}^3/\text{h}$ ) kan ændre differenstrykket over gulvet fra opadrettet (+1-3 Pa) til nedadrettet ( $\div 1 - \div 2$  Pa). Dette kan medføre en væsentlig reduktion af indholdet af radon og chlorerede opløsningsmidler i indeluften. Der ses en reduktion i koncentrationerne af radon på ca. 20-50 gange og af TCE på ca. 30-134 gange ved det påførte overtryk.

Resultaterne af undersøgelser på testhuset i Køge er samlet i Tabel 10.4.

Tabel 10.4: Opsummering af resultater for testhus i Køge.

	Resultater
Luftskifte ved normalsituation	Ukendt.
Beregnet luftskifte ved overtryksventilation	0,92 h <sup>-1</sup>
Flow ved overtryksventilation	Indblæsning: 300 m <sup>3</sup> /h
Differenstryk ved normalsituation	+1 - +3 Pa
Differenstryk ved overtryksventilation	-1 Pa
Radonindhold ved normalsituation	19-63 Bq/m <sup>3</sup>
Radon ved overtryksventilation	1-4 Bq/m <sup>3</sup>
Reduktion i radonindhold ved overtryksventilation	Faktor 20-50
TCE-indhold ved normalsituation	21-92
TCE-indhold ved overtryksventilation	0,57-1,0
Reduktion i TCE-indhold ved overtryksventilation	Faktor 30-134

Luftskiftet i bygningen er i perioden med påført overtryk ændret betydeligt i forhold til normalsituationen. Ventilatoren har i perioden en kapacitet på 300 m<sup>3</sup>/h, og med et volumen af huset på ca. 325 m<sup>3</sup> svarer dette til et luftskifte på ca. 0,92 h<sup>-1</sup>. Luftskiftet i normalsituationen kendes ikke, men regnes der med et luftskifte på 0,3 h<sup>-1</sup>, jf. /11/, øges luftskiftet med ventilatoren således til ca. 3 gange luftskiftet i normalsituationen. Dette vil betyde en tilsvarende reduktion i koncentrationerne i huset på 3 gange, under forudsætning af, at fluxen af radon og TCE ind i huset er uændret. Da der ses en reduktion i koncentrationerne af radon med en faktor ca. 20-50 gange og af TCE med en faktor ca. 30-134 gange, efter der er påført overtryk på huset, vurderes det, at de reducerede koncentrationer dermed skyldes, at fluxen af hhv. radon og TCE ind i huset er blevet reduceret. Dette som følge af det påtrykte overtryk.

Det undersøgte testhus er forholdsvis tæt konstruktionsmæssigt i forhold til den byggeperiode, hvor det er blevet opført. Denne kendsgerning indgår i de samlede vurderinger af de gennemførte undersøgelser, og herunder vurdering af overtryksmetodens anvendelighed i andre typiske danske boliger. Om det på samme måde kan lade sig gøre at vende differenstrykket over gulv for mere utætte boliger, kræver derfor supplerende undersøgelser i andre huse.

Det påførte overtryk på testhuset vurderes på baggrund af en umiddelbar subjektiv vurdering ikke at have nogen påvirkning i forhold til komfort eller åbning og lukning af døre mv. Der blev målt et mindre fald i indetemperaturen i bygningen i overtryksperioden, da der blev ført kold, uopvarmet luft ind i bygningen.

## 10.3 Bolig i Viborg

Dette afsnit beskriver de udførte undersøgelser i en bolig i Viborg, som er gennemført i perioden fra oktober til december 2017. Boligen er anvendt som normalt i undersøgelsesperioden.

I forbindelse med valg af bolig er det prioriteret, at:

- Boligen repræsenterer den boligmasse, som vurderes at have udfordringer i forhold til indtrængning af radon.
- Boligen repræsenterer typiske byggetekniske løsninger, for så vidt angår klimaskærm og terrændæk.
- Boligen repræsenterer en stor del af bygningsmassen i Danmark.

Ved valg af undersøgelsesbolig var det forventet, at denne bolig ville være mere utæt end testhuset i Køge. Det viste sig ikke at være tilfældet, hvilket er nærmere beskrevet i afsnit 10.3.4. Det blev dog besluttet at fortsætte undersøgelserne i den valgte bolig på trods af dette.

### 10.3.1 Formål med undersøgelserne

Formålet med undersøgelserne i boligen i Viborg har været at opnå viden om følgende:

- Hvor stort et luftflow skal der til for netop at ændre differenstrykket over terrændækket i et hus til nedadrettet, når huset samtidig er i brug? Herunder viden om, hvornår (ved hvilket påført overtryk over klimaskærmen) det ændrede differenstryk påvirker radonkoncentrationerne i huset.
- Betydningen af boligens tæthed i forhold til, om det er muligt at ændre differenstrykket over terrændækket. Er det muligt at ventilere sig til en ændring af gradienten over terrændæk uden at skabe gener i form af støj, vindturbulens og træk i bygningen?
- Hvordan påvirkes differenstrykket over terrændækket af brugeradfærden?
- Giver overtrykssituationen indikationer på begyndende fugt i konstruktionerne?

### 10.3.2 Beskrivelse af lokalitet

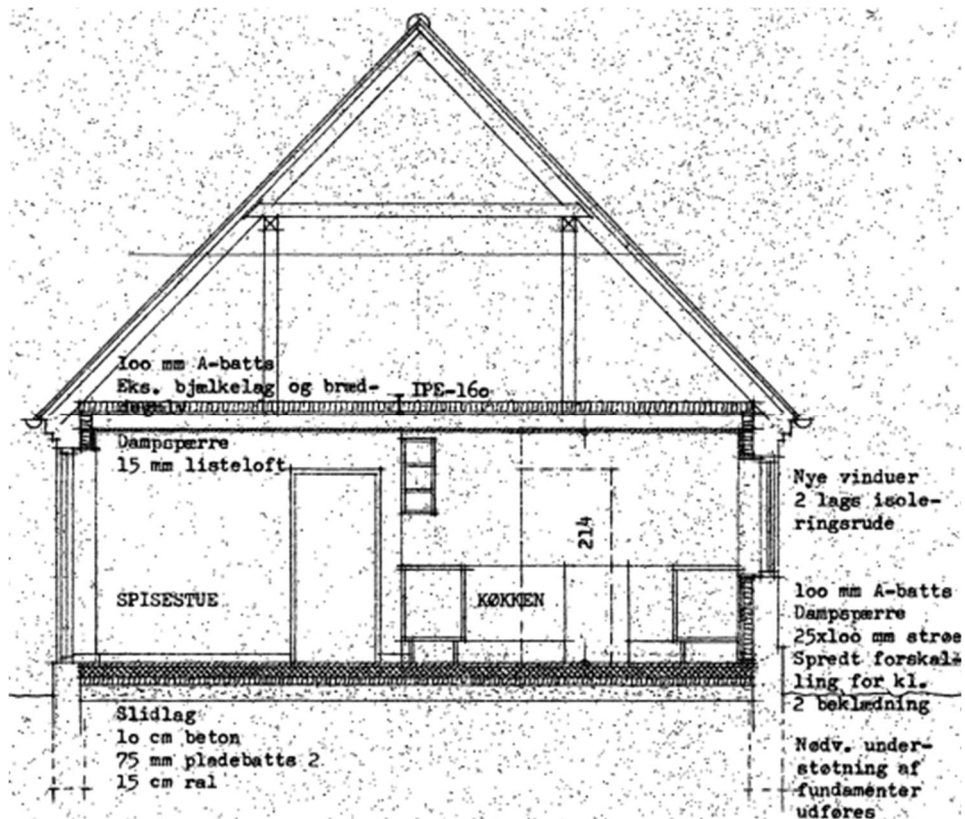
Bygningen er et 1½ plans hus med udnyttet tagetage fra 1856. Bygningens grundareal er på 140 m<sup>2</sup>. Ejendommen er moderniseret i 1998 og 2007-2009. På Figur 10.10 ses foto af boligen. Ejendommen opvarmes med træfyr, og der er gulvvarme i køkken-alrummet. Ejendommen har natstyring på radiatorerne.

Figur 10.10: Foto af bolig i Viborg.



Ifølge grundejer er terrændækket i hovedparten af den undersøgte del af boligen bygget op af 100 mm beton og 100 mm isolering oven på nøddested. Ydervæggene består af en helmuret væg og indervægge af gipsplader. Isolering er udført med 100 mm mineraluld. I Figur 10.11 ses tværsnit af boligen.

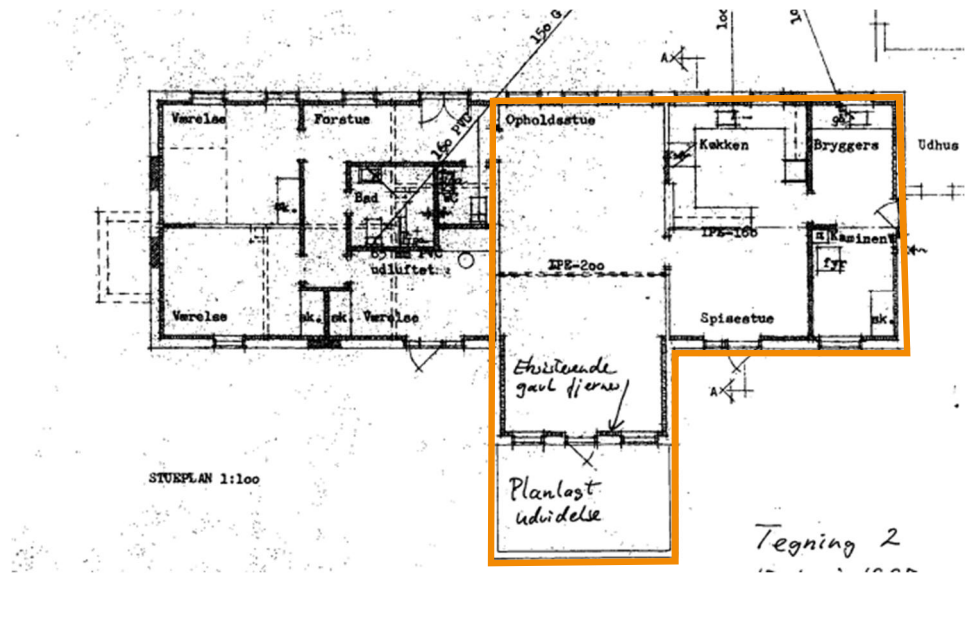
Figur 10.11: Tværsnit af bolig i Viborg.





Nedenstående Figur 10.12 viser en situationsplan over boligen. Etageplaner for både stueetage og 1. sal er vedlagt i bilag 2.1. For at gøre forsøget mere overskueligt, blev det besluttet at afgrænse undersøgelse til en del af boligen. Den øvrige del af boligen blev afskåret fra den udvalgte del via en dør, som blev holdt lukket gennem hele undersøgelsesperioden (undtagen når beboerne skulle ind i den øvrige del af beboelsen).

Figur 10.12: Situationsplan for stueetagen af bolig i Viborg. Undersøgt del af stueetagen er angivet med orange.



### 10.3.3 Undersøgelingsprogram og måleudstyr

#### 10.3.3.1 Undersøgelingsprogram

Feltundersøgelserne er delt op i 4 dele, hvor datoerne er angivet i parentes:

- Tæthedsprøvning med blowerdoor og test med overtryk på bygningen (30.10.17).
- Logning af data i normalsituationen, 4 uger (30.10.17-29.11.17).
- Logning af data ved overtryk på bygningen, 2 uger (29.11.17-14.12.17).
- Logning af data ved alternerende ventilationsdrift, 1 uge (14.12.17-18.12.17).

Indledningsvis er der gennemført en tæthedsprøvning af ejendommen samt test af, om det er muligt at lave overtryk på bygningen, hvilket er beskrevet nærmere i afsnit 10.3.4. Efterfølgende er der lavet målinger over en ca. 4 ugers periode, som i det følgende kaldes normalsituation. I denne periode er der ikke foretaget nogen trykpåvirkning af huset, og boligen er anvendt helt som normalt. Målingerne i denne periode er foretaget for at have et baggrundsniveau for de forskellige parametre og for derved at kunne vurdere effekten af den senere udførte overtryksventilation. Efter normalsituationen er der gennemført en 2 ugers testperiode, hvor huset har været påført det overtryk, der ved den indledende test er estimeret til at medføre en ændring af trykgradienten over terrændækket. Overtrykket er

påført ved, at der er monteret en ventilator gennem ydervæggen i bryggerset som beskrevet i afsnit 10.3.5. Inden afslutning af målingerne er der i en lille uges tid lavet undersøgelse med alternerende ventilationsdrift, hvor der er tændt og slukket for ventilatoren ca. hver 6. time.

#### 10.3.3.2 Måleudstyr

Under undersøgelsen er der udført logning af forskellige parametre, hvilket er opsummeret nedenfor og beskrevet mere uddybende i bilag 2.3. Placering af målinger fremgår af situationsplan i bilag 2.1.

Tabel 10.5: Anvendt feltudstyr til målingerne i bolig i Viborg.

Parameter	Udstyr	Placering
Vind	Davis (S-WCF-M003)	Logning af vindretning og vindhastighed i haven, så målingerne ikke er påvirket af særlige trykforhold omkring bygningen.
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	Der er lavet 3 målinger ude og 4 målinger inde.
Differenstryk	Systronik	Der er lavet 4 målinger over gulv samt 1 måling inde/ude.
Radon	RAD7 Corentium Pro	Der er lavet 1 måling under gulv. Der er lavet 3 målinger inde.
Luftfugtighed	Testo T175T3	Der er lavet 3 målinger ude og 8 målinger inde.
CO <sub>2</sub>	Testo T175T3	Der er lavet 3 målinger inde.

#### 10.3.4 Tæthedsprøvning

##### 10.3.4.1 Blowerdoor

Den 30. oktober 2017 er der foretaget tæthedsprøvning med blowerdoor til vurdering af boligens bygningstæthed. Tæthedsprøvningen er foretaget i henhold til dansk standard af Factum2Skive, og rapporten fremgår af bilag 2.2.

Inden blowerdoortesten til bestemmelse af husets tæthed blev der tætnet langs døren til den øvrige del af boligen. Brændeovnen blev lukket med plastic og tape. Renselem til skorsten samt emhætte blev ligeledes tapet til. Det vil sige, at alle tilsigtede åbninger i klimaskærmen var lukket i forbindelse med tæthedsprøvningen. Dette er standardprocedure i forbindelse med blowerdoortest for dermed at kunne måle betydningen af utilsigtede åbninger, revner og sprækker.

Standardtesten blev gennemført ved en trykforskel på 50 Pa mellem ude og inde, og der blev målt, hvilken luftstrøm der skulle til for at opretholde denne trykforskel. Den nødvendige luftstrøm er et mål for tætheden af bygningen, og testen blev gennemført med både overtryk og undertryk i huset.

Blowerdoortesten viste en tæthed på 2,18 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa. For at opretholde denne trykforskel blev det fundet, at der skulle tilføres boligen luft med et flow på ca. 250 l/s.

I forbindelse med den efterfølgende overtrykstest i boligen (afsnit 10.3.4.2) blev det fundet, at der trængte kold luft ind i bryggerset via et aflukket rum under en trappe med rørføringer. Grundejer har efterfølgende støbt til omkring rørene, hvorfor boligen må forventes at være mere tæt end det, som blev fundet ved tæthedsprøvningen.

Da der er tale om en ældre bolig, der dog løbende er blevet gennemrenoveret, var det forventet, at denne bolig ville være mere utæt, end den bestemte værdi på 2,18 l/s pr m<sup>2</sup>. På trods af, at ejendommen viste sig at være mere tæt end forventet, blev det besluttet at fortsætte målingerne.

#### 10.3.4.2 Test med overtryk

Der blev foretaget en test af, om det var muligt at ændre differenstrykket over terrændækket til nedadrettet ved påføring af forskellige tryk/flow, ligeledes blev det mindst mulige tryk/flow eftersøgt. Forsøget blev udført i direkte forlængelse af tæthedsprøvningen ved standardtryk (50 Pa), og inden forsøget blev husets døre og vinduer åbnet for at få huset tilbage i normalsituationen. Endvidere blev tætning af emhætten fjernet.

Herefter blev blowerdooren langsomt startet igen, mens differenstrykmålerne, installeret over gulvene i boligen, løbende blev aflæst.

Desværre blev der ved overtrykstesten fundet problemer med det anvendte blowerdoorudstyr, som ikke umiddelbart kunne justeres ind på stedet, og det blev derfor vurderet, at resultaterne ikke var retvisende. Resultaterne af overtrykstesten er derfor ikke medtaget i denne rapport. Resultaterne af tæthedsprøvningen vurderes ifølge Factum2Skive ikke at være påvirket af problemerne med udstyret.

#### 10.3.5 Etablering af overtryk på bygning

Den 29. november 2017 blev der installeret en ventilator til indblæsning af udeluft i boligen med det formål at etablere et let overtryk i forhold til udeluften og dermed vende trykgradienten over terrændækket fra opadrettet til nedadrettet.

Der blev monteret en ventilator af typen Lindab CBU100C, der har en max. kapacitet på 300 m<sup>3</sup>/h (83 l/s). Ventilatoren blev monteret gennem ydervæggen i bryggerset (gennem eksisterende hul i ydervæggen knyttet til afkast fra tørretumbler), som vist på foto i Figur 10.13.

Figur 10.13: Etablering af ventilator i ydervæg på bolig i Viborg.



Efter start af ventilatoren blev trykforholdene i huset kontrolleret manuelt ved aflæsning af differenstrykmålerne, og ventilatoren blev langsomt reguleret op i flow, indtil en nedadrettet gradient var opnået ved alle differenstrykmålepunkterne over terrændækket.

Overtrykket i boligen blev etableret via et ventilationsflow på ca.  $180 \text{ m}^3/\text{h}$ , svarende til ca.  $50 \text{ l/s}$ . Det påførte overtryk/ventilationsflow resulterede i et beregnet luftskifte i boligen på ca.  $0,6 \text{ h}^{-1}$ .

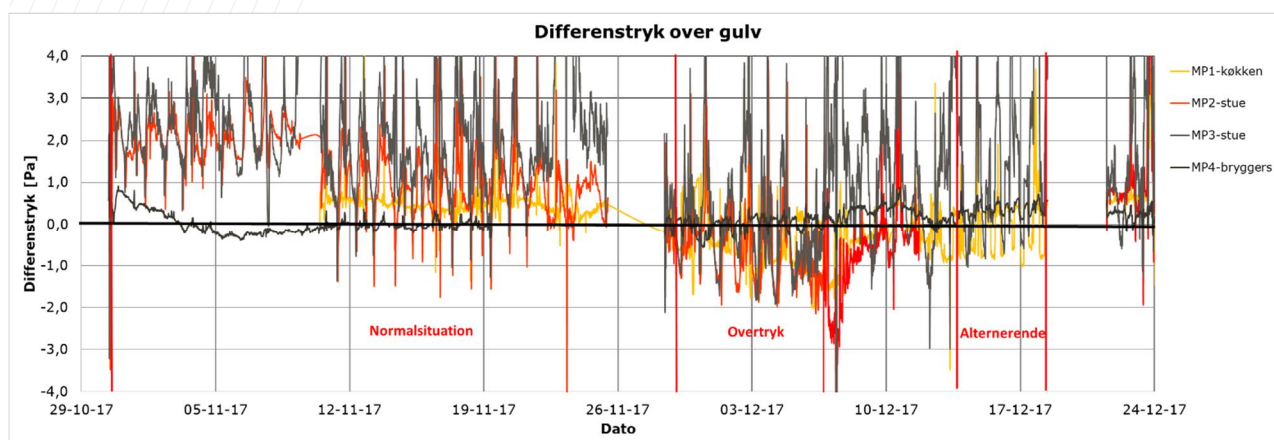
### 10.3.6 Resultater

Udvalgte data fra undersøgelserne er beskrevet nedenfor. For gennemgang af samtlige resultater henvises til bilag 2.3.

#### 10.3.6.1 *Differenstryk* Differenstryk over gulv

Der blev målt og logget differenstryk i 4 målepunkter over/under gulv, og resultaterne er vist i Figur 10.14.

Figur 10.14: Differenstryk over gulv. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.



Differenstrykket over gulvet har i størstedelen af måleperioden været positivt, indtil huset udsættes for overtryk den 29. november 2017, og værdierne ligger generelt omkring +2 Pa i normalsituationen. Der observeres tydelige døgnvariationer i differenstrykket over gulv.

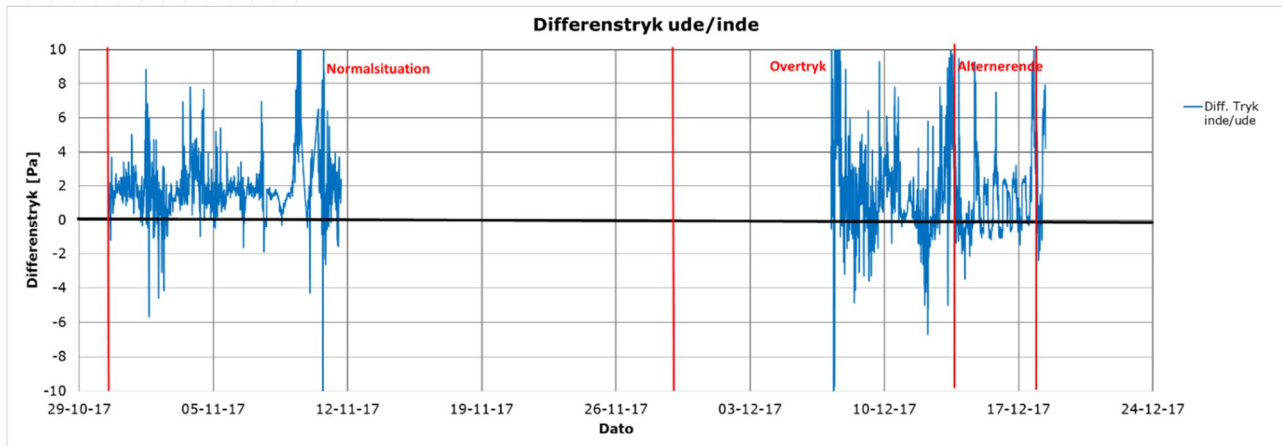
I perioden med overtryksventilation (29. november 2017 - 14. december 2017) påføres huset et overtryk ved at blæse udeluft ind i bygningen med en ventilator (ca. 50 l/s). Differenstrykket ændres i perioden med overtryk i indeklimaet fra +2 Pa til  $\div$  1 Pa, altså en ændring fra opadrettet trykgradient til nedadrettet trykgradient over gulvet. I kortere perioder, generelt midt på dagen, ses dog fortsat en opadrettet gradient og positivt differenstryk.

I perioden med alternerende overtryksventilation (14. december 2017 – 18. december 2017) ses tydelige svingninger i differenstrykket over gulvet, omkring 0 Pa. Især ved målingen i køkkenet (MP1) ses tydelig sammenhæng i differenstrykket over gulvet ift. tænd og sluk af ventilator.

#### Differenstryk over ydervægge

Der blev målt og logget differenstryk over ydervæggen et sted i boligen, og resultaterne er vist i Figur 10.15. En instrumentfejl har betydet, at en del af data ikke har kunnet aflæses fra instrumentet, og derfor mangler data for en del af perioden.

Figur 10.15: Differenstryk over ydervæg. Negative værdier angiver overtryk i bygningen i forhold til udeluften.



Differenstrykket målt over ydervæggen viser et generelt undertryk i huset i normalsituationen med værdier omkring +1-+2 Pa.

I perioden med konstant overtryksventilation falder det ellers normale undertryk i boligen en smule, dog uden at gradienten over ydervæggen bliver konstant udadrettet. Det indikerer således, at der ved overtryksventilationen ikke er skabt et fast overtryk i boligen i forhold til udeluften. Dette var dog heller ikke et mål i sig selv, da der kun ønskes tilført den luft, som lige netop sikrer en nedadrettet trykgradient over gulvene.

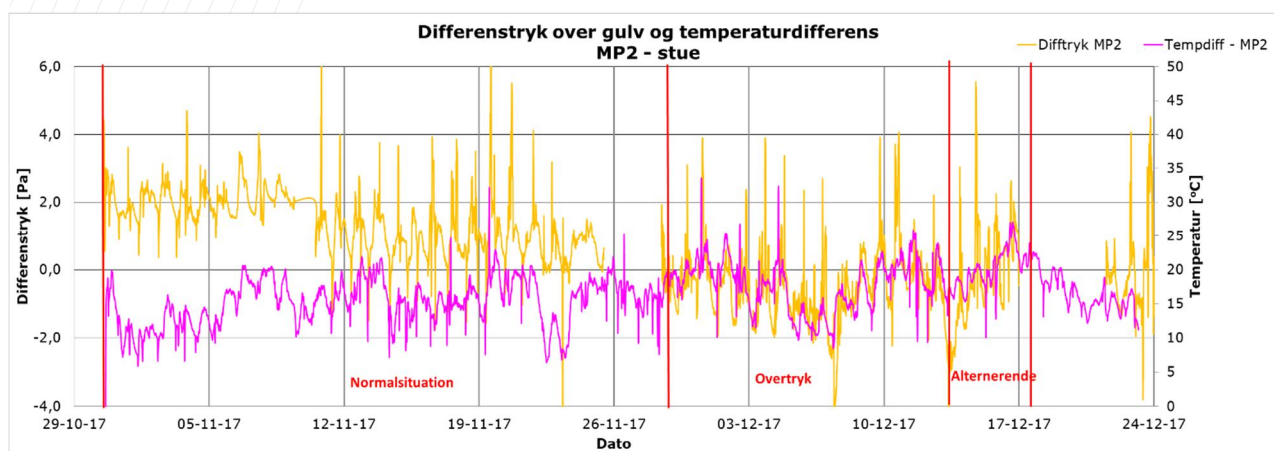
#### 10.3.6.2 Temperatur

Temperatur er logget kontinuert 3 steder i udeluften og 4 steder i indeluften i hele undersøgelsesperioden. I normalsituationen blev indetemperaturen fundet til at være omkring 17-25°C. Der blev observeret forholdsvis store udsving over døgnet i indetemperaturen, hvilket vurderes at skyldes, at ejendommen har natstyring på radiatorerne. I overtryksperioden ses et fald i indetemperaturen i bryggerset, men ikke i den øvrige del af boligen, hvilket fint kan sammenkædes med ventilatorens placering i bryggerset.

Udetemperaturen har været nogenlunde konstant over undersøgelsesperioden, omkring 0-10°C.

I /5/ er beskrevet en entydig og umiddelbar sammenhæng mellem differenstrykket over terrændæk og temperaturforskellen mellem udeluften og indeluften. I Figur 10.16 er disse to parametre vist for hele undersøgelsesperioden. Temperaturforskellen er beregnet ud fra den udetemperatur og indetemperatur, som vurderes at være mest repræsentative.

Figur 10.16: Temperaturforskel mellem inde og ude og differenstræk over terrændæk i hele undersøgelsesperioden.



Sammenhængen mellem differenstrækket over gulv og temperaturforskellen ude/inde observeres mest tydeligt i overtrykssituationen, hvor stigninger i temperaturforskellen resulterer i stigninger i differenstrækket og omvendt. Sammenhængen i normalsituationen er ikke helt så entydig som den, der er observeret i testhuset i Køge (jf. Figur 10.7).

#### 10.3.6.3 Radon

Radon er logget kontinuert 3 steder i indeluften samt ét sted under gulv i hele undersøgelsesperioden. I normalsituationen er der registreret et meget varierende radonindhold i boligen, med forholdsvis store udsving af kort varighed. I størstedelen af tiden lå radonindholdet omkring  $100 \text{ Bq/m}^3$ , men der ses udsving op over  $1.500 \text{ Bq/m}^3$  i korte perioder. Efter etablering af overtryksventilation falder radonniveauet betydeligt i hele boligen. Der ses i denne periode radonkoncentrationer i intervallet  $0\text{-}10 \text{ Bq/m}^3$ .

Af nedenstående Figur 10.6 fremgår de beregnede gennemsnitlige radonkoncentrationer for hver af de 3 situationer.

Tabel 10.6: Beregnet gennemsnitligt radonindhold i indeluften i hhv. bryggers, køkken og stue ved de 3 forskellige scenarier.

\*I perioden med overtryksventilation er ikke medregnet de dage, hvor ventilatoren blev droppet ned i flow.

Scenarie	Radon, bryggers [ $\text{Bq/m}^3$ ]	Radon, køkken [ $\text{Bq/m}^3$ ]	Radon, stue [ $\text{Bq/m}^3$ ]	Gns. Radonindhold i bolig [ $\text{Bq/m}^3$ ]
Normalsituation	256	136	104	165
Overtryksventilation*	5	4	6	5
Alternerende ventilation	47	32	35	40

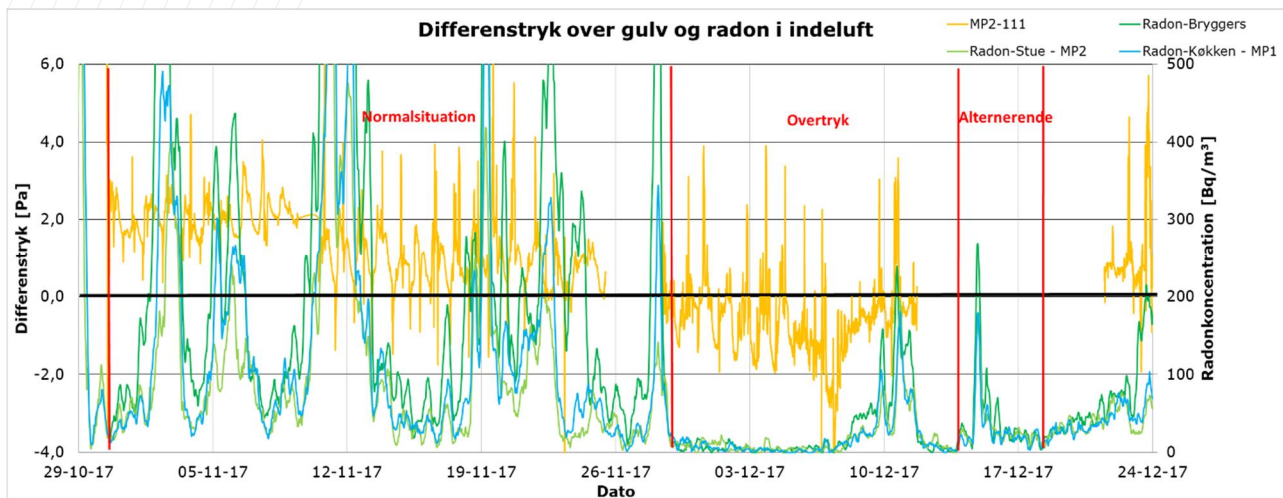
I normalsituationen er der målt et gennemsnitligt radonindhold i boligen på  $165 \text{ Bq/m}^3$ , hvor de højeste koncentrationer er påvist i bryggerset og dermed sandsynligvis skyldes et meget tyndt betongulv samt tilstedeværelsen af mange rørgennemføringer. Ved overtryksventilation, hvor der tilføres udeluft med et flow på ca.  $50 \text{ l/s}$ , falder det gennemsnitlige radonindhold i boligen til ca.  $5 \text{ Bq/m}^3$ , hvilket vurderes at svare til et normalt baggrundsniveau for radon i udeluften. Ved

alternerende drift med tænd og sluk af ventilator hver 6. time er der fundet et gennemsnitligt radonindhold i boligen på 40 Bq/m<sup>3</sup>. Den alternerende drift af ventilatoren ser således ud til at være tilstrækkelig til at holde radonindholdet under de 100 Bq/m<sup>3</sup>, som er grænsen for, hvornår der anbefales afhjælpning.

Ved overtryksventilation ses en reduktion af radonindholdet med en faktor 15-50 gange.

I Figur 10.17 er de sammenhængende målinger af radon i indeluft og differenstræk over gulv vist for hele undersøgelsesperioden.

Figur 10.17: : Radonindhold i indeluft og differenstræk over gulv i hele undersøgelsesperioden.

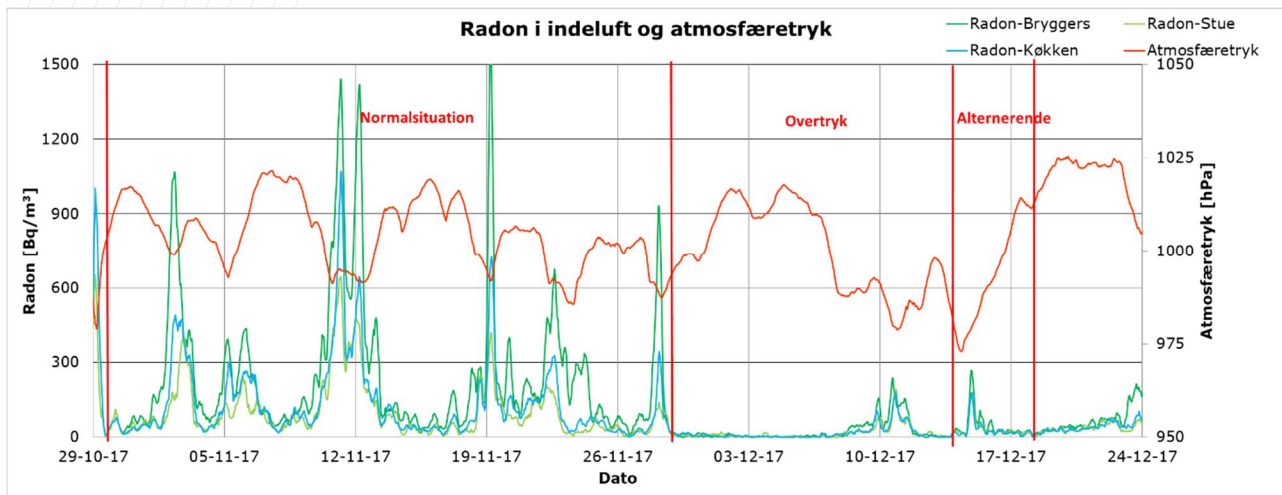


I normalsituationen ses store udsving og periodevis høje indhold af radon i indeluften. Der ses ikke umiddelbart en sammenhæng mellem svingningerne i radonindhold og variationer i differenstræk over gulv.

I bilag 2.3 er der lavet sammenhængende grafer for radonindhold og de forskellige vejrforhold (atmosfæretryk, vindretning og vindhastighed), som er registreret gennem hele måleperioden. I figur 10.18 er radonindholdet vist sammen med variationer i atmosfæretryk, og heraf fremgår det, at der ses en sammenhæng mellem ændringer i atmosfæretryk og radonindhold. De markante stigninger i radonindhold, som er observeret i normalsituationen, er alle registreret i perioder, hvor atmosfæretryk er faldende.



Figur 10.18: Radonindhold i indeluft og atmosfæretryk i hele undersøgelsesperioden.



Ændringerne i atmosfæretrykket er ikke nødvendigvis den direkte årsag til radonindholdene. I forbindelse med atmosfæretrykfald observeres også ændringer i vindretning og vindhastigheder, som er beskrevet yderligere i bilag 2.3.

Variationerne af radonindholdet i indeluften på denne ejendom vurderes derfor at være et resultat af flere meteorologiske faktorer som fald i atmosfæretryk, vindhastighed og vindretning (i dette tilfælde vind fra nordøst til nordvest).

#### 10.3.6.4 Luftfugtighed og CO<sub>2</sub>

De gennemførte målinger i normalsituationen viser et indeklima, hvor der periodevis kan måles en høj koncentration af CO<sub>2</sub>. Dette kunne tyde på, at luftsiftet i bygningen (via ventilationsåbninger eller generel infiltration/exfiltration) er utilstrækkelig.

Der er ikke set en sammenhæng mellem differenstrykket over gulvet og den absolute luftfugtighed i loftrummet. Af målingerne kan det derfor ikke ses, at en ændring af trykforholdene hen over bygningens terrændæk har indflydelse på fugtforholdene i tagkonstruktionen.

De observerede data (særligt fugtdataene) giver således ikke grundlag for entydigt at fraråde etableringen af et svagt overtryk i bygningen.

#### 10.3.7 Datasammenfatning og vurdering

Den undersøgte del af boligen blev fundet til at have en tæthed på 2,18 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa, og den undersøgte bolig vurderes således at være forholdsvis tæt i forhold til den byggeperiode, hvor den er opført.

Undersøgelserne har vist, at der for denne ejendom ikke er entydig sammenhæng mellem differenstryk over terrændæk og forskellen mellem inde- og udetemperatur. Ligeledes er der ikke observeret tydelig sammenhæng mellem differenstrykket over terrændækket og de meteorologiske forhold. Derimod viser undersøgelserne, at de meteorologiske forhold har stor betydning for radonindholdet i indeluften på denne ejendom. Et hurtigt fald i atmosfæretrykket giver en forhøjet indtrængning

af radon. Vind fra bestemte retninger (især vind fra nordøst til nordvest) ser også ud til at have betydning.

Der er etableret en ventilator i ydervæggen, som har påført ejendommen et mindre overtryk ved at tilføre luft med et flow på 180 m<sup>3</sup>/h (50 l/s), svarende til et beregnet luftskifte på 0,6 t<sup>-1</sup>. Det lille overtryk på huset har lige netop medført, at trykgradienten over gulv er blevet ændret fra opadrettet (+2 Pa) til nedadrettet (-1 Pa). Undersøgelsen har således dokumenteret, at det er muligt at vende trykgradienten over gulvet til nedadrettet, selvom bygningen er i almindelig brug under forsøget. Ved måling af differenstryk over klimaskærmen (mellem inde- og udeluft) ses dog kun begrænsede ændringer ved overtryksventilationen, og trykgradienten bliver ikke udadrettet. Der måles således fortsat et svagt undertryk i boligen i den periode, hvor der tilføres udeluft.

I normalsituationen er der registreret et meget varierende radonindhold i boligen med forholdsvis store udsving af kort varighed. I størstedelen af tiden ligger radonindholdet omkring 100 Bq/m<sup>3</sup>, men der ses udsving op over 1.500 Bq/m<sup>3</sup> i korte perioder. Der er i normalsituationen målt et gennemsnitligt indhold af radon i boligen på 165 Bq/m<sup>3</sup>.

Efter etablering af overtryksventilation falder radonniveauet betydeligt i hele boligen. Der ses i denne periode radonkoncentrationer i intervallet 0-10 Bq/m<sup>3</sup>, med et gennemsnitligt radonindhold på ca. 5 Bq/m<sup>3</sup>. Der ses således en reduktion i koncentrationerne af radon med en faktor ca. 33 ved at påføre bygningen et mindre overtryk (målingerne ligger i intervallet 15-50 gange).

I slutningen af måleperioden er der lavet forsøg med alternerende drift af ventilatoren, med tænd og sluk hver 6. time. Ved den alternerende drift ses fortsat et lavt indhold af radon i indeluften. Det gennemsnitlige radonindhold ved den alternerende drift er bestemt til ca. 40 Bq/m<sup>3</sup> og ligger således under den anbefalede værdi på 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Resultaterne af undersøgelserne på boligen i Viborg er samlet i Tabel 10.7.

Tabel 10.7: Opsummering af resultater for bolig i Viborg. () angiver gennemsnitligt radonindhold.

	Resultater
Luftskifte ved normalsituation	Ukendt.
Beregnet luftskifte ved overtryksventilation	0,6 h <sup>-1</sup>
Flow ved overtryksventilation	Indblæsning: 180 m <sup>3</sup> /h
Differenstryk ved normalsituation	+2 Pa
Differenstryk ved overtryksventilation	-1 Pa
Radonindhold ved normalsituation	100-200 Bq/m <sup>3</sup> (165)
Radon ved overtryksventilation	0-10 Bq/m <sup>3</sup> (5)
Reduktion i radonindhold ved overtryksventilation	Faktor 33
Radon ved alternerende drift	40 Bq/m <sup>3</sup>
Reduktion i radonindhold ved alternerende drift	Faktor 4

Luftskiftet i den undersøgte del af boligen er i perioden med påført overtryk ændret betydeligt i forhold til normalsituationen. Ventilatoren har i perioden en kapacitet på 180 m<sup>3</sup>/h (50 l/s), svarende til et beregnet luftskifte på ca. 0,6 h<sup>-1</sup>. Luftskiftet i normalsituationen kendes ikke, men regnes der med et luftskifte på 0,3 h<sup>-1</sup>, sker der ca. en fordobling af luftskiftet ved overtryksventilationen. Dette vil betyde en halvering af radonindholdet i huset under forudsætning af, at fluxen af radon ind i huset er uændret. Da der ses en reduktion i koncentrationerne af radon med en faktor ca. 15-50 gange, efter der er påført overtryk på huset, er det muligt, at de reducerede koncentrationer dermed skyldes, at fluxen af radon ind i huset er blevet reduceret.

Så snart ventilatoren er tændt, har ejendommens beboere registreret en mærkbar ændring af komforten i huset. Tilførslen af kold luft kan tydeligt mærkes i hele den undersøgte del af boligen.

Undersøgelserne har ikke medført en væsentlig ændring af fugtforholdene i skunken eller på loftet.

## 10.4 Bolig i Aalborg

Dette afsnit beskriver de udførte undersøgelser i en bolig i Aalborg, som er gennemført i perioden fra februar til maj 2018 (delforsøg 1) samt fra december 2018 til april 2019 (delforsøg 2). Boligen er anvendt som normalt i undersøgelsesperioden.

I forbindelse med valg af bolig er det prioriteret, at:

- Boligen er mere utæt end de tidligere undersøgte bygninger, så det kan undersøges, om det er muligt at skabe overtryk i boligen.

Herudover er det som ved de tidligere valg prioriteret, at:

- Boligen repræsenterer den boligmasse, som vurderes at have udfordringer i forhold til indtrængning af radon.
- Boligen repræsenterer typiske byggetekniske løsninger, for så vidt angår klimaskærm og terrændæk.
- Boligen repræsenterer en stor del af bygningsmassen i Danmark.

### 10.4.1 Formål med undersøgelserne

Fra undersøgelserne på boligen i Viborg stod det klart, at det ikke var muligt at etablere et overtryk i en forholdsvis utæt bolig (tæthed bestemt til 2,18 l/s pr. m<sup>2</sup>) ved at tilføre boligen uopvarmet udeluft, uden at det indebar en uacceptabel komfortgene for ejendommens beboere. Det blev derfor, sammen med grundejer, besluttet at etablere et delvist selvfinansieret mekanisk balanceret ventilationsanlæg i boligen.

Formålet med undersøgelserne i boligen i Aalborg har været at opnå viden om følgende:

- Hvor utæt kan en bolig være for, at det stadig er realistisk at ændre differensstrykket over terrændækket?
- Er det muligt at ændre differensstrykket over terrændækket ved almindelig mekanisk balanceret ventilation (som anlæggene typisk indreguleres i Danmark)?
- Hvor meget reduceres radonindholdet i en bolig ved almindelig mekanisk balanceret ventilation?
- Hvor stor betydning har forskellige indreguleringer af anlægget på radonindholdet i boligen?
- Giver overtryksituationen indikationer på begyndende fugt i konstruktionerne?

#### 10.4.2 Beskrivelse af lokalitet

Bygningen er et étplans parcelhus fra 1965 på 125 m<sup>2</sup> med udnyttet tagrum. På Figur 10.19 ses foto af boligen. Ejendommen opvarmes med fjernvarme.

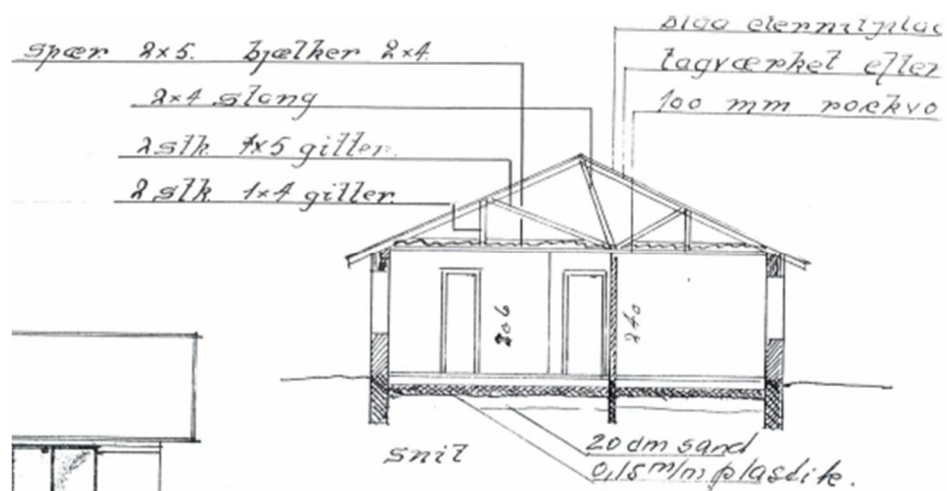
Figur 10.19: Foto af bolig i Aalborg.



I stue og på værelserne består terrændækket af trægulv oven på et klaplag. Under klaplageret er der udlagt 20 mm sand. I køkken/gang samt bryggers og på badeværelserne er der ca. 15 cm betongulv med gulvvarme. Der er klinker oven på betongulvene.

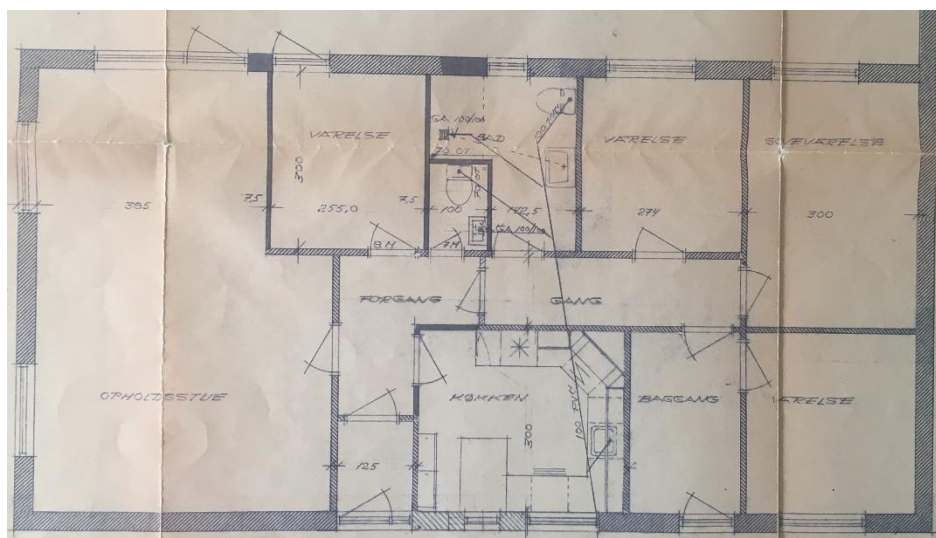
Ydervæggene består af en helmuret væg med isolering. Loftsrummet er uopvarmet og oprindeligt isoleret med 100 mm rockwool ned mod boligen. I 2011 er loftet efterisoleret med 200 mm papirisolering, der er blæst løst ud. I Figur 10.20 ses tværsnit af boligen.

Figur 10.20: Tværsnit af bolig i Aalborg.



Nedenstående Figur 10.21 viser en situationsplan over boligen, der endvidere er vedlagt i bilag 3.1.

Figur 10.21: Situationsplan for bolig i Aalborg. Vægge mellem køkken og gang/forgang er i dag fjernet.



### 10.4.3 Undersøgelingsprogram og måleudstyr

#### 10.4.3.1 Undersøgelingsprogram

Feltundersøgelserne er udført som beskrevet nedenfor, hvor datoerne er angivet i parentes:

Delforsøg 1

- Tæthedsprøvning med blowerdoor og test med overtryk på bygningen (06.02.18).
- Logning af data i normalsituationen, 7 uger (08.02.18-27.03.18).
- Etablering af mekanisk balanceret ventilationsanlæg (27.03.18-03.04.18).
- Logning af data ved overtryk på bygningen, 4 uger (07.04.18-03.05.18).

Indledningsvis er der gennemført en tæthedsprøvning af ejendommen samt test af, om det er muligt at lave overtryk på bygningen. Efterfølgende er der lavet målinger over en ca. 7 ugers periode, som i det følgende kaldes normalsituation. I denne periode er der ikke foretaget nogen tryk-/ventilationspåvirkning af huset.

Mens målinger foregik i normalsituationen (delforsøg 1), arbejdede projektgruppen med løsninger for etablering af overtryk på boligen, da tæthedsprøvning og overtrykstest har vist, at huset er for utæt til, at der kan tilføres kold udeluft som ved de tidligere undersøgte ejendomme. Det blev i samarbejde med grundejer besluttet at etablere et egentligt mekanisk balanceret ventilationsanlæg i boligen. Efter at anlægget var etableret, blev der gennemført en 4-ugers testperiode, hvor huset blev ventileret med en større indblæsning ift. udsugning (delforsøg 1 har flowdifference mellem ind og ud på ca. 100 m<sup>3</sup>/h, svarende til 50 vol-%). Undersøgelserne er herefter stoppet og først startet igen i december 2018 på grund af årstidsvariationen for radonindtrængning i bygninger.

I forbindelse med delforsøg 1 blev der lavet følgende indregulering af ventilationsanlægget, svarende til et beregnet luftskifte i boligen på ca. 1 h<sup>-1</sup> (og en overtryksventilation på 50 vol%):

Tabel 10.8: Indregulering af anlæg i forbindelse med delforsøg 1.

Dato	Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
07.04.18-03.05.18	Overtryk	300 (+50 vol%)	200

Delforsøg 2

- Logning af data ved forskellige scenarier (overtryk, undertryk, balanceret, slukket anlæg) af ca. 1 uges varighed (17.12.18-30.04.19).
- Sporgsmålninger med henblik på bestemmelse af aktuelle luftskifter ved hhv. overtryk, undertryk og slukket anlæg (12.02.19-08.03.19).

Delforsøg 2 er udført ved en række scenarier af ca. 1 uges varighed med varierende indblæsning og udsugning, dette for at se scenariernes betydning for radonindholdet i boligen (delforsøg 2 har flowdifference mellem indblæsning og udsugning på ca. 30 m<sup>3</sup>/h, svarende til ca. 20 vol-%). Oplysninger om scenarierne i delforsøg 2 fremgår af Tabel 10.9.

I forbindelse med alle de enkelte scenarier under delforsøg 2 blev der lavet indreguleringer af anlægget, svarende til et ensartet samlet beregnet luftskifte i boligen på ca. 0,6 h<sup>-1</sup>.

Tabel 10.9: Indregulering af anlæg i forbindelse med delforsøg 2.

Dato	Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
17.12.18-23.12.18	Undertryk	130	160 (+20 vol%)
23.12.18-31.12.18	Overtryk	160 (+20 vol%)	130
01.01.19-06.01.19	Balanceret	160	160
12.02.19-24.02.19	Balanceret	160	160
24.02.19-02.03.19	Sluk	0	0
02.03.19-08.03.19	Overtryk	160 (+20 vol%)	130
14.03.19-18.03.19	Overtryk	160 (+20 vol%)	130
18.03.19-25.03.19	Balanceret	160	160
25.03.19-01.04.19	Undertryk	130	160 (+20 vol%)
01.04.19-05.04.19	Sluk	0	0

#### 10.4.3.2 Måleudstyr

Under både delforsøg 1 og 2 er der udført logning af forskellige parametre, hvilket er opsummeret nedenfor i Tabel 10.10 og Tabel 10.11 samt beskrevet mere uddybende i bilag 3.3. Placering af målinger fremgår af situationsplan i bilag 3.1.

Tabel 10.10: Anvendt feltudstyr til målingerne i bolig i Aalborg ved delforsøg 1.

Parameter	Udstyr	Placering
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	Der er lavet 3 målinger ude og 4 målinger inde.
Temperatur, overflade	Testo	Der er lavet 2 målinger på overside/underside spær i loftsrummet.
Differenstryk	Systronik	Der er lavet 2 målinger over gulv.
Radon	RAD7	Der er lavet 1 måling under gulv.
	Corentium Pro	Der er lavet 3 målinger inde.
Luftfugtighed	Testo T175T3	Der er lavet 1 måling ude, 2 målinger på loftsrum samt 3 målinger inde.
CO <sub>2</sub>	Tinytag TGE-0011	Der er lavet 1 måling ude, 2 målinger på loftsrum samt 3 målinger inde.

Tabel 10.11: Anvendt feltudstyr til målingerne i bolig i Aalborg ved delforsøg 2.

Parameter	Udstyr	Placering
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	Der er lavet 1 måling ude og 1 måling inde.
Differenstryk	Systronik	Der er lavet 1 måling over/under terrændæk.
Radon	Corentium Pro	Der er lavet 2 målinger inde.
Luftfugtighed	Testo T175T3	Der er lavet 1 måling ude, 2 målinger på loftsrum samt 3 målinger inde.
CO <sub>2</sub>	Tinytag TGE-0011	Der er lavet 1 måling ude, 2 målinger på loftsrum samt 3 målinger inde.
Sporgas	PMCH og PMCP	Der er placeret 9 sporgaskilder og 12 samplere i boligen.

#### 10.4.4 Tæthedsprøvning

##### 10.4.4.1 Blowerdoor

Den 6. februar 2018 er der foretaget tæthedsprøvning med blowerdoor til vurdering af boligens bygningstæthed. Tæthedsprøvningen er foretaget i henhold til dansk standard af Jysk Trykprøvning A/S, og rapporten fremgår af bilag 3.2.

Figur 10.22: Placering af blowerdoor i hoveddør i bolig i Aalborg.



Inden blowerdoortesten til bestemmelse af husets tæthed blev emhætte og passive aftræk tapet til. Brændeovnen blev lukket med plastik og tape. Det vil sige alle tilsigtede åbninger i klimaskærmen var lukket i forbindelse med



tæthedsprøvningen. Dette er standardprocedure i forbindelse med blowerdoortest for dermed at kunne måle betydningen af utilsigtede åbninger, revner og sprækker.

Standardtesten blev gennemført ved en trykforskel på 50 Pa mellem ude og inde, og der blev målt, hvilken luftstrøm der skulle til for at opretholde denne trykforskel. Den nødvendige luftstrøm er et mål for tætheden af bygningen, og testen blev gennemført med både overtryk og undertryk i huset.

Blowerdoortesten viste en tæthed på 4,7 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa. For at opretholde denne trykforskel blev det fundet, at der skulle tilføres boligen luft med et flow på ca. 588 l/s.

#### 10.4.4.2 Test med overtryk

Der blev foretaget en test af, om det var muligt at ændre differenstrykket over terrændækket til nedadrettet ved påføring af forskellige tryk/flow, ligeledes blev det mindst mulige tryk/flow eftersøgt. Forsøget blev udført i direkte forlængelse af tæthedsprøvningen ved standardtryk (50 Pa), og inden forsøget blev husets døre og vinduer åbnet for at få huset tilbage i normalsituationen. Endvidere blev tætning af emhætten fjernet.

I forbindelse med udførelse af tæthedsprøvningen blev det fundet, at de etablerede differenstrykmålepunkter ikke var etableret korrekt, da de ikke viste betydelige ændringer i differenstrykket over gulvene ved standardtesten med et overtryk og undertryk på 50 Pa. Det blev vurderet, at målepunkterne ikke var ført tilstrækkeligt under klaplageret, og at sensoren under gulvet dermed var påvirket af luften over gulvet. Målepunkterne blev efterfølgende nyetableret med sonde ca. 50 cm under klaplageret.

Som følge af de defekte differenstrykmålepunkter var det - ved overtrykstesten - ikke muligt at undersøge, hvilket tryk/flow der skulle påføres bygningen for at sikre en nedadrettet gradient. I stedet blev der lavet en undersøgelse af, hvilket flow der vil skulle påføres bygningen for at sikre et overtryk i bygningen på 2-5 Pa (jf. afsnit 10.3.7) i forhold til udeluften (et overtryk på denne størrelse gav ved undersøgelserne i testhuset i Køge anledning til ændring af differenstrykket over gulvet til opadrettet). Flowforsøget med blowerdoor viste, at der skulle tilføres en luftmængde på ca. 350-500 m<sup>3</sup>/h for at opnå et differenstryk over klimaskærmen på 2-5 Pa, hvilket svarede til et beregnet luftskifte på ca. 1,1-1,6 h<sup>-1</sup>.

#### 10.4.5 Etablering af mekanisk ventilation

I perioden fra 27. marts til 3. april 2018 blev der etableret et mekanisk balanceret ventilationsanlæg af typen Danfoss Air A2 i boligen. Anlægget blev placeret på loftsrummet, hvor også al rørføring er placeret. Der blev installeret indblæsning i alle værelser samt udsugning i køkken, bryggers, begge badeværelser samt i soveværelset (placering af indblæsnings- og udsugningsarmaturer fremgår af situationsplanen i bilag 3.4).

Anlægget blev installeret af Ib Andersen A/S, der ligeledes stod for den løbende indregulering af anlægget (under forskellige delforsøg og scenarier).

Anlægget blev indstillet til behovsstyret ventilation og indreguleret til en indblæsning på 142 m<sup>3</sup>/h samt en udsugning på 150 m<sup>3</sup>/h, svarende til et beregnet luftskifte i boligen på ca. 0,5 h<sup>-1</sup> (og en overtryksventilation på ca. 5 vol%).

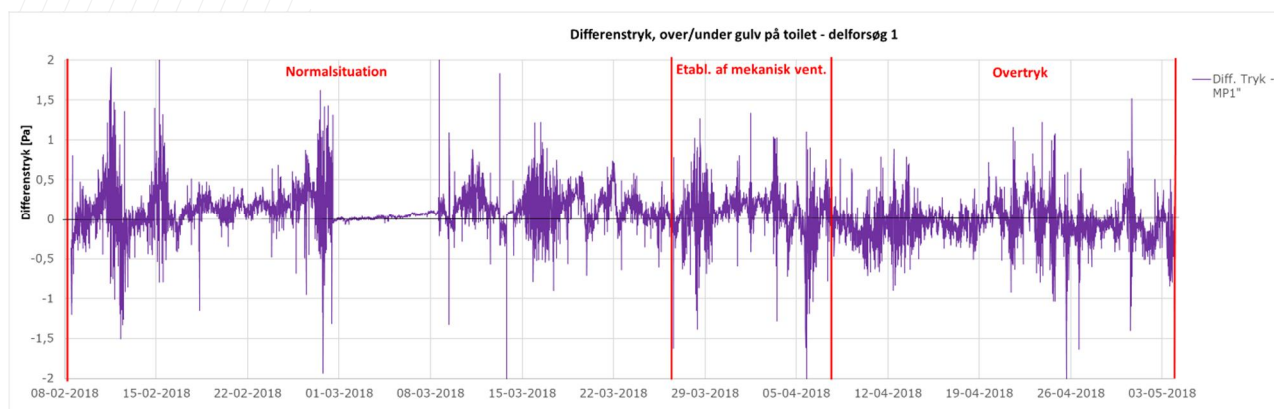
## 10.4.6 Resultater

Udvalgte data fra undersøgelserne er beskrevet nedenfor. For gennemgang af samtlige resultater henvises til bilag 3.3.

### 10.4.6.1 Differenstryk

Der er logget differenstryk over og under gulv kontinuert ved delforsøg 1 og delforsøg 2, og resultaterne ses i hhv. Figur 10.23 og Figur 10.24.

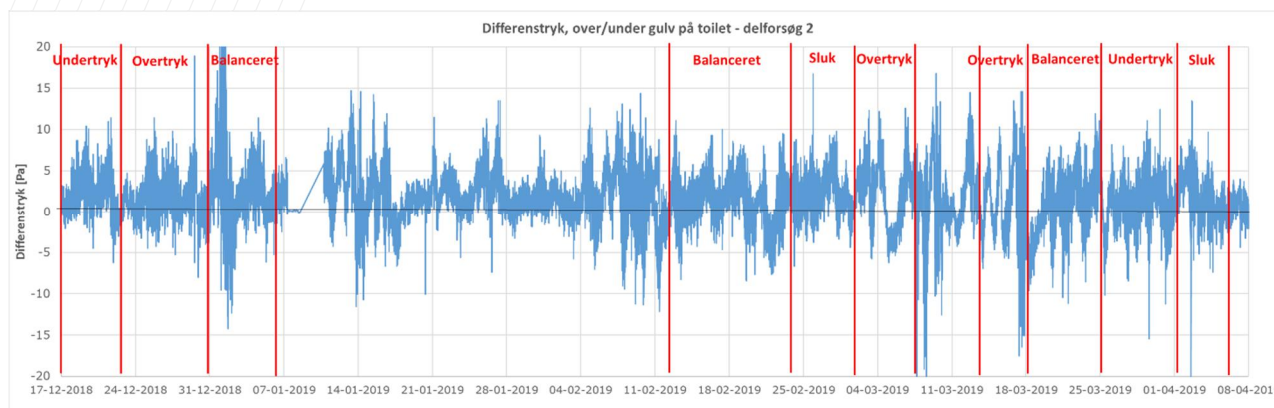
Figur 10.23: Differenstryk over gulv ved delforsøg 1. Overtryk ved beregnet luftskifte omkring  $1 \text{ h}^{-1}$  og flow med +50 vol% indblæsning. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.



I normalsituationen er der generelt målt positive værdier for differenstrykket, svarende til en opadrettet gradient fra poreluften under gulvet til indeluften. Værdierne svinger generelt omkring +0,2-0,5 Pa på toilettet og +0,5-1 Pa i stuen.

I perioden med kontinuert overtryksventilation (beregnet luftskifte ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  og flow med +50 vol% indblæsning) observeres en mindre ændring i differenstrykket. På toilettet observeres værdier omkring -0,2-+0,1 Pa, og trykgradienten er nedadrettet en stor del af tiden. I stuen er værdierne ligeledes faldet og ligger omkring -0,5-+0,5 Pa.

Figur 10.24: Differenstryk over/under gulv i stuen ved delforsøg 2. Ventilation ved beregnet luftskifte omkring  $0,6 \text{ h}^{-1}$  og flow med +/- 20 vol% indblæsning. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.



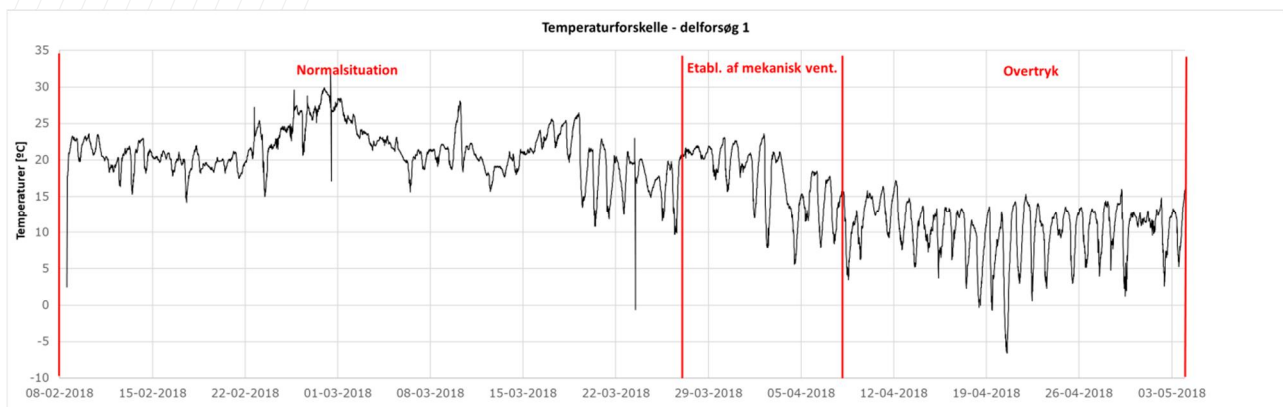
Generelt ligger differenstrykket over gulvet i undersøgelsesperioden (beregnet luftskifte ca.  $0,6 \text{ h}^{-1}$  og med flow  $\pm 20 \text{ vol\%}$ ) omkring  $0$ - $+5 \text{ Pa}$ , svarende til en opadrettet trykgradient. Der ses ikke tegn på, at trykgradienten ændres ved de forskellige scenarier med hhv. overtryk, undertryk, balanceret samt slukket anlæg.

#### 10.4.6.2 Temperatur

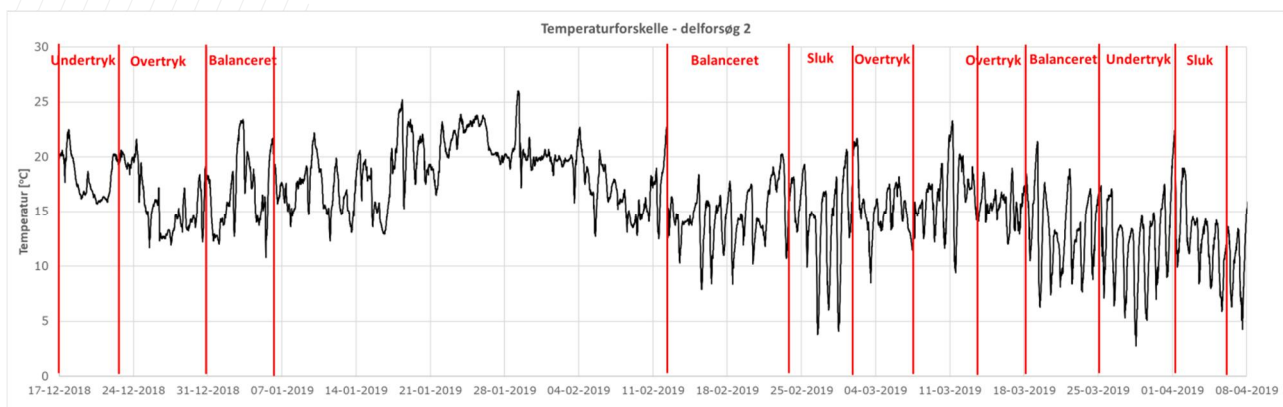
Temperaturen er logget både inde og ude kontinuert ved delforsøg 1 og delforsøg 2. Der ses nogenlunde konstante temperatur i indeluften i intervallet  $20$ - $25^\circ\text{C}$ , og der ses tydelige døgnvariationer over hele perioden ved begge delforsøg. Udetemperaturerne varierer mere, og der er målt temperaturer i intervallet  $-7^\circ\text{C}$  til  $+30^\circ\text{C}$ .

I /5/ er beskrevet en entydig og umiddelbar sammenhæng mellem differenstrykket over terrændækket og temperaturforskellen mellem udeluften og indeluften. Temperaturforskellene mellem ude og inde er vist i Figur 10.25 og Figur 10.26 for hhv. delforsøg 1 og delforsøg 2. Temperaturforskellen er beregnet ud fra den udetemperatur og indetemperatur, som vurderes at være mest repræsentativ.

Figur 10.25: Temperaturdifferens under delforsøg 1 (Forskelle i ude- og indetemperaturer).



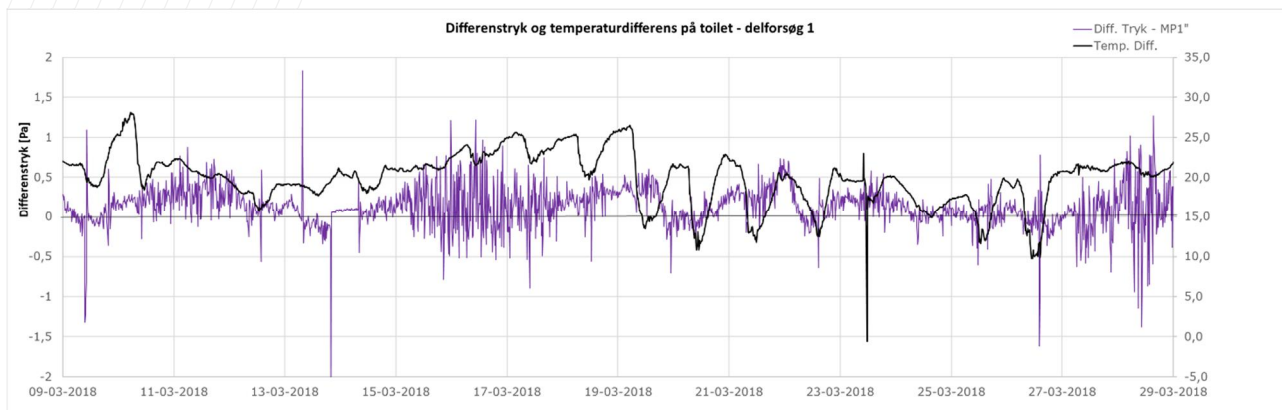
Figur 10.26: Temperaturdifferens under delforsøg 2 (Forskelle i ude- og indetemperaturer).



Der er under begge delforsøg målt forskelle mellem ude- og indetemperaturer på op til 30°C. På grund af relativt store svingninger på kort tid (døgnvariationer) i udetemperaturerne ses også tilsvarende store svingninger i temperaturforskellene.

I Figur 10.27 er sammenhængende værdier for differensstryk over gulv og forskellen i inde- og udetemperaturer vist i en del af normalsituationen for at vurdere, hvorvidt differensstrykket i denne bolig styres af temperaturforskellen (som det var tilfældet for testhuset i Køge).

Figur 10.27: Differensstryk over gulv sammen med temperaturforskel mellem inde- og udeluft i en del af normalsituationen. Positive værdier for differensstrykket angiver en opadrettet gradient.

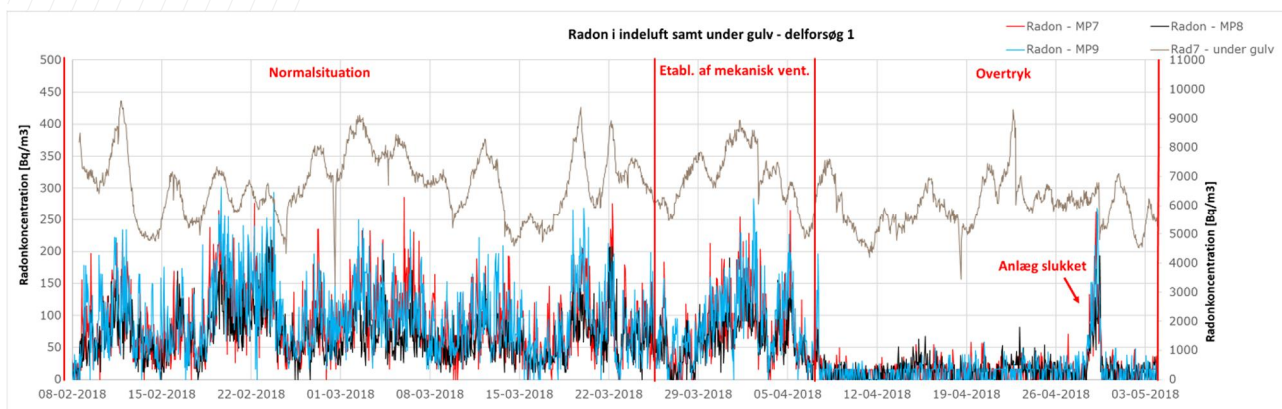


Der ses en tendens til sammenfald mellem de overordnede variationer i differensstryk over gulv og temperaturforskellen mellem inde og ude. Sammenhængen er dog ikke helt så entydig som observeret i huset i Køge. Den opadrettede trykgradient er størst i situationer, hvor udetemperaturen er lavest og temperaturforskellen dermed størst.

#### 10.4.6.3 Radon i delforsøg 1 (beregnet luftskifte ca. $1 \text{ h}^{-1}$ og med flow +50 vol% indblæsning)

Radon er logget kontinuert 3 steder i indeluften samt ét sted under gulv i hele undersøgelsesperioden, og resultaterne fremgår af Figur 10.28.

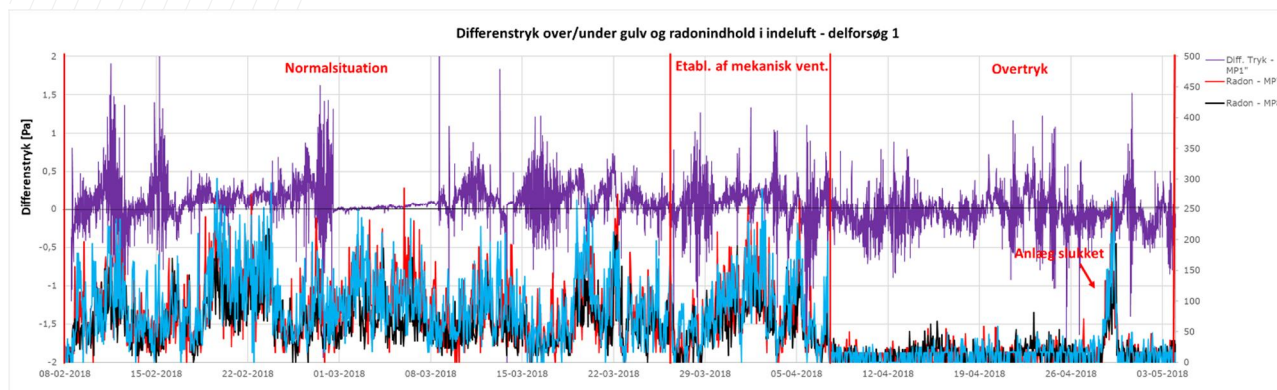
Figur 10.28: Radon i indeluft og under gulv ved delforsøg 1. Bemærk forskellige koncentrationsintervaller for radonkoncentration hhv. under gulv (på y-akse til højre) og i indeluft (på y-akse til venstre).



I normalsituationen er der registreret et radonindhold i boligen på 50-150 Bq/m<sup>3</sup> med max. værdier op til ca. 300 Bq/m<sup>3</sup>. Efter etablering af overtryksventilation falder radonniveauet betydeligt i hele boligen. Der ses i denne periode radonkoncentrationer i intervallet 0-30 Bq/m<sup>3</sup>.

I Figur 10.29 er de sammenhængende målinger af radon i indeluft og differenstræk over gulv vist for delforsøg 1.

Figur 10.29: Radon i indeluft og differenstræk over gulv ved delforsøg 1.



I normalsituationen ses der ikke umiddelbart en ikke sammenhæng mellem udsving i differenstræk over gulvet og indholdet af radon i indeluften.

I nedenstående Tabel 10.12 er der beregnet gennemsnitlige radonkoncentrationer og differenstræk over gulv for hhv. normalsituationen og overtryksituationen under delforsøg 1.

Tabel 10.12: Beregnet gennemsnitligt radonindhold i indeluften og differenstræk over/under gulv ved de 2 forskellige scenarier i delforsøg 1.

Scenarie	Radon, stue [Bq/m <sup>3</sup> ]	Radon, soveværelse [Bq/m <sup>3</sup> ]	Radon, værelse [Bq/m <sup>3</sup> ]	Gns. Radonindhold i bolig [Bq/m <sup>3</sup> ]	Gns. differenstræk [Pa]
Normal-situation	84	66	91	80	+0,3
Overtryksventilation	15	16	16	16	-0,05

I normalsituationen er der målt et gennemsnitligt radonindhold i boligen på 80 Bq/m<sup>3</sup>. Ved overtryksventilation (beregnet luftskifte ca. 1 h<sup>-1</sup> og med flow på +50 vol% indblæsning) falder radonindholdet i boligen til gennemsnitligt 16 Bq/m<sup>3</sup>, svarende til en reduktion af radonindholdet på 5 gange.

Beregning af de gennemsnitlige differenstræk over gulv viser, at differenstrækket over gulvet ved overtryksventilation er ændret fra en opadrettet gradient på +0,3 Pa til en neutral eller meget svagt nedadrettet gradient på -0,05 Pa.

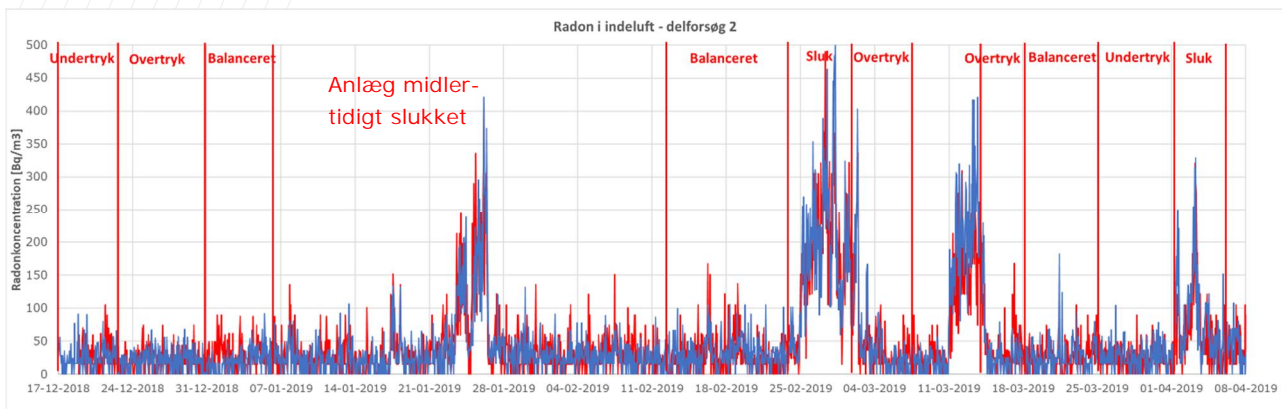
Radonindholdet under gulv i delforsøg 1 ses af Figur 10.28, og her ses et indhold af radon under gulvet på 6.000-7.000 Bq/m<sup>3</sup>. Der er beregnet et gennemsnitligt

indhold af radon under gulvet i normalsituationen på ca. 6.700 Bq/m<sup>3</sup>. Der er således en reduktion over gulvet på ca. 80 gange. En sådan dæmpningsfaktor svarer til/ligger inden for intervallet af, hvad der er påvist i ref. /12/ omkring estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer.

#### 10.4.6.4 Radon i delforsøg 2 (beregnet luftskifte omkring 0,6 h<sup>-1</sup> og med flow på +/-20 vol%)

Radon er logget kontinuert 2 steder i indeluften i hele undersøgelsesperioden, og resultaterne fremgår af Figur 10.30.

Figur 10.30: Radon i indeluft ved delforsøg 2.



Ventilationsanlægget har været tændt i størstedelen af delforsøg 2, og radonindholdet ligger omkring 0-50 Bq/m<sup>3</sup> med enkelte meget korte udsving op til ca. 180 Bq/m<sup>3</sup>. I forbindelse med delforsøg 2 har der været 2 planlagte scenarier med slukket anlæg, og herudover har der været yderligere 2 perioder med (utilsigtet) slukket anlæg inden for forsøgsperioden. Alle 4 situationer, hvor anlægget har været slukket, fremgår af Figur 10.30, hvor radonindholdet stiger momentant, og falder igen, når anlægget tændes.

I nedenstående Tabel 10.13 er der beregnet gennemsnitlige radonkoncentrationer og differenstryk over gulv for hvert af de 10 scenarier i delforsøg 2.

Når anlægget er slukket, er der målt gennemsnitlige radonindhold i boligen i intervallet 110-200 Bq/m<sup>3</sup>. Når ventilationsanlægget er tændt (undertryk og balanceret), reduceres det gennemsnitlige radonindhold til at ligge i intervallet 26-33 Bq/m<sup>3</sup>. Ved svagt overtryk (med indblæsning ca. 20 vol% højere end udsugning) ses en tendens til, at det gennemsnitlige radonindhold reduceres yderligere til ca. 20-22 Bq/m<sup>3</sup>.

Ved almindelig balanceret ventilation ses der således en reduktion af radonindholdet i indeluften på 4-6 gange, mens der ved svagt overtryk sker yderligere reduktion af radonindholdet på 5-10 gange.

Tabel 10.13: Beregnet gennemsnitligt radonindhold i in-  
deluft og differensstryk  
over/under gulv ved de 10  
forskellige scenarier i delfor-  
søg 2.

Scenarie	Radon, stue [Bq/m <sup>3</sup> ]	Radon, værelse [Bq/m <sup>3</sup> ]	Gns. radon- indhold i bo- lig [Bq/m <sup>3</sup> ]	Gns. diffe- renstryk [Pa]
Undertryk	27	26	27	+2,4
Overtryk	20	21	20	+1,6
Balanceret	28	26	27	+2,1
Balanceret	33	32	33	+1,8
Sluk	200	180	190	+2,3
Overtryk	21	22	21	+1,8
Overtryk	22	22	22	+0,8
Balanceret	29	27	28	+1,6
Undertryk	30	27	29	+1,5
Sluk	125	110	117	+2,2

Beregning af de gennemsnitlige differensstryk over gulv i hvert af de 10 scenarier i delforsøg 2 viser en tendens til, at der sker en lille påvirkning af trykgradienten ved overtryksventilationen, dog ikke så trykgradienten bliver nedadrettet. De gennemsnitlige værdier for differensstrykket ved slukket anlæg ligger i intervallet +2,2-2,3 Pa. Ved balanceret ventilation samt svag undertryksventilation (med udsugning ca. 20 vol% højere end indblæsning) ligger de gennemsnitlige værdier for differensstrykket på nogenlunde samme niveau, omkring +1,5-2,4 Pa, mens differensstrykket ved svag overtryksventilation (med indblæsning ca. 20 vol% højere end udsugning) ligger i intervallet +0,8-1,8 Pa. Det ser således ud til, at trykgradienten over gulvet ændres ca. 0,5 Pa, ved overtryksventilation ift. de øvrige ventilationsscenarier.

#### 10.4.6.5 Luftfugtighed og CO<sub>2</sub>

Der er registreret meget stor lighed mellem koncentration i udeluft og i tagrum for både fugt og CO<sub>2</sub>, svarende til at luften på loftet primært består af udeluft. Enten fordi der er et stort luftskifte i tagrummet med udeluft, eller fordi der er meget lille overførsel af luft fra boligen til tagrummet.

Ved at påføre overtryk på bygningen vil luft fra boligen blive presset op i tagrummet, hvilket kan give problemer, fordi boligluften indeholder mere fugt. For at undersøge, hvor stor betydning overtrykket har for, hvor meget luft fra boligen, der strømmer til tagrummet, er CO<sub>2</sub> og fugt benyttet som sporgasser.

Andelen af luft i tagrummet, der stammer fra boligen, varierer ikke signifikant, afhængig af ventilationsindstillingen. På grund af det store luftskifte i tagrummet bliver forskellene meget små og kommer inden for målenøjagtigheden på udstyret.

Det har stor betydning for fugtmængden i boligen, at der etableres ventilation. Ved at ventilere boligen mekanisk, fjernes en stor del af fugten i boligen, og dermed mindskes risikoen for, at der presses fugt ud i konstruktionerne.

I den konkrete bolig har det at etablere ventilation større betydning for fugtforholdene i boligen og tagrummet, end det har for, hvordan anlægget reguleres.

I forhold til fugt og overtryksventilation falder risikoen ved at benytte et balanceret ventilationsanlæg, der sikrer, at hovedparten af fugten i boligen ventileres væk.

#### 10.4.6.6 Sporgas / måling af luftskifte

Sporgasmålinger for tre situationer:

- Situation A: Tændt anlæg – svagt undertryk (almindelig regulering, balanceret).
- Situation B: Slukket anlæg (ingen mekanisk ventilation).
- Situation C: Tændt anlæg – svagt overtryk (større indblæsning end udsugning).

Hver af de tre målinger er gennemført som 2-zonemålinger, dvs. ved anvendelse af to forskellige sporgastyper, doseret henholdsvis i boligen (PMCP-bolig) og i tagrummet (PMCH-tagrum).

Anlægget har været indstillet til omtrent det samme luftskifte i boligen i de to situationer med anlægget tændt.

I situationen uden mekanisk ventilation og i situationen med undertryk er en stor del af luften i boligen strømmet gennem tagrummet.

Der er registreret størst overførsel af luft fra bolig til tagrum ved overtryk, men det er svært at konkludere entydigt på grund af det store luftskifte i tagrummet. Ved overtryk er der stadig nettotilførsel af luft fra tagrum til bolig. Det er dog usikre målinger, fordi luftskiftet på loftet har været meget højt.

Tabel 10.14: Resultater af målt luftskifte ved de 3 situationer estimeret ved sporgasundersøgelse.

Luftskifter	I bolig	I tagrum
Situation A Undertryk	0,6 h <sup>-1</sup>	ca 14 h <sup>-1</sup>
Situation B Slukket	0,03-0,12 h <sup>-1</sup>	5-9 h <sup>-1</sup>
Situation C Overtryk	0,4-0,7 h <sup>-1</sup>	5-15 h <sup>-1</sup>

Der er registreret et forholdsvis lavt luftskifte (0,03-0,12 h<sup>-1</sup>) i boligen ved slukket anlæg. Luftskiftet er bestemt på baggrund af én målerunde over en periode på ca. 7 dage, så datagrundlaget er således noget begrænset. Det lave luftskifte kan blandt andet forklares ved, at alle tidligere ventiler til ventilering af f.eks. badeværelser og bryggers er fjernet i forbindelse med etablering af mekanisk ventilation i boligen. Herudover har beboerne kun foretaget meget begrænset udluftning i undersøgelsesperioden.



#### 10.4.7 Datasammenfatning og vurdering

Boligen er fundet til at have en tæthed på 4,7 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa, og boligen er derfor forholdsvis utæt i forhold til de tidligere undersøgte bygninger under I-vent projektet. Endvidere er det målt, at der i normalsituationen er et luftskifte i boligen på 0,03-0,12 h<sup>-1</sup>, hvilket er meget lavt. Det lave luftskifte kan dog delvis forklares ved, at alle naturlige ventilationsåbninger i boligen er blevet fjernet/lukket ifm. etablering af ventilationsanlæg, samt at beboernes udluftning er minimeret under måleperioden.

Undersøgelserne i normalsituationen har vist, at der for denne ejendom ses en sammenhæng mellem differensterik over terrændæk og forskellen mellem inde- og udetemperatur på tilsvarende vis, som det blev observeret i testhuset i Køge. Dvs. at differensterikket øges i opadgående retning, når temperaturdifferensen øges.

Der er etableret mekanisk balanceret ventilation i boligen, og begge delforsøg viser, at der sker en mindre (gunstig) påvirkning af differensterikket over gulvet, når anlægget reguleres ind med større indblæsning ift. udsugning. Ved delforsøg 1, med beregnet luftskifte på ca. 1 h<sup>-1</sup> og et ventilationsflow med 50 vol% større indblæsning ift. udsugning, ses en tendens til ændring af differensterikket fra opadrettet (+0,3 Pa) til neutral eller meget svagt nedadrettet gradient (omkring 0 Pa). Ved delforsøg 2, med beregnet luftskifte på ca. 0,6 h<sup>-1</sup> og et ventilationsflow med 20 vol% større indblæsning ift. udsugning, ses en ændring af differensterikket fra +2,2-2,3 Pa til +0,8-1,8 Pa. Ved de to delforsøg er der således registreret ændringer i trykgradienten over gulvet på 0,3-0,5 Pa (svarende til en mindre opadrettet trykgradient og dermed mindre flux af radon), når der sættes overtryk på boligen.

I normalsituationen er der registreret et radonindhold i boligen omkring 50-150 Bq/m<sup>3</sup>, med max-værdier op til ca. 300 Bq/m<sup>3</sup>. Radonindholdet under gulv ligger i intervallet 6.000-7.000 Bq/m<sup>3</sup>. Ved at se på gennemsnitsbetragtninger for radonindholdet i indeluft og under gulv, er der fundet en reduktion over gulvet på 80 gange.

Efter etablering af overtryksventilation i delforsøg 1 falder radonniveauet til 0-30 Bq/m<sup>3</sup>. Ved at se på gennemsnitsbetragtninger for radonindholdet i indeluft ved normalsituation og ved overtryksituation er det fundet, at radonindholdet reduceres med en faktor ca. 5 ved at påføre overtryk til boligen.

Ved delforsøg 2 er det fundet, at radonindholdet ved undertryksventilation og balanceret ventilation reduceres til at ligge i intervallet 26-33 Bq/m<sup>3</sup>. Ved svag overtryksventilation (med indblæsning ca. 20 vol% højere end udsugning) ses en tendens til, at det gennemsnitlige radonindhold reduceres yderligere til ca. 20-22 Bq/m<sup>3</sup>. Ved almindelig balanceret ventilation ses der således en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor ca. 4-6, mens der ved svag overtryksventilation ses reduktion af radonindholdet med en faktor ca. 5-10.

Luftskiftet i den undersøgte del af boligen er i perioden med ventilation ændret betydeligt i forhold til normalsituationen. Der er lavet delforsøg med et beregnet luftskifte på hhv. ca. 1 h<sup>-1</sup> og 0,6 h<sup>-1</sup>. Luftskiftet i normalsituationen er målt til 0,03-0,12 h<sup>-1</sup> ved sporgasforsøg, jf. afsnit 10.4.6.6. Dette svarer altså til, at der ved ventilation er påført boligen et øget luftskifte med hhv. faktor ca. 10-30 og faktor 3-23 gange. Det øgede luftskifte i boligen vil resultere i en tilsvarende reduktion i radonindholdet (alene ved fortynding) under forudsætning af, at fluxen af radon ind i boligen er uændret.

Resultaterne af undersøgelser på boligen i Aalborg er samlet i Tabel 10.15.

Tabel 10.15: Opsummering af resultater for bolig i Aalborg. () angiver gennemsnitlige radonindhold.  
 \*10 scenarier ved forskellig indblæsning og udsugning.  
 #Ifm. delforsøg 2 er normalsituationen udført med slukket anlæg (dvs. at tidligere ventiler er fjernet i boligen)

	Delforsøg 1	Delforsøg 2
Målt luftskifte ved normalsituation (sporgas)	0,03-0,12	0,03-0,12
Målt luftskifte ved ventilation (sporgas)	-	0,4-0,7 h <sup>-1</sup>
Beregnet luftskifte ved ventilation	1 h <sup>-1</sup>	-
Øget luftskifte ift. normalsituation	Faktor 10-30	Faktor 3-23
Flow ved ventilation	Indblæsning: 300 m <sup>3</sup> /h Udsugning: 200 m <sup>3</sup> /h	Indblæsning/udsugning: 160 m <sup>3</sup> /h / 130 m <sup>3</sup> /h *
Differenstryk ved normalsituation	+0,3 Pa	+2,2-2,3 Pa
Differenstryk ved overtryksventilation	-0,05 Pa	+0,8-1,8 Pa
Radonindhold ved normalsituation	50-150 Bq/m <sup>3</sup> (80)	≈110-200 Bq/m <sup>3</sup> (150)
Radon ved overtryksventilation	10-20 Bq/m <sup>3</sup> (16)	20-22 Bq/m <sup>3</sup> (20)
Radon ved balanceret og svag undertryksventilation	-	26-33 Bq/m <sup>3</sup> (30)
Reduktion i radonindhold ved overtryksventilation	Faktor 5-8	Faktor 5-10
Reduktion i radonindhold ved balanceret ventilation	-	Faktor 4-6

For delforsøg 2 ses en reduktion i koncentrationerne af radon med en faktor ca. 4-6, efter at der er etableret mekanisk balanceret ventilation i boligen, mens det i samme perioder er målt, at luftskiftet er øget med en faktor ca. 3-23. Det vurderes således, at radonreduktionen primært må skyldes det øgede luftskifte i boligen (fortynding). Overtrykssituationen medfører, at radonindholdet i boligen reduceres yderligere (fra en faktor på 4-6 til en faktor på 5-10), men reduktionen er stadig mindre end ændringerne i luftskiftet, og det er således ikke helt entydigt, at overtryksventilationen har medført, at fluxen af radon ind i huset er blevet reduceret.

Undersøgelserne af fugtforhold er behæftet med en vis usikkerhed, da der måles på meget små differencer. Målingerne viser, at der presses lidt mere luft op på loftet ved overtryk, men da overtrykket etableres ved at skævvride et ventilationsanlæg med både indblæsning og udsugning, sker der samtidig en affugtning af boligen, hvorved risikoen for afsætning af fugt i konstruktionen og evt. følgende skimmelvækst mindskes betragteligt.

Ubalance i et ventilationsanlæg, uanset om det er overtryk eller undertryk, medfører, at der er en del af luften, som ikke passerer varmeveksleren. Det vil resultere i et energispild, da en ekstra mængde luft skal opvarmes fra udetemperatur til indblæsningstemperatur. Denne opvarmning sker som regel med el, og i forhold til energi bør skævvridningen (forskellen mellem indblæsnings- og udsugningsvolumener) derfor holdes på et minimum.

## 10.5 Fire boliger med mekanisk ventilation

Dette afsnit opsamler resultaterne af de udførte undersøgelser på fire boliger med eksisterende mekanisk balanceret ventilation, som er gennemført i perioden fra marts til april 2019. Boligerne tilhører medarbejdere ved Danfoss og er anvendt som normalt i undersøgelsesperioden. I Tabel 10.16 fremgår oplysninger for de fire boliger.

Scenarie	Egå	Viby J	Horsens	Åbyhøj
Opført	1985	1954	1976	1903
Oplysninger om bolig	Rækkehus i ét plan	Villa i 3 plan, kun kælder med i forsøg	Parcelhus i ét plan	Rækkehus i 3 plan, kun kælder med i forsøg
Areal	103	74 (areal af grundplan)	140	55 (areal af grundplan)

Tabel 10.16: Oplysninger om de fire boliger, som er undersøgt.

Som det fremgår af tabellen, er der tale om boliger fra forskellige byggeperioder samt med forskellig størrelse og antal etager.

### 10.5.1 Formål med undersøgelserne

Formålet med undersøgelserne har været at verificere resultaterne af undersøgelserne udført i boligen i Aalborg, hvor det er fundet, at et mekanisk balanceret ventilationsanlæg kan reducere radonindholdet i boligen med ca. 4-6 gange. Ved at påføre boligen et let overtryk (indblæsning ca. 20 vol% større end udsugning) blev radonindholdet reduceret yderligere, så det i stedet er reduceret med 5-10 gange.

### 10.5.2 Undersøgellesprogram og måleudstyr

#### 10.5.2.1 Undersøgellesprogram

Feltundersøgelserne består af følgende 8 scenarier, hvor rækkefølgen kan variere, men alle trykperioder skal udføres ad to omgange.

- 1. uge: Standardtryk (normal drift)
- 2. uge: Mekanisk ventilation slukket
- 3. uge: Overtryk
- 4. uge: Undertryk

Status – tømme instrumenter og kigge på data, evt. justere mængder ved overtryk/undertryk (foretages i løbet af 5. uge).

- 5. uge: Standardtryk (normal drift)
- 6. uge: Mekanisk ventilation slukket
- 7. uge: Overtryk
- 8. uge: Undertryk

Ved standardtryk henvises der til anlæggenes normale drift, hvor indblæsning er den samme eller lidt mindre end udsugningen (balanceret). Ved overtryk og undertryk reduceres henholdsvis indblæsning og udsugning med, hvad der svarer til ca. 20 vol%. Alle anlæg indstilles i forbindelse med forsøget til fast, manuel drift, hvilket vil sige, at anlæggene ikke længere er behovsstyret, efter f.eks. luftfugtighed og temperatur.

Det er indledningsvis vurderet, at de  $\pm 20$  vol% bør kunne fungere rent flowmæssigt, men at det ikke er muligt vide, om det er nok til at skabe undertryk og frem for alt overtryk i boligerne.

#### 10.5.2.2 Måleudstyr

I Tabel 10.17 fremgår, hvilket udstyr, der er monteret i hver bolig.

Tabel 10.17: Anvendt feltudstyr til målingerne.

Undersøgelse	Udstyr	Placering
Temperatur	ElmaLOG 181TH	To steder ude ved hver bolig (i skygge)
Radon	Corentium Pro Corentium Plus	To steder inde i hver bolig

### 10.5.3 Beskrivelse af lokalitet og resultater

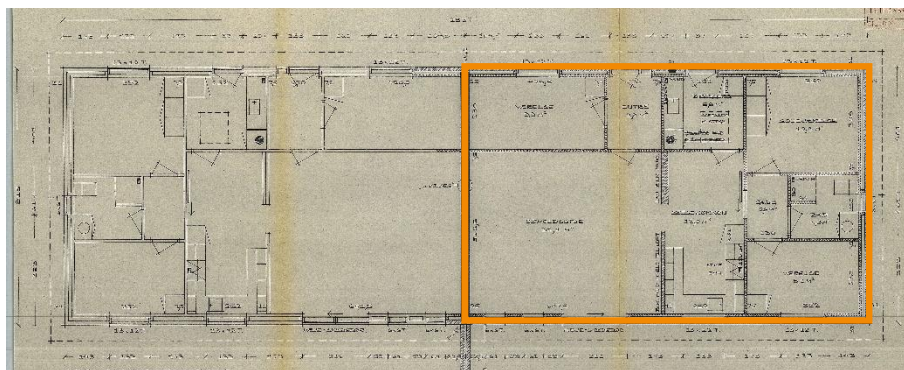
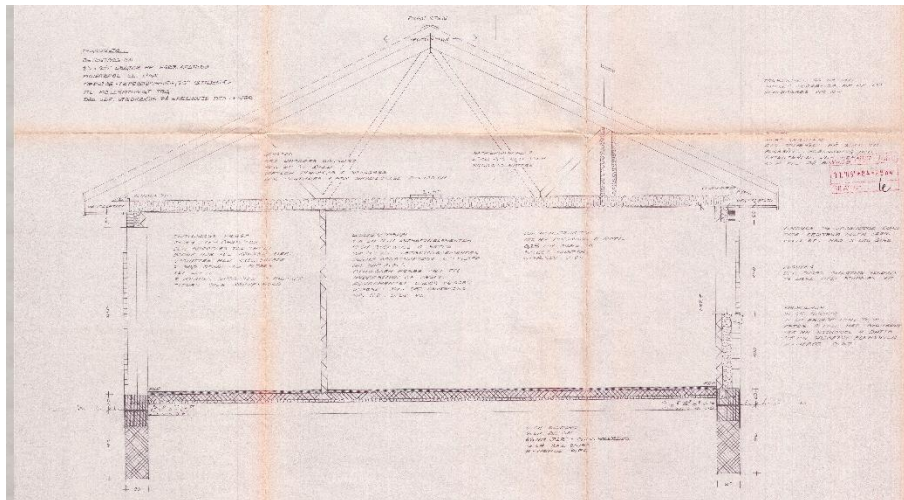
#### 10.5.3.1 Bolig i Egå

Dette afsnit beskriver bygningen samt resultaterne af undersøgelser i en bolig i Egå.

##### Beskrivelse af lokalitet

Bygningen er et etplans, halvt dobbelthus fra 1985, uden kælder. Den udvalgte bolig er på 103 m<sup>2</sup> og har uudnyttet loftsrum.

Figur 10.31: : Bolig i Egå.  
Øverst ses tværsnit af boligen  
og nederst ses situationsplan.  
Den undersøgte bolig (halvdelen  
af dobbelthus) er angivet med  
orange kasse.



Ifølge materialet i byggesagsarkivet er terrændækket i boligen bygget op af 80 mm beton, 68 mm isolering og 150 mm ral. Loftskonstruktionen består af 150 mm rockwool og 0,15 mm dampspærre. Ydervæggene består af en muret væg og indervægge af betonelementer. Isolering udført med 125 mm rockwool.

#### Beskrivelse af ventilationsanlæg

Ejendommen har etableret mekanisk balanceret ventilationsanlæg, der er indreguleret til 162 m<sup>3</sup>/h (behovsstyret), svarende til et beregnet luftskifte på ca. ca. 0,6 h<sup>-1</sup>. Anlægget er et Danfoss Air A2 ventilationsanlæg eftermonteret med kanalsystem i tagrum i forbindelse med efterisolering af loft.

#### Beskrivelse af indregulering ved forsøg

I forbindelse med forsøget er der lavet indreguleringer af anlægget, som det fremgår af Tabel 10.18.

Tabel 10.18: Indregulering af anlæg i forbindelse med forsøg i bolig i Egå.

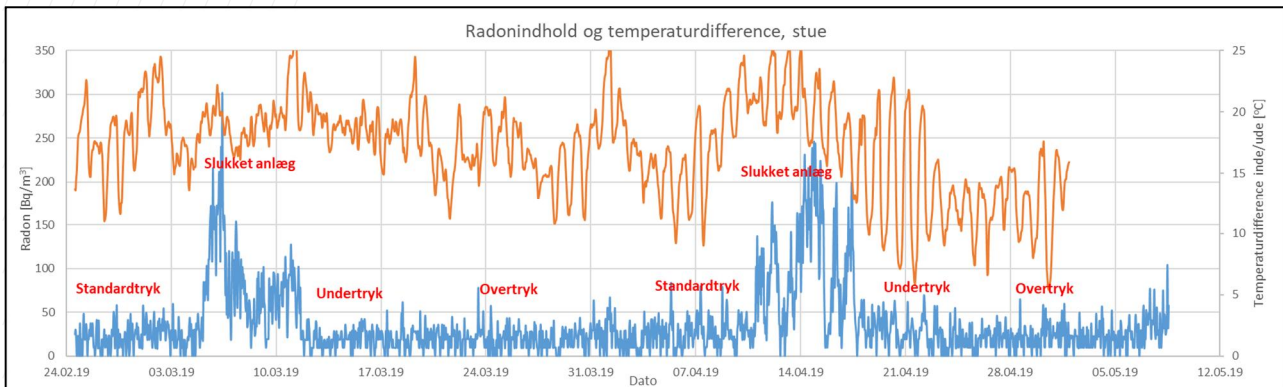
Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
Standardtryk	162	162
Overtryk	160 (+20 vol%)	130
Undertryk	130	160 (+20 vol%)
Sluk	0	0

### Resultater

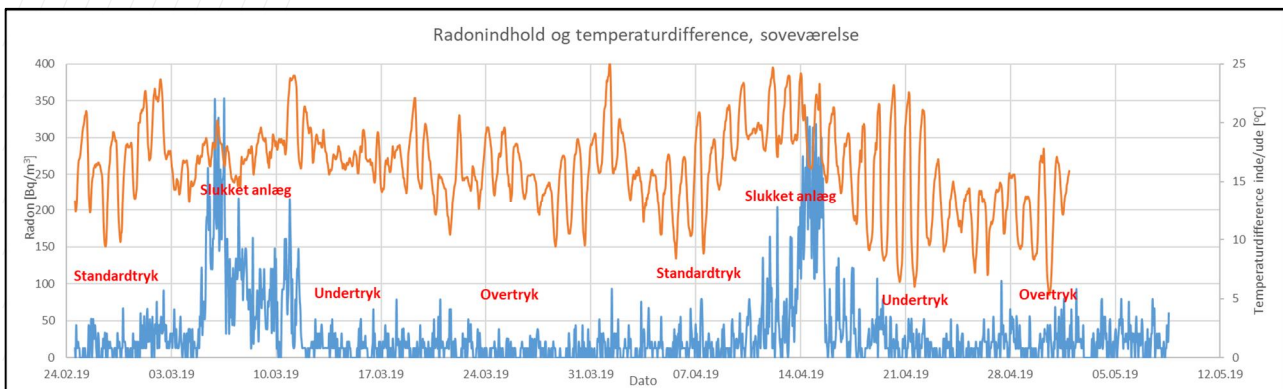
I boligen har der været placeret radonloggere i hhv. stue og soveværelse samt temperaturloggere to steder udenfor. Indetemperaturene er målt samtidigt via radonloggerne. I nedenstående Figur 10.32 og

Figur 10.33 fremgår resultaterne af radonindholdet ved hvert af de 8 scenarier, sammen med differensstemperaturen for samme periode, for hhv. stue og soveværelse.

Figur 10.32: Blå graf angiver radonindholdet i stuen, mens orange graf angiver temperaturdifferencen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier.



Figur 10.33: Blå graf angiver radonindholdet i soveværelset, mens orange graf angiver temperaturdifferencen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier.



Generelt ses meget ens resultater for de to rum i boligen. Både temperatur og radonindhold er på samme niveau. Der ses en forholdsvis konstant indetemperatur i begge rum, som ligger omkring 22-25°C. Variationen i temperaturdifferencen, som fremgår af Figur 10.32 og

Figur 10.33, skyldes derfor primært ændringer i udetemperaturen gennem forsøgsperioden. Udetemperaturen har ligget i intervallet  $\pm 4^\circ\text{C}$  til  $+19^\circ\text{C}$ .

Radonindholdet i både stue og soveværelse ligger i intervallet 0-50 Bq/m<sup>3</sup>, når ventilationsanlægget er tændt. I de to perioder, hvor anlægget har været slukket, stiger radonindholdet til 350 Bq/m<sup>3</sup>. Der ses ingen tydelig forskel på radonindholdet ved de forskellige scenarier med anlægget i drift. I nedenstående Tabel 10.19 er der beregnet gennemsnitlige radonkoncentrationer i boligen for hvert af de 4 forskellige scenarier.

Tabel 10.19: Beregnet gennemsnitlig radonindhold i indeluften i hhv. stue, soveværelse og hele boligen ved de 8 forskellige scenarier i bolig i Egå.

Scenarie	Radonindhold, stue [Bq/m <sup>3</sup> ]		Radonindhold, soveværelse [Bq/m <sup>3</sup> ]		Gns. radonindhold i bolig [Bq/m <sup>3</sup> ]
	1. runde	2. runde	1. runde	2. runde	
Standardtryk	22	26	20	16	21
Overtryk	19	21	10	15	16
Undertryk	20	27	15	19	20
Sluk	75	101	108	90	93

På trods af forholdsvis store temperaturvariationer i udeluften over forsøgsperioden vurderes resultaterne at være anvendelige til at give et estimat for udviklingen i radonindholdet i boligen ved de forskellige ventilationsscenarioer. Når anlægget er slukket, er der målt et gennemsnitligt radonindhold i boligen på 93 Bq/m<sup>3</sup>, med udsving i koncentrationer op til 350 Bq/m<sup>3</sup>. Når anlægget er normalt indreguleret, ligger radonindholdet i boligen på ca. 20 Bq/m<sup>3</sup>. Der observeres ikke en stigning i radonindhold ved at regulere anlægget ind med et undertryk på ca. 20 vol% (indblæsning < udsugning). Hvis anlægget i stedet reguleres ind med et overtryk på ca. 20 vol% (indblæsning > udsugning), observeres der en mindre reduktion i radonindholdet, som falder fra 21 Bq/m<sup>3</sup> til 16 Bq/m<sup>3</sup>.

Ved almindeligt balanceret ventilation ses der således en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor ca. 4, mens der ved svagt overtryk ses en reduktion af radon med en faktor ca. 6.

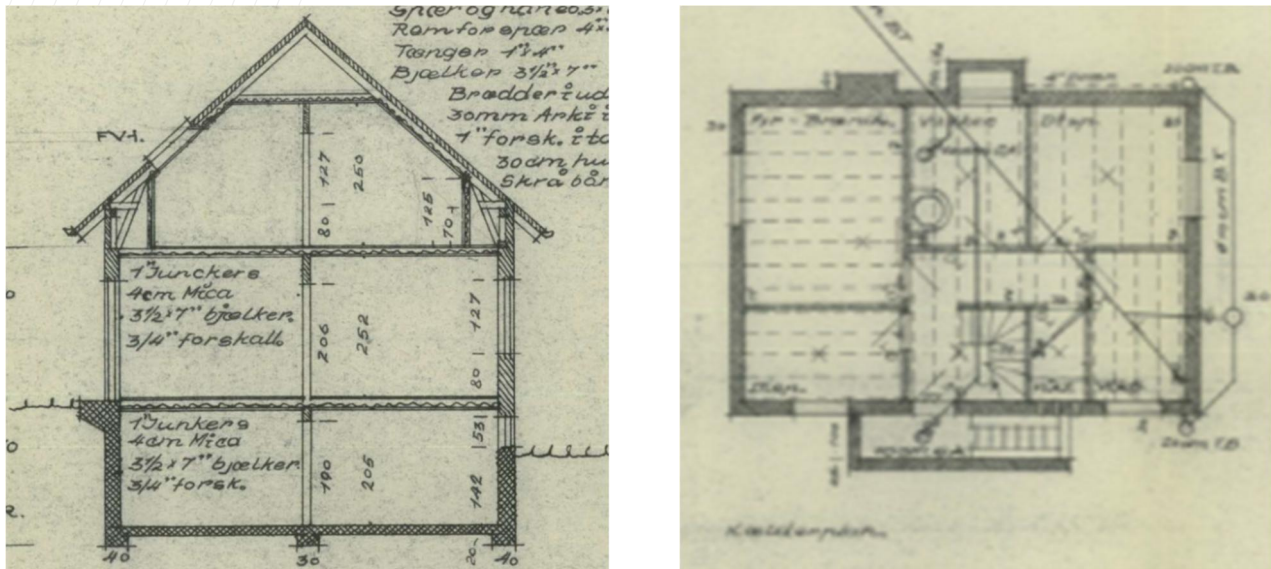
### 10.5.3.2 Bolig i Viby J

Dette afsnit beskriver bygningen samt resultaterne af undersøgelser i en bolig i Viby J.

#### Beskrivelse af lokalitet

Bygningen er en villa i tre plan fra 1954 med et grundplan på 74 m<sup>2</sup>. Kælderen er blevet renoveret, men konstruktionen – sokkel, kældergulv etc. er uændret, bortset fra et enkelt rum, hvor der er støbt nyt gulv med gulvvarme.

Figur 10.34: Bolig i Viby J. Figur til venstre viser tværsnit af boligen og figur til højre viste detailplan af kælder.



Ifølge materialet i byggesagsarkivet er terrændækket i boligen lavet af beton, mens etageadskillelserne er udført af træ.

#### Beskrivelse af ventilationsanlæg

Ejendommen har installeret mekanisk ventilationsanlæg på hanebåndsloftet til at ventilere stueplan og 1. sal. I kælderen er der installeret separat anlæg, som har indblæsning i to rum og udsugning i to andre (ét rum har ikke ventilator). Anlægget i kælderen er indreguleret til 80 m<sup>3</sup>/h, svarende til et beregnet luftskifte på ca. 0,85 h<sup>-1</sup>.

#### Beskrivelse af indregulering ved forsøg

De udførte forsøg omhandler kun kælderanlægget, mens ventilationen i stueplan/1. sal kører i normal drift. Døren mellem kælder og stueplan er frit anvendt under forsøget, men er holdt lukket mest muligt.

I forbindelse med forsøget er der lavet indreguleringer af anlægget, som det fremgår af tabel 10.20:

Tabel 10.20: Indregulering af anlæg i forbindelse med forsøg i bolig i Viby J.

Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
Standardtryk	80	80
Overtryk	90 (+20 vol%)	70



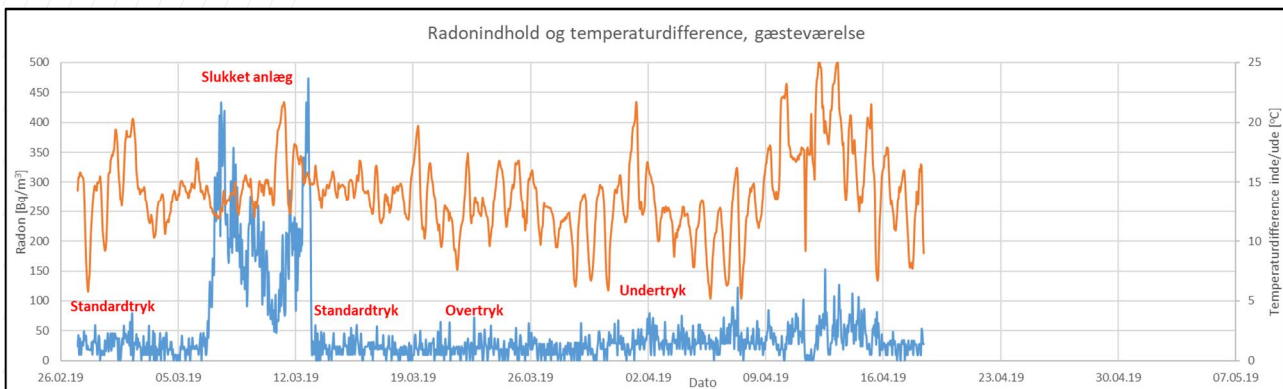
Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
Undertryk	70	90 (+20 vol%)
Sluk	0	0

### Resultater

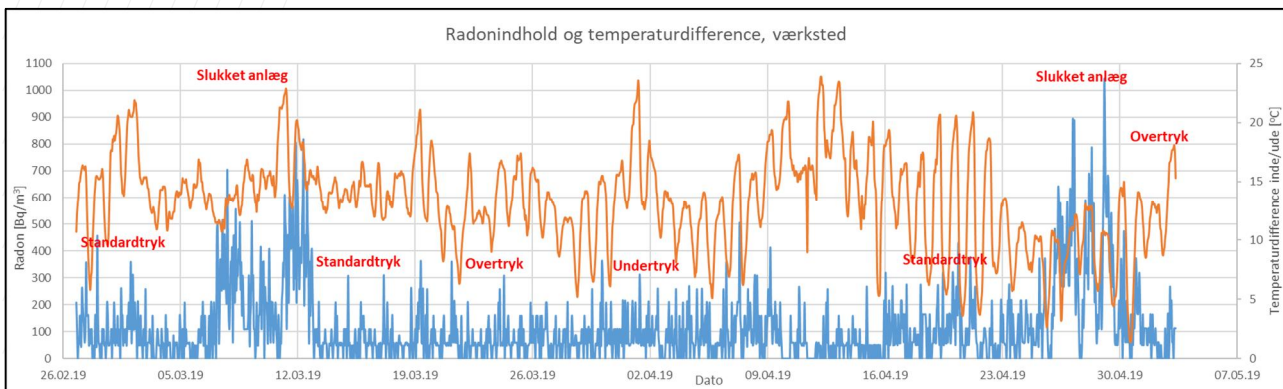
I kælderen har der været placeret radonloggere i hhv. gæsteværelse og værksted samt temperaturloggere to steder udenfor. Indetemperaturene er målt samtidigt via radonloggerne. Der har været problemer med radonloggeren i gæsteværelset, hvorfor der desværre ikke er data for hele perioden. Endvidere mangler sidste scenarie i værkstedet. I nedenstående Figur 10.35 og

Figur 10.36 fremgår resultaterne af radonindholdet ved de forskellige scenarier sammen med differensstemperaturen for samme periode for hhv. gæsteværelse og værksted.

Figur 10.35: Blå graf angiver radonindholdet i gæsteværelset, mens orange graf angiver temperaturdifferencen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier.



Figur 10.36: Blå graf angiver radonindholdet i værkstedet, mens orange graf angiver temperaturdifferencen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier.



Generelt ses forholdsvis ens resultater af temperaturdifferencen i de to rum i kælderen, mens der for radon ses ca. en fordobling af indholdet i værkstedet i forhold til gæsteværelset. Der ses en forholdsvis konstant indetemperatur i begge rum, som ligger omkring 18-20°C. Variationen i temperaturdifferencen, som fremgår af Figur 10.35 og

Figur 10.36 skyldes derfor primært ændringer i udetemperaturen gennem forsøgsperioden. Udetemperaturen har ligget i intervallet  $\pm 3^\circ\text{C}$  til  $+19^\circ\text{C}$ .

Radonindholdet i gæsteværelset har ligget i intervallet 0-50 Bq/m<sup>3</sup>, når ventilationsanlægget er tændt. Det gennemsnitlige radonindhold for perioderne, hvor anlægget har været i drift, har ligget på ca. 50 Bq/m<sup>3</sup>. I de to perioder, hvor anlægget har været slukket, stiger radonindholdet op til 470 Bq/m<sup>3</sup>.

Radonindholdet i værkstedet har ligget i intervallet 50-150 Bq/m<sup>3</sup>, når ventilationsanlægget er tændt. Det gennemsnitlige radonindhold for perioderne, hvor anlægget har været i drift, har ligget på ca. 100 Bq/m<sup>3</sup>. I de to perioder, hvor anlægget har været slukket, stiger radonindholdet op til 1.040 Bq/m<sup>3</sup>.

For begge rum i kælderen ses ingen tydelig forskel på radonindholdet ved scenarierne med tændt anlæg (standardtryk/overtryk/undertryk). I nedenstående Tabel 10.21 er der beregnet gennemsnitlige radonkoncentrationer i boligen for hvert af de 4 forskellige scenarier.

Tabel 10.21: Beregnet gennemsnitligt radonindhold i indeluften i hhv. gæsteværelse og værksted ved de 8 forskellige scenarier i bolig i Viby J.

Scenarie	Radonindhold, gæsteværelse [Bq/m <sup>3</sup> ]		Radonindhold, værksted [Bq/m <sup>3</sup> ]	
	1. runde	2. runde	1. runde	2. runde
Standardtryk	22	Ikke målt	76	97
Overtryk	20	Ikke målt	68	104
Undertryk	32	Ikke målt	95	Ikke målt
Sluk	197	Ikke målt	279	261

Det er valgt at se bort fra målingerne i værkstedet (da denne del ikke hører til boligen), da der er meget stor forskel på koncentrationerne ved tændt anlæg.

På denne ejendom ses stort set samme radonindhold i boligen ved balanceret tryk og overtryk. Ved almindeligt balanceret ventilation og overtryk ses der en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor ca. 10, mens der ved undertryk sker en minimal mindre reduktion af radonindholdet, svarende til en faktor ca. 6. På denne ejendom ser der således en tendens til stigning i radonindholdet ved påføring af svagt undertryk i boligen

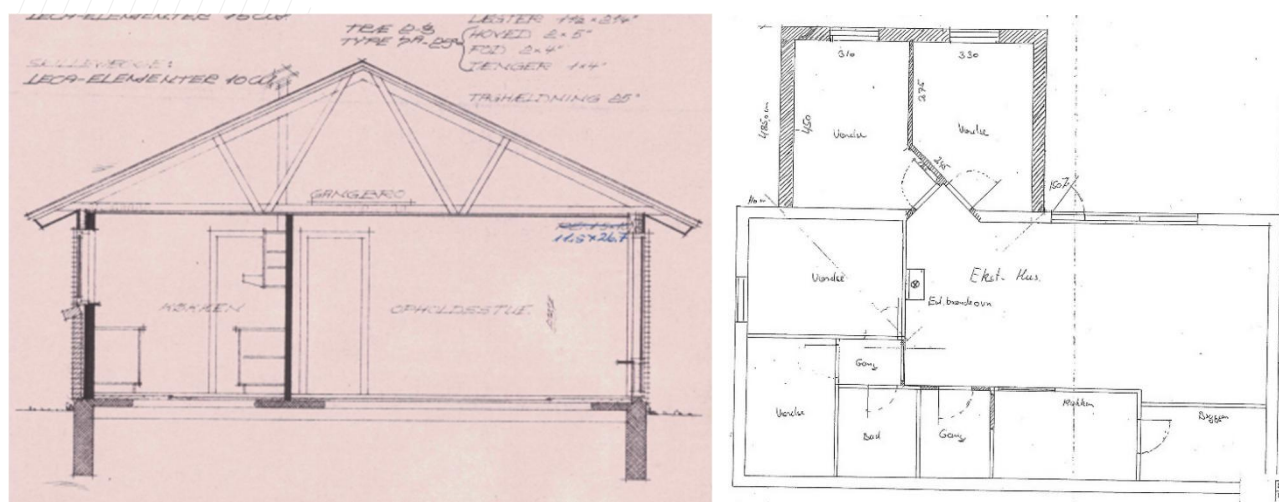
### 10.5.3.3 Bolig i Horsens

Dette afsnit beskriver bygningen samt resultaterne af undersøgelser i en bolig i Horsens.

### Beskrivelse af lokalitet

Bygningen er et étplans parcelhus fra 1976 inkl. tilbygning fra 2001, med et samlet boligareal på 140 m<sup>2</sup> og uudnyttet loftsrum.

Figur 10.37: Bolig i Horsens. Til venstre ses tværsnit af boligen og til højre ses situationsplan.



Ifølge materialet i byggesagsarkivet er terrændækket i boligen bygget op af 100 mm beton, 50 mm isolering og 150 mm sand. Loftskonstruktionen består af 100 mm rockwool og dampspærre. Ydervæggene består af en muret væg og indervægge af betonelementer.

### Beskrivelse af ventilationsanlæg

Ejendommen har etableret mekanisk balanceret ventilationsanlæg, der er indreguleret til 182 m<sup>3</sup>/h (behovsstyret), svarende til et beregnet luftskifte på ca. 0,55 h<sup>-1</sup>. Anlægget er et Danfoss Air a2, ventilationsanlæg eftermonteret med kanalsystem i tagrum. Der er indblæsning i 4 værelser og i stue/alrum samt udsugning i køkken, toilet, bryggers og ved spiseplads.

### Beskrivelse af indregulering ved forsøg

I forbindelse med forsøget er der lavet indreguleringer af anlægget, som det fremgår af tabel 10.22:

Tabel 10.22: Indregulering af anlæg i forbindelse med forsøg i bolig i Horsens.

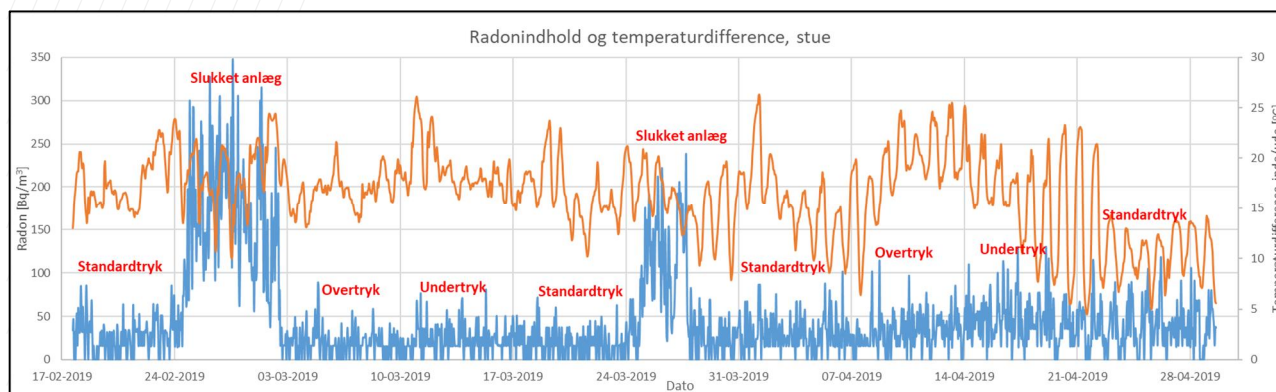
Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
Standardtryk	172	182
Overtryk	180 (+20 vol%)	150
Undertryk	150	180 (+20 vol%)
Sluk	0	0

### Resultater

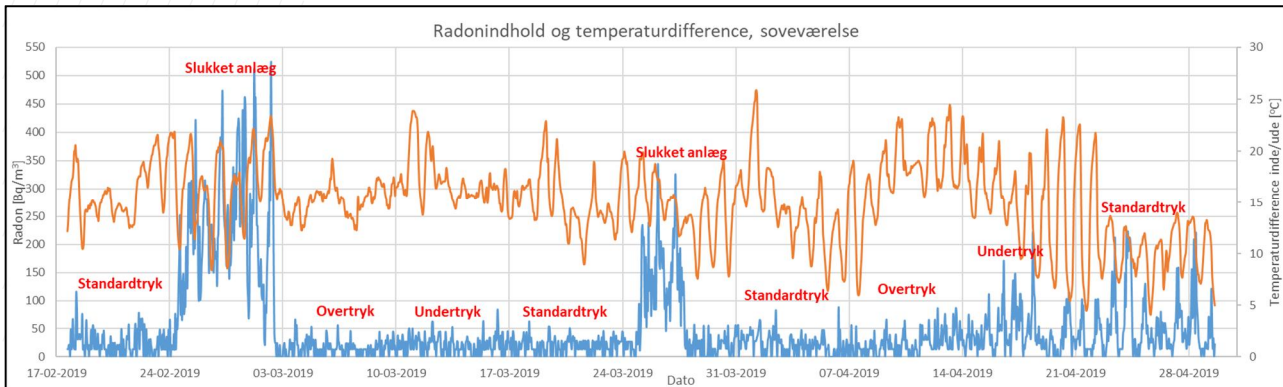
I boligen har der været placeret radonloggere i hhv. stue og soveværelse samt temperaturloggere to steder udenfor. Indetemperaturene er målt samtidigt via radonloggerne. I nedenstående Figur 10.38 og

Figur 10.39 fremgår resultaterne af radonindholdet ved hvert scenarie sammen med differensstemperaturen for samme periode for hhv. stue og soveværelse.

Figur 10.38: Blå graf angiver radonindholdet i stuen, mens orange graf angiver temperaturredningen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier



Figur 10.39: Blå graf angiver radonindholdet i soveværelset, mens orange graf angiver temperaturredningen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier.



Generelt ses meget ens resultater for de to rum i boligen. Både temperatur og radonindhold er på nogenlunde samme niveau. Der ses en forholdsvis konstant indetemperatur i begge rum, som ligger omkring 22-25°C i stuen og 20-22°C i soveværelset. Variationen i temperaturforskellen, som fremgår af Figur 10.38 og

Figur 10.39, skyldes derfor primært ændringer i udetemperaturen gennem forsøgsperioden. Udetemperaturen har ligget i intervallet  $\pm 5^\circ\text{C}$  til  $+18^\circ\text{C}$ .

Radonindholdet i både stue og soveværelse ligger i intervallet 0-100 Bq/m<sup>3</sup>, når ventilationsanlægget er tændt. I de to perioder, hvor anlægget har været slukket, stiger radonindholdet op til hhv. 350 Bq/m<sup>3</sup> i stuen og 520 Bq/m<sup>3</sup> i soveværelset. Der ses ingen tydelig forskel på radonindholdet ved de øvrige scenarier med tændt anlæg (standardtryk/overtryk/undertryk). I nedenstående Tabel 10.23 er der beregnet gennemsnitlige radonkoncentrationer for hver af de 4 forskellige scenarier.

Tabel 10.23: Beregnet gennemsnitligt radonindhold i inddelningen i hhv. stue, soveværelse og hele boligen ved de 8 forskellige scenarier i bolig i Horsens.

Scenarie	Radonindhold, stue [Bq/m <sup>3</sup> ]		Radonindhold, soveværelse [Bq/m <sup>3</sup> ]		Gns. radonindhold i bolig [Bq/m <sup>3</sup> ]
	1. runde	2. runde	1. runde	2. runde	
Standardtryk	27	39	24	57	37
Overtryk	21	34	17	25	24
Undertryk	24	43	21	43	33
Sluk	166	118	231	141	164

På trods af forholdsvis store temperaturvariationer i udeluften over forsøgsperioden vurderes resultaterne at være anvendelige til at give et estimat for udviklingen i radonindholdet i boligen ved de forskellige ventilationsscenarier. Når anlægget er slukket, så er der målt et gennemsnitligt radonindhold i boligen på 164 Bq/m<sup>3</sup>, med udsving i koncentrationer op til 520 Bq/m<sup>3</sup>. Når anlægget er normalt indreguleret, ligger radonindholdet i boligen på ca. 37 Bq/m<sup>3</sup>. Der observeres ikke en stigning i radonindhold ved at regulere anlægget ind med et undertryk på ca.

20 vol% (indblæsning < udsugning). Hvis anlægget i stedet reguleres ind med et overtryk på ca. 20 vol% (indblæsning > udsugning), så er der målt en mindre reduktion i radonindholdet, som falder fra ca. 37 Bq/m<sup>3</sup> til 24 Bq/m<sup>3</sup>.

Ved almindelig balanceret ventilation ses der således en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor ca. 4, mens der ved svagt overtryk ses en reduktion af radonindholdet med en faktor ca. 7.

#### 10.5.3.4 Bolig i Åbyhøj

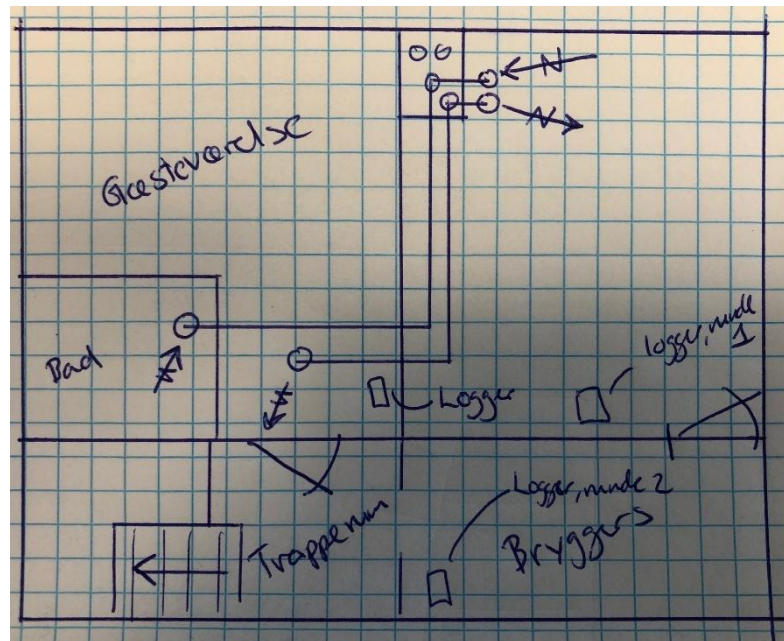
Dette afsnit beskriver bygningen samt resultaterne af undersøgelser i en bolig i Åbyhøj.

##### Beskrivelse af lokalitet

Bygningen er et dobbelthus i 3 plan fra 1903. Ejendommen, som er opført med kælder, har bolig i stueplan samt på 1. sal. Kælderen har et areal på 55 m<sup>2</sup>.

Der er ikke fundet tegninger af bygningen i kommunens byggesagsarkiv, men grundejer har lavet en skitse af kælderen, som fremgår af Figur 10.40.

Figur 10.40: Bolig i Åbyhøj.  
Skitse af kælderplan.



Der er lavet en trykprøvning af ejendommen i en anden forbindelse, og her viste en Blowerdoortest en tæthed på 3,2 l/s pr. m<sup>2</sup> ved 50 Pa.

##### Beskrivelse af ventilationsanlæg

Ejendommen har etableret mekanisk balanceret ventilationsanlæg i kælderen, der er indreguleret til 90 m<sup>3</sup>/h, svarende til et beregnet luftskifte på ca. 0,75 h<sup>-1</sup>. Anlægget er et Danfoss Air w2 ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning i hvert af de to værelser i kælderen.

##### Beskrivelse af indregulering ved forsøg

De udførte forsøg omhandler kun kælderen. Døren mellem kælder og stueplan er frit anvendt under forsøget, men er holdt lukket mest muligt.

I forbindelse med forsøget er der lavet indreguleringer af anlægget, som det fremgår af tabel 10.24:

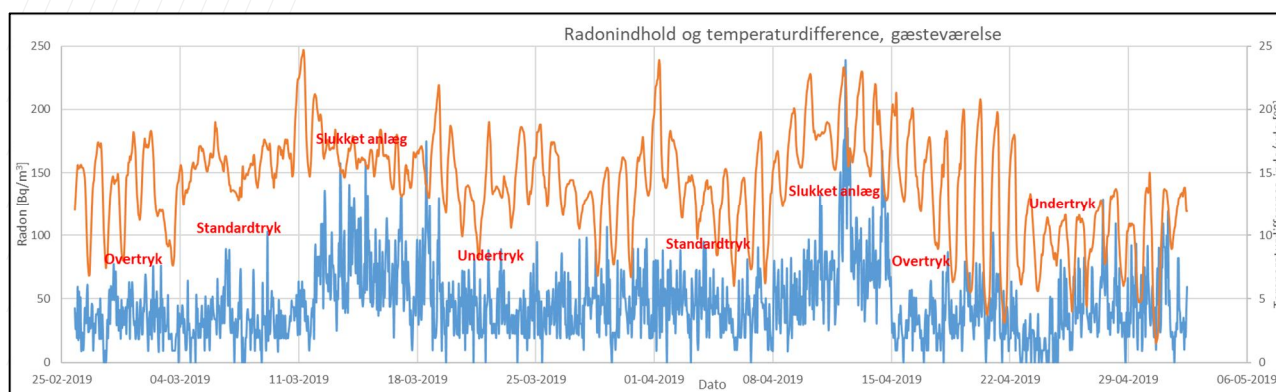
Tabel 10.24: Indregulering af anlæg i forbindelse med forsøg i bolig i Åbyhøj.

Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
Standardtryk	90	90
Overtryk	100 (+20 vol%)	80
Undertryk	80	100 (+20 vol%)
Sluk	0	0

### Resultater

I boligen har der været placeret radonlogger i hhv. gæsteværelse og oplagsrum i kælderen samt temperaturlogger to steder udenfor. Indetemperaturene er målt samtidigt via radonloggerne. Resultater fra oplagsrum er ikke medtaget i nedenstående, da resultaterne ikke vurderes at være nøjagtige nok til dette projekt. I nedenstående Figur 10.41 fremgår resultaterne af radonindholdet ved hvert scenarie sammen med differensstemperaturen for samme periode for gæsteværelset.

Figur 10.41: Blå graf angiver radonindholdet i stuen, mens orange graf angiver temperaturdifferencen mellem inde og ude i samme periode. Med rødt er angivet de forskellige forsøgsscenarier.



Der er målt en forholdsvis konstant indetemperatur i gæsteværelset, som ligger omkring 20°C. Dog ses der i perioden 27. februar til 3. marts et fald i indetemperaturen, som ikke umiddelbart kan forklares. Variationen i temperaturdifferencen, som fremgår af Figur 10.41, skyldes derfor primært ændringer i udetemperaturen gennem forsøgsperioden. Udetemperaturen har ligget i intervallet  $\pm 4^\circ\text{C}$  til  $+19^\circ\text{C}$ .

Radonindholdet i gæsteværelset har ligget i intervallet 25-75 Bq/m<sup>3</sup>, når ventilationsanlægget er tændt. I de to perioder, hvor anlægget har været slukket, stiger

radonindholdet op til 240 Bq/m<sup>3</sup>. Der ses ingen tydelig forskel på radonindholdet ved de øvrige scenarier med tændt anlæg (standardtryk/overtryk/undertryk). I nedenstående Tabel 10.25 er der beregnet gennemsnitlige radonkoncentrationer for hvert af de 4 forskellige scenarier.

Tabel 10.25: Beregnet gennemsnitligt radonindhold i indeluften i gæsteværelse ved de 8 forskellige scenarier i bolig i Åbyhøj.

Scenarie	Radonindhold, gæsteværelse [Bq/m <sup>3</sup> ]		Gns. radonindhold [Bq/m <sup>3</sup> ]
	1. runde	2. runde	
Standardtryk	39	42	40
Overtryk	33	37	35
Undertryk	41	43	42
Sluk	75	59	67

På trods af de forholdsvis store temperaturvariationer i udeluften over forsøgsperioden vurderes resultaterne at være anvendelige til at give et estimat for udviklingen i radonindholdet i boligen ved de forskellige ventilationsscenarioer. Når anlægget er slukket, er der målt et gennemsnitligt radonindhold i gæsteværelset på 67 Bq/m<sup>3</sup>, med udsving i koncentrationer op til 240 Bq/m<sup>3</sup>. Når anlægget er normalt indreguleret, ligger radonindholdet i boligen på ca. 40 Bq/m<sup>3</sup>. Der observeres kun en meget marginal stigning i radonindhold ved at regulere anlægget ind med et undertryk på ca. 20 vol% (indblæsning < udsugning). Hvis anlægget i stedet reguleres ind med et overtryk på ca. 20 vol% (indblæsning > udsugning), er der målt en mindre reduktion i radonindholdet, som falder fra ca. 40 Bq/m<sup>3</sup> til 35 Bq/m<sup>3</sup>.

Ved almindeligt balanceret ventilation ses der således en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor ca. 1,5, mens der ved svagt overtryk ses en reduktion af radonindholdet med en faktor ca. 2.

#### 10.5.4 Datasammenfatning og vurdering

Der er gennemført undersøgelser i fire boliger med mekanisk balancerede ventilationsanlæg. Undersøgelserne er udført for at få en ide om, hvor stor betydning almindelig standard mekanisk ventilation (øget luftskifte) samt mekanisk ventilation med svagt overtryk og undertryk har på radonindholdet i indeluften i boligerne. Der er lavet undersøgelser på fire meget forskellige boliger, boliger som er forskellige i både udformning og i byggestil. Nedenstående Tabel 10.26 Error! Reference source not found. opsamler resultaterne fra undersøgelserne.

Bolig	Egå	Viby J	Horsens	Åbyhøj
Opført	1985	1954	1976	1903
Bemærkninger om bolig	Rækkehus i ét plan	Villa i 3 plan, kun kælder med i forsøg	Parcelhus i ét plan	Rækkehus i 3 plan, kun kælder med i forsøg
Beregnet luftskifte ved ventilation	0,6 h <sup>-1</sup>	0,85 h <sup>-1</sup>	0,55 h <sup>-1</sup>	0,75 h <sup>-1</sup>
Radonindhold ved standardtryk	21	22	37	40

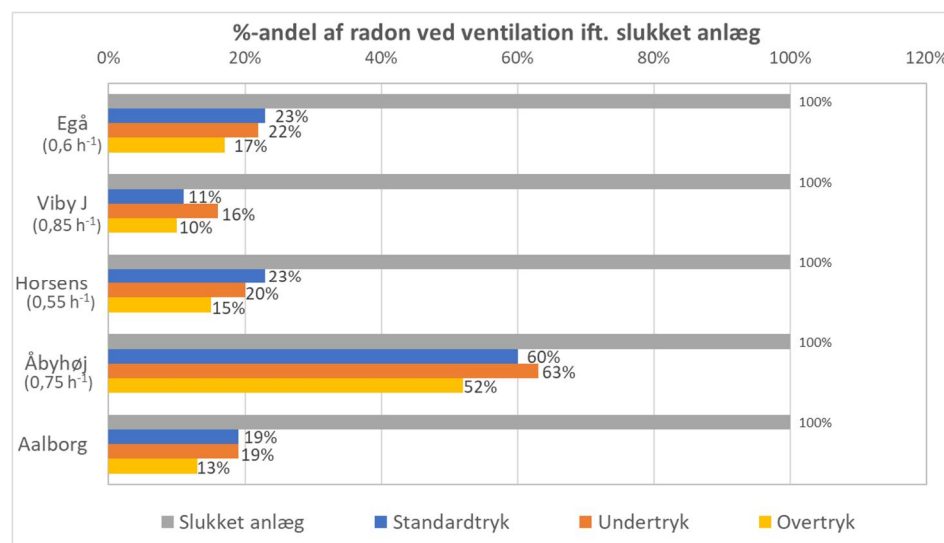


Radonindhold ved overtryk	16	20	24	35
Radonindhold ved undertryk	20	32	33	42
Radonindhold ved slukket anlæg	93	197	164	67
Reduktion i radonindhold ved overtryk	Faktor 6	Faktor 10	Faktor 7	Faktor 2
Reduktion i radonindhold ved balanceret tryk	Faktor 4	Faktor 10	Faktor 4	Faktor 1,5

Tabel 10.26: Opsummering af resultater for 4 boliger med mekaniske ventilation.

I alle fire boliger ses betydelig reduktion af radonindholdet i boligerne, når ventilationsanlæggene er i drift, uafhængig af hvilket ventilationsscenario der er tale om. I 3 af boligerne er radonindholdet reduceret til ca. 10-20% (faktor 5-10) i forhold til radonindholdet ved slukket anlæg, mens det sidste anlæg (Åbyhøj) skiller sig ud ved, at radonindholdet kun er reduceret til ca. 50-60% (faktor 1½-2) i forhold til ved slukket anlæg. Reduktionen i radonindholdet for hver af de fire boliger fremgår af Figur 10.42. Årsagen til, at boligen i Åbyhøj skiller sig ud er ikke nærmere undersøgt, men det vurderes at være lokalitetsspecifikt (kælderventilation med 2 indblæsninger og 2 udsugninger).

Figur 10.42: Beregnet procentvis andel af radon ved anlæg i drift (Standardtryk, overtryk, undertryk) i forhold til slukket anlæg for fire boliger. Til sammenligning er data fra delforsøg 1 i Aalborg vist i figuren.



I forhold til standardventilationen ses for alle fire boliger en yderligere 5-10% reduktion i indholdet af radon ved at regulere ventilationsanlægget, så indblæsningen er ca. 20 vol% større end udsugningen (gul søjle på Figur 10.42). Derimod ses det ikke éntydigt, om det modsatte scenarie, hvor indblæsning er 20 vol% mindre end udsugningen, har en betydning for radonindholdet (orange søjle på Figur 10.42). I to af boligerne ses en stigning i radonindholdet ved undertryk, mens der i de to andre boliger ses et fald, som dog er meget marginalt.

Resultaterne for de udførte undersøgelser i 4 boliger med mekanisk ventilation bekræfter resultaterne fra undersøgelsen på boligen i Aalborg, jf. afsnit 10.4.7, der ligeledes er vist i figuren.

## 11 Opsamling af undersøgelsesresultater

I danske boliger er der generelt et svagt undertryk i indeklimaet i forhold til trykket i udeluften og derved også i forhold til jordluften (poreluften) under boligen. Dette giver anledning til, at der opstår et opadrettet differenstræk over terrændækket, hvorved radon og eventuelle flygtige stoffer fra den underliggende poreluft "suges" ind i bygningen.

Grundidéen for projektet med intelligent ventilation har været, at udnytte viden om vindforholdene omkring en bygning til at klarlægge zoner med hhv. overtryk og undertryk omkring bygningen og dernæst udnytte viden om disse trykzoner til at sikre et lidt højere tryk i indeklimaet og ad den vej minimere indtrængningen af radon fra undergrunden. Indledende undersøgelser har dog vist, at vindforhold og trykzoner omkring en bygning er yderst komplekse og varierer fra bygning til bygning ligesom de er meget afhængige af vindretning og -hastighed.

Projektet har derfor i stedet ændret fokus til at undersøge, om det er muligt at reducere radonindtrængningen ved installation af et intelligent styret ventilationsanlæg, som simpelt kan reducere radonindholdet i indeklimaet i boliger.

Overordnet vurderes koncentrationen af radon i indeklimaet især at være styret af:

- Transporten af poreluft til indeklimaet (fluxen)
- Luftsiftet i indeklimaet, der jf. /7/ primært er fundet til at være afhængig af brugeradfærden i en bolig (hvor bl.a. udluftning har stor betydning) og om der er ventilationsanlæg (aktiv/passiv)

De udførte undersøgelser vurderes at have været med til at give et dækkende billede af variationerne i radonindholdet i de undersøgte boliger i Køge, Viborg og Aalborg i normalsituationer, hvor husene ikke har været udstyret med mekanisk ventilation. Det har været forventet, at indholdet af radon i indeklimaet ville variere som følge af variationen i differenstrækket over gulvet, idet differenstrækket er bestemmende for transporten til indeklimaet. Denne sammenhæng er påvist tydelig i testhuset i Køge, men ikke for boligerne i Viborg og Aalborg. Det vurderes, at den manglende sammenhæng skyldes, at disse to boliger er anvendt som normalt gennem forsøgsperioderne, mens testhuset i Køge har stået tomt i hele forsøgsperioden. Derfor har brugeradfærden med bl.a. ændringer i luftsiftet været med til at 'forstyrre' billedet.

De udførte undersøgelser vurderes endvidere at have været med til at understøtte tidligere undersøgelser, der har vist, at der ikke er sammenhæng mellem tæthed af et hus og luftsiftet jf. /7/ og /8/. Et utæt hus kan således godt have et lavt luftsifte, hvis utæthederne ikke er placeret på en måde, der understøtter termisk opdrift eller vindtryk.

Undersøgellesstrategien er løbende blevet revurderet og tilrettet gennem projektet. I alt er der i perioden fra januar 2017 til april 2019 gennemført fire separate undersøgelser, hvor resultaterne er beskrevet i denne rapport. Endvidere er der gennemført en sideløbende teoretisk fase i forhold til at vurdere risikoen for, at ventilationsløsningen medfører kritisk fugtdannelse i bygningskonstruktionerne.

Nedenfor er lavet en sammenfatning af de 4 undersøgelser udført i forbindelse med projektet.

## 11.1 Undersøgelser i testhus i Køge

Første runde af undersøgelser er udført i Region Sjællands testhus i Køge. Formålet med undersøgelserne har været at klarlægge de parametre, der er styrende for differenstrykket over bygningens terrændæk, samt undersøge om det er muligt at ændre differenstrykket over terrændækket fra opadrettet til nedadrettet ved at påføre bygningen et overtryk.

Undersøgelserne har vist, at differenstrykket over terrændækket især er påvirket af temperaturforskellen mellem ude og inde, men til dels også af vindforhold. Der er ikke fundet en tydelig sammenhæng mellem differenstrykket over terrændæk og atmosfæretrykket.

Der er endvidere observeret en klar sammenhæng mellem indholdet af radon i indeluften og differenstrykket over terrændækket. Dette vurderes at skyldes, at der ved et stort positivt differenstryk, og dermed tilsvarende høj opadrettet gradient, vil være en stor konvektiv strømning af luft fra under terrændækket til indeluften, og omvendt ved negativt differenstryk.

Der er etableret en ventilator i ydervæggen, som har påført ejendommen et mindre overtryk ved at tilføre luft med et flow på 300 m<sup>3</sup>/h (83 l/s), svarende til et beregnet luftskifte på ca. 0,92 h<sup>-1</sup>. Luftskiftet i normalsituationen kendes ikke.

Resultaterne af undersøgelserne på testhuset i Køge er samlet i Tabel 11.1.

Tabel 11.1: Opsummering af resultater for testhus i Køge.

	Resultater
Luftskifte ved normalsituation	Ukendt.
Beregnet luftskifte ved overtryksventilation	0,92 h <sup>-1</sup>
Flow ved overtryksventilation	Indblæsning: 300 m <sup>3</sup> /h
Differenstryk ved normalsituation	+1-+3 Pa
Differenstryk ved overtryksventilation	-1 Pa
Radonindhold ved normalsituation	19-63 Bq/m <sup>3</sup>
Radon ved overtryksventilation	1-4 Bq/m <sup>3</sup>
Reduktion i radonindhold ved overtryksventilation	Faktor 20-50
TCE-indhold ved normalsituation	21-92 µg/m <sup>3</sup>
TCE-indhold ved overtryksventilation	0,57-1,0 µg/m <sup>3</sup>
Reduktion i TCE-indhold ved overtryksventilation	Faktor 30-134

Overtrykket på huset har medført, at trykgradienten over terrændækket er blevet ændret fra opadrettet (+1-+3 Pa) til nedadrettet (÷1-÷2 Pa). Dette har resulteret i en kraftig reduktion af indholdet af radon og chlorerede opløsningsmidler i indeluften. Der ses en reduktion i koncentrationerne af radon på ca. 20-50 gange og af TCE på ca. 30-134 gange ved at påføre overtryk til bygningen.

Den undersøgte bygning er fundet til at have en tæthed på 2,99 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa. Det undersøgte testhus er dermed forholdsvis tæt konstruktionsmæssigt i forhold til den byggeperiode, hvor det er blevet opført.

## 11.2 Undersøgelser i bolig i Viborg

Anden runde af undersøgelser er gennemført i en bolig i Viborg, som har haft almindelig anvendelse gennem undersøgelsesperioden. Formålet med undersøgelserne har været at gentage forsøget fra Køge i en bolig, som anvendes i undersøgelsesperioden for på denne måde at inddrage effekter fra beboeradfærd og samtidig vurdere evt. gener for beboerne.

Undersøgelserne har vist, at der for denne ejendom ikke er tydelig sammenhæng mellem differenstrykket over gulv og forskellen mellem inde- og udetemperatur. Ligeledes er der ikke observeret tydelig sammenhæng mellem differenstrykket over gulv og de meteorologiske forhold, som er målt i undersøgelsesperioden. Derimod viser undersøgelserne, at de meteorologiske forhold har stor betydning for radonindholdet i indeluften på denne ejendom. Et hurtigt fald i atmosfæretryk observeres at give forhøjet indtrængning af radon. Vind fra bestemte retninger (især vind fra nordøst til nordvest) ser også ud til at have systematisk betydning for differenstrykket over gulvet.

Den undersøgte del af boligen er fundet til at have en tæthed på 2,18 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa, og den undersøgte bolig vurderes således at være forholdsvis tæt i forhold til den byggeperiode, hvor det er blevet opført.

Der er etableret en ventilator i ydervæggen, som har påført ejendommen et mindre overtryk ved at tilføre luft med et flow på 180 m<sup>3</sup>/h (50 l/s). Det lille overtryk på huset har lige netop resulteret i, at trykgradienten over gulv er ændret fra opadrettet (+2 Pa) til nedadrettet (-1 Pa). Undersøgelsen har således dokumenteret, at det er muligt at vende trykgradienten over gulvet til nedadrettet, selvom bygningen har en almindelig anvendelse.

Resultaterne af undersøgelserne på boligen i Viborg er samlet i Tabel 11.2.

I normalsituationen er der registreret et meget varierende radonindhold i boligen, med forholdsvis store udsving af kort varighed. I størstedel af tiden ligger radonindholdet omkring 100 Bq/m<sup>3</sup>, men der ses udsving op over 1.500 Bq/m<sup>3</sup>. Der er i normalsituationen målt et gennemsnitligt indhold af radon i boligen på 165 Bq/m<sup>3</sup>.

Efter etablering af overtryksventilation falder radonniveauet betydeligt i hele boligen. Der ses i denne periode radonkoncentrationer i intervallet 0-10 Bq/m<sup>3</sup>, med et gennemsnitligt radonindhold på ca. 5 Bq/m<sup>3</sup>. Der ses således en reduktion i koncentrationerne af radon med en faktor 33 ved at påføre overtryk til bygningen.

Afslutningsvist er der lavet forsøg med alternerende drift af ventilatoren, med tænd og sluk hver 6. time. Ved den alternerende drift ses fortsat et lavt indhold af radon i indeluften. Det gennemsnitlige radonindhold er ved den alternerende drift fundet til ca. 40 Bq/m<sup>3</sup> og ligger således under den anbefalede værdi på 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Tabel 11.2: Opsummering af resultater for bolig i Viborg. () angiver gennemsnitlig radonindhold.

	Resultater
Luftskifte ved normalsituation	Ukendt.
Beregnet luftskifte ved overtryksventilation	0,6 h <sup>-1</sup>
Flow ved overtryksventilation	Indblæsning: 180 m <sup>3</sup> /h
Differenstryk ved normalsituation	+2 Pa
Differenstryk ved overtryksventilation	-1 Pa
Radonindhold ved normalsituation	100-200 Bq/m <sup>3</sup> (165)
Radon ved overtryksventilation	0-10 Bq/m <sup>3</sup> (5)
Reduktion i radonindhold ved overtryksventilation	Faktor 33
Radon ved alternerende drift	40 Bq/m <sup>3</sup>
Reduktion i radonindhold ved alternerende drift	Faktor 4

Luftskiftet i den undersøgte del af boligen er i perioden med påført overtryk ændret betydeligt i forhold til normalsituationen. Ventilatoren har i perioden en kapacitet på 180 m<sup>3</sup>/h (50 l/s), svarende til et beregnet luftskifte på ca. 0,6 h<sup>-1</sup>. Luftskiftet i normalsituationen kendes ikke.

Så snart ventilatoren er tændt, har ejendommens beboere registreret en mærkbar ændring af komforten i huset. Tilførslen af uopvarmet udeluft kan tydeligt mærkes i hele den undersøgte del af boligen. Det må deraf konkluderes, at der er behov for opvarmning af indblæsningsluften.

Målingerne har vist, at undersøgelserne ikke har medført en væsentlig ændring af fugtforholdene i skunken eller på loftet.

### 11.3 Undersøgelser i bolig i Aalborg

Tredje runde af undersøgelser er gennemført i en bolig i Aalborg, som har haft almindelig anvendelse gennem undersøgelsesperioden. I denne bolig er der installeret et mekanisk balanceret ventilationsanlæg, og ønsket har været at klarlægge, om det er muligt at ændre differenstrykket over terrændækket ved almindelig mekanisk ventilation, samt hvor meget en sådan ventilation vil reducere radonindholdet i indeluften.

Undersøgelserne har vist, at der for denne ejendom er en sammenhæng mellem differenstryk over terrændæk og forskellen mellem inde- og udetemperatur.

Boligen er fundet til at have en tæthed på 4,7 l/s pr m<sup>2</sup> ved 50 Pa, og boligen er derfor forholdsvis utæt i forhold til de tidligere undersøgte ejendommen under I-vent projektet. Endvidere er det målt, at der i normalsituationen er et luftskifte i boligen på 0,03-0,12 h<sup>-1</sup>, hvilket er meget lavt (skyldes bl.a. at naturlige ventilatorer er lukket under forsøget).

Undersøgelserne viser, at der sker en gunstig påvirkning af differenstrykket over gulvet, når anlægget reguleres ind med større indblæsning ift. udsugning (overtryksventilation). Ved delforsøg 1 - med beregnet luftskifte på ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  og et ventilationsflow med 50 vol% større indblæsning ift. udsugning - ses en tendens til ændring af differenstrykket fra opadrettet gradient (+0,3 Pa) til en neutral eller meget svagt nedadrettet gradient (omkring 0 Pa). Ved delforsøg 2 - med målt luftskifte på 0,4-0,7  $\text{h}^{-1}$  og et ventilationsflow med 20 vol% større indblæsning ift. udsugning - ses en ændring af differenstrykket fra +2,2-2,3 Pa til +0,8-1,8 Pa. De to delforsøg viser således, at trykgradienten over gulvet ændres med 0,3-0,5 Pa i gunstig retning, når der sættes overtryk på boligen.

Ved almindelig balanceret ventilation ses der således en reduktion af radonindholdet i indeluften på med en faktor ca. 4-6, mens der ved svag overtryksventilation er målt en reduktion af radonindholdet med en faktor 5-10.

Luftskiftet i den undersøgte del af boligen er i perioden med ventilation ændret betydeligt i forhold til normalsituationen. Der er lavet delforsøg med et beregnet luftskifte på hhv. ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  og  $0,6 \text{ h}^{-1}$ . Luftskiftet i normalsituationen er målt til 0,03-0,12  $\text{h}^{-1}$  ved sporgasforsøg, jf. afsnit 10.4.6.6. Dette svarer altså til, at der ved ventilation er påført boligen et øget luftskifte med hhv. faktor ca. 10-30 og faktor 3-23 gange. Det øgede luftskifte i boligen vil resultere i en tilsvarende reduktion i radonindholdet (alene ved fortynding) under forudsætning af, at fluxen af radon ind i boligen er uændret.

Resultaterne af undersøgelserne på boligen i Aalborg er samlet i Tabel 11.3.

Tabel 11.3: Opsummering af resultater for bolig i Aalborg.  
\*10 scenarier ved forskellig indblæsning og udsugning.  
#Ifm. delforsøg 2 er normalsituationen udført med slukket anlæg (dvs. at tidligere ventiler er fjernet i boligen).  
( ) angiver gennemsnitsværdier.

	Delforsøg 1	Delforsøg 2
Målt luftskifte ved normalsituation (sporgas)	0,03-0,12	0,03-0,12
Målt luftskifte ved ventilation (sporgas)	-	0,4-0,7 $\text{h}^{-1}$
Beregnet luftskifte ved ventilation	1 $\text{h}^{-1}$	-
Øget luftskifte i fht. normalsituation	Faktor 10-30	Faktor 3-23
Flow ved ventilation	Indblæsning: 300 $\text{m}^3/\text{h}$ Udsugning: 200 $\text{m}^3/\text{h}$	Indblæsning/udsugning: 160 $\text{m}^3/\text{h}$ / 130 $\text{m}^3/\text{h}$ *
Differenstryk ved normalsituation	+0,3 Pa	+2,2-2,3 Pa
Differenstryk ved overtryksventilation	-0,05 Pa	+0,8-1,8 Pa
Radonindhold ved normalsituation	50-150 $\text{Bq}/\text{m}^3$ (80)	≈110-200 $\text{Bq}/\text{m}^3$ (150)
Radon ved overtryksventilation	10-20 $\text{Bq}/\text{m}^3$ (16)	20-22 $\text{Bq}/\text{m}^3$ (20)
Radon ved balanceret og svag undertryksventilation	-	26-33 $\text{Bq}/\text{m}^3$ (30)
Reduktion i radonindhold ved overtryksventilation	Faktor 5-8	Faktor 5-10 (8)
Reduktion i radonindhold ved balanceret ventilation	-	Faktor 4-6 (5)

For delforsøg 2 ses en reduktion i koncentrationerne af radon med en faktor ca. 4-6, efter der er etableret mekanisk balanceret ventilation i boligen, mens det i samme perioder er målt, at luftskiftet er øget med en faktor ca. 3-23. Det vurderes således, at radonreduktionen primært må skyldes det øgede luftskifte i boligen (fortynding). Overtrykssituationen medfører, at radonindholdet i boligen reduceres yderligere (fra en faktor på 4-6 til en faktor på 5-10), men reduktionen er stadig mindre end ændringerne i luftskiftet, og det er således ikke helt entydigt, om overtryksventilationen har medført, at fluxen af radon ind i huset er blevet reduceret.

Det har stor betydning for fugtmængden i boligen, at der etableres ventilation. Ved at ventilere boligen mekanisk, fjernes en stor del af fugten i boligen, og dermed mindskes risikoen for, at der presses fugt ud i konstruktionerne.

Undersøgelser af fugtforholdenes ændring er behæftet med en vis usikkerhed, da der måles på meget små differencer. Målingerne viser, at der presses lidt mere luft op på loftet ved overtryksventilation, men da overtrykket etableres ved at skævvride et ventilationsanlæg med både indblæsning og udsugning, sker der samtidig en affugtning af boligen, hvorved risikoen for afsætning af fugt og evt. efterfølgende skimmelvækst mindskes betragteligt.

Ubalance i et ventilationsanlæg, uanset om det er overtryk eller undertryk, medfører, at der er en del af luften, som ikke passerer varmeveksleren. Det vil resultere i et energispild, da en ekstra mængde luft skal opvarmes fra udetemperatur til indblæsningstemperatur. Denne opvarmning sker som regel med el, og i forhold til energi bør skævvridningen (forskellen mellem indblæsnings- og udsugningsvolumener) derfor holdes på et minimum.

#### 11.4 Undersøgelser i 4 boliger med mekanisk ventilation

Fjerde runde af undersøgelser er gennemført i 4 boliger med mekanisk ventilation, som har haft en normal anvendelse gennem undersøgelsesperioden. Formålet med undersøgelserne har været at verificere resultaterne af undersøgelserne udført i boligen i Aalborg.

Undersøgelserne er udført for at få en ide om, hvor stor betydning almindelig standard mekanisk ventilation (øget luftskifte) samt mekanisk ventilation med svagt overtryk og undertryk har på radonindholdet i boligernes indeluft. Det er lavet undersøgelser på fire meget forskellige boliger både i udformning og i byggestil. Nedenstående Tabel 11.4 opsamler resultaterne fra undersøgelserne.



Bolig	Egå	Viby J	Horsens	Åbyhøj
Opført	1985	1954	1976	1903
Bemærkninger om bolig	Rækkehus i ét plan	Villa i 3 plan, kun kælder med i forsøg	Parcelhus i ét plan	Rækkehus i 3 plan, kun kælder med i forsøg
Beregnet luftskifte ved ventilation	0,6 h <sup>-1</sup>	0,85 h <sup>-1</sup>	0,55 h <sup>-1</sup>	0,75 h <sup>-1</sup>
Radonindhold ved standardtryk	21	22	37	40
Radonindhold ved overtryk	16	20	24	35
Radonindhold ved undertryk	20	32	33	42
Radonindhold ved slukket anlæg	93	197	164	67
Reduktion i radonindhold ved overtryk	Faktor 6	Faktor 10	Faktor 7	Faktor 2
Reduktion i radonindhold ved balanceret tryk	Faktor 4	Faktor 10	Faktor 4	Faktor 1,5

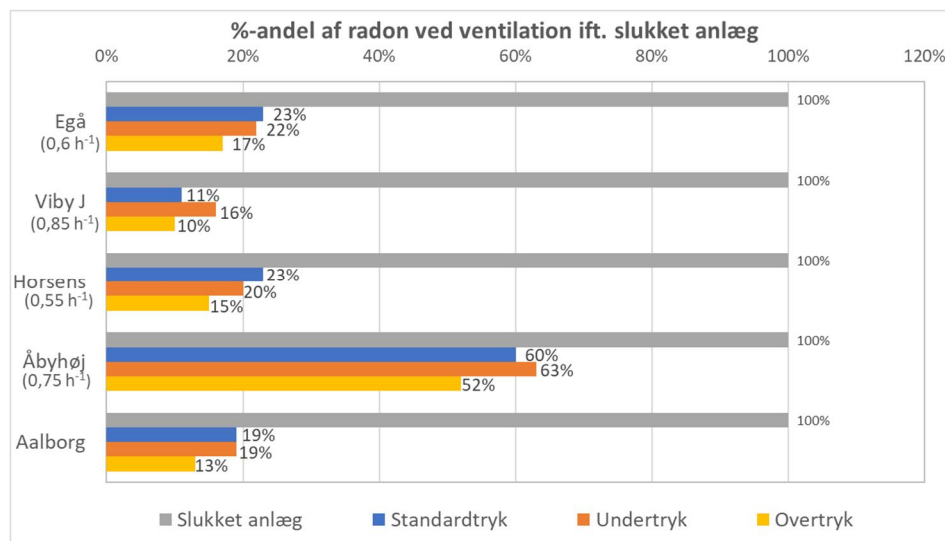
Tabel 11.4: Opsummering af resultater for 4 boliger med mekaniske ventilation.

I alle fire boliger ses betydelig reduktion af radonindholdet i boligerne, når ventilationsanlæggene er i drift, uafhængig af hvilket ventilationsscenario der er tale om. I 3 af boligerne er radonindholdet reduceret med en faktor 4-10 (svarende til at der er fjernet ca. 75-90% af radon) i forhold til radonindholdet ved slukket anlæg, mens det sidste anlæg (Åbyhøj) skiller sig ud ved, at radonindholdet kun er reduceret med en faktor 1½-2 (radonfjernelse på ca. 33-50%) i forhold til ved slukket anlæg.

Reduktionen i radonindholdet for hver af de fire boliger fremgår af Figur 11.1. I boligen i Viby J ses en reduktion ved almindelig balanceret ventilation med en faktor 10, som ligger højere end de øvrige undersøgte boliger. Dette kan hænge sammen med, at ventilationsanlægget i denne bolig har større ydelse (0,85 h<sup>-1</sup>) end de øvrige anlæg (0,55-0,6 h<sup>-1</sup>). Årsagen til, at boligen i Åbyhøj skiller sig ud er ikke nærmere undersøgt, men det vurderes at være lokalitetsspecifikt (kælderventilation med 2 indblæsninger og 2 udsugninger).

Resultaterne for de udførte undersøgelser i 4 boliger med mekanisk ventilation bekræfter resultaterne fra undersøgelsen på boligen i Aalborg, jf. afsnit 10.4.7, der ligeledes er vist i figuren.

Figur 11.1: Beregnet procentvis andel af radon ved anlæg i drift (Standardtryk, overtryk, undertryk) i forhold til slukket anlæg for fire boliger. Til sammenligning er data fra delforsøg 1 i Aalborg vist i figuren.



I forhold til standardventilationen ses for alle fem boliger en yderligere 5-10% reduktion i indholdet af radon ved at regulere ventilationsanlægget, så indblæsningen er ca. 20 vol% større end udsugningen (gul søjle på Figur 11.1). Derimod ses det ikke éntydigt, om det modsatte scenarie, hvor indblæsning er 20 vol% mindre end udsugningen, har en betydning for radonindholdet (orange søjle på Figur 11.1). I to af boligerne ses en stigning i radonindholdet ved undertryk, mens der i de to andre boliger ses et fald, som dog er meget marginalt.

Det var forventet, at et scenarie med svag undertryksventilation ville medføre en stigning i radonindhold, da undertrykket ville resultere i en øget flux over gulvet. Af Figur 11.1 fremgår det, at radonindholdet ikke har været stigende i de tre enfamiliershuse i ét plan (Egå, Horsens og Aalborg), mens der i de to fleretages boliger, med ventilation i kælderen, er observeret en mindre stigning i radonindhold ved svagt undertryk. Datagrundlaget vurderes ikke at være tilstrækkeligt til at vurdere, om dette er generelt dækkende.

## 12 Konklusion

Projektets overordnede formål har været, at undersøge muligheden for at udvikle et intelligent styret ventilationsanlæg, som simpelt kan reducere radonindholdet i indeluften i eksisterende boliger.

De udførte undersøgelser har vist, at det er muligt at ændre trykgradienten over gulvet fra opadrettet til nedadrettet, også selvom en bolig er i normal brugssituation. Men i størstedelen af den danske eksisterende ældre boligmasse, vil det formodentlig kræve en relativ stor luftmængde at sikre en nedadrettet trykgradient. Dette vil igen medføre et stort varmetab samt give risiko for fugtdannelse i bygningskonstruktionerne.

Sammenfattende indikerer de udførte undersøgelser, at almindelig mekanisk balanceret ventilation vil være tilstrækkelig til at reducere radonindholdet i en stor del af de boliger, som er påvirket af radonindtrængning i niveauer over den anbefalede værdi på 100 Bq/m<sup>3</sup>. Ved de gennemførte undersøgelser ses en reduktion af radon på omkring 80% (75-90%), og derved en nedbringelse af radonkoncentrationen med omkring en faktor 4-5.

Det vurderes således, at projektets overordnede formål til fulde er opfyldt.

Projektets delformål har undervejs i projektet udviklet sig/ændret sig i takt med at ny viden er tilført. Der er opnået svar på en lang række af de spørgsmål, der blev stillet fra start, og samtidig er nye emner til afklaring dukket op. De spørgsmål, der er besvaret gennem projektets undersøgelser, er sammenfattet nedenfor.

### 12.1 Delkonklusioner

I projektet er draget nedenstående delkonklusioner;

Resultat 1 (indtrængning reduceres ved ændret differenstryk).

Undersøgelserne har vist, at det *er muligt* at reducere indtrængningen af radon til indeklimaet ved at ændre differenstrykket over terrændækket fra opadrettet til neutralt eller nedadrettet, også for boliger med almindeligt brugsmønster (dog med samtidig betydende stigning i luftskiftet).

Det har vist sig, at det nødvendige overtryk i de undersøgte huse har været ret begrænset i forhold til at ændre differenstrykket over gulvet til neutralt eller nedadrettet. Derudover har det vist sig, at det tilknyttede luftflow varierer meget, afhængig af hvor utæt en bygning er. I de undersøgte bygninger har det nødvendige overtryk indendørs været 2-5 Pa i forhold til udeluften, og det samtidige nødvendige indblæsningsflow til at skabe dette overtryk har varieret i intervallet 180-500 m<sup>3</sup>/h.

I de undersøgte bygninger er differenstrykket ændret fra opadrettet til neutralt eller nedadrettet ved at påføre bygningerne et overtryk, og dermed et øget luftskifte.

Ved overtryk uden varmegenvinding er observeret reduktion i radonindhold op til en faktor ca. 50 (baseret på gennemsnitsværdier), og radonindholdet ved overtrykssituationen er på niveau med udeluftniveauet i Danmark. Der kan således godt være tale om endnu større reduktionsfaktorer.

I Viborg er det forsøgt at drosle flowet lidt ned for at komme nærmere et neutralt differenstryk over terrændækket, og her er det vist, at radonindholdet momentant

stiger i boligen. Forsøget i Viborg har således vist, at der skal opretholdes en nedrettet trykgradient for at hindre radonindtrængning til indeluften.

#### Resultat 2 (radonreduktion ved alternerende drift)

Der er lavet forsøg med alternerende drift á 6 timers varighed i Viborg, og det ser ud til, at radonfluxen ændres momentant ved start og sluk af ventilator. Således ser der en stigning i radonindhold, så snart ventilatoren slukkes, som reduceres igen, så snart ventilatoren startes igen.

Ved alternerende overtryk uden varmegenvinding er observeret reduktion i radonindhold op til en faktor ca. 4 (baseret på gennemsnitsværdier).

Resultat 3 (komfort- og energigener ved overtryk uden varmegenvinding). Undersøgelserne har vist, at en ventilationsløsning med overtryk uden varmegenvinding ikke er holdbar, hverken i forhold til komfort eller varmetab. Selv ved forholdsvis tætte boliger (konstateret ved tæthedstest) skal der tilføres forholdsvis meget luft for at opnå et tilstrækkeligt overtryk til at ændre gradienten over terrændækket. Uden opvarmning af den tilførte luft, har det stor betydning for komforten i boligen, da der observeres tydelige træk- og kuldegener. Overtrykket er skabt ved installation af én ventilator i bygningernes bryggers. Generne forventes i samme type boliger også at være til stede ved flere indblæsningspunkter. Energiforbruget til opvarmning af ventilationsluften ved ren indblæsning uden varmegenvinding vil svare ca. til varmetabet ved transmission for et hus fra 70'erne og dermed en fordobling af varmeforbruget i huset.

Resultat 4 (effekt og muligheder ved installation af traditionel mekanisk ventilation - overtryksdrift). Der er etableret balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding i en bolig i Aalborg med henblik på at undersøge mulighederne og effekten ved overtryksventilation ved anvendelse af et sådant anlæg samt for at afdække effektforskellen mellem almindelig balanceret ventilation med svagt undertryk (som det typisk udføres i Danmark) og svag overtryksventilation.

Ved etablering af mekanisk balanceret ventilation i Danmark indreguleres anlæggene typisk med et mindre undertryk (dvs. at udsugning er en smule større end indblæsningen). Undertryksventilationen benyttes for at sikre, at der ikke presses fugtig luft ud i bygningskonstruktionerne, hvilket kan give risiko for fugtskader.

For anlægget i Aalborg er der således lavet en undersøgelse, hvor den almindelige driftssituation (balanceret ventilation) sammenlignes med en driftssituation, hvor anlægget påføres et let overtryk.

Etablering af *almindelig balanceret mekanisk* ventilation i boligen i Aalborg har medført en reduktion af radonindholdet i indeluften med en faktor ca. 5, svarende til at ca. 80 % af radon i indeluften fjernes ved ventilationen. Ved at påføre boligen *et let overtryk* (indblæsning ca. 20 vol% større end udsugning) er radonindholdet reduceret yderligere, så der er fjernet ca. 87 % af radon i indeluften, svarende til en reduktionsfaktor på ca. 8.

Til sammenligning er der lavet undersøgelser af luftskiftet i boligen i Aalborg ved forskellige ventilationsscenerier samt ved slukket anlæg. Når anlægget er slukket, er der beregnet et luftskifte i boligen på 0,03-0,12 h<sup>-1</sup>, og når ventilationsanlægget er tændt, beregnes luftskiftet til 0,4-0,7 h<sup>-1</sup>. Luftskiftet i boligen er således øget med en faktor 3-23 ved ventilation.

Resultaterne af undersøgelserne i boligen i Aalborg viser stor effekt af almindelig balanceret ventilation på indholdet af radon i indeluften. På baggrund af store usikkerheder ved bestemmelse af luftskiftet ved slukket anlæg vurderes det ikke umiddelbart muligt, at sige noget om effekten af øget luftskifte kontra eventuel ændring af flux ved overtryk. Det vurderes dog at være sandsynligt, at den ekstra effekt ved let overtryk (fra ca. 80% til ca. 87%) skyldes, at fluxen over terrændækket reduceres en smule.

Resultat 5 (verificerende undersøgelser, overtryk kontra neutralt tryk). Der er lavet verificerende undersøgelser i 4 boliger med mekanisk balanceret ventilation for at få større sikkerhed på resultaterne, og undersøgelserne bekræfter resultaterne i Aalborg. Således viser undersøgelserne i 4 boliger, at radonindholdet i indeluften ved almindeligt balanceret ventilation reduceres med 75-90% (radon fjernes med en faktor 4-10). Ved svagt overtryk reduceres radonindholdet med 83-90% (radon fjernes med en faktor 6-10).

## 12.2 Sammenfattende konklusion

De udførte undersøgelser har vist, at det er muligt at ændre trykgradienten over gulvet fra opadrettet til nedadrettet, selvom en bolig er i normal brugssituation. Men i størstedelen af den danske boligmasse vil det kræve en urealistisk stor luftmængde at sikre en nedadrettet trykgradient, hvilket dermed vil medføre et for stort varmetab samt give risiko for fugtdannelse i bygningskonstruktionerne.

Undersøgelserne har endvidere vist, at et traditionelt balanceret mekanisk ventilationsanlæg medfører en betydelig reduktion af radonindholdet i de undersøgte boliger. Effekten øges en smule ved at indstille ventilationsanlægget til et svagt overtryk.

### Traditionel mekanisk ventilation til fjernelse af radon

Som en del af projektet er det undersøgt, hvad effekten er af traditionel balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding. Sammenfattende indikerer de udførte undersøgelser, at almindeligt balanceret ventilation sandsynligvis ofte vil være tilstrækkelig til at reducere radonindholdet i en stor del af de boliger, som er påvirket af radonindtrængning i niveauer over den anbefalede værdi på 100 Bq/m<sup>3</sup>. Ved de gennemførte undersøgelser ses en reduktion af radon på omkring 80% (75-90%), og derved en nedbringelse af radonkoncentrationen med omkring en faktor 4-5.

Datagrundlaget er dog spinkelt og derved ikke tilstrækkeligt til, at der kan laves en generel vurdering af, hvor stor en del af radonindholdet som fjernes ved at øge luftskiftet i en bolig gennem etablering af mekanisk balanceret ventilation. Det vurderes, at effekten i høj grad afhænger af den enkelte bolig. Ved at etablere mekanisk balanceret ventilation får beboernes adfærd langt mindre betydning for luftskiftet i boligen og dermed forventeligt tilsvarende indflydelse på radonindholdet i indeluften.

### Overtryksventilation med balanceret mekanisk ventilation

De udførte undersøgelser har endvidere vist, at overtryksventilation *kan* reducere radonindholdet i alle de undersøgte boliger. Ved svagt overtryk reduceres radonindholdet lidt mere end ved traditionel mekanisk balanceret ventilation - her med omkring 85% (83-90%) og nedbringer derved radonkoncentrationen med omkring en faktor 6-8. Det svage overtryk, der er benyttet i projektet, er beskedent og dannet ved en indblæsning, der er ca. 20 vol% større end udsugningen. Til sammenligning er reduktionen omkring 80% ved balanceret ventilation.

Den indledende ide med at skabe overtryk i bygningen, alene ved at indblæse uopvarmet udeluft, har vist sig ikke at være "realistisk". Det skyldes dels vanskelig styring og dels det medfølgende energiforbrug til opvarmning, da der ved "almindeligt" utætte huse skal blæses så meget luft ind, at der er behov for varmegenvinding for at holde energiforbruget nede.

#### Vurdering af fugtrisiko

Løbende gennem projektet er der lavet undersøgelser for at vurdere risikoen for, at de undersøgte ventilationsløsninger med overtryk medfører øget risiko for fugtskader i de undersøgte boliger.

Når der etableres et almindeligt balanceret mekanisk ventilationsanlæg fjernes en stor del af den fugt, der genereres i boligen. Risikoen for fugtskader nedsættes derved. Risikoen for at der sker betydende fugtspredning når et mekanisk ventilationsanlæg benyttes til overtryksventilation, falder dermed kraftigt, men er dog ikke 100% elimineret. Endvidere viser de gennemførte undersøgelser at det nødvendige overtryk er meget begrænset og næsten på størrelse med den usikkerhed, der i forvejen er knyttet til indregulering af mekanisk balanceret ventilation.

Overvejes overtryksventilation som middel til at øge effekten i tiltag hvor radonindholdet i indeluften ønskes reduceret, bør det, trods ovenstående, ske efter grundig overvejelse i forhold til risikoen for afsætning af fugt i de konkrete bygningskonstruktioner og tilsvarende risiko for efterfølgende mulig skimmeldannelse.

Løsningen med overtryksventilation vurderes derfor kun at være relevant at overveje, hvis radonindholdet i indeluften er højt.

## 13 Referencer og baggrundslitteratur

### 13.1 Referencer

- /1/ Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. Anvendelse af radonmålinger som tracer for påvirkning af indeklima fra en forurening under gulv. Miljøprojekt nr. 1442, 2012.
- /2/ Behovstyret ventilation til enfamiliehuse. DTU, 2009.
- /3/ IT-vent – Metoderesearch. Niras A/S, 19. Marts 2015.
- /4/ Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. IT-Vent for-projekt – vindpåvirkning af og trykforhold i et hus. April 2015.
- /5/ Miljø- og fødevarerministeriet. Miljøstyrelsen. Måling af differenstræk ved indeklimaundersøgelser. Teknologi-udviklingsprojekt. Miljøprojekt nr. 1896. November 2016.
- /6/ Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København. Tæthed af klimaskærmen i eksisterende boliger. 2016.
- /7/ Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København. Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse. 2017.
- /8/ Udkast til notat, I-vent, styring af ventilation. Niras A/S.
- /9/ Building Science Corporation, BSI-075: How do buildings stack up?. Joseph Lstiburek. 14. feb. 2014.
- /10/ Bekendtgørelse nr. 1601 af 14/12/2015. Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015 (BR15). København. Trafik og Byggestyrelsen.
- /11/ Udkast til rapport I-vent, Fase 1A – Differenstræk og vind.
- /12/ Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. Estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer vha. PFT-metoden. Miljøprojekt nr. 1898, 2016
- /13/ [www.trafikstyrelsen.dk](http://www.trafikstyrelsen.dk)

## 13.2 Relevant baggrundslitteratur

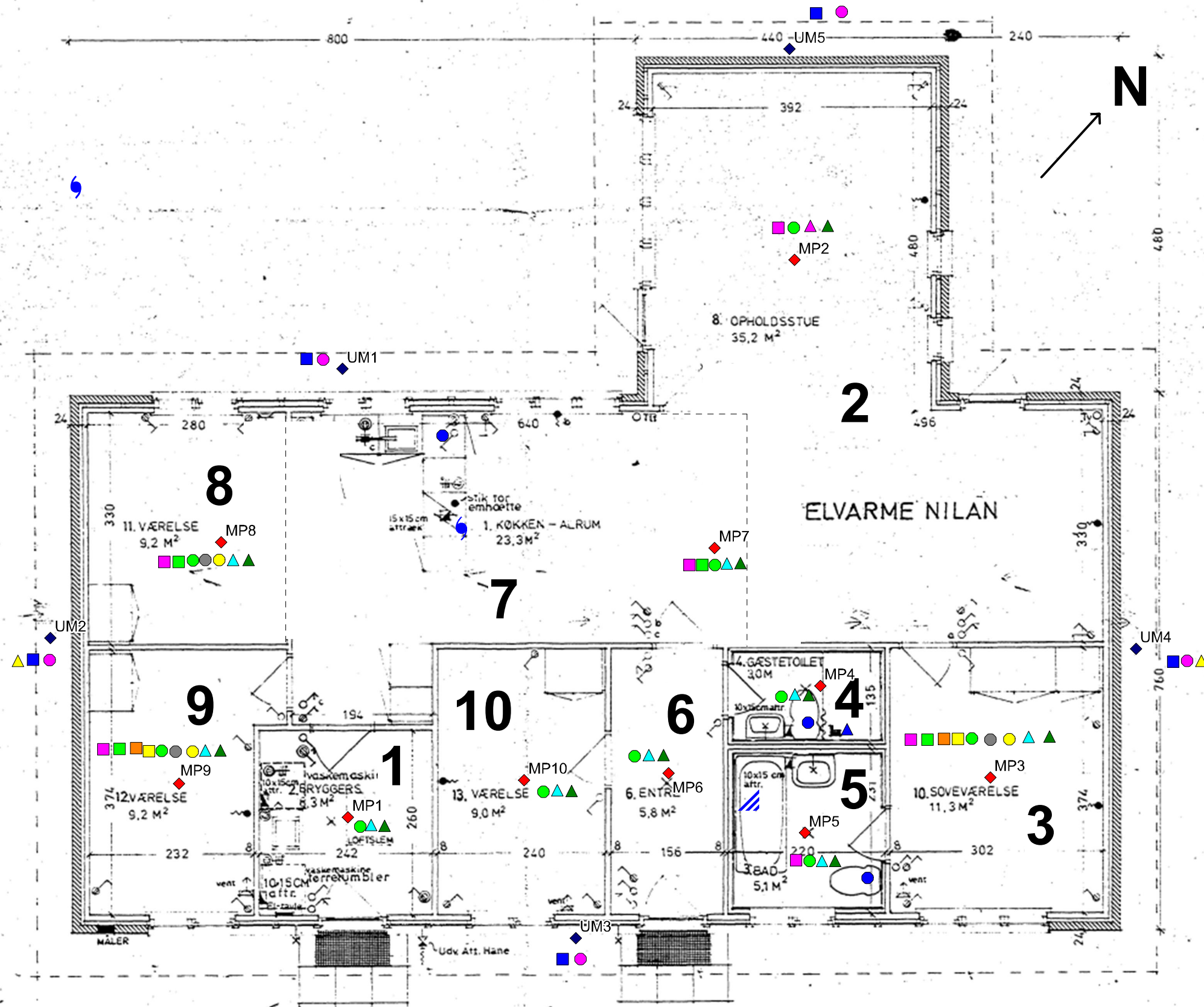
- /14/ By og Byg. Statens Byggeforskningsinstitut. By og Byg-anvisning 202. Naturlig ventilation i erhvervsbygninger. 2002.
- /15/ Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. Poreluftprojekt – Styrende parametre for tidlige variationer af indholdet af klorerede opløsningsmidler i sand- og lerjorde. Miljøprojekt nr. 1094, 2006.
- /16/ Miljøministeriet. Miljøstyrelsen. Radonsikring i nybyggeri, dokumentation og teknologiudvikling. Miljøprojekt nr. 1444, 2012.
- /17/ Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København. Tæthed i eksisterende bygninger. Analyse af målte værdier. 2015.
- /18/ Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Radonkoncentrationen i nye enfamiliehuse. SBI 2008:12.



---

**Bilag 1.1**  
**Køge, situationsplan**

---



PLAN 1:50  
 VENTILATIONSKANAL (SIGNER PÅ PLAN) PLACERES 220 CM FRA OK GULV

- ◆ Placering af indendørs målepunkt, MP
  - ◆ Placering af udendørs målepunkt, UM
- Typen af målinger i målepunkter:
- Temperatur, ude
  - Temperatur, inde
  - Temperatur over gulv, under loft
  - Temperatur under gulv
  - Temperatur i loft
  - Differenstryk, inde/kloak
  - Differenstryk, inde/ude
  - Differenstryk over terrændæk
  - Differenstryk, over gulv/under loft
  - Differenstryk, under loft/i loft
  - Radondetektor Pro, rum 9, 3, 4, 8
  - ▲ Radondetektor Home, rum 1, 5, 6, 7, 10
  - ▲ Radonmåling, RAD7, over gulv+under gulv, rum 2
  - ▲ Radonmåling, Ramon, over kloak, rum 4
  - ▲ Radonmåling, udendørs (dosimeter)
  - ▲ Måling for chlorerede opl. midler, orsører
  - /// Lufthastighed gn. aftrækskanal (midt i skakt)
  - ⊙ Vindmåler

Bilag 1

Situationsplan

Tujavej 11, Køge

Rev.:  
 Dato: Maj 2017  
 Udarb.: MLT  
 Kontrol:  
 Sagsnr.: 225706

**NIRAS**  
 Åboulevarden 80  
 8000 Aarhus C www.niras.dk

---

**Bilag 1.2**  
**Køge, tæthedsprøvning**

---

# Bygningsundersøgelse

Termografering af bygninger efter DS/EN 13187  
Blower Door-test efter DS/EN 13829

Bygningstype: Bolig

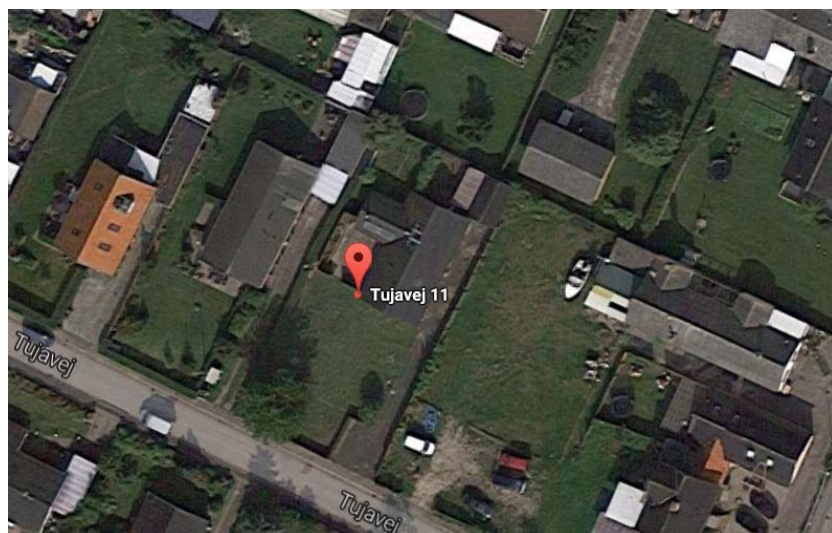


FORENINGEN KLIMASKÆRM  
Medlem af foreningen  
klimaskærm

Bygningen er undersøgt efter DS/EN 13187 *Bygningers termiske ydeevne - Kvalitativ spring af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm – Infrarød metode.*  
Ved undersøgelsen er den simple undersøgelsesmetode benyttet.

Tæthedsmåling er udført efter DS/EN 13829 *Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger – Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator*

Ansvarlig virksomhed for testen:	<b>ISOLINK ApS</b> Korsør Landevej 500 4242 Boeslunde Tlf. 58141416 Mobil 20886663	<b>ISOLINK</b> BlowerDoor • Termografering
Certificeret til Blower Door-test og bygningstermografering ved Byggeriets Kvalitetskontrol under BK/SVC/13829	ID nr. 4442	
Itc. Level III Thermograferer	Lars Due	
Læs mere om termografering på	<a href="http://www.blowerdoor.dk">www.blowerdoor.dk</a>	



Sags nr.	3690
Dato for und.	10-03-2017
Dato rapportering	21-03-2017

## Indholdsfortegnelse:

Registreringer	side 2
Termobilleder	side 4
Bilag 1 og 2	efter 15

Adresse på den undersøgte bygning	Tujavej 11, 4600 Køge
Kontaktperson	NIRAS ved Maria Louise Gregersen

## Generelt / konklusion

### Om undersøgelsen:

ISOLINK har blot leveret div. tæthedsmålinger, som sammenholdes med en stor mængde andre måledata, som Isolink ikke har indblik i.

### Registreringer:

Bygningens tæthed er målt med Blower Door-test med nedenstående resultat.

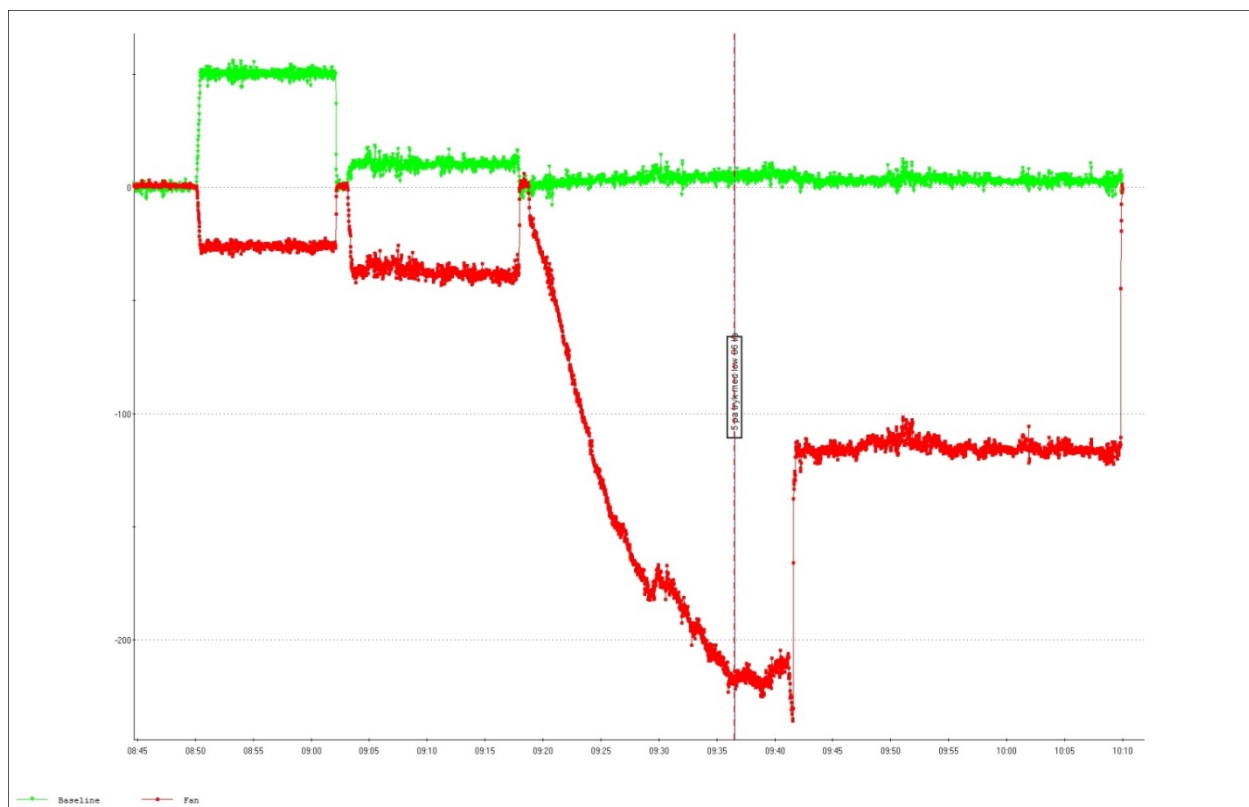
- $W_{50}=2,99$  l/s pr.  $m^2$  Bilag 1

Bygningen er mere tæt end forventet, almindeligvis ligger infiltrationen på 3-7 l/s pr.  $m^2$  for bygninger i denne periode, og dermed ligger den målte værdi helt i den lave ende af forventet.

I softwaren kan referencen ændres således, at standard referencen på 50 Pa. ændres til 4 Pa., dette kan benyttes til, at fastsætte flow kapaciteten der skal til, for at opretholde en overtryk på 4Pa.

- $V_4=71$  l/s (overtryk) Bilag 2

Flow kan også fastsættes ud fra en logfil som indsat nedenstående



Logfilen viser nogle af de trykforløb der er kørt, for at se effekten over betonerrændækket. Ud af grafen kan det også læses at flow er 86 l/s for at etablere 5 Pa overtryk.

## Konklusion:

Ønsker man at etablere et svagt overtryk på 4-5 Pa. skal Flow ligge på 71-86 l/s.

Ved den opsatte blæser er kapaciteten 300 m<sup>3</sup>/h ~ 83 l/s dvs. det er forventeligt at trykket ligger mellem 4-5 Pa. overtryk.

Blæser er opsat d. 10-03-2017 tryk etableret på 3-5 Pa, meget svingende pga. vind.

Første tjek d. 16-03 tryk reduceret til 3-4 Pa.

- Udsugning fra bad er fjernet, da det blev vurderet at tapen kunne falde af og dermed ville en udsugning, som er kørende, kunne eliminere det ønsket overtryk.


Næste tjek d. 20-03 tryk reduceret til 2-4 Pa.

- Ingen umiddelbar synlig forklaring på hvorfor trykket er faldet.
- Det må konstateres, at bygningen er blevet mere utæt, og den bedste forklaring på det vurderes at være de lukninger NIRAS har udført af ventilationshætterne, her er anvendt en sort isoleringstape og denne vurderes at have sluppet lidt i hjørner og kanter.

Under første test blev der taget lidt oversigtsbilleder af facadens tæthed og disse er u-kommenteret sat ind efterfølgende i dette notat.

Med venlig hilsen

Lars Due – Bygningsingeniør – itc. Level III termograf og instruktør

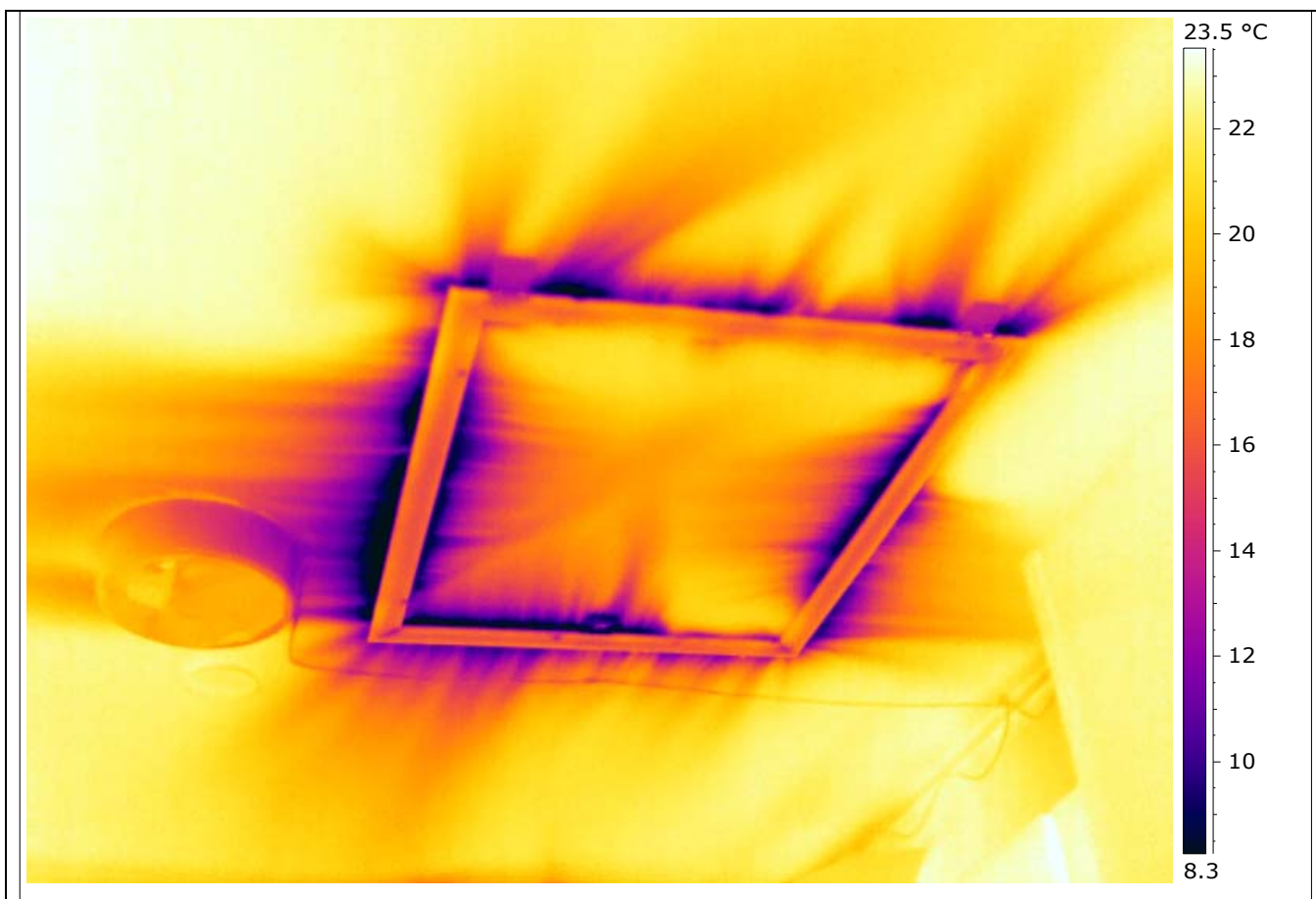


---

Lars Due

Rapport ID:	1.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.

	Date	01-01-2000
	Filename	IR 004.jpg
Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.		



### Vurdering:

Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	2.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.



Date	01-01-2000
Filename	IR 010.jpg

Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.



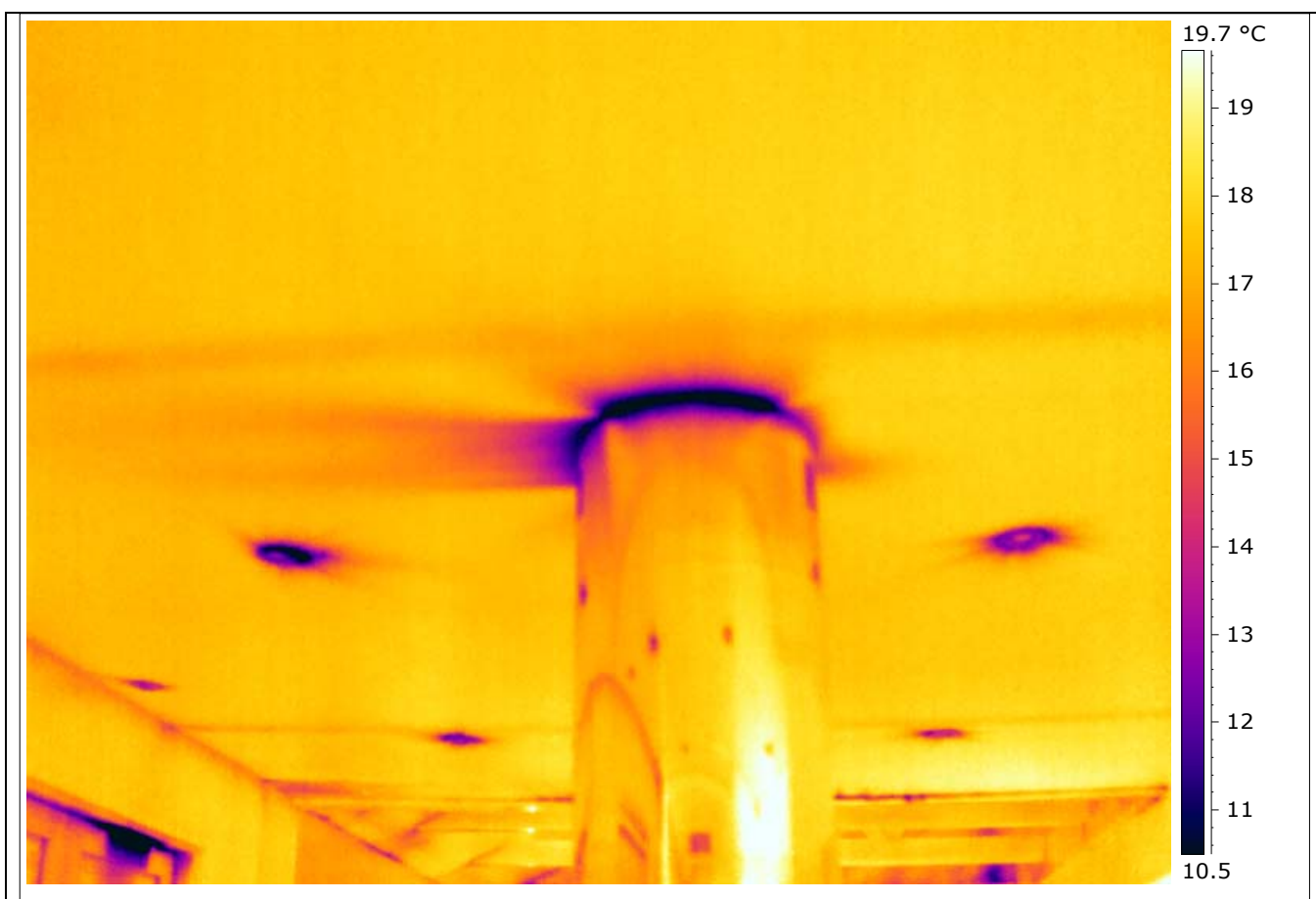
**Vurdering:**

Blå / sorte "tunger" = utætheder.



Rapport ID:	3.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.

	Date	01-01-2000
	Filename	IR 012.jpg
<p>Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.</p>		



**Vurdering:**

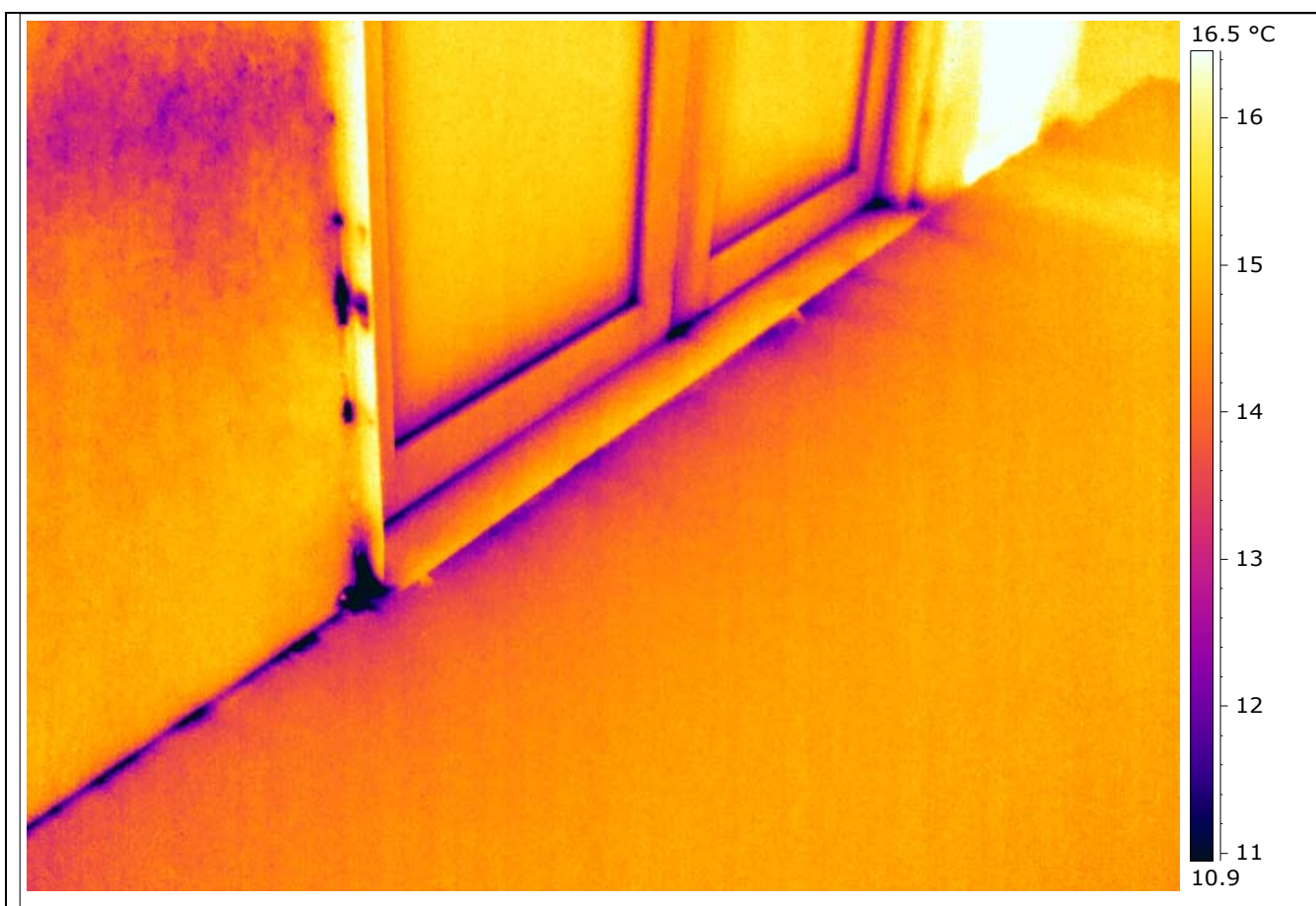
Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	4.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.



Date	01-01-2000
Filename	IR 016.jpg

Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.

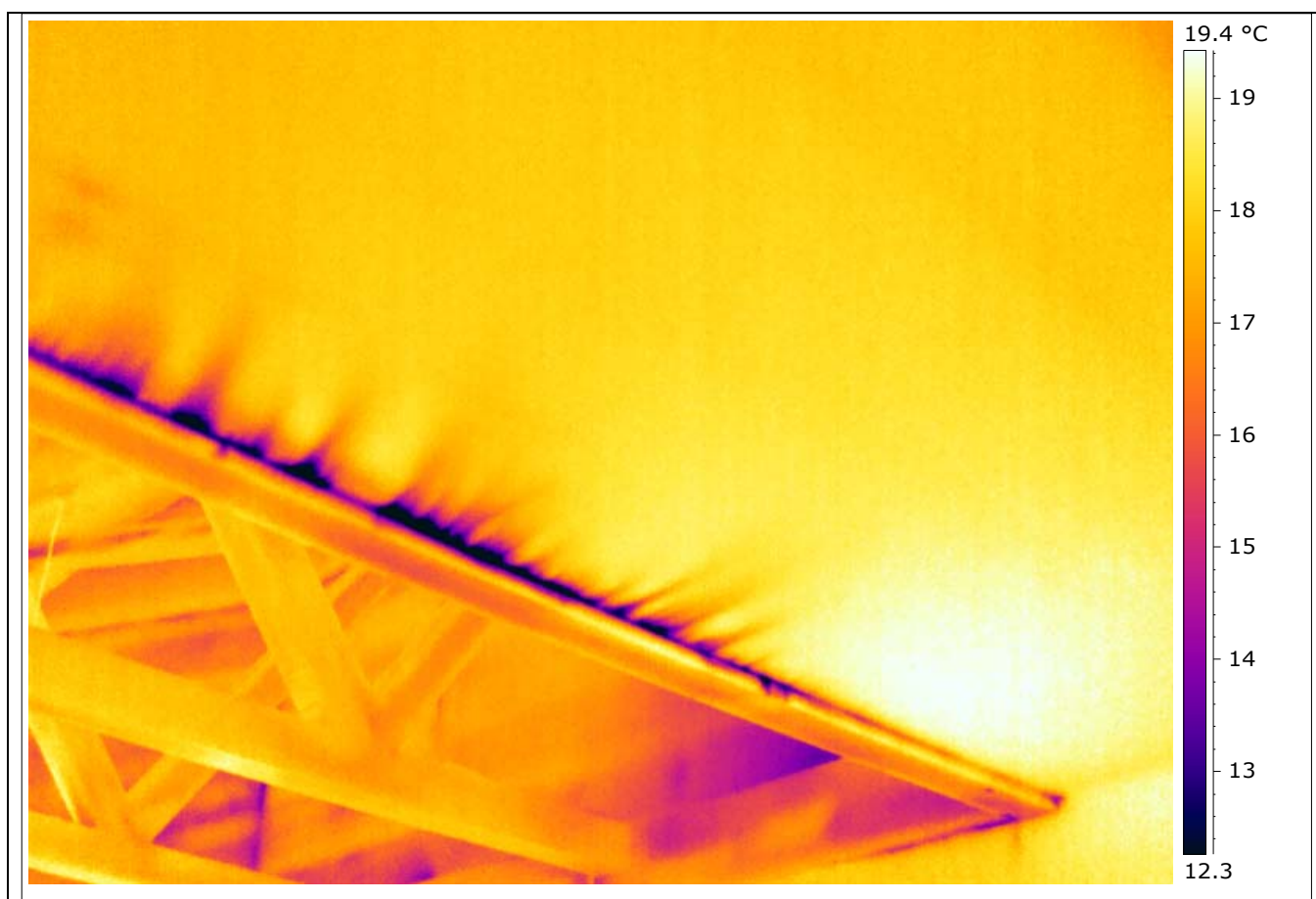


**Vurdering:**

Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	5.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.


	Date	10-03-2017
	Filename	IR 018.jpg
Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.		

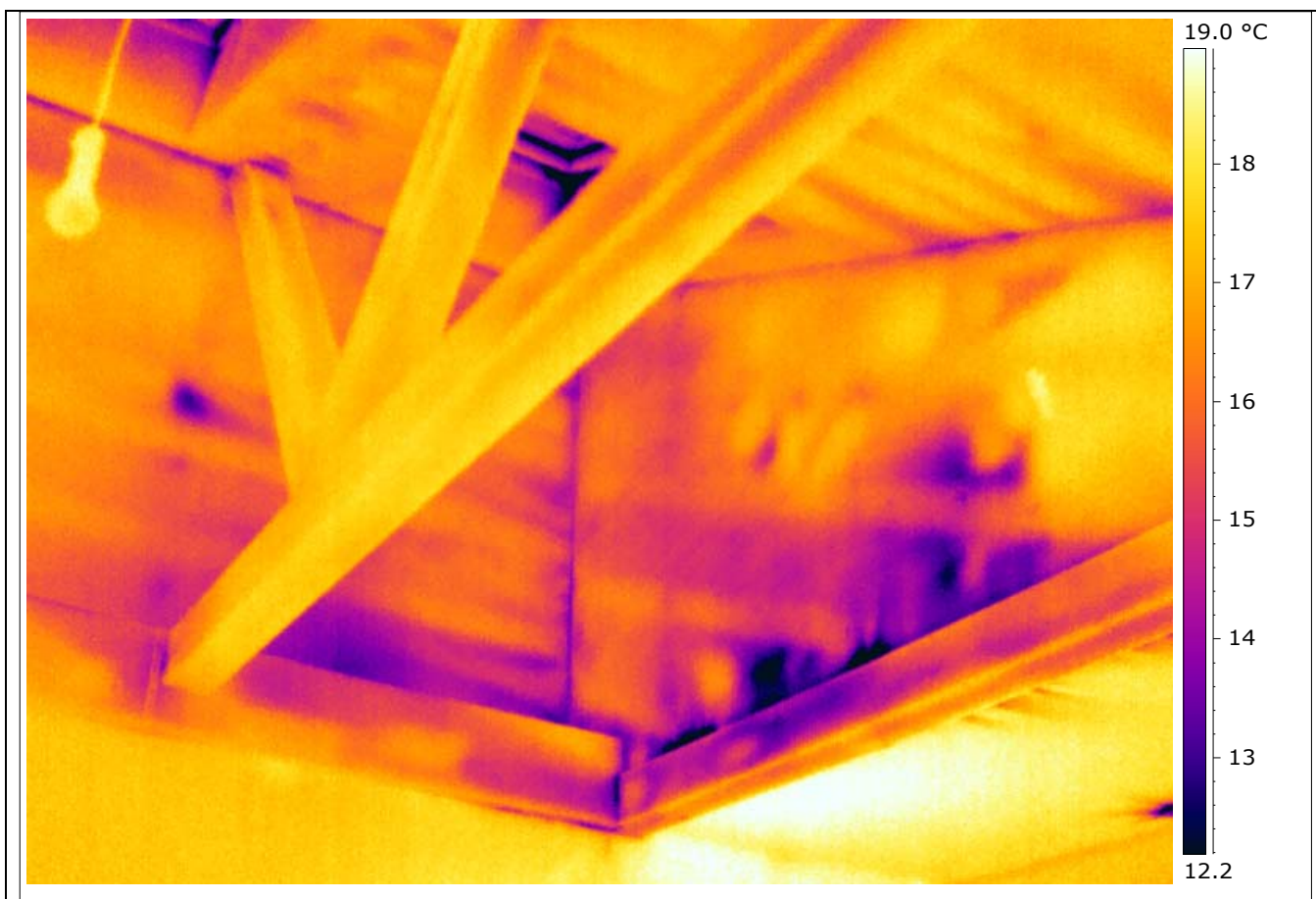


### Vurdering:

Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	6.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.

	Date	10-03-2017
	Filename	IR 028.jpg
Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.		



### Vurdering:

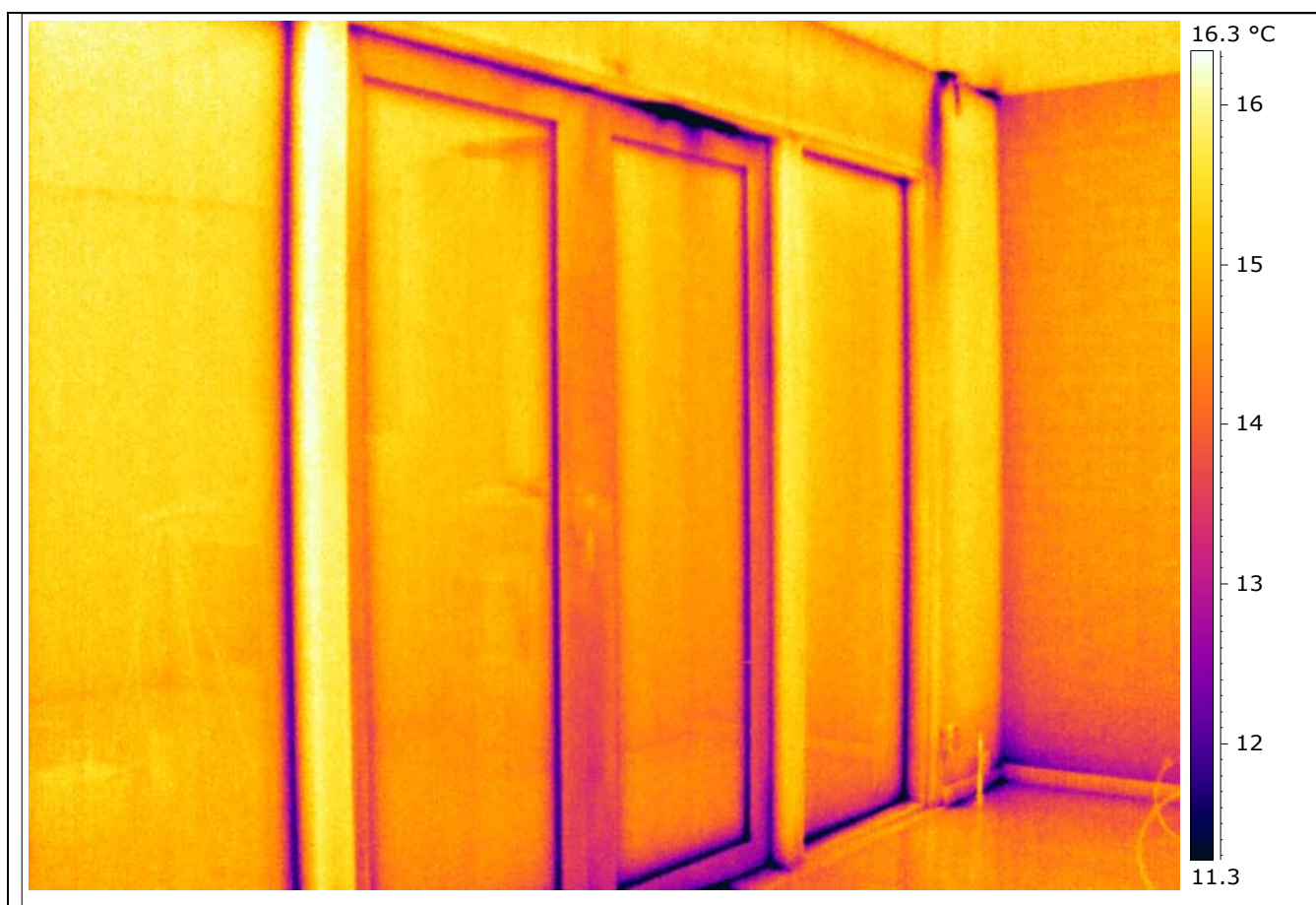
Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	7.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.



Date	10-03-2017
Filename	IR 020.jpg

Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.

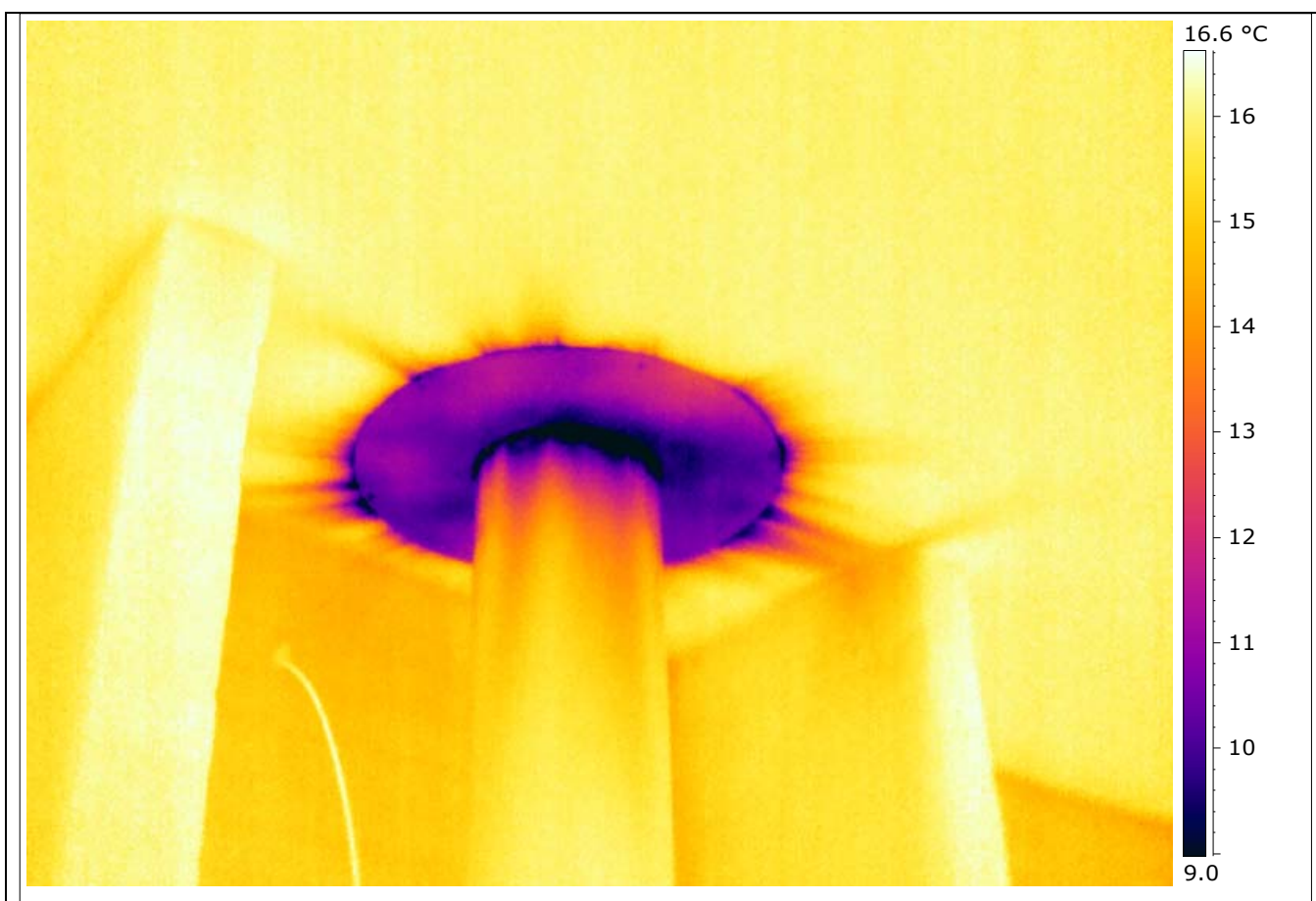


**Vurdering:**

Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	8.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.

	Date	10-03-2017
	Filename	IR 022.jpg
<p>Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.</p>		

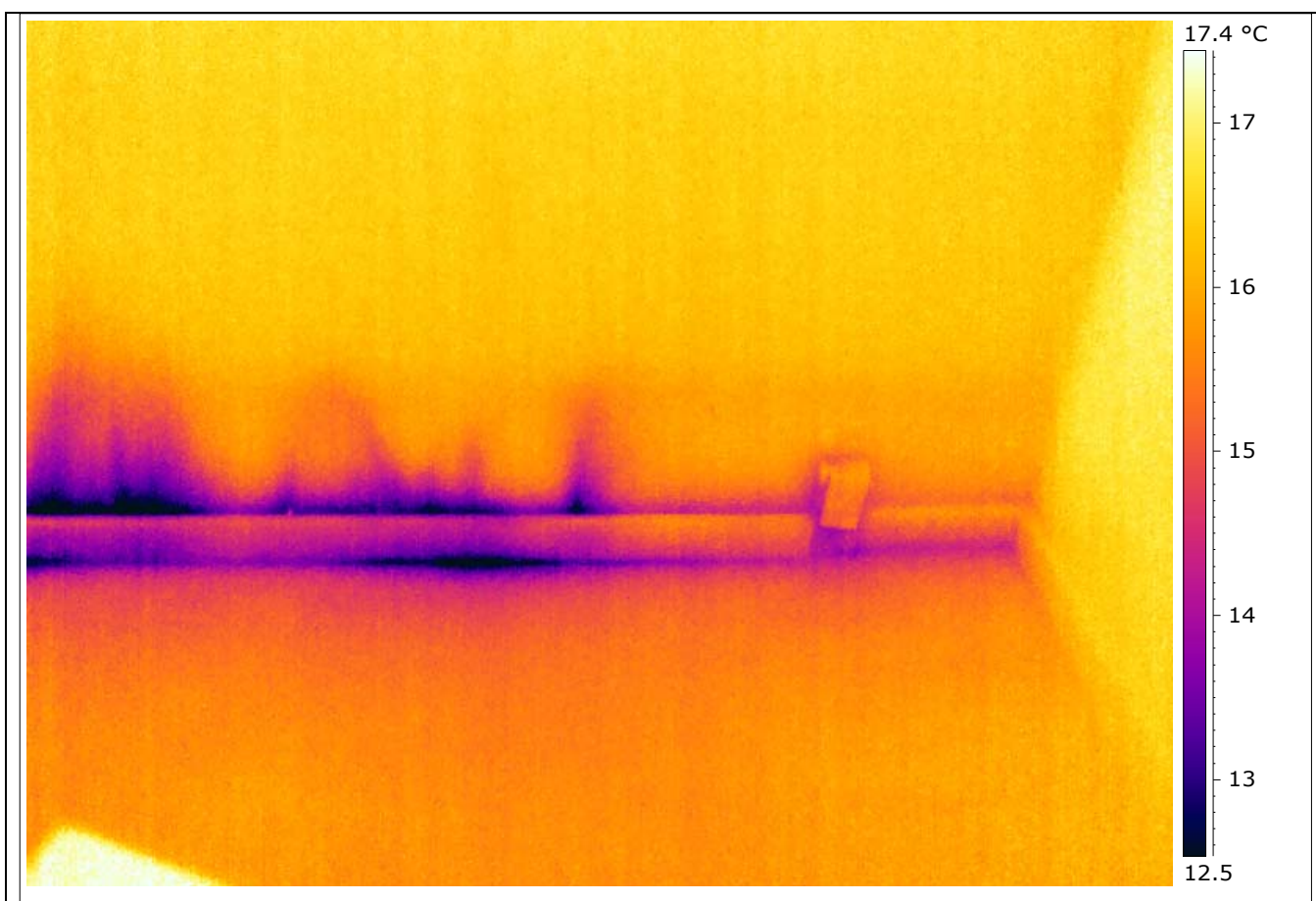


### Vurdering:

Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	9.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.


	Date	10-03-2017
	Filename	IR 032.jpg
<p>Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.</p>		

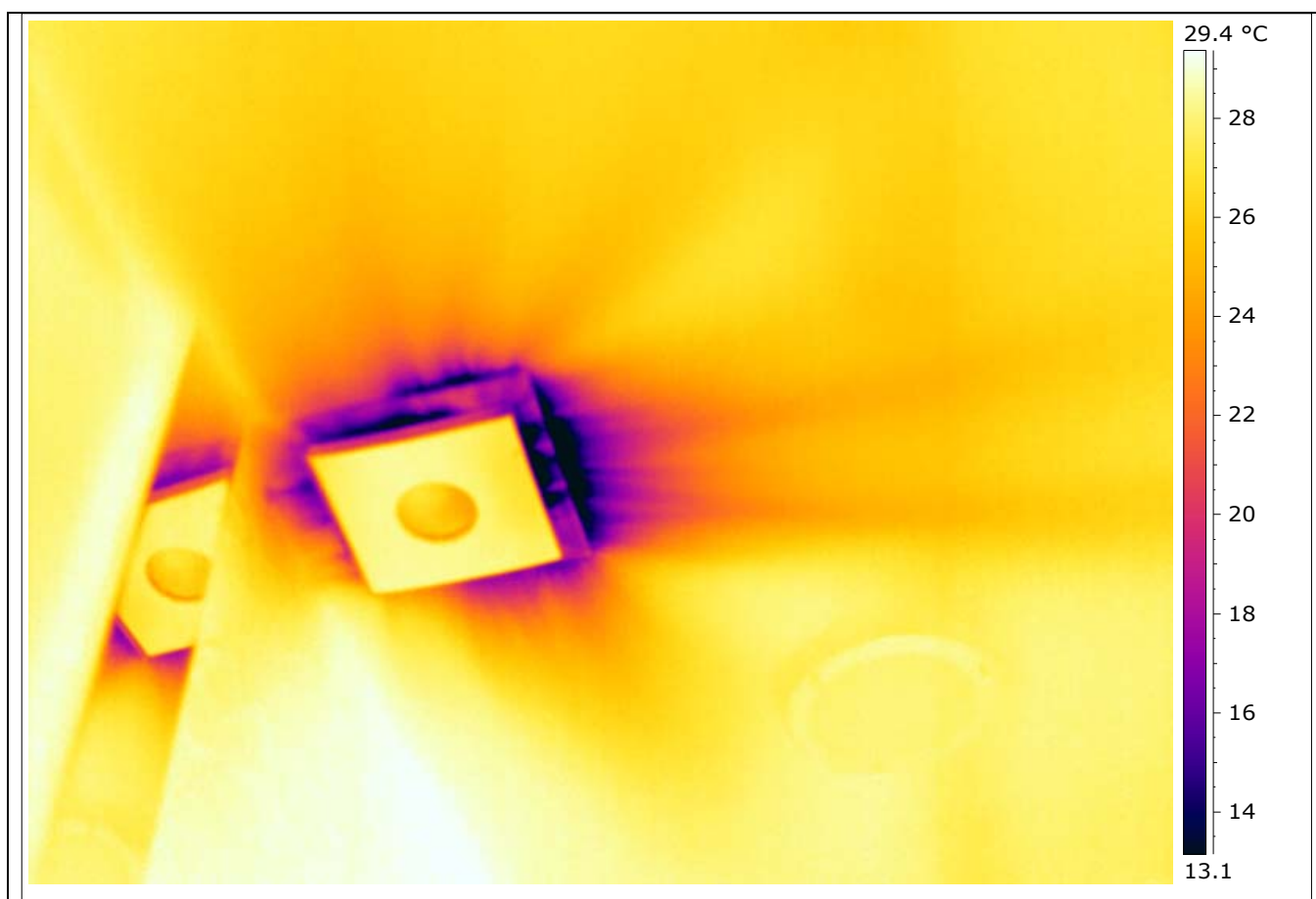


### Vurdering:

Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Rapport ID:	10.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.

	Date	10-03-2017
	Filename	IR 034.jpg
Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.		




**Vurdering:**

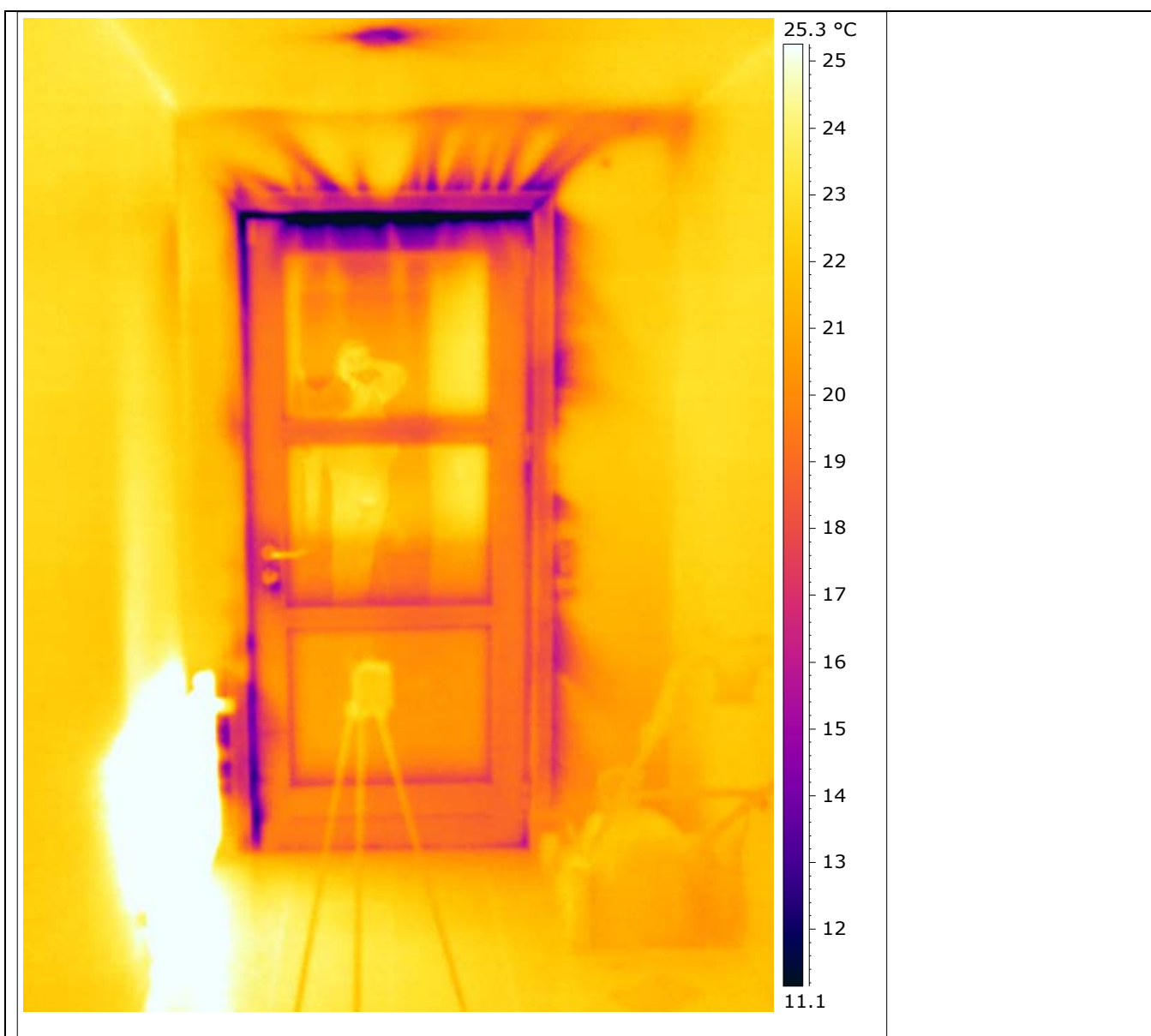
Blå / sorte "tunger" = utætheder.

Blev forseglet før test.



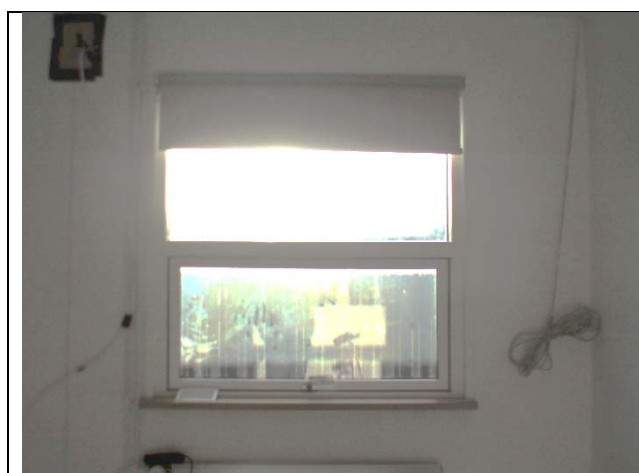
Rapport ID:	11.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.

	Date	10-03-2017
	Filename	IR 036.jpg
<p>Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.</p>		



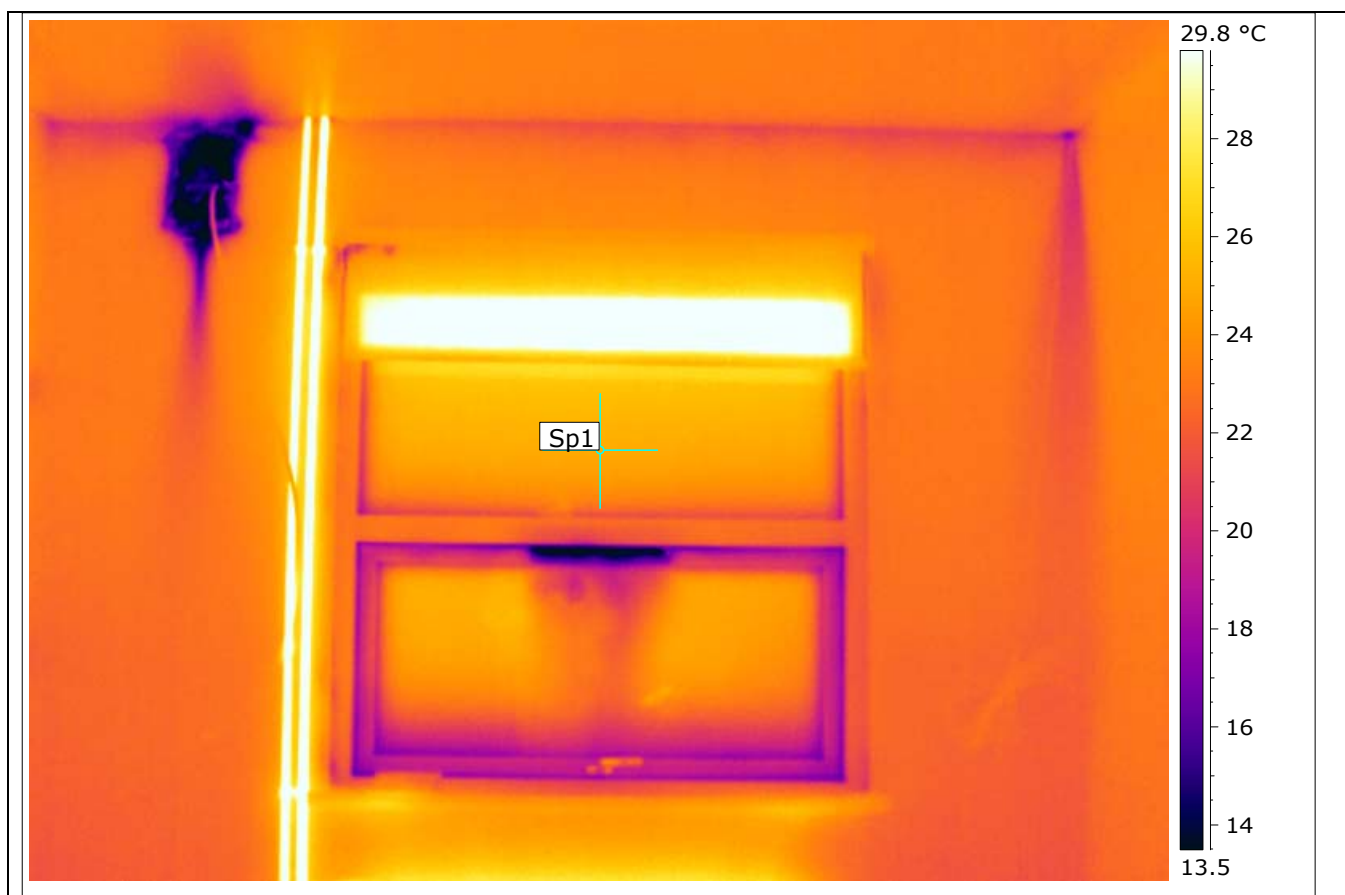
### Vurdering:

Rapport ID:	12.
Placering:	Tujavej 11 sag 3690
Undersøgelsestype:	Tæthedsundersøgelse.



Date	10-03-2017
Filename	IR 040.jpg
Sp1 Temperature	24.9 °C

Trykforskel mellem ude / inde ca. -50 Pa.



**Vurdering:**

## BUILDING LEAKAGE TEST

ISOLINK

Korsør Landevej 500

Boeslunde, 4242

Email: info@isolink.dk Website: www.BlowerDoor.dk

Date of Test: 10-03-2017

Test File: BD-test

Customer: Niras  
Ceres Alle 3  
8000 Aarhus C  
Att: Maria Louise Gregersen

Phone:

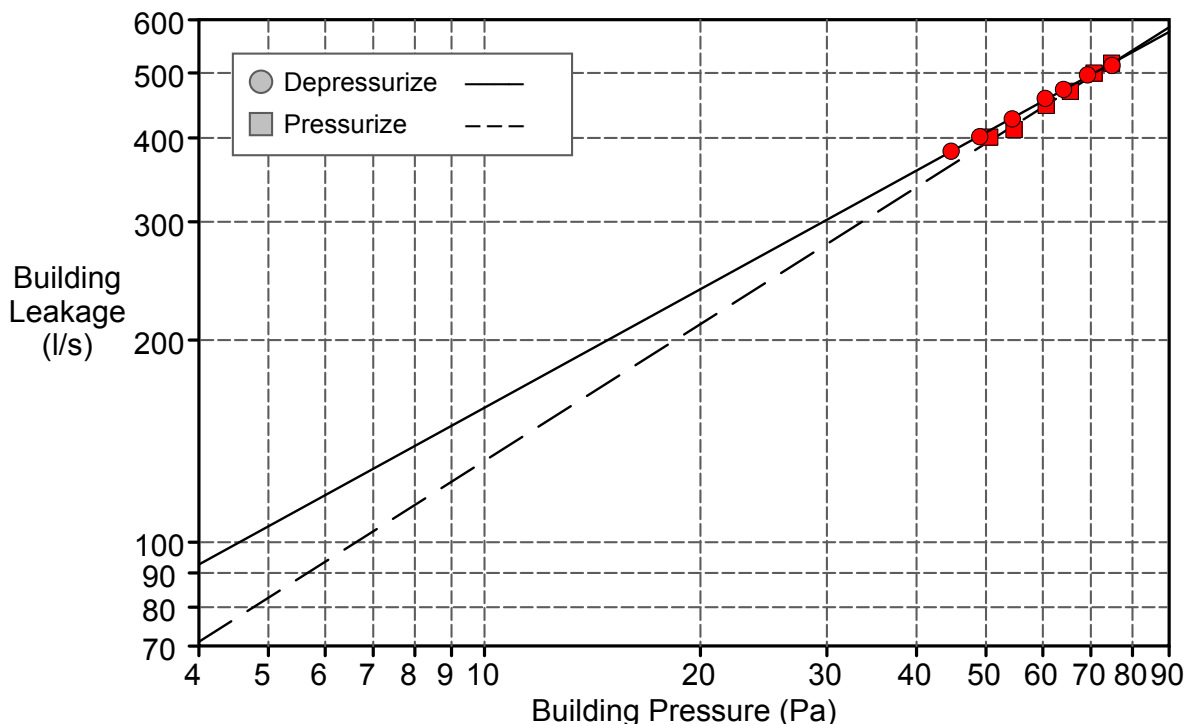
Fax:

Technician: Lars Due

Project Number: 3690

Building Address: Tujavej 11  
Køge

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: l/s50 (Airflow)	408 ( +/- 0.7 %)	393 ( +/- 2.2 %)	400
n50:			
w50: lps/m <sup>2</sup> (Floor Area)	3.04	2.93	2.99
q50:			
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	637.0 ( +/- 5.3 %)	530.7 ( +/- 15.9 %)	583.9
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	359.4 ( +/- 8.0 %)	275.7 ( +/- 23.9 %)	317.6
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv) l/s/Pa <sup>n</sup>	40.3 ( +/- 12.2 %)	27.7 ( +/- 35.9 %)	
Air Leakage Coefficient (CL) l/s/Pa <sup>n</sup>	41.1 ( +/- 12.2 %)	27.8 ( +/- 35.9 %)	
Exponent (n)	0.587 ( +/- 0.030)	0.677 ( +/- 0.087)	
Correlation Coefficient	0.99902	0.99575	
Test Standard:	EN 13829		
Test Mode:	Depressurization and Pressurization		
Type of Test Method:	B		
Regulation complied with:	Rimelig tæt jf. BR w50 ≤ 3.0 lps/m <sup>2</sup> ( )		



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

**Building Information**

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Floor Area: (m<sup>2</sup>)</b>	134
<b>Surface Area: (m<sup>2</sup>)</b>	
<b>Height (m)</b>	
<b>Uncertainty of Dimensions (%)</b>	
<b>Year of Construction</b>	1974
<b>Type of Heating</b>	
<b>Type of Air Conditioning</b>	
<b>Type of Ventilation</b>	None
<b>Building Wind Exposure</b>	Highly Protected Building
<b>Wind Class</b>	Light Breeze

**Equipment Information**

<b>Type</b>	<b>Manufacturer</b>	<b>Model</b>	<b>Serial Number</b>	<b>Custom Calibration Date</b>
<b>Fan</b>	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

**Depressurization Test 1:****Environmental Data**

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
18.0	6.0	101325.0

**Pre-Test****Baseline Pressure Data****Post-Test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.1	0.8	-0.2	-1.3	0.3	-1.0

**Data Points:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (l/s)	Adjusted Flow (l/s)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a	n/a				
-75.5	-74.9	49.9	526	513	-0.7	Ring A
-69.8	-69.2	46.7	509	497	0.6	Ring A
-64.7	-64.1	42.2	484	472	0.1	Ring A
-61.1	-60.5	39.7	470	458	0.5	Ring A
-55.0	-54.4	34.5	438	427	-0.3	Ring A
-49.6	-49.0	30.5	412	402	-0.3	Ring A
-45.3	-44.7	27.5	392	382	0.1	Ring A
-1.0	n/a	n/a				

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

**Pressurization Test 1:****Environmental Data**

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
18.0	6.0	101325.0

**Pre-Test****Baseline Pressure Data****Post-Test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.7	1.9	0.1	-0.2	0.7	0.5

**Data Points:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (l/s)	Adjusted Flow (l/s)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a	n/a				
75.2	74.8	46.3	507	517	0.2	Ring A
71.0	70.7	43.2	490	500	0.6	Ring A
65.9	65.5	38.1	460	469	-0.5	Ring A
61.0	60.7	34.6	438	447	-0.1	Ring A
55.0	54.7	29.2	404	412	-1.4	Ring A
50.9	50.6	27.8	393	401	1.3	Ring A
0.5	n/a	n/a				

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 5 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

---

**Comments**

None

---

**Tjekskema for Blower Door-test af småhuse****Tjekskema før test.**

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1 Temperatur er målt ude og inde  | <input checked="" type="checkbox"/>         |
| 2 Vindforhold er                  | Vurderet visuelt                            |
| 3 Barometerstand                  | Standard i program er benyttet              |
| 4 Udvendig trykmåler er monteret  | Min. 5 m væk fra bygningen                  |
| 5 Alle vinduer og udv døre lukket | <input checked="" type="checkbox"/>         |
| 6 Alle indvendige døre er åbne    | <input checked="" type="checkbox"/>         |
| 7 Klimaskærmen                    | Er færdig og uden midlertidige forseglinger |
| 8 Friskluftventil er              | Alle lukket og tapet til                    |
| 9 Ventilationsanlæg               | Intet ventilationsanlæg                     |
| 10 Afløb i gulv er                | Vandlås fyldt                               |
| 11 Afløb til vaske er             | Etableret med vandlås og fyldt med vand     |
| 12 Brændeovn                      | Lukket med tape og PE-folie                 |
| 13 Emhætte er                     | Emhætte er lukket med tape/PE-folie         |
| 14 Opvarmningsinstallation        | Kræver ingen lukning som f.eks. fjernvarme  |
| 15 Ovenlysvinduer er              | Ovenlys er lukket                           |

**Kontrolpunkter under test**

- |  |  |
|--|--|
| 16 Bygningen er sat i undertryk og bygningen er før egentlig test gennemgået og er kontrolleret for at sikre korrekt lukning                           | <input checked="" type="checkbox"/>                |
| 17 Eventuelle midlertidige forseglinger i klimaskærmen er kontrolleret   | <input checked="" type="checkbox"/>                |
| 18 Tætninger udført under forberedelse til test er kontrolleret  | <input checked="" type="checkbox"/>                |
| 19 For bygninger med brændeovn er dennes tætning kontrolleret  | <input checked="" type="checkbox"/>                |
| 20 Alle indvendige døre er åbne  | <input checked="" type="checkbox"/>                |
| 21 Baseline måling er udført før og efter test   | <input checked="" type="checkbox"/>                |
| 22   |  |
| Ved 50 Pa. <input type="text" value="Undertryk"/> Aflæses i softwaren <input type="text" value="A"/> På blæsere aflæses <input type="text" value="A"/> |  |
|  |  |
| 23 Tæthedsmåling udført ved  | <input type="text" value="Undertryk og overtryk"/> |

**Supplerende bemærkninger:** Blæser er monteret i bryggersdøren



## BUILDING LEAKAGE TEST

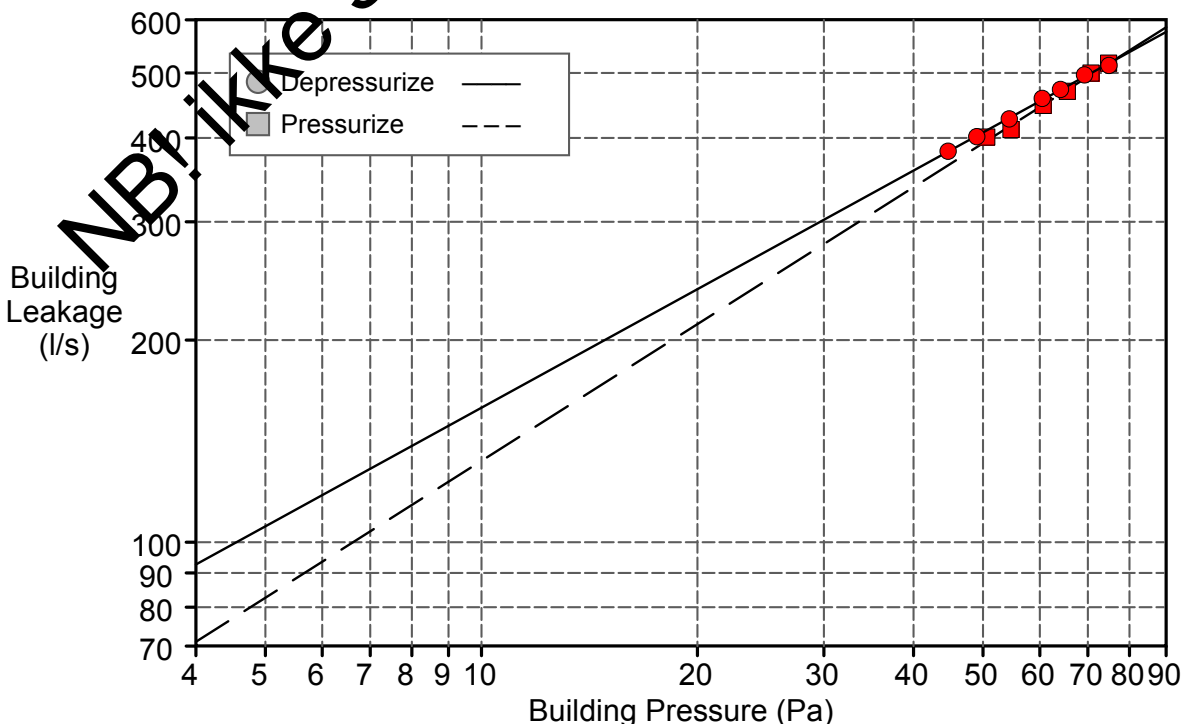
ISOLINK  
 Korsør Landevej 500  
 Boeslunde, 4242  
 Email: info@isolink.dk Website: www.BlowerDoor.dk

Date of Test: 10-03-2017  
 Test File: BD-test  
 Customer: Niras  
 Ceres Alle 3  
 8000 Aarhus C  
 Att: Maria Louise Gregersen  
 Phone:  
 Fax:

Technician: Lars Due  
 Project Number: 3690  
 Building Address: Tujavej 11  
 Køge

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 4 Pascals:</b>			
V4: l/s4 (Airflow)	93 ( +/- 8.0 %)	71 ( +/- 23.9 %)	82
n4:			
w4: lps/m <sup>2</sup> (Floor Area)	0.69	0.53	0.61
q4:			
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	637.0 ( +/- 5.3 %)	530.7 ( +/- 15.9 %)	583.9
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	359.4 ( +/- 8.0 %)	275.7 ( +/- 23.9 %)	317.6
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv) l/s/Pa <sup>n</sup>	40.3 ( +/- 12.3 %)	27.7 ( +/- 35.9 %)	
Air Leakage Coefficient (CL) l/s/Pa <sup>n</sup>	41.1 ( +/- 12.2 %)	27.8 ( +/- 35.9 %)	
Exponent (n)	0.587 ( +/- 0.030)	0.677 ( +/- 0.087)	
Correlation Coefficient	0.99902	0.99575	

Test Standard: EN 13829  
 Test Mode: Depressurization and Pressurization  
 Type of Test Method: B  
 Regulation complied with: Rimelig tæt jf. BR w50 ≤ 3.0 lps/m<sup>2</sup> ( )



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

**Building Information**

<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Floor Area: (m<sup>2</sup>)</b>	134
<b>Surface Area: (m<sup>2</sup>)</b>	
<b>Height (m)</b>	
<b>Uncertainty of Dimensions (%)</b>	
<b>Year of Construction</b>	1974
<b>Type of Heating</b>	
<b>Type of Air Conditioning</b>	
<b>Type of Ventilation</b>	None
<b>Building Wind Exposure</b>	Highly Protected Building
<b>Wind Class</b>	Light Breeze

**Equipment Information**

<b>Type</b>	<b>Manufacturer</b>	<b>Model</b>	<b>Serial Number</b>	<b>Custom Calibration Date</b>
<b>Fan</b>	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-

**NB! ikke standard test ref. tryk er 4 Pa.**

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

**Depressurization Test 1:**

**Environmental Data**

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
18.0	6.0	101325.0

**Pre-Test**

**Baseline Pressure Data**

**Post-Test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.1	0.8	-0.2	-1.3	0.3	-1.0

**Data Points:**

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (l/s)	Adjusted Flow (l/s)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a	n/a				
-75.5	-74.9	49.9	526	513	-0.2	Ring A
-69.8	-69.2	46.7	509	497	-0.2	Ring A
-64.7	-64.1	42.2	484	472	-0.1	Ring A
-61.1	-60.5	39.7	470	458	-0.5	Ring A
-55.0	-54.4	34.5	438	427	-0.3	Ring A
-49.6	-49.0	30.5	412	402	-0.3	Ring A
-45.3	-44.7	27.5	392	382	-0.1	Ring A
-1.0	n/a	n/a				

NB! ikke standard test ref. tryk er 4 Pa.

## BUILDING LEAKAGE TEST Page 4 of 5

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

## Pressurization Test 1:

## Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
18.0	6.0	101325.0

## Pre-Test

## Baseline Pressure Data

## Post-Test

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-1.7	1.9	0.1	-0.2	0.7	0.5

## Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (l/s)	Adjusted Flow (l/s)	% Error	Fan Configuration
0.1	n/a	n/a				
75.2	74.8	46.3	507	517	0.2	Ring A
71.0	70.7	43.2	490	500	0.1	Ring A
65.9	65.5	38.1	460	469	-0.3	Ring A
61.0	60.7	34.6	438	447	-0.1	Ring A
55.0	54.7	29.2	404	411	-1.4	Ring A
50.9	50.6	27.8	393	401	1.3	Ring A
0.5	n/a	n/a				

NB! ikke standard test ref. tryk er 4 Pa.

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 5 of 5**

Date of Test: 10-03-2017 Test File: BD-test

---

**Comments**

None

---

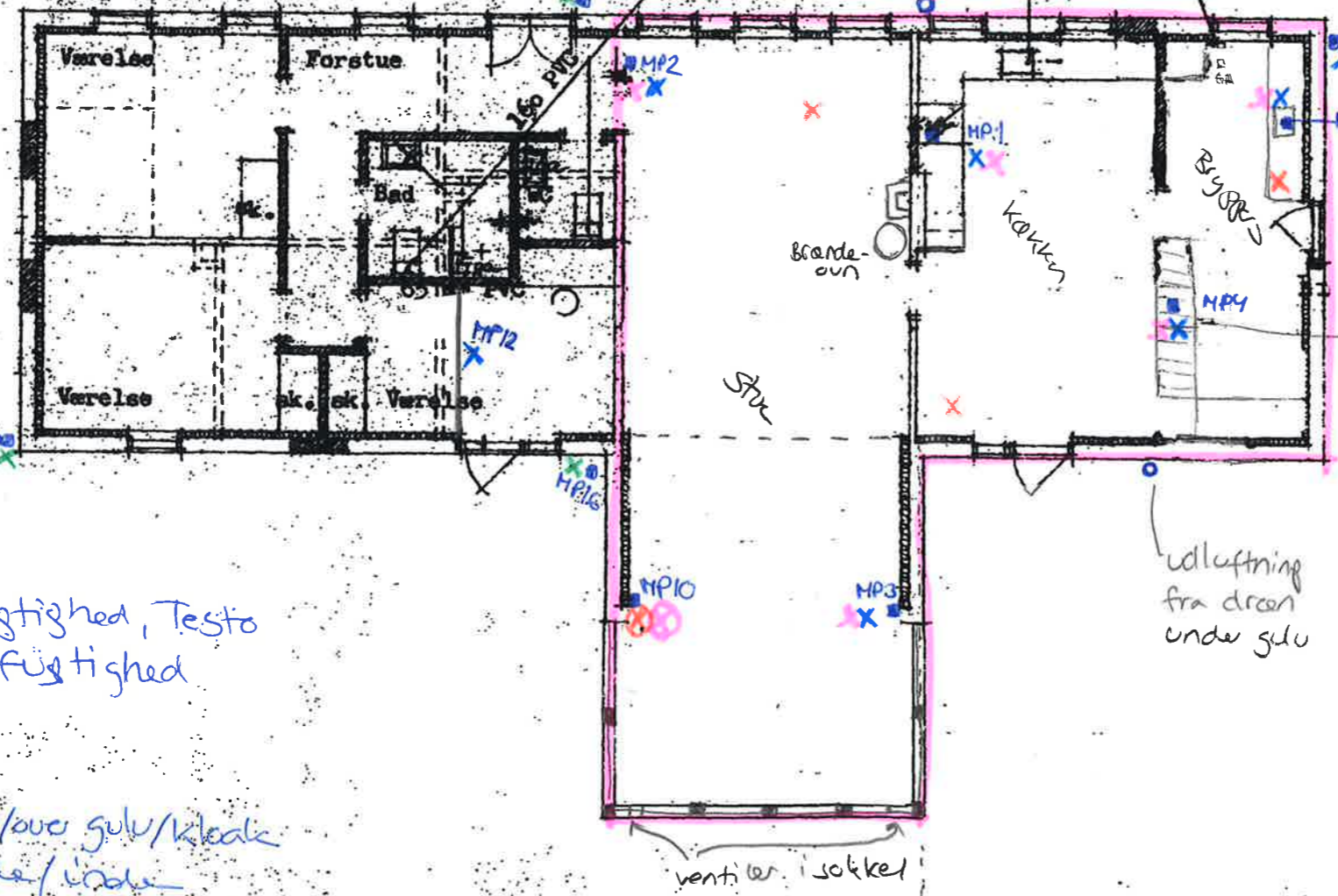
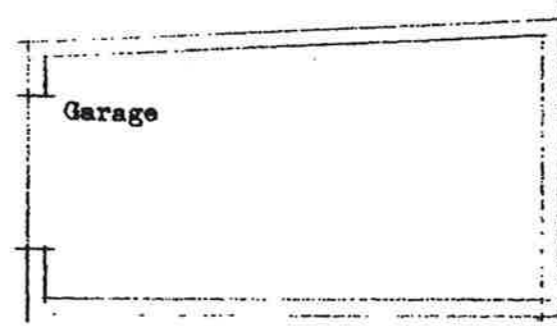
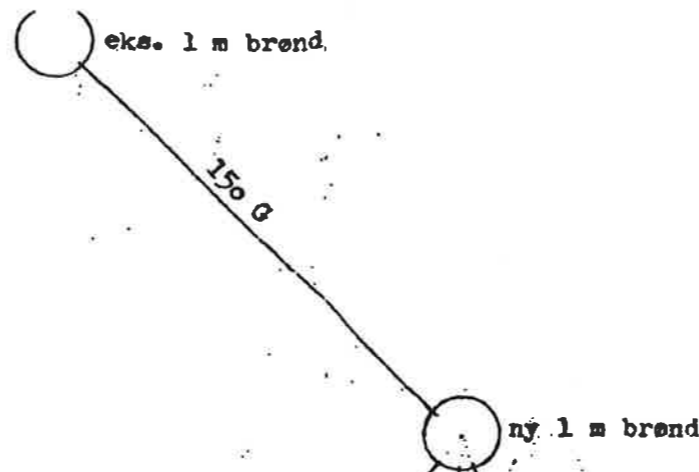
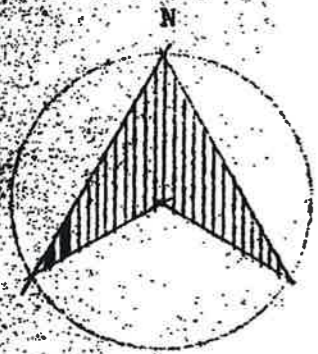
**NB! ikke standard test ref. tryk er 4 Pa.**

---

**Bilag 2.1**  
**Viborg, situationsplan**

---

VINKELVEJ 206  
VIBORGE

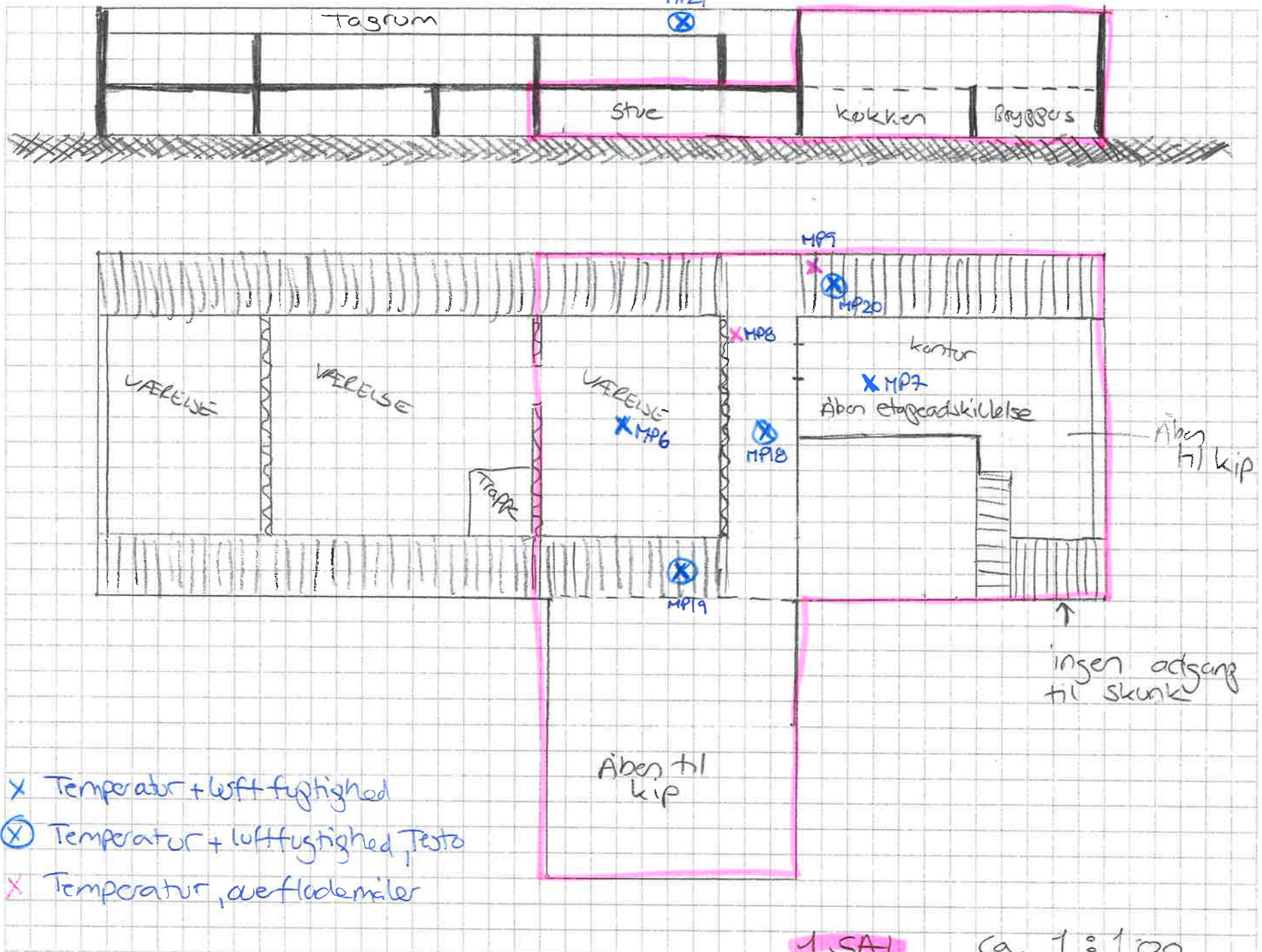


MP17

- ⊗ Temperatur + Luftfugtighed, Testo
- ✕ Temperatur + Luftfugtighed
- ✕ Temperatur
- ✕ Radon
- ⊗ Radon + RAD7
- ✕ Differenstryk ind/over gulv/kloak
- ⊗ Differenstryk ude/inde
- ✕ Temperatur overflademåler
- ✕

**STUEPLAN**

ca 1 : 100





---

**Bilag 2.2**  
**Viborg, tæthedsprøvning**

---

# Blower Door test

Tæthedsaftprøvning af bygninger efter DS/EN 13829

Bygningstype: Enfamiliehus

[factum<sup>2</sup>].<sup>®</sup>

Virksomheden som  
udførte testen:

factum2 skive ·  
Vestergade 1 · 7800 Skive  
Telefon 9676 0074 – 2466 6188  
www.7800.factum2.dk · E-mail: 7800@factum2.dk

Ansvarlig for testen:

Knud Erik Kristensen

Dato for testen:

30.10.2017

Sags nr.:

2017-430

Adresse på testet bygning:

Vinkelvej 206  
8800 Viborg

Bestiller af testen:

Niras

Kontaktperson:

Winnie Hyldegaard

Telefon:

6039 4487

E-mail:

why@niras.dk



## Bygningsbeskrivelse:

Konstruktionsopbygning	Et-plans bolig. Tunge ydervægge Saddeltag. Døre og vinduer i træ.

## Krav til tæthed:

BR 10 – kap. 7.2.1, stk. 4 <i>Luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen må ikke overstige 1,5 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa. For lavenergibygninger må luftskiftet gennem klimaskærmen ikke overstige 1,0 l/s pr. m<sup>2</sup>. Resultatet af trykprøvningen udtrykkes ved gennemsnittet af måling ved over- og undertryk. For bygninger med høje rum, hvor klimaskærmens overflade divideret med etagearealet er større end 3, må luftskiftet ikke overstige 0,5 l/s pr. m<sup>2</sup> klimaskærm og for lavenergibygninger 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup>.</i>	Note: Der er ikke stillet krav til tæthed.
--	---

## Tæthedsmålingen:

Afviigelser i forhold til DS/EN 13829	
Vind/temperatur	Sol og let vind.
Undertryksmåling	2,10 l/s/m <sup>2</sup>
Overtryksmåling	2,25 l/s/m <sup>2</sup>
<b>Testresultat</b>	<b>2,18 l/s/m<sup>2</sup> (Gennemsnit)</b>
<b>Konklusion</b>	


## Bemærkninger

Denne rapport og tæthedskontrolmåling er på ovennævnte bygning udført af:	<hr/> Knud Erik Kristensen



**Building Air Leakage Test Results**  
**In Compliance with Danish European Norm**  
**EN13829 - Denmark**

## Summary

 <b>FanTestic</b>	version: <b>5.9.40</b>	licensed to: <b>Factum2</b>
Test date: <b>2017-10-30</b>	By: <b>Knud Erik Kristensen</b>	
Customer:		
Building Lot Number:		
Building address:	<b>Vinkelvej 206</b>	

<b>Building and Test Information</b>	
Test file name:	<b>EN13829-DE 2017-10-30 1039</b>
Building volume [m <sup>3</sup> ]:	<b>0</b>
Envelope Area [m <sup>2</sup> ]:	<b>0</b>
Floor Area [m <sup>2</sup> ]:	<b>117</b>
Building Height (from ground to top) [m]:	<b>6</b>
Building Exposure to wind:	
Accuracy of measurements:	<b>5%</b>

<b>Resultater</b>	
Air flow at 50 Pa, V <sub>50</sub> [L/s]	<b>254,5</b>
Air changes at 50 Pa, n <sub>50</sub> [/h]	
Permeability at 50 Pa, q <sub>50</sub> [L/s/m <sup>2</sup> ]	
Specific leakage at 50 Pa, w <sub>50</sub> [L/s/m <sup>2</sup> ]	<b>2,177</b>
Effective leakage area at 50 Pa, A <sub>L</sub> [cm <sup>2</sup> ]	<b>279,5</b>
Equivalent leakage area at 50 Pa, A <sub>L</sub> [cm <sup>2</sup> ]	<b>458,5</b>
Normalized Leakage Area [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]:	

## Compliance

## **Assumptions and warnings**

While FanTestic software may calculate air leakage results based on user input, use of this software does not in any way guarantee these results.

## Building Information

### Building Measurements

Building Volume [m<sup>3</sup>]: 0

Envelope Area ( $A_{T\text{ BAT}}$ ) [m<sup>2</sup>]: 0

Floor Area ( $A_F$ ) [m<sup>2</sup>]: 117

Building Height (from ground to top) [m]: 6

### Heating/Ventilation System

HVAC Systems Present:

### Pictures

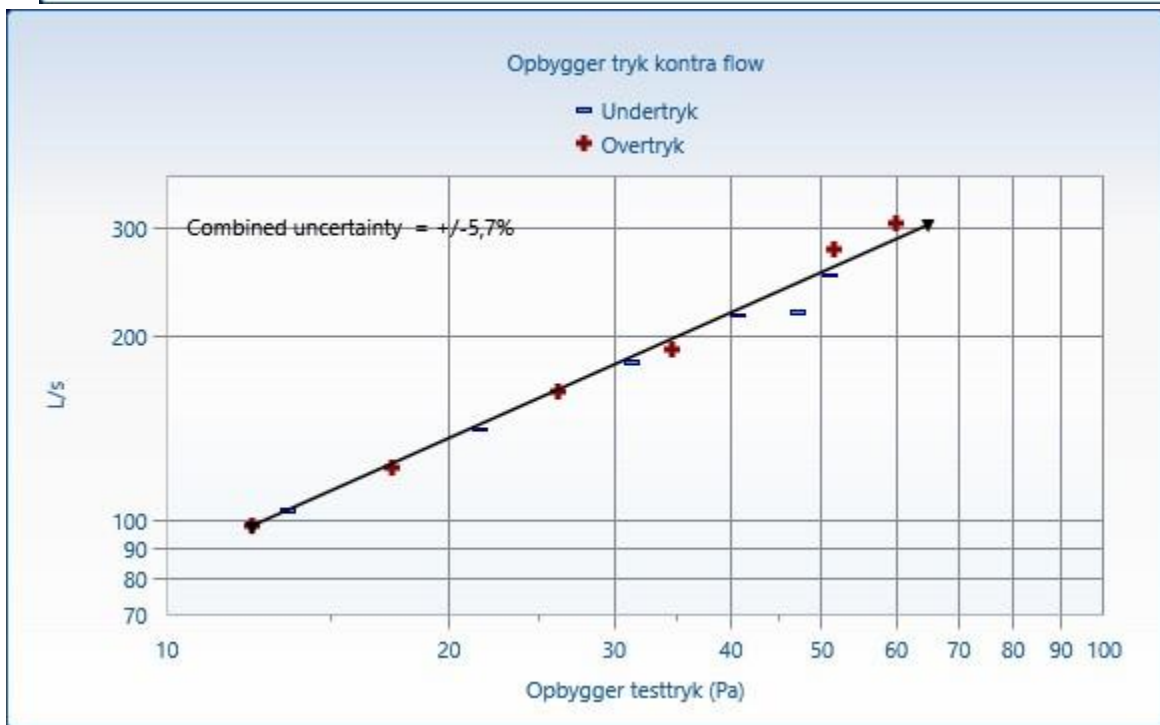
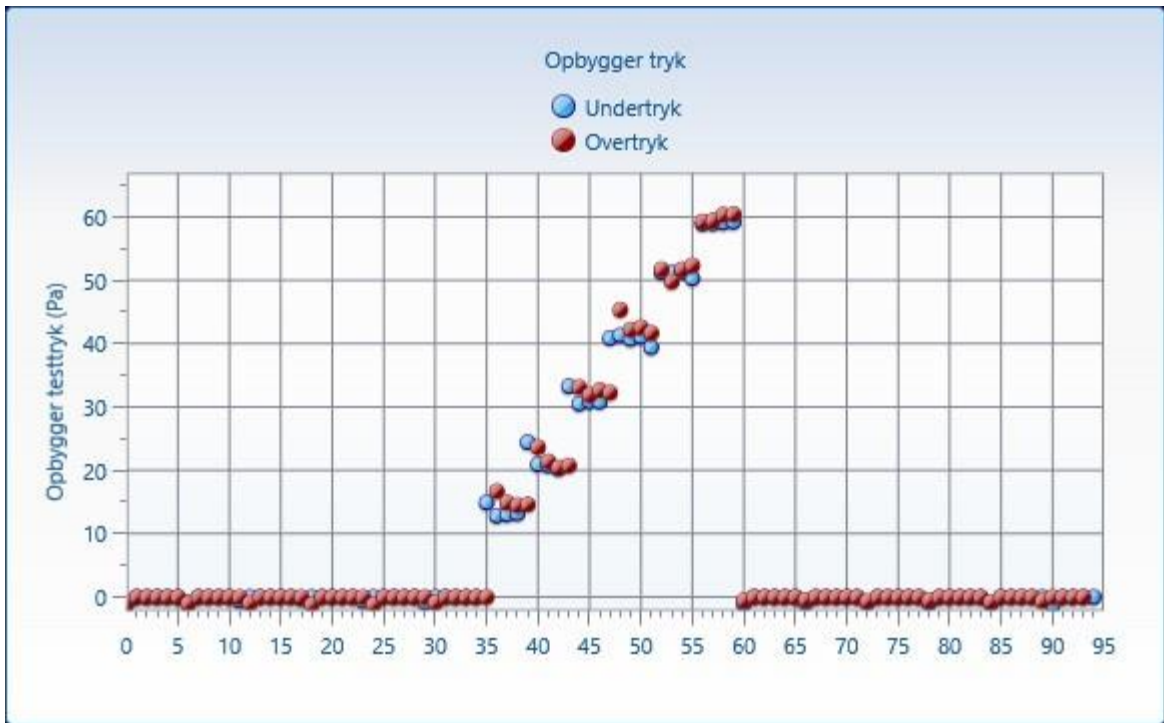
### Test Method

Skriv notat her

### Discussion of Results

#### Kombinerede testdata (Average Values)

	Resultater	95% konfidens interval		Usikkerhed pga. vind
Air flow at 50 Pa, $V_{50}$ [L/s]	254,5	240,5	270,0	+/-5,7%
Air changes at 50 Pa, $n_{50}$ [/h]				
Permeability at 50 Pa, $q_{50}$ [L/s/m <sup>2</sup> ]				
Specific leakage at 50 Pa, $w_{50}$ [L/s/m <sup>2</sup> ]	2,177	2,012	2,343	+/-7,6%
Effective leakage area at 50 Pa, $A_L$ [cm <sup>2</sup> ]	279,5	263,0	296,0	+/-5,9%
Equivalent leakage area at 50 Pa, $A_L$ [cm <sup>2</sup> ]	458,5	432,5	485,5	+/-5,7%
Normalized leakage area at 50 Pa [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]				





## Air Leakage Test Data Appendix-

### Undertryk Data Set

Test Dataset Date: 2017-10-30

Start time: 10:40

Finish Time: 10:44

Environmental Conditions		
Wind speed:	0: Vindstille	from the
Operator Location:	Indendørs the building	
Initial Bias Pressure:	-0,73 Pa	
Final Bias Pressure:	-0,96 Pa	
Average Bias Pressure:	-0,85 Pa	
Initial Temperature:	indoors: 20 C	outdoors: 5 C
Final Temperature:	indoors: 20 C	outdoors: 5 C
Barometric Pressure	101,3 kPa	from Standardtemperatur og tryk

UndertrykTest Analysis				
Correlation, r [%]:	99,56			
	Mean	95% confidence limits		Uncertainty
		Lower	Upper	
Slope, n:	0,642	0,55778	0,72611	
Air leakage coefficient, $C_{env}$ [L/s/Pa <sup>n</sup> ]:	19,581	14,62	26,22	
Air leakage coefficient, $C_L$ [L/s/Pa <sup>n</sup> ]:	19,952	14,90	26,71	
Air flow at 50 Pa, $V_{50}$ [L/s]	245,83	232,4	260,1	+/-5,6%
Air changes at 50 Pa, $n_{50}$ [/h]				
Permeability at 50 Pa, $q_{50}$ [L/s/m <sup>2</sup> ]				
Specific leakage at 50 Pa, $w_{50}$ [L/s/m <sup>2</sup> ]	2,1011	1,9429	2,2594	+/-7,5%
Effective leakage area at 50 Pa, $A_L$ [cm <sup>2</sup> ]	269,8	255,0	285,4	+/-5,8%
Equivalent leakage area at 50 Pa, $A_L$ [cm <sup>2</sup> ]	442,2	418,0	467,8	+/-5,6%
Normalized leakage area at 50 Pa [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]				

Measured pressure [Pa]		-14,3	-22,5	-32,2	-41,6	-51,9	-47,9						
Induced Pressure [Pa]		-13,5	-21,6	-31,4	-40,7	-51,0	-47,1						
Fan #1, Range C4	Fan Pressure [Pa]	28,9	52,8	86,4	122,6	164,7	155,5						
	Flow [L/s]	109,2	148,3	190,7	228,0	265,1	230,9						
Total Flow, $V_r$ [L/s]		109,2	148,3	190,7	228,0	265,1	230,9						
Corrected Flow, $V_{env}$ [L/s]		103,6	140,7	181,0	216,3	251,5	219,1						
Error [%]		-0,4%	-0,1%	1,1%	2,3%	2,9%	-5,6%						

6 induced pressures each taken for 5 of the required 5 seconds.

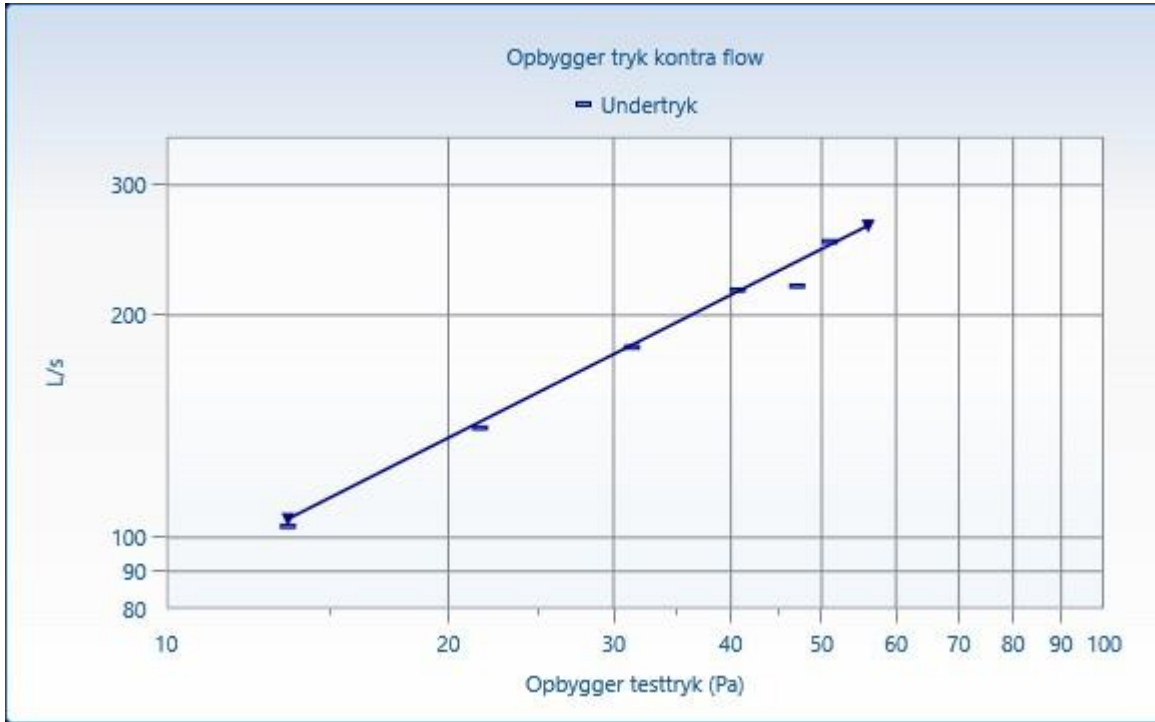
6 baseline pressures each taken for 5 of required 5 seconds.

Average Baseline,  $\Delta P$ : -0,85 Pa

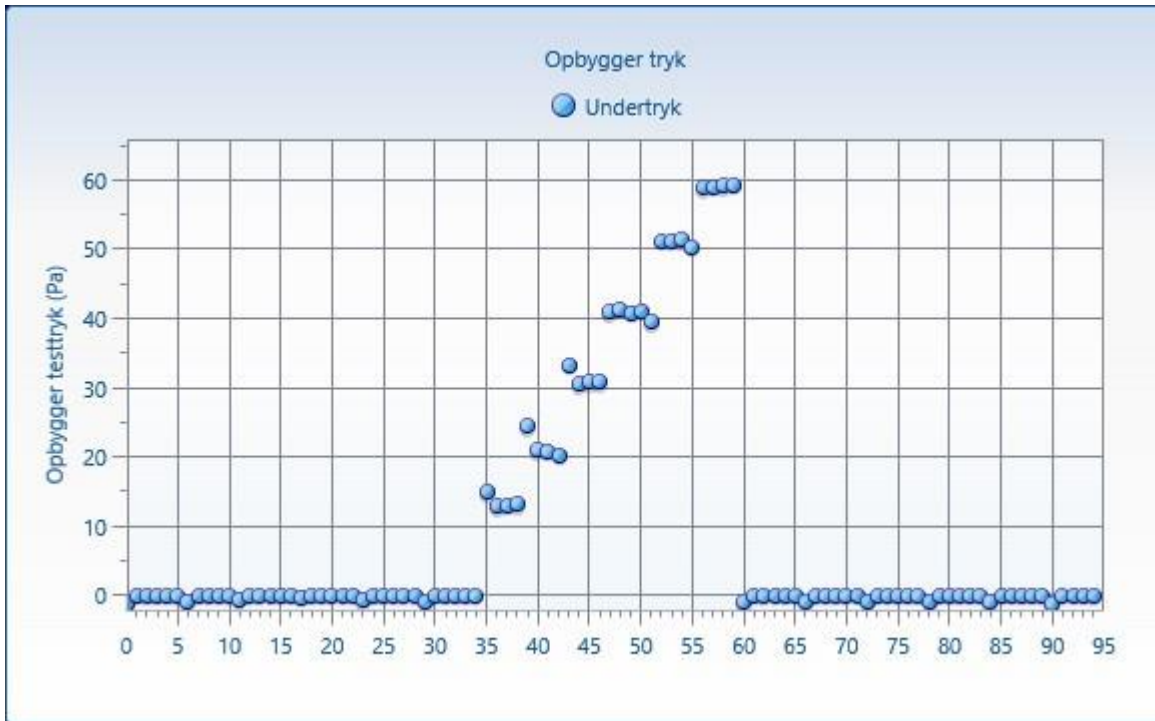
Static Pressure Averages:			
Average Baseline [Pa]	$\Delta P$ -0,85		
initial [Pa]	$\Delta P01$ -0,73	$\Delta P01$ -0,81	$\Delta P01$ + 0,00
final [Pa]	$\Delta P02$ -0,96	$\Delta P02$ -1,16	$\Delta P02$ + 0,00

Baseline, initial [Pa]	-1,13	-0,90	-0,61	-0,29	-0,65	-0,83						
Baseline, final [Pa]	-1,00	-0,91	-0,81	-0,90	-0,95	-1,28						

### Induced Pressure vs. Flow (Undertryk Set)



### Building Gauge Pressure (Undertryk Set)



## Overtryk Data Set

Test Dataset Date: 2017-10-30

Start time: 10:46

Finish Time: 10:50

Environmental Conditions		
Wind speed:	0: Vindstille	from the
Operator Location:	Indendørs the building	
Initial Bias Pressure:	-1,04 Pa	
Final Bias Pressure:	-0,58 Pa	
Average Bias Pressure:	-0,81 Pa	
Initial Temperature:	indoors: 20 C	outdoors: 5 C
Final Temperature:	indoors: 20 C	outdoors: 5 C
Barometric Pressure:	101,3 kPa	from Standardtemperatur og tryk

Overtryk Test Analysis				
Correlation, r [%]:	99,73			
	Mean	95% confidence limits		Uncertainty
		Lower	Upper	
Slope, n:	0,725	0,65058	0,79976	
Air leakage coefficient, $C_{env}$ [L/s/Pa <sup>n</sup> ]:	15,452	11,98	19,93	
Air leakage coefficient, $C_L$ [L/s/Pa <sup>n</sup> ]:	15,452	11,98	19,93	
Air flow at 50 Pa, $V_{50}$ [L/s]	263,66	248,7	279,5	+/-5,8%
Air changes at 50 Pa, $n_{50}$ [/h]				
Permeability at 50 Pa, $q_{50}$ [L/s/m <sup>2</sup> ]				
Specific leakage at 50 Pa, $w_{50}$ [L/s/m <sup>2</sup> ]	2,2535	2,0803	2,4266	+/-7,7%
Effective leakage area at 50 Pa, $A_L$ [cm <sup>2</sup> ]	289,3	272,9	306,7	+/-6,0%
Equivalent leakage area at 50 Pa, $A_L$ [cm <sup>2</sup> ]	474,3	447,4	502,8	+/-5,8%
Normalized leakage area at 50 Pa [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]				

Measured pressure [Pa]		11,5	16,6	25,3	33,7	50,6	59,1						
Induced Pressure [Pa]		12,3	17,4	26,2	34,5	51,4	59,9						

Fan #1, Range C4	Fan Pressure [Pa]	39,6	59,8	100,8	135,5	223,1	265,5						
	Flow [L/s]	95,31	119,1	158,8	185,3	270,8	297,0						
Total Flow, V <sub>r</sub> [L/s]		95,31	119,1	158,8	185,3	270,8	297,0						
Corrected Flow, V <sub>env</sub> [L/s]		97,85	122,3	163,0	190,2	278,0	304,9						
Error [%]		2,6%	- 0,3%	- 1,1%	- 5,7%	3,3%	1,5%						

6 induced pressures each taken for 5 of the required 5 seconds.

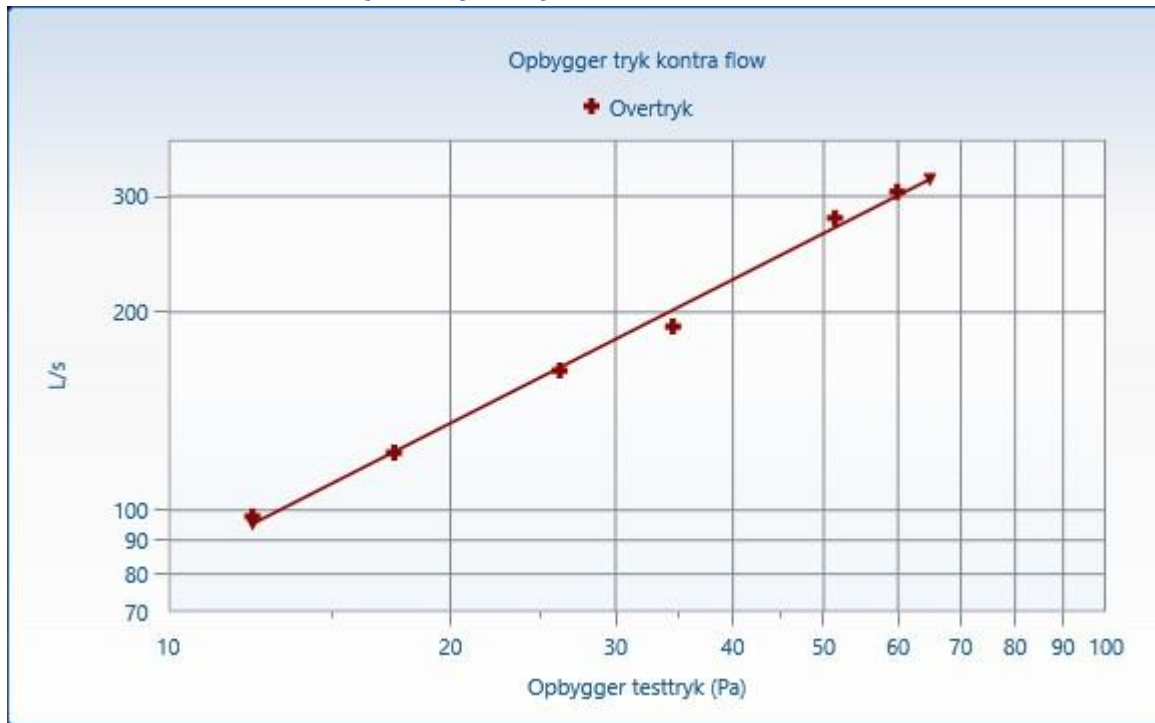
6 baseline pressures each taken for 5 of required 5 seconds.

Average Baseline,  $\Delta P$ : -0,81 Pa

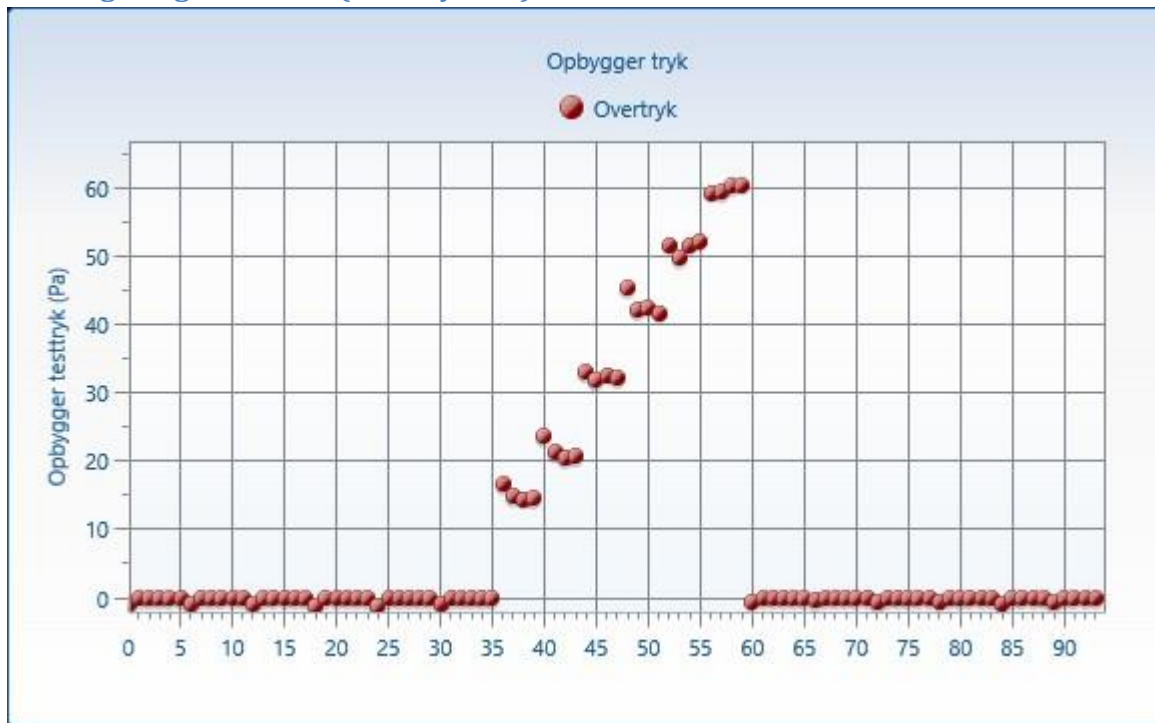
Static Pressure Averages:			
Average [Pa]	$\Delta P$ -0,81		
initial [Pa]	$\Delta P01$ -1,04	$\Delta P01$ -1,21	$\Delta P01$ + 0,00
final [Pa]	$\Delta P02$ -0,58	$\Delta P02$ -0,60	$\Delta P02$ + 0,00

Baseline, initial [Pa]	- 0,94	- 1,01	- 0,96	- 1,22	- 1,23	- 0,90						
Baseline, final [Pa]	- 0,56	- 0,41	- 0,64	- 0,54	- 0,75	- 0,61						

## Induced Pressure vs. Flow (Overtryk Set)



## Building Gauge Pressure (Overtryk Set)





## Test Equipment

The following test equipment was used in the performance of the air leakage tests.

	Fan	Fan serial	Fan location	Gauge	Gauge serial	Gauge Calibration
#1	Retrotec 2000	101062		DM-2	204886	

## Fan Calibration Certificate Retrotec 2000:

<b>Retrotec 2000 101062 Fan last calibrated: (Ventilator kalibrering - B1) . Published Flow Equation Parameters, Round B1 CFM</b>							
Range	n	K	K1	K2	K3	K4	MF
<b>Open(22)</b>	0,5214	519,6183	-0,07	0,8	-0,115	1	8,6
<b>A</b>	0,503	264,9959	-0,075	1	0	1	12
<b>B</b>	0,5	174,8824	0	0,3	0	1	10
<b>C8</b>	0,5	78,5	-0,02	0,5	0,016	1	10
<b>C6</b>	0,505	61,3	0,054	0,5	0,004	1	10
<b>C4</b>	0,5077	42	0,009	0,5	0,0009	1	10
<b>C2</b>	0,52	22	0,11	0,5	-0,001	1	10
<b>C1</b>	0,541	11,9239	0,13	0,4	-0,0014	1	10
<b>L4</b>	0,48	4,0995	0,003	1	0,0004	1	10
<b>L2</b>	0,502	2,0678	0	0,5	0,0001	1	10
<b>L1</b>	0,4925	1,1614	0,1	0,5	0,0001	1	10



---

**Bilag 2.3**  
**Viborg, datarapport**

---

Bilag 2.3

I-Vent

Datarapport for målinger i bolig i Viborg

Projekt nr.: 1030960  
Dokument nr.: 1226591686  
Version 1  
Revision

Udarbejdet af MMC/WHY  
Kontrolleret af  
Godkendt af MNJ

## 1 Indledning

Som en del af I-vent projektet er der lavet målinger i en bolig i Viborg i perioden fra den 30. oktober 2017 til den 18. december 2017. De udførte undersøgelser og resultaterne heraf er præsenteret i dette datanotat under følgende afsnit:

### Afsnit 2: Undersøgelser

- 2.1: Tidsplan for undersøgelser
- 2.2: Måleudstyr og placering af målinger

### Afsnit 3: Resultater

- 3.1: Beskrivelse af forsøgsperiode
- 3.2: Vejrforhold
- 3.3: Temperaturforhold
- 3.4: Differenstryk
- 3.5: Radon
- 3.6: Luftfugtighed og CO<sub>2</sub> (beskrevet i bilag 2.4)

Boligen har været beboet i undersøgelsesperioden og benyttet stort set uden hensyntagen til de foretagne målinger. For at gøre forsøget mere overskueligt, blev det besluttet at afgrænse undersøgelserne til en del af boligen. Den øvrige del af boligen blev afskåret fra den udvalgte del med en dør, som blev holdt lukket gennem hele forsøget (undtagen når beboerne skulle ind i den øvrige del af beboelsen).

## 2 Undersøgelser

### 2.1 Tidsplan for undersøgelser

Feltundersøgelserne blev delt op i 4 dele. Dato for udførelse er angivet i parentes:

- Tæthedsprøvning med blowerdoor og test med overtryk på bygningen (30.10.17).
- Logning af data i normalsituationen, 4 uger (30.10.17-29.11.17).
- Logning af data ved overtryk på bygningen, 2 uger (29.11.17-14.12.17).
- Logning af data ved alternerende drift, 1 uge (14.12.17-18.12.17).

Indledningsvis blev der gennemført en tæthedsprøvning af ejendommen samt test af, om det var muligt at lave overtryk på bygningen, hvilket er beskrevet nærmere i afsnit 3.3. Efterfølgende blev der lavet målinger over en ca. 4 ugers periode, som i det følgende kaldes normalsituation. I denne periode blev der ikke foretaget nogen trykpåvirkning af huset, og boligen blev anvendt helt som normalt. Målingerne i denne periode blev foretaget for at have et baggrundsniveau for de forskellige parametre, og for derved at kunne vurdere effekten af den senere udførte overtryksventilation. Efter normalsituationen blev der gennemført en 2 ugers testperiode, hvor huset blev påført det overtryk, der ved den indledende test blev fundet til at medføre en ændring af trykgradienten over gulvet. Overtrykket blev påført, ved at der blev monteret en ventilator gennem ydervæggen i bryggerset som beskrevet i afsnit 4. Inden afslutning af målingerne blev der i en lille uges tid lavet forsøg med alternerende drift på ventilatoren, hvor der blev tændt og slukket for ventilatoren ca. hver 6. time.

### 2.2 Måleudstyr og placering af målinger

Det anvendte udstyr er listet i tabel 2.2A, og placering af måleudstyr er beskrevet nærmere efterfølgende samt angivet på situationsplaner for stueplan og 1. sal i bilag 2.1.

Måleparameter	Udstyr	Placering	Indstillet målefrekvens
Vindforhold (retning og hastighed)	Davis (S-WCF-M003)	I haven (MP17).	5 minutter
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	3 målinger ude (MP14-MP16) og 4 målinger inde (MP1-MP4).	15 minutter
Differenstryk	Systronik	4 målinger over/under terrændæk (MP1-MP4) og 1 måling inde/ude (MP10).	1 minut
Radon	Rad7 Corentium Pro	1 måling under gulv (MP10). 3 målinger inde (MP1-MP2, MP5).	1 time 1 time
Luftfugtighed	Testo T175T3	3 målinger ude og 8 målinger inde.	15 minutter
CO2	Tinytag TGE-0011	3 målinger inde.	3 minutter

Tabel 2.: Anvendt feltudstyr til målingerne i bolig i Viborg.

#### Vindforhold:

Der blev opsat vindmåler uden for huset til registrering af vindretning og vindhastighed. Måleren blev placeret 5 m fra huset i en højde over tagryggen på en teleskopstang.

#### Temperatur:

Der blev placeret temperaturmålere 4 steder indendørs i boligen sammen med differenstrykloggerne (i bryggers, køkken samt to steder i stuen).

Endvidere blev der placeret temperaturmålere udendørs nord, syd og vest for huset. Målingerne udendørs blev ligeledes placeret, så de ikke blev påvirket af direkte sollys samt, så vidt muligt, væk fra ydervæggene, da det vurderes, at temperaturen kan påvirkes af kulde/træk ved kuldebore mv.

#### Differenstryk:

Der blev installeret 4 målepunkter til registrering af differenstryk over terrændækket i boligen (i bryggers, køkken samt to steder i stuen). Målepunkterne blev, så vidt muligt, fordelt jævnt over boligens areal med hensyntagen til husets beboere og deres daglige færden. For ikke at gennembryde eksisterende trægulve i boligen blev punkterne flyttet ud langs væggene, hvilket erfaringsmæssigt ikke er helt optimalt ift. måling af differenstrykket. Målepunkterne blev etableret ved gennembo-ring af gulvene for at kunne måle trykket under gulvet ift. trykket inde i boligen. Loggerne blev placeret så de, så vidt muligt, ikke blev påvirket af direkte sollys i en højde på ca. 30 cm over gulvet.

Der blev installeret 1 målepunkt til registrering af differenstryk over ydervæg/klimaskærm. Måleinstrumentet blev placeret indenfor med en hård slange ud ad bygningen. Enden af slangen blev forsynet med beskyttelse mod direkte vindpåvirkning 5 m fra nærmeste ydervæg. Dette for at undgå forstyrrelser af målingerne fra vindstuvning omkring bygningen.

#### Radon:

Inde i huset blev der placeret radonmålere til måling af radonindholdet i indeluften i 3 punkter (i bryggers, køkken og stue). Målerne blev placeret nogenlunde jævnt fordelt rundt i huset.

Endvidere blev der installeret 1 målepunkt under gulv for at måle radonindholdet i jorden under bygningen. Afkastluften fra målingen blev ført udendørs via en slange.

#### Luftfugtighed:

Der blev målt luftfugtighed jævnt i boligen, ét sted i skunken samt udenfor rundt om boligen, samme målepunkter som temperaturen.

#### CO<sub>2</sub>:

Koncentrationen af CO<sub>2</sub> blev målt i stue, køkken og bryggers. CO<sub>2</sub>-loggerne har behov for strøm.

## 3 Resultater

### 3.1 Beskrivelse af forsøgsperiode

Den 30. oktober 2017 blev der installeret måleudstyr i boligen, som beskrevet i afsnit 2.2.

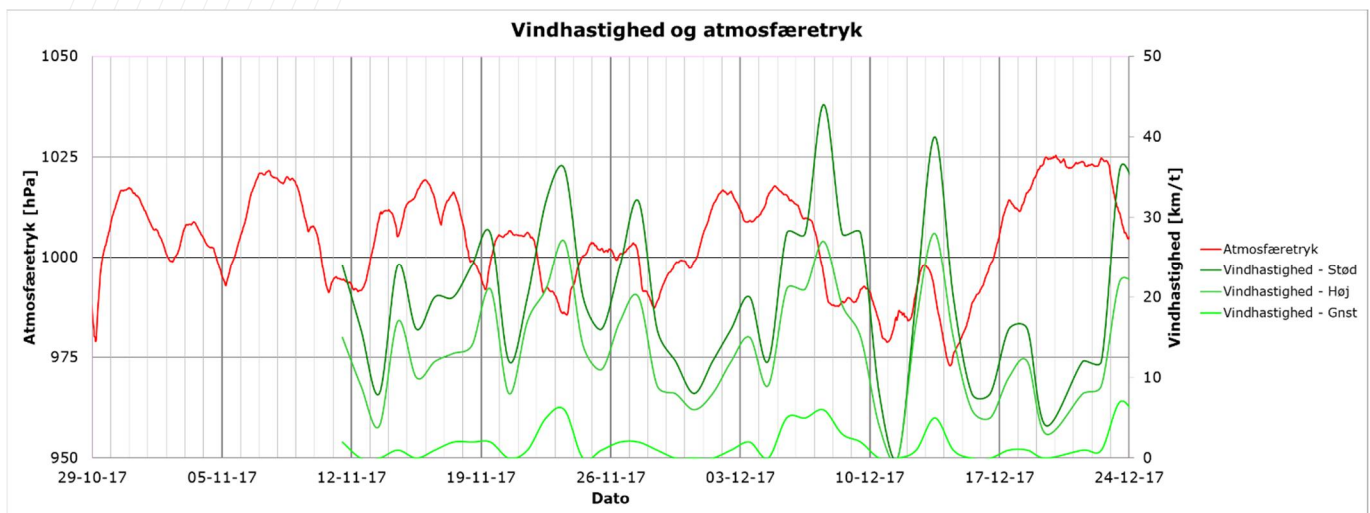
I perioden 30. oktober til 29. november 2017 målte instrumenterne de forskellige parametre uden anden påvirkning af huset end den daglige brug, herunder bl.a. opvarmning og udluftning.

I perioden 29. november til 14. december blev der påført overtryk på boligen. Ved start af ventilation kørte ventilatoren med en indblæsning på 180 m<sup>3</sup>/h. I løbet af perioden blev der justeret lidt på ventilatorens flow af hensyn til kulde og træk i huset. Den 7. december 2017 blev der skruet ned for effekten, og den 11. december blev der skruet op igen. I perioden 7.-11. december er ventilatorens ydelse ukendt.

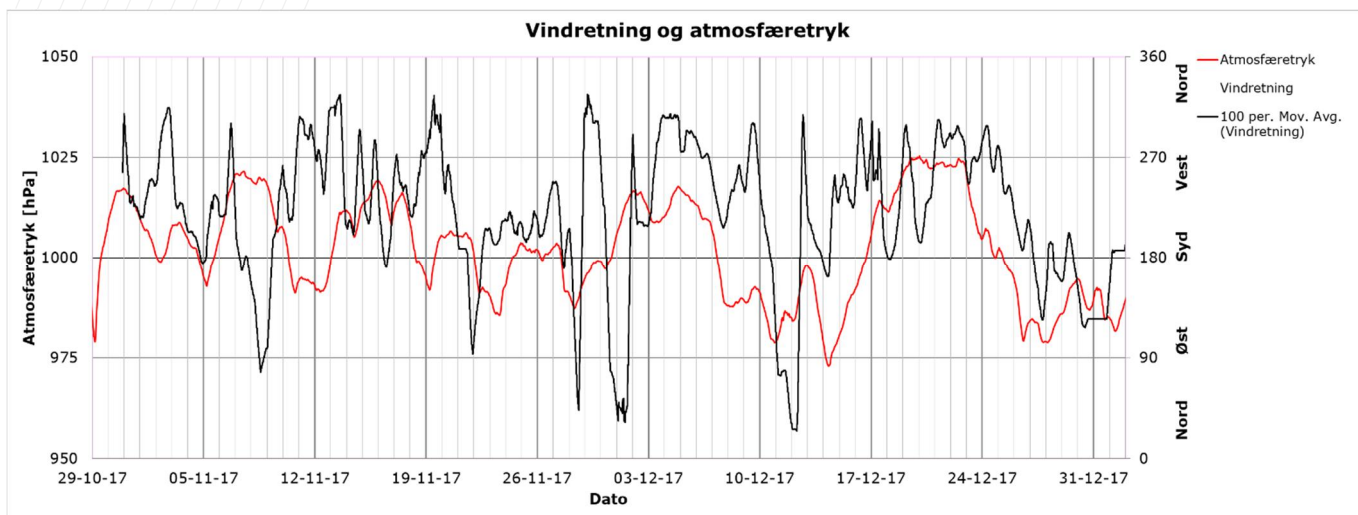
I perioden 14. december til 18. december 2017 blev der installeret et tænd/sluk ur på ventilatoren således, at der kun blæses luft ind udefra i to perioder i døgnet, mens ventilatoren var slukket i de øvrige to perioder i døgnet. Uret blev indstillet til drift i perioderne 10 – 16 og 22 – 04. I den resterende tid af døgnet blev der ikke ventileret i huset ud over den daglige brug.

### 3.2 Vejrforhold

I måleperioden blev vejrforholdene registreret med målinger af vindretning og -hastighed samt atmosfæretrykket. Registreringer af atmosfæretryk sammen med hhv. vindhastigheder og vindretninger er vist i figur 3.2A og 3.2B.



Figur 3.2A: Atmosfæretryk og vindhastigheder i testperioden.



Figur 3.2B: Atmosfæretryk og vindretninger i testperioden.

Målinger i atmosfæretryk og vindforhold anvendes i de efterfølgende vurderinger af forsøgsresultaterne for at få et overblik over, hvordan huset er påvirket af de meteorologiske forhold. Overordnet set vurderes måleperioden på baggrund af målingerne af vejrforholdene at være uden de helt store udsving, som vil kunne have uacceptabel stor indvirkning på forsøgsresultaterne.

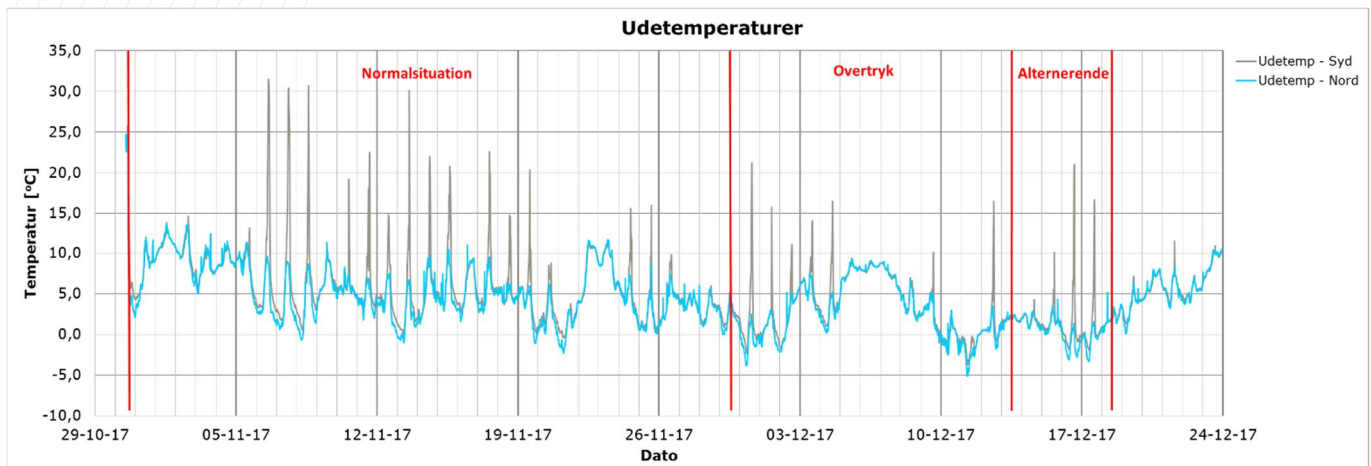
Ændringer i atmosfæretryk er generelt en varsel om skifte i vejret i form af ændrede vind- og temperaturforhold.

Der ses sammenhæng mellem betydende ændringer i atmosfæretrykket (> 10 hPa pr. døgn) og variationer i vindhastigheden i hele måleperioden. Ved betydende fald i atmosfæretryk ses generelt stigning i vindhastighederne. Der ses også stedvise sammenfald mellem ændringer i atmosfæretryk og ændringer i vindretningen, men sammenhængen er ikke så tydelig.

### 3.3 Temperaturforhold

#### 3.3.1 Udetemperaturer

Der blev målt udetemperaturer nord, syd og vest for huset. Instrumenterne, der målte vest for huset, viste fejl, og data herfra kan ikke benyttes. Temperaturdata nord og syd for huset ses i figur 3.3A.



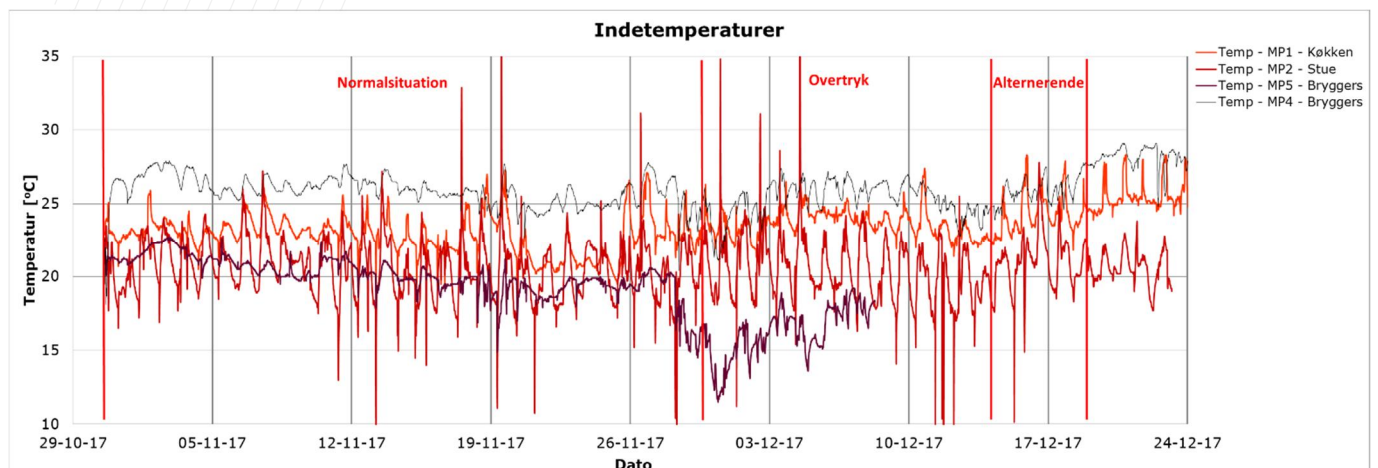
Figur 3.3A: Udetemperaturer målt syd og nord for huset i testperioden.

Overordnet set ligger målingerne nord og syd for huset på samme niveau og viser ens døgnvariationer. Dog ses en række peaks på målingerne på sydsiden af huset. Disse peaks falder i dagtimerne, og vurderes at skyldes direkte solpåvirkning af bygningen, som har påvirket instrumentet. Dette giver temperaturmålinger, der i disse korte intervaller ikke repræsenterer den reelle udetemperatur. Da der ikke er tegn på solpåvirkede data på nordsiden af huset, benyttes fremadrettet temperaturmålingerne udført nord for huset (MP14) til processering af de øvrige data.

I måleperioden blev der målt udetemperaturer fra  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . I november ses tydelige døgnvariationer, mens målingerne i december nærmere varierer med længerevarende fald og stigninger. Overordnet set vurderes måleperioden på baggrund af udetemperaturmålingerne at være uden de helt store udsving, som vil kunne have uacceptabel stor indvirkning på forsøgsresultaterne.

### 3.3.2 Indetemperaturer

Indetemperaturen blev målt 4 forskellige steder i huset i måleperioden: i køkkenet, i stuen og 2 steder i bryggerset. Temperaturmålingerne i indeluften er vist i figur 3.3B.



Figur 3.3B: Indetemperaturer målt 4 steder i boligen i testperioden.

Over hele måleperioden ses der momentvise fald i indetemperaturen. Disse fald vurderes at skyldes kortvarige perioder med kraftig udluftning gennem vinduer



og/eller døre. Af målingerne fremgår det, at temperaturen i indeluften er lidt ujævn med døgnudsving, hvilket vurderes at skyldes, at ejendommen har natstyring på radiatorerne.

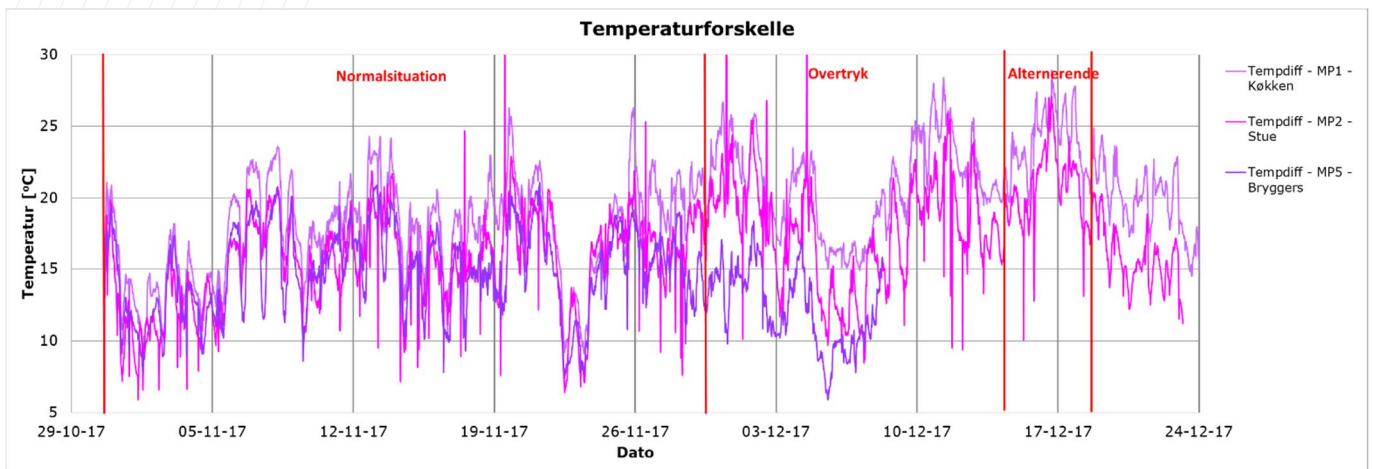
I bryggerset (MP5) blev der målt temperaturer mellem 18°C og 23°C med daglige udsving på op til 2°C i perioden inden den 30. november 2017, hvor ventilationen etableres. Efter den 30. november faldt temperaturen i bryggerset betydeligt, som følge af den indblæste kolde udeluft. Herefter blev der målt temperaturer mellem 12°C og 19°C med døgnvariationer på op til 5°C. Målingen MP4 i bryggerset blev foretaget i et teknikrum under trappen, og repræsenterer dermed ikke den generelle rumtemperatur i bryggerset. Målingerne fra dette punkt er ikke anvendt yderligere.

I stuen (MP2) blev der målt temperaturer mellem 17°C og 25°C med døgnvariationer på op til 5°C. Der ses ikke et betydeligt temperaturfald i forbindelse med etableringen af ventilationen den 30. november 2017.

I køkkenet (MP1) blev der målt temperaturer mellem 20°C og 25°C med døgnvariationer på op til 2°C. Heller ikke i køkkenet blev der observeret et betydeligt temperaturfald i forbindelse med etableringen af ventilationen den 30. november 2017. Dog ses i perioden med ventilation lidt større døgnvariationer på op til 4°C.

### 3.3.3 Forskel mellem ude- og indetemperatur

Temperaturforskellen er erfaringsmæssigt en af de primært styrende parametre af differenstrykket over gulvet, og temperaturforskellene mellem ude- og indeluften er vist i figur 3.3C.



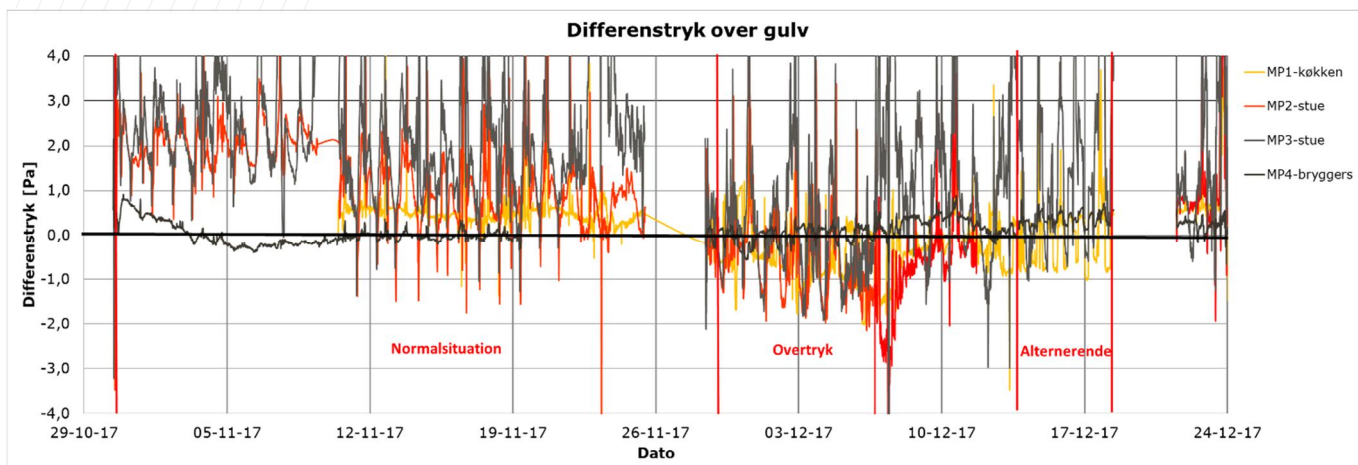
Figur 3.3C: Forskelle i ude- og indetemperaturer i testperioden.

Der blev i måleperioden målt forskelle mellem ude- og indetemperaturen på op til 30°C. På grund af relativt store svingninger på kort tid (døgnvariationer) i både ude- og indetemperaturerne ses også store svingninger i temperaturforskellene.

## 3.4 Differenstræk

### 3.4.1 Differenstræk over/under gulv

Der blev målt differenstræk over gulv 4 steder i boligen: i bryggers, køkken samt to steder i stuen. De målte differenstræk over/under gulv er vist i figur 3.4A.



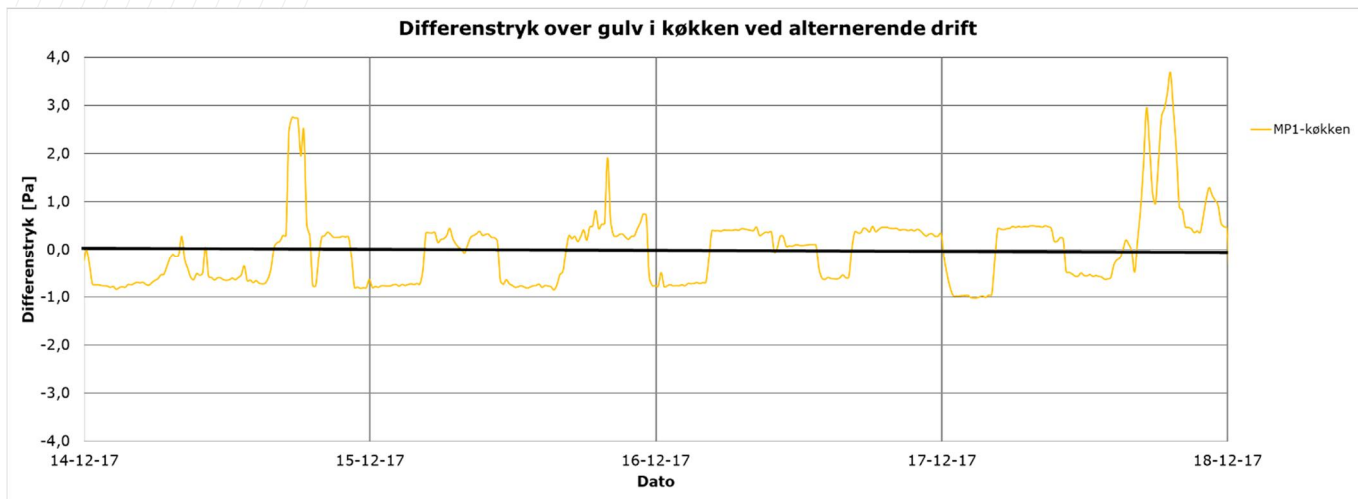
Figur 3.4A: Differenstryk over/under gulv. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.

Differenstrykmålingerne i teknikrummet under trappen (MP4) afviger generelt fra de øvrige målepunkter. Værdierne her ligger omkring 0 Pa i hele måleperioden. Her er observeret et betongulv i dårlig stand med en tykkelse på ca. 2 cm. På den baggrund vurderes forudsætningerne for målingerne ikke at være opfyldt, da der ikke var en tæt gulvflade at måle differenstryk over. Målingerne fra MP4 er ikke benyttet fremadrettet.

I normalsituationen blev der generelt målt positive værdier for differenstrykket, svarende til en opadrettet gradient fra poreluften under gulvet til indeluften. Værdierne svinger generelt omkring et opadrettet differenstryk på +2 Pa. I MP3 i den sydlige del af stuen blev der målt noget højere positive værdier for differenstrykket. I kortere perioder blev der målt et differenstryk på op til +10 Pa. Instrumentet var placeret i en del af stuen, som var meget påvirket af solen på grund af store vinduespartier, og differenstrykinstrumentet vurderes derfor at kunne være påvirket af dette.

I perioden med kontinuert overtryksventilation observeres en ændring i differenstrykket. Generelt observeres værdier ned til  $\pm 1$  Pa, svarende til en nedadrettet trykgradient over gulvet. I kortere perioder generelt midt på dagen ses dog fortsat en opadrettet gradient og positivt differenstryk. I MP3 observeres en generelt lidt højere værdier for differenstrykket med nogle kortere perioder med et positivt opadrettet tryk på op til +8 Pa.

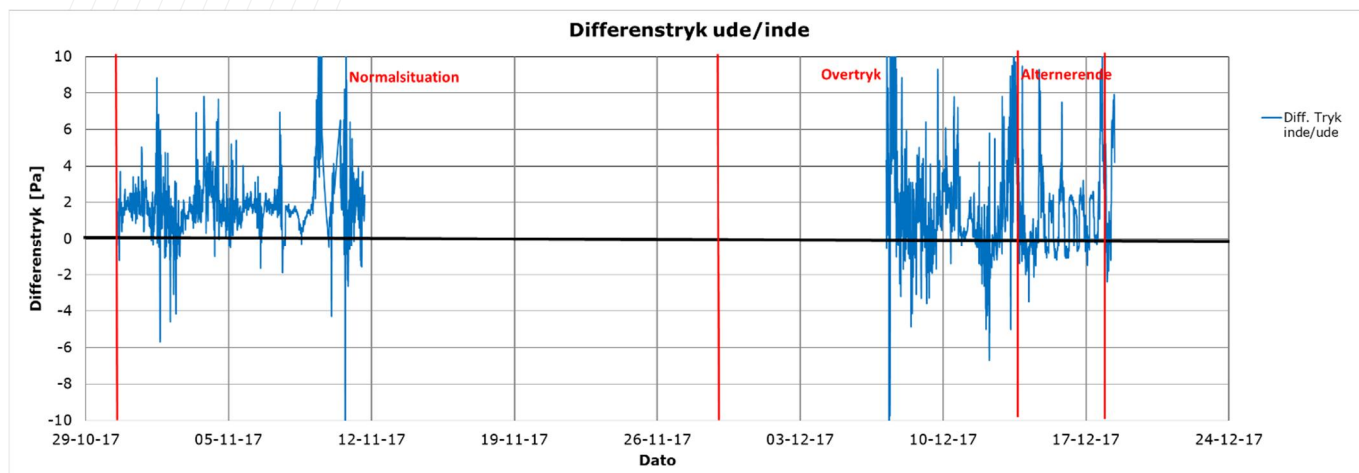
I perioden med alternerende overtryksventilation måles tydelige svingninger omkring 0 Pa. Svingningerne ses særligt tydeligt i målingerne i MP1, som vist i figur 3.4B. Her ses det tydelige, at differenstrykket over gulvet ligger omkring -1 Pa i perioder med tændt anlæg og omkring +0,5 Pa i perioder med slukket anlæg.



Figur 3.4B: Differenstryk målt i MP1 med alternerende ventilation. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.

### 3.4.2 Differenstryk over ydervæggen

Der blev målt differenstryk mellem ude og inde ét sted i boligen. Det målte differensstryk over ydervæggen er vist i figur 3.4C. En instrumentfejl har betydet, at en del af data ikke har kunnet aflæses fra instrumentet, og derfor mangler data for en del af perioden.



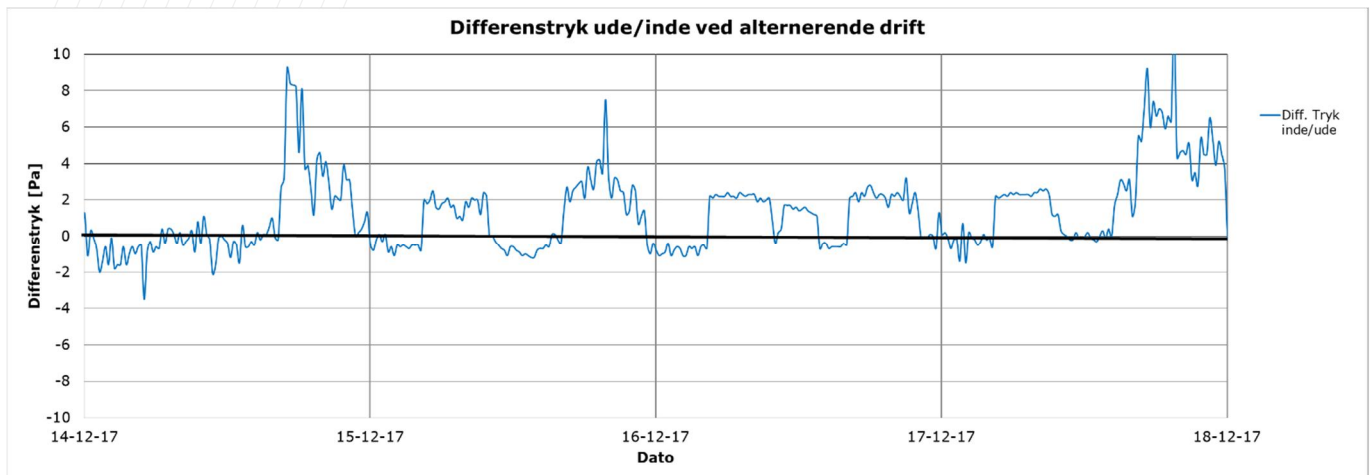
Figur 3.4C: Differenstryk over ydervæg. Negative værdier angiver overtryk i bygningen i forhold til udeluften.

Differenstrykket målt over ydervæggen viser et generelt undertryk i huset i normalsituationen med værdier omkring +1-+2 Pa.

I perioden med konstant overtryksventilation falder undertrykket en smule, dog uden at trykgradienten over ydervæggen bliver konstant udadrettet. Det tyder således ikke på, at der ved overtryksventilationen blev skabt et fast overtryk i boligen i forhold til udeluften. Dette var dog heller ikke et mål, da der kun ønskes tilført den luft, som lige netop sikrer en nedadrettet trykgradient over gulvene.

I perioden med alternerende overtryksventilation måles værdier for differensstrykket mellem -1 og +2 Pa svarende til, at undertrykket i huset vendes til et lille

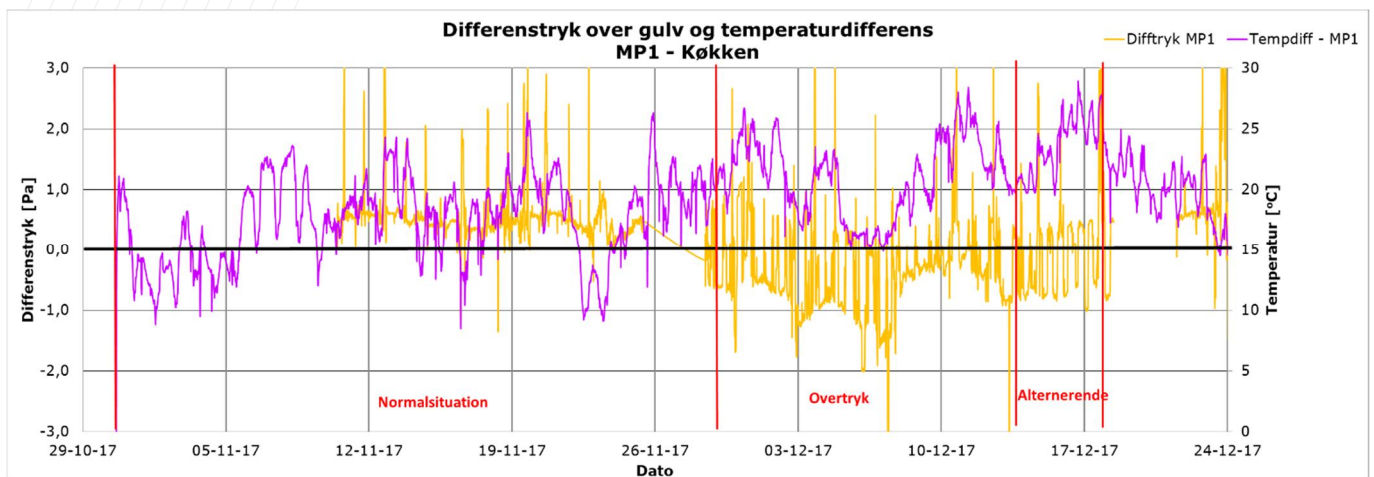
overtryk i de 6 timers intervaller, hvor der ventileres, hvilket fremgår af figur 3.4D.



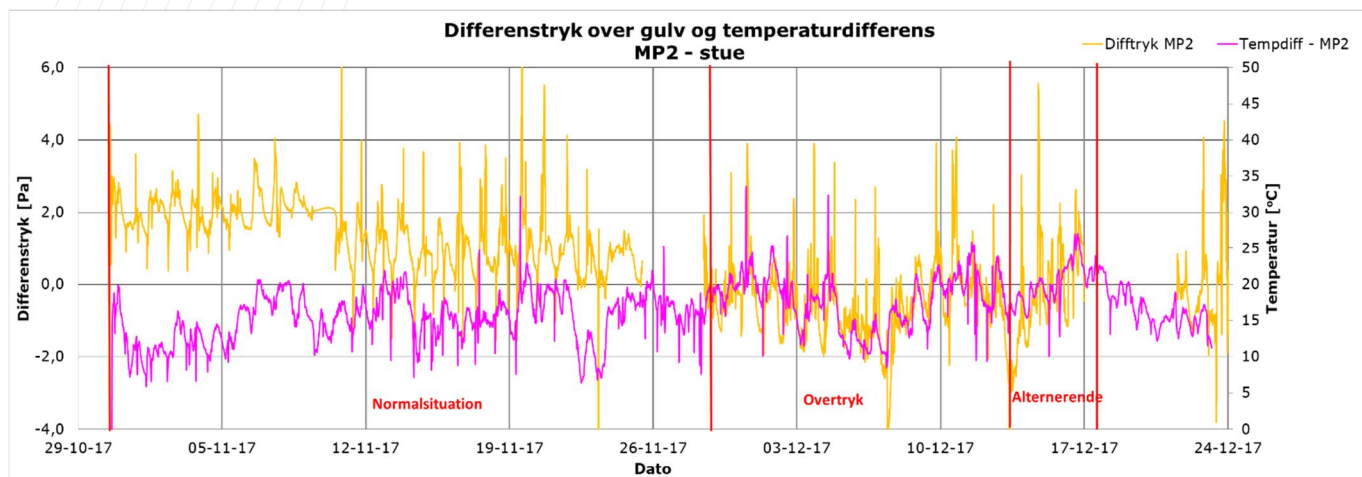
Figur 3.4D: Differenstryk over ydervæg ved alternerende ventilation. Negative værdier angiver overtryk i bygningen i forhold til udeluften.

### 3.4.3 Differenstryk og temperaturforhold

I figur 3.4E og 3.4F er vist differenstryk over gulv i hhv. køkken og stue sammen med forskellen i inde- og udetemperaturerne i måleperioden.



Figur 3.4E. Differenstryk over gulv sammen med temperaturforskel i køkken. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.



Figur 3.4F. Differenstryk over gulv sammen med temperaturforskel i stue. Negative værdier angiver nedadrettet trykgradient.

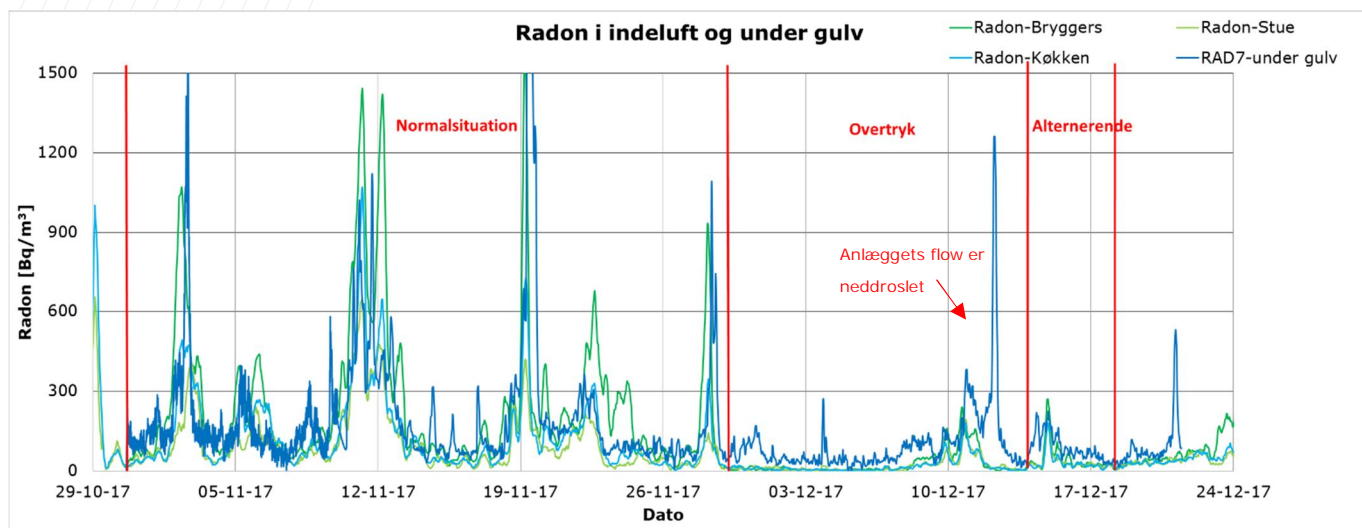
Sammenhængen mellem differenstrykket og temperaturforskellen observeres mest tydeligt i normalsituationen i MP1 og MP2/MP3 hvor stigninger i temperaturforskellen resulterer i stigninger i differenstrykket og omvendt. Sammenhængen er dog ikke helt så entydig, som den er observeret i huset i Køge.

Efter start af overtryksventilation den 30. november påvirkes differenstrykket over gulv i en sådan grad, at sammenhængen ikke længere kan ses.

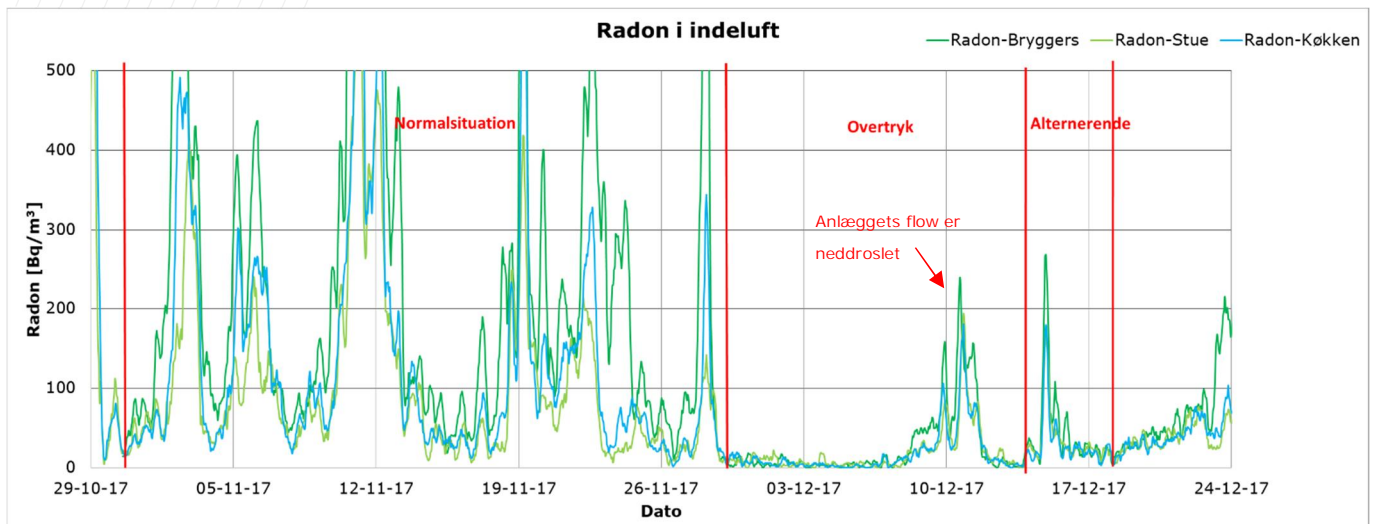
### 3.5 Radon

#### 3.5.1 Radon i indeluft og under gulv

I måleperioden blev indholdet af radon i indeluften målt 3 steder i huset: i stuen, i køkkenet og i bryggerset. Desuden blev radonindholdet under gulvet målt i stuen (MP10). Resultaterne af radonmålingerne i indeluft og under gulv ses i figur 3.5A, mens der i figur 3.5B er lavet et zoom af det lave niveau for radonmålingerne i indeluften.



Figur 3.5A: Radon i indeluften og under gulv.



Figur 3.5B: Zoom af det lave koncentrationsniveau for radon i indeluften.

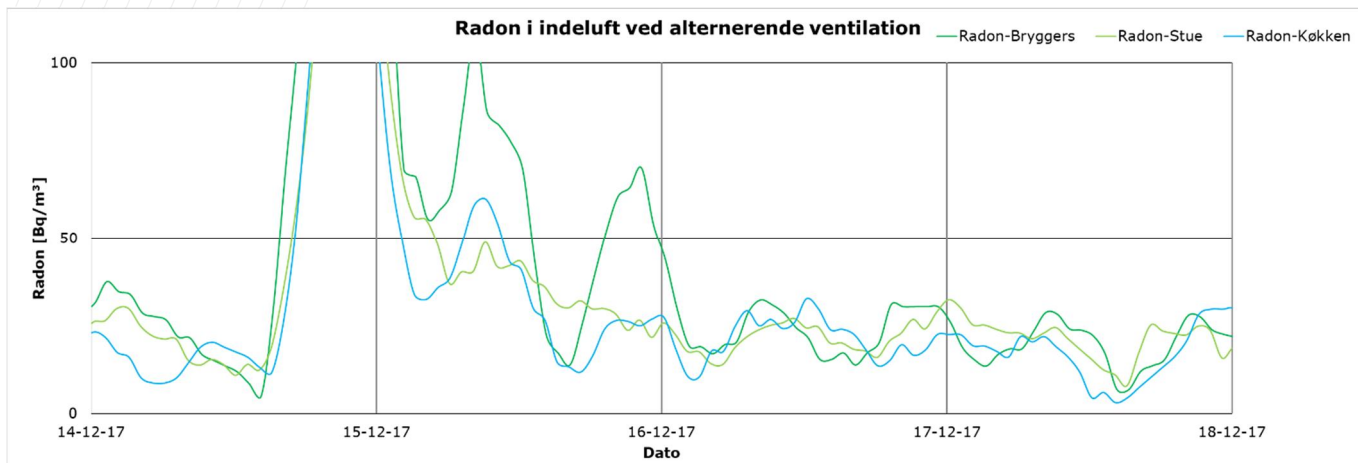
Radonmålingerne under gulv blev foretaget meget tæt på fundamentskanten (< 2 cm) for ikke at gennembryde trægulvet i boligen. Som det ses på figur 3.5A, er der ikke som forventet store forskelle mellem radonindholdet under og over gulv. Der er derfor mistanke om indtrængende falsk luft i målingen under gulv, og radonmålingerne under gulv er ikke anvendt videre i undersøgelserne.

Generelt ses der fin sammenhæng mellem radonmålinger i de forskellige rum i boligen. Dog er radonindholdet i bryggerset lidt højere end de øvrige målinger, hvilket sandsynligvis hænger sammen med en del rørføringer og lignende i dette rum, som medfører en mere utæt gulvflade.

I normalsituationen er der registreret et meget varierende radonindhold i boligen, med forholdsvis store udsving af kort varighed. I størstedel af tiden ligger radonindholdet omkring 100 Bq/m<sup>3</sup>, men der ses udsving op over 1.500 Bq/m<sup>3</sup> i korte perioder.

Efter etablering af overtryksventilation falder radonniveauet betydeligt i hele boligen. Der ses i denne periode radonkoncentrationer i intervallet 0-10 Bq/m<sup>3</sup>. I forlængelse af nedjustering af ventilationen i perioden 7.-11. december 2017 ses en stigning i radonindholdet, og da flowet justeres tilbage som oprindeligt, reduceres radonindholdet med det samme.

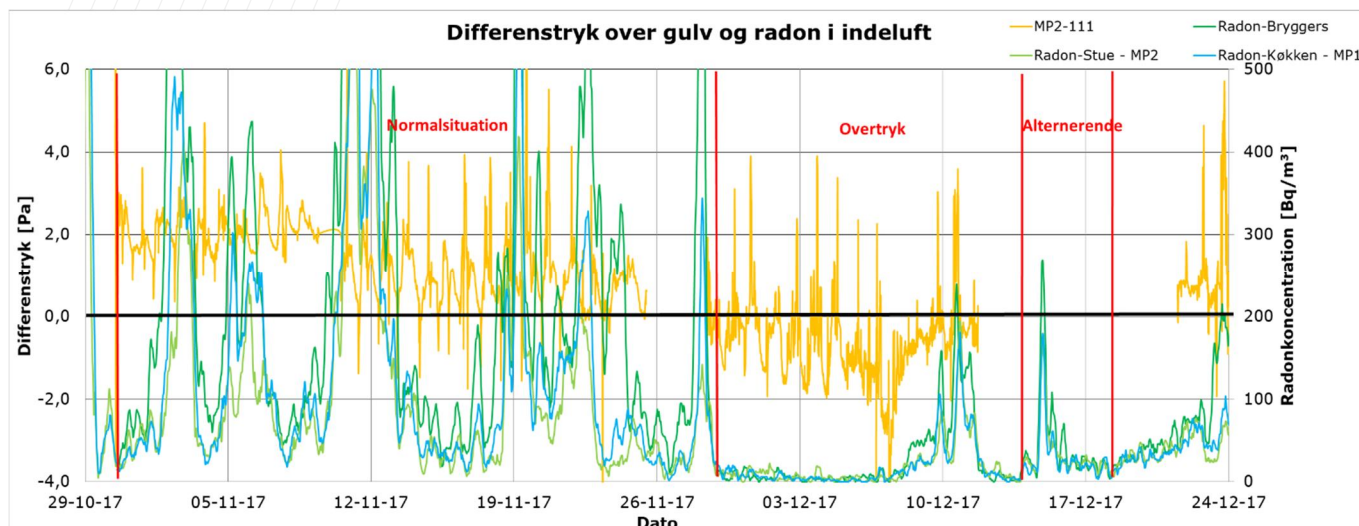
Ved alternerende overtryksventilation fra den 14. december 2017 måles ligeledes lave værdier for radon i indeluften omkring 20 Bq/m<sup>3</sup>. Der ses en betydelig stigning i radonindhold de første 3 gange anlægget slukkes, men herefter er koncentrationsniveauet nogenlunde konstant omkring 20 Bq/m<sup>3</sup>, med små fluktuationer i radonindholdet, som det ses af figur 3.5B.



Figur 3.5B: Radon i indeluften ved alternerende ventilation.

### 3.5.2 Radon og differenstræk

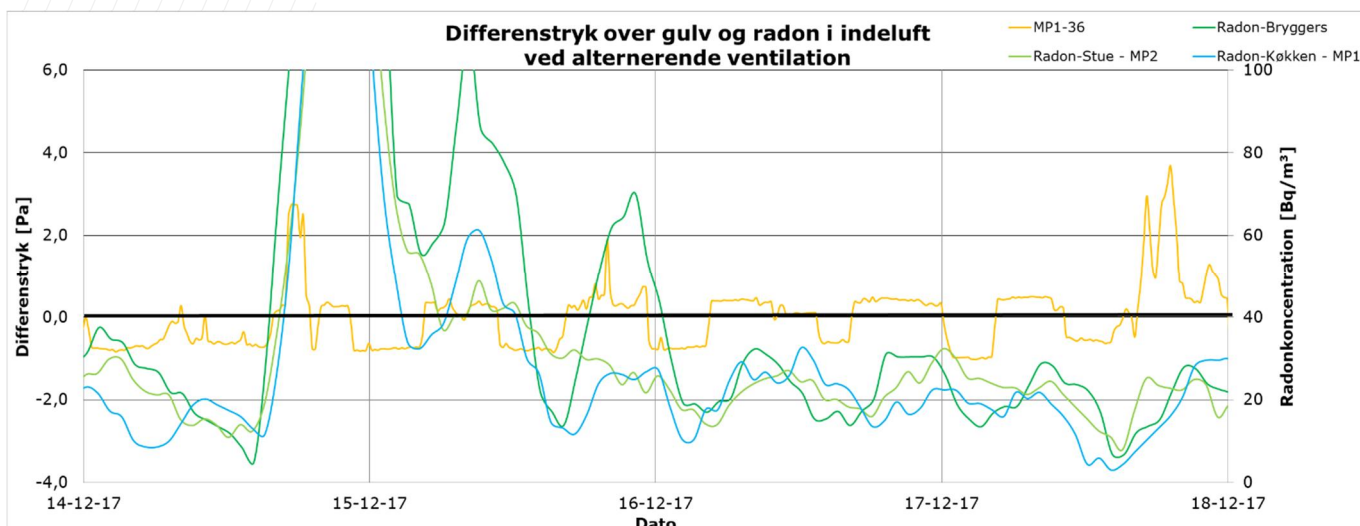
I figur 3.5C fremgår sammenhængende målinger af radon og differenstræk over/under gulvene. Der er set bort fra bryggerset, hvor gulvet vurderes at være mere utæt og påvirke resultaterne.



Figur 3.5C: Differenstræk over gulv og radon i indeluft.

I normalsituationen indtil den 30. november 2017 ses store udsving og periodevis høje indhold af radon i indeluften. Som det fremgår af figur 3.5C kan svingningerne i radonindhold ikke forklares ud fra variationer i differenstrækket. Efter etablering af ventilation falder radonniveauet betydeligt. I samme periode ses at differenstrækket er ændret fra opadrettet gradient til overvejende nedadrettet gradient.

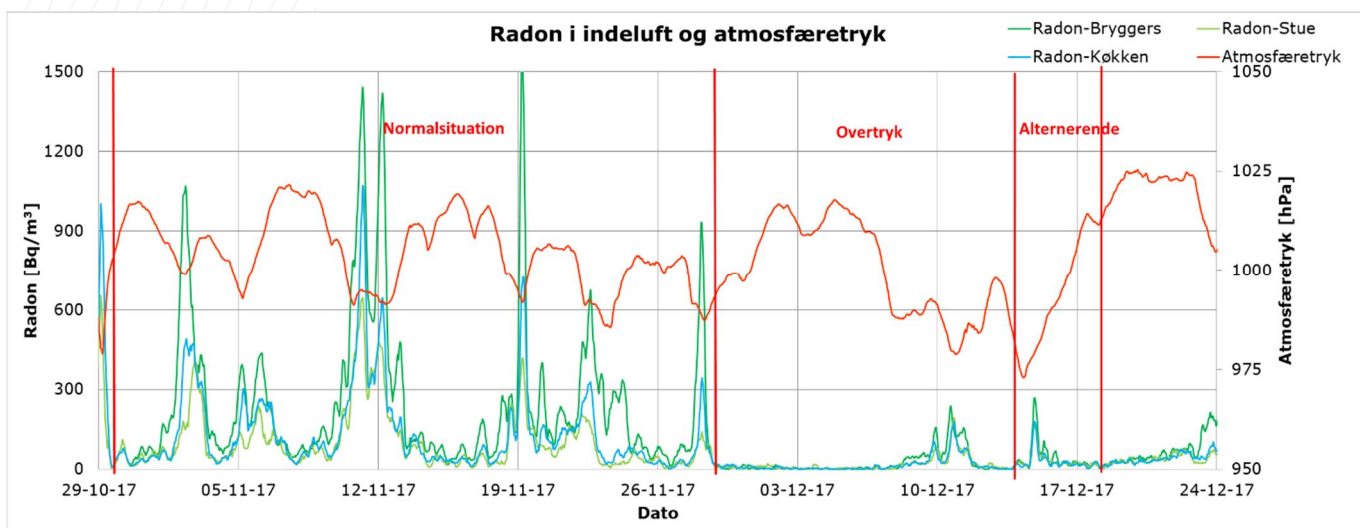
Efter opstart af alternerende ventilation den 14. december 2017 måles ligeledes lave værdier for radon i indeluften. Radonmålingerne viser små fluktuationer, som hænger sammen med det varierende differenstræk ved tænd og sluk af anlægget, som det ses på figur 3.5D. Når anlægget er tændt bliver differenstrækket negativt og radonindholdet falder.



Figur 3.5D: Differenstryk over gulv og radon i indeluft ved alternerende ventilation.

### 3.5.3 Radon og vejrforhold

I figur 3.5E er vist radonindholdet i indeluften sammen med atmosfæretrykket.



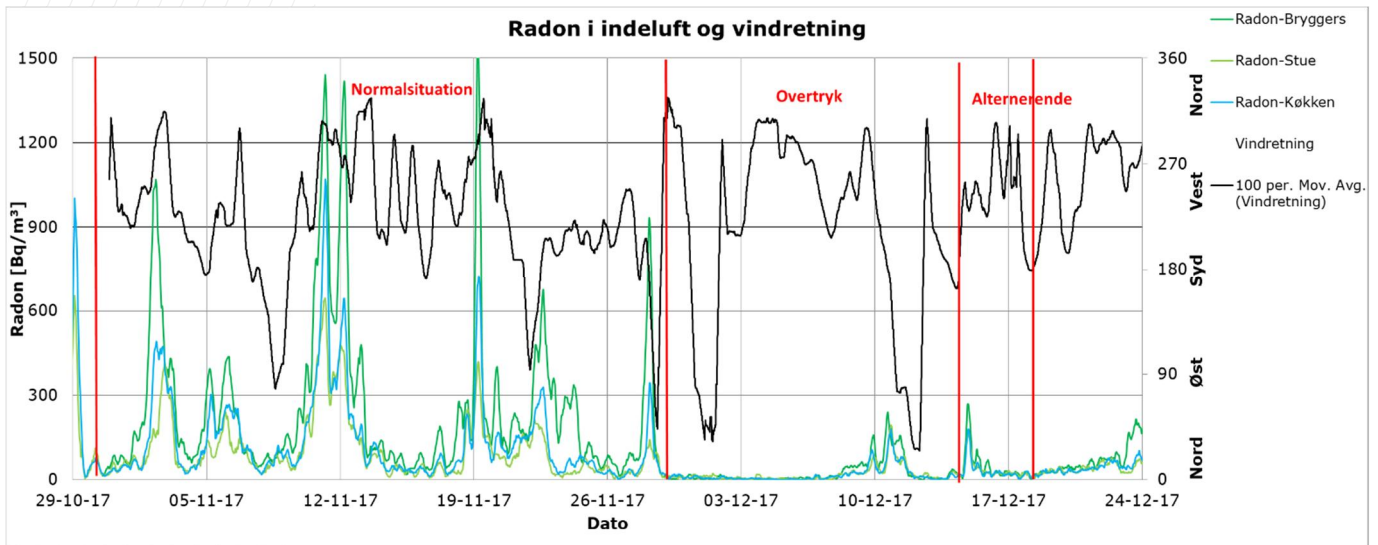
Figur 3.5E: Radon i indeluften og atmosfæretryk.

Der er tilsyneladende sammenfald mellem fald i atmosfæretrykket og stigning i radonindholdet i indeluften som det fremgår af figur 3.5E. De markante stigninger i radonindhold, som er observeret i normalsituationen er alle registreret i perioder, hvor atmosfæretrykket er faldende. Disse perioder hænger ikke sammen med tilsvarende betydende ændringer i differenstrykket over gulvene, hvilket ses af figur 3.5D.

Ændringerne i atmosfæretrykket er ikke nødvendigvis den direkte årsag til radonindholdene. I forbindelse med atmosfæretrykfald observeres også ændringer i vindretning og vindhastigheder jf. figur 3.2A og 3.2B, hvor der ses sammenhæng mellem betydende ændringer i atmosfæretrykket og variationer i vindhastigheden i hele måleperioden. Ved betydende fald i atmosfæretryk ses generelt stigning i vindhastighederne jf. figur 3.2A.



Nedenfor i figur 3.5F er radonindholdet i indeluften vist sammen med vindretning, og her ses en sammenhæng mellem de høje radonkoncentrationer og vind fra nordøst til nordvest.



Figur 3.5F: Radon i indeluft og vindretning.

Variationerne af radonindholdet i indeluften på denne ejendom vurderes derfor at være et resultat af flere meteorologiske faktorer som fald i atmosfæretryk, vindhastighed og vindretning (i dette tilfælde vind fra nordøst til nordvest).

#### 3.5.4 Luftfugtighed og CO<sub>2</sub>

Resultaterne af målinger af luftfugtighed og CO<sub>2</sub> er afrapporteret i særskilt data-notat, der er vedlagt som bilag 2.4.

---

**Bilag 2.4**  
**Viborg, notat om temperatur,  
fugt og CO<sub>2</sub>**

---

Bilag 2.4

IT-Vent

Datanotat omkring måling af temperatur, fugt og CO<sub>2</sub> i Viborg

## 1 Indledning

I forbindelse med undersøgelse af mulighed for etablering af overtryksventilation for at hindre indtrængning af forurening fra terræn er der udført måling af temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub>-niveau i udeklima samt i udvalgte rum/lokationer i ejendommen i Viborg.

Formål med nærværende notat er at dokumentere temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub>-niveau fra nævnte målinger.

## 2 Måleresultater

Data for temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub> er opsamlet i perioden 3. november 2017 til 3. januar 2018 inkl. Opsamlet data fremgår af diagrammer i Appendix 1:.

Opsamlede data viser en periode med følgende udeklima:

Nord

Temperatur: Min: -5,1°C, Gns. 4,0°C, Max. 12,5°C  
Relativ fugtighed: Min: 58 pct., Gns. 86 pct., Max. 94 pct.

Syd

Temperatur: Min: -3,7°C, Gns. 4,6°C, Max. 31,5°C  
Relativ fugtighed: Min: 13 pct., Gns. 83 pct., Max. 94 pct.

Vest

Temperatur: Min: -4,3°C, Gns. 3,7°C, Max. 11,0°C  
Relativ fugtighed: Min: 75 pct., Gns. 99 pct., Max. 100 pct.

Indeklima i bryggers og køkken er generelt præget af højt niveau for temperatur (ofte 24°C eller højere). For relativ fugtighed ses registrering i området omkring 40 pct. frem til d. 25. november, hvorefter den relative fugtighed falder ca. 15 procentpoint i den næste måneds tid. Herefter registreres igen relativ fugtighed omkring 40 pct.

I forhold til CO<sub>2</sub> koncentration varierer denne mellem ca. 425 ppm og 2000 ppm med et gennemsnit på ca. 680 ppm.

I stue og ved flygel ses temperaturniveau på ca. 19-22°C og relativ fugtighed omkring 40-50 pct.

Ved MP6 ses forholdsvis lav temperatur (5-10°C) og meget høj (ofte 100 pct) relativ fugtighed. Et næsten identisk billede ses ved MP7, MP 19 og MP 8. Placering af målepunkter fremgår af Appendix 2:

I bygningen er der tillige målt trykdifferens ved MP1 henover terrændæk . Måle data for trykdifferens henover terrændæk ses på diagrammer i Appendix 3: (gule kurver).

### 3 Vurdering af måling af temperatur og relativ fugtighed i ude- og indeklima samt måling af trykdifferens henover terrændæk

De gennemførte målinger viser et indeklima, hvor der periodevist kan måles en høj koncentration af CO<sub>2</sub>. Dette kunne tyde på at luftsiftede i bygning (via ventilationsåbninger eller generel infiltration/exfiltration) er utilstrækkeligt.

I forhold til en mulig overtryksventilation vurderes loft/tag som værende den mest kritiske konstruktion, idet loft/tag-konstruktion ofte indeholder betydelig mængde organisk materiale (træ i form af spær etc.). I diagrammer i Appendix 3: er vist sammenhængende værdier for målt differenstryk over bygningens terrændæk samt beregnet differens i partialtryk for vanddamp på inderside og yderside af tagkonstruktion.

Bygningens indeklima tilføres vanddamp grundet fugtafgivelse fra mennesker, dyr, planter, fordampning af vand fra tøjtørring, rengøring etc. Da tagkonstruktionens holdbar ikke må forringes er det nødvendigt at retning samt størrelse af fugtstrømme er rimeligvis konstante selv hvis trykforholdene henover bygningens terrændæk ændres.

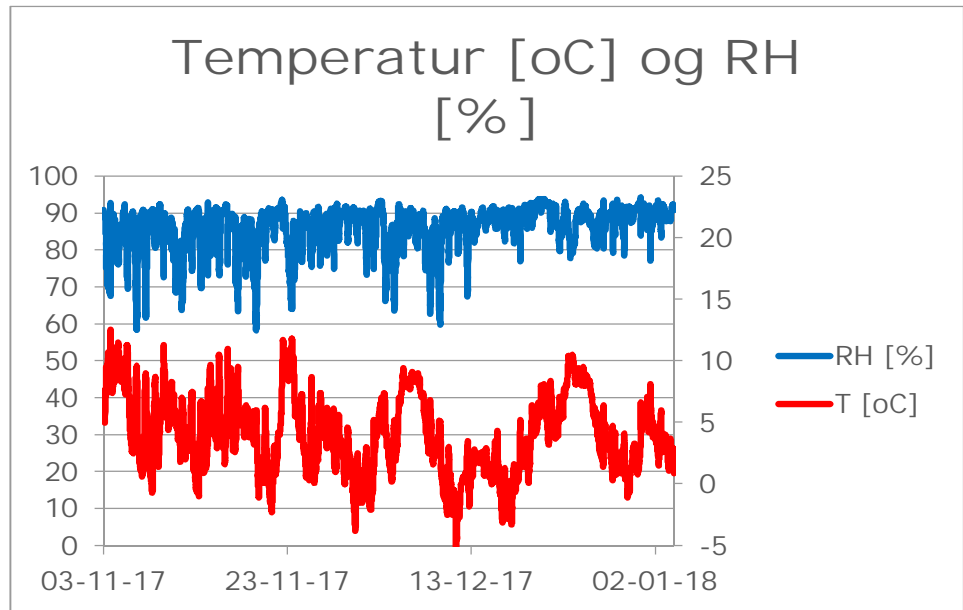
Af diagrammer i Appendix 3: kan ikke ses en sammenhæng mellem trykdifferens henover bygningens terrændæk og størrelse af differens af vanddampes partialtryk mellem inde (loftrum) og ude.

Af diagrammerne kan det derfor ikke ses at ændring af trykforhold henover bygningens terrændæk har indflydelse på fugtforholdene i tagkonstruktionen.

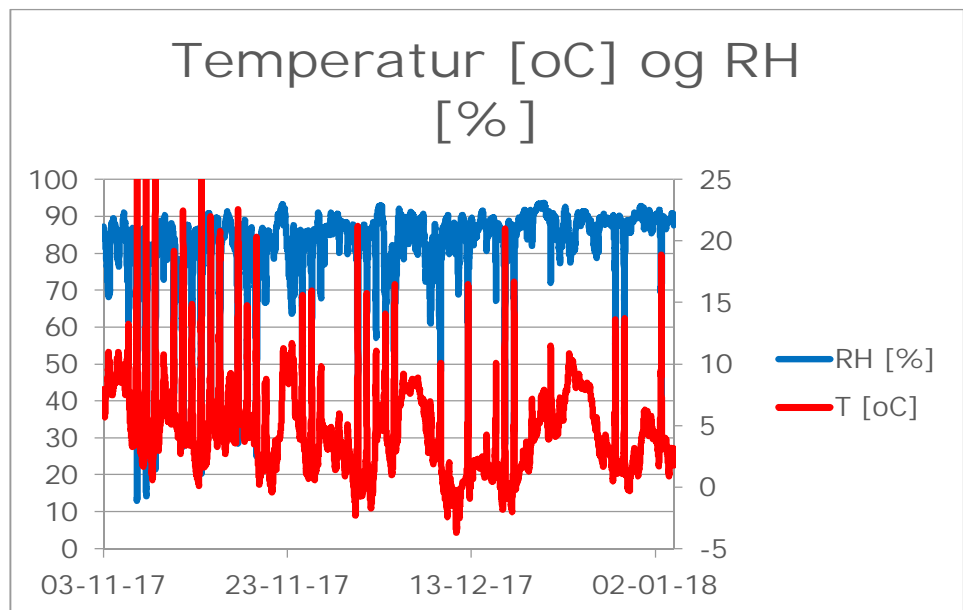
Etablering af svagt overtryk i bygningen kan derfor ikke entydigt frarådes på baggrund af de observerede data.

# Appendix 1: Måling af inde- og udeklima

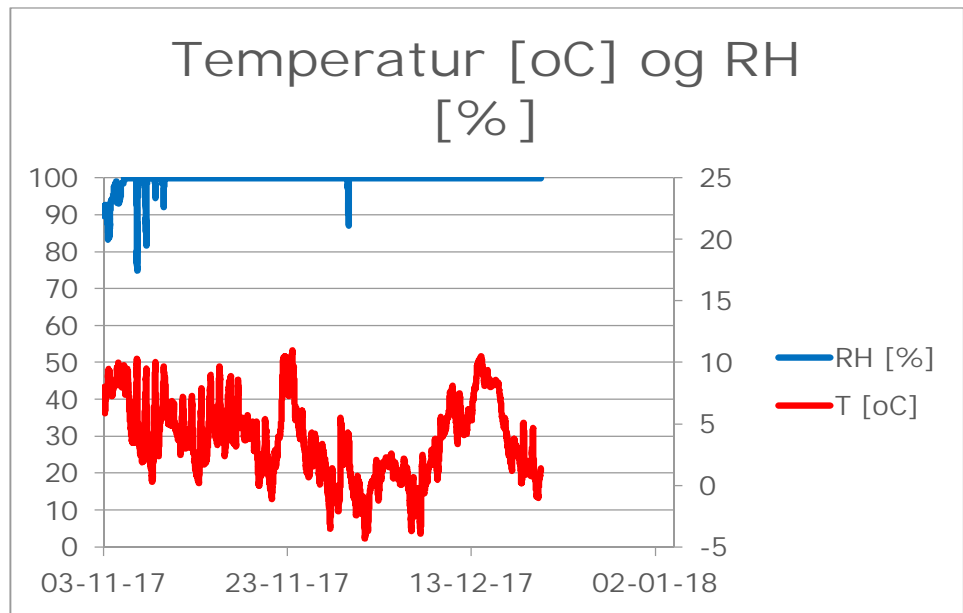
## Udeklima - Nord



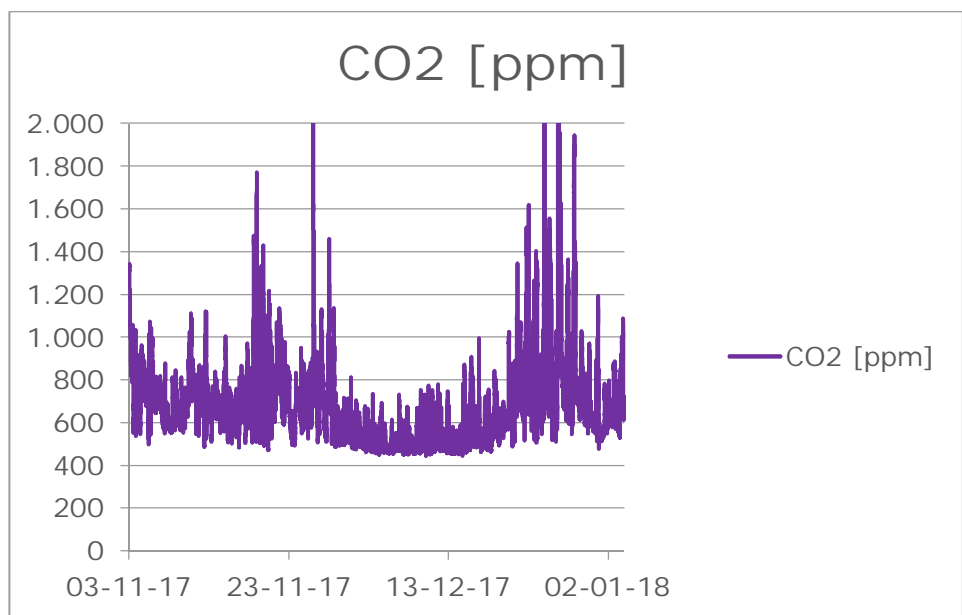
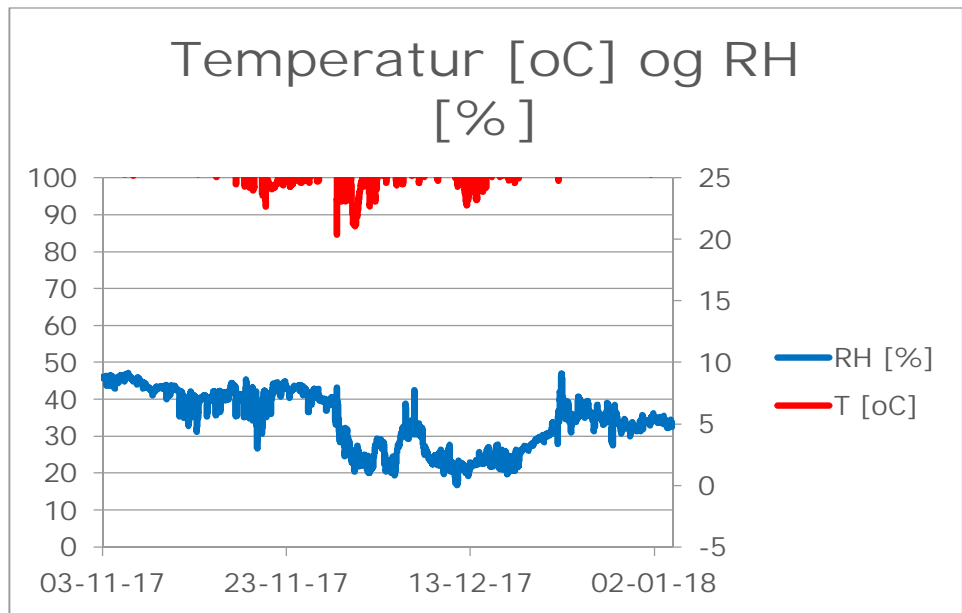
## Udeklima – Syd



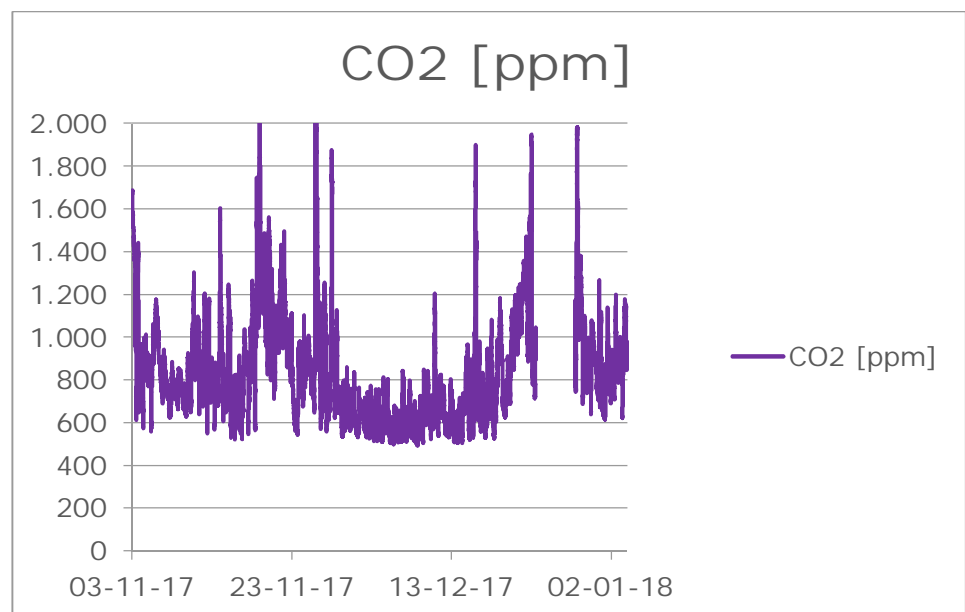
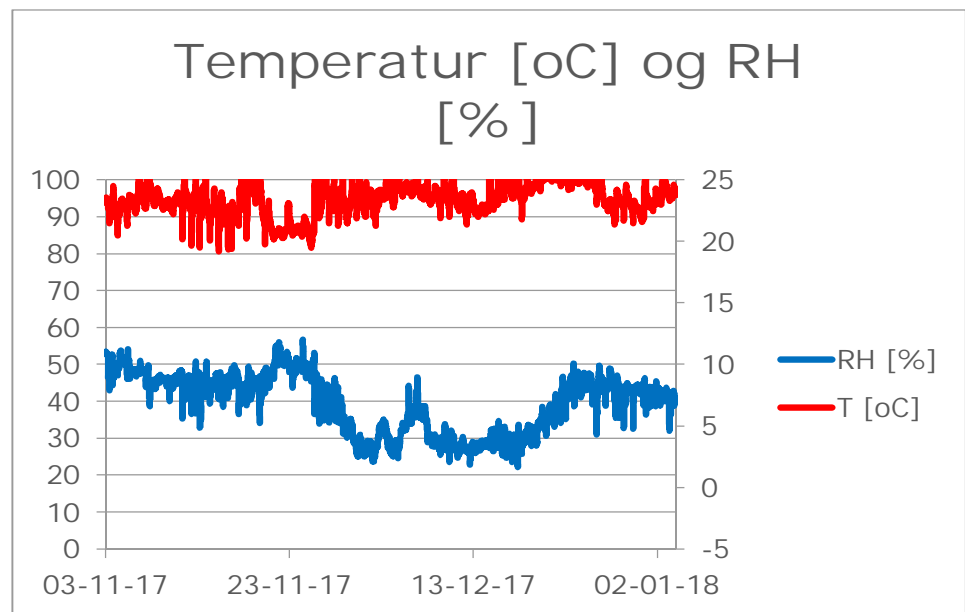
## Udeklima – Vest



## Bryggers (MP4 og CO2 #14)

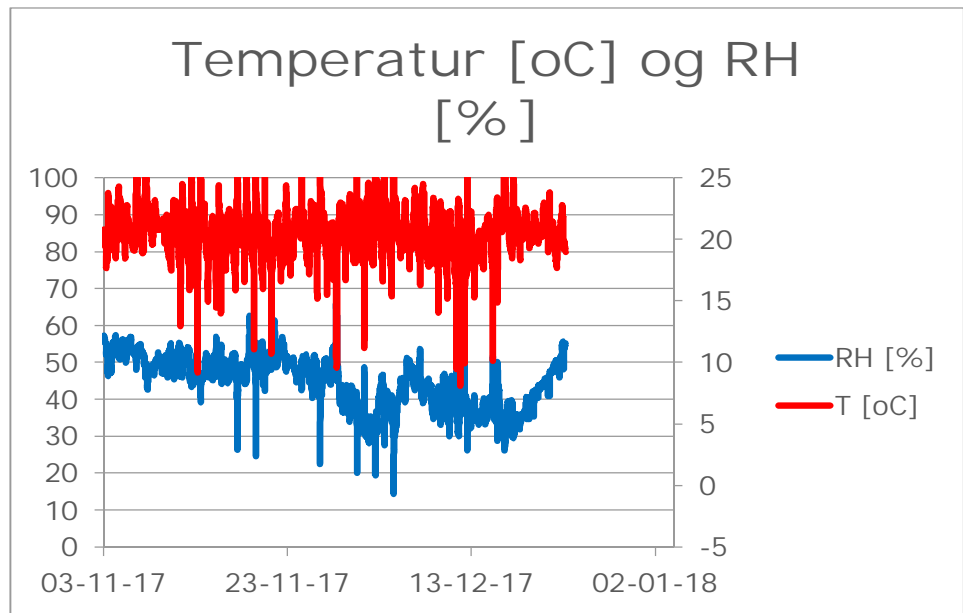


## Køkken (MP1 og CO2 #10)

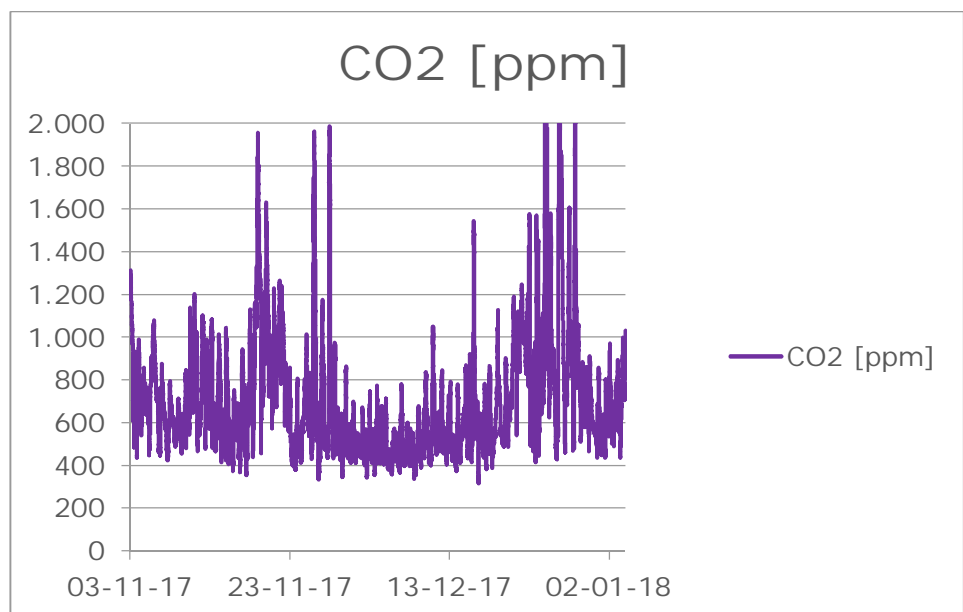
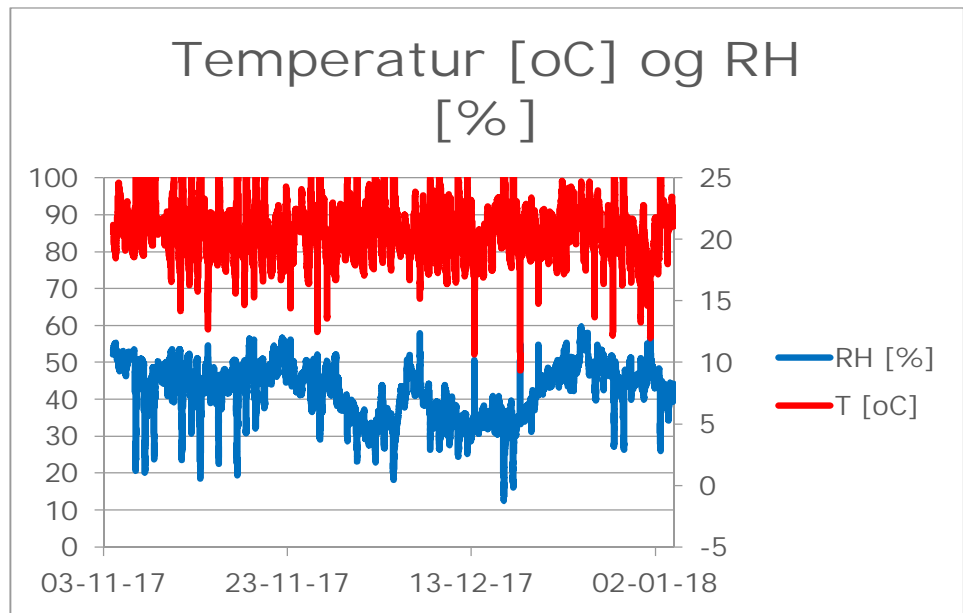




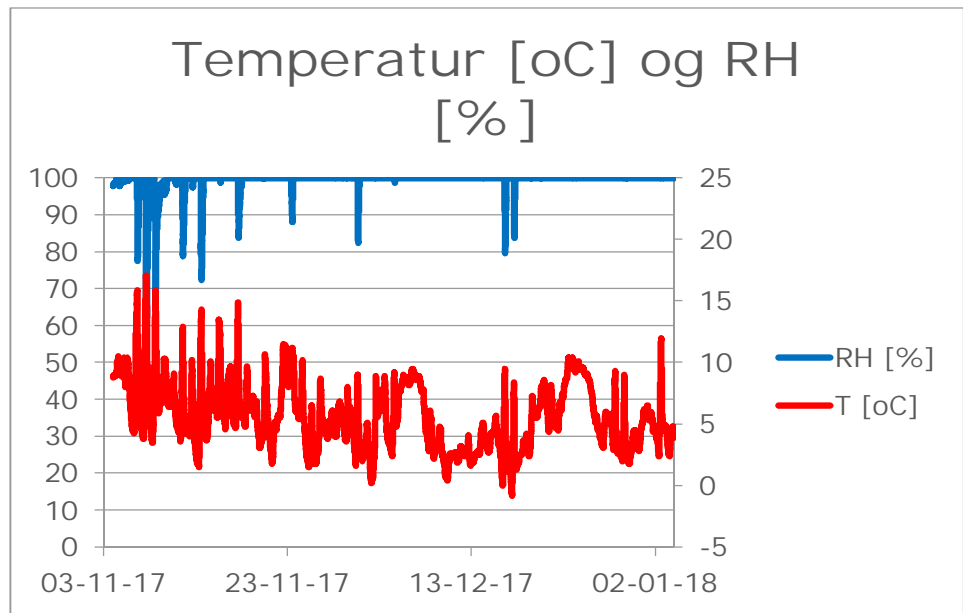
Stue (MP2)



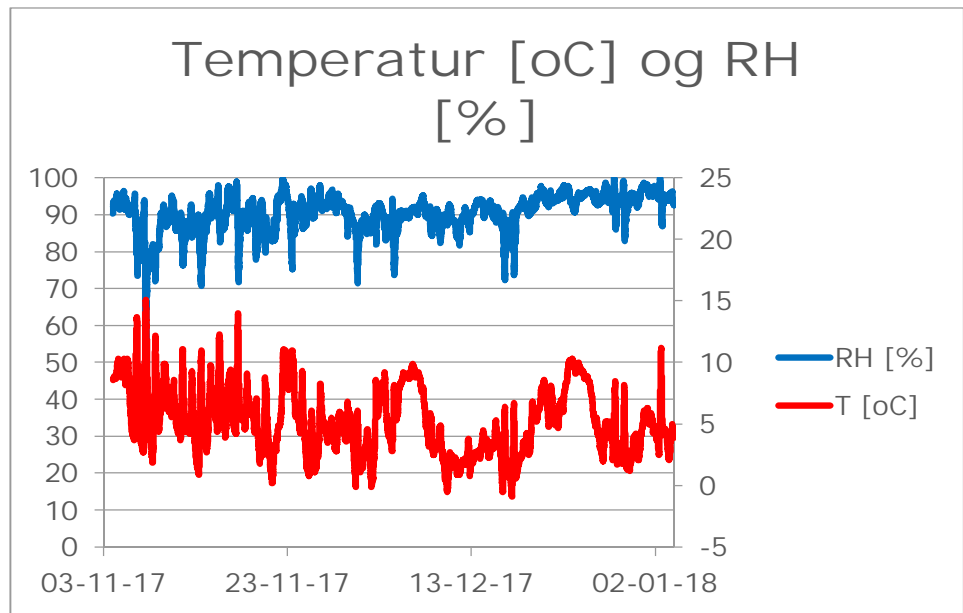
## Flygel (T11 og CO2 på flygel)



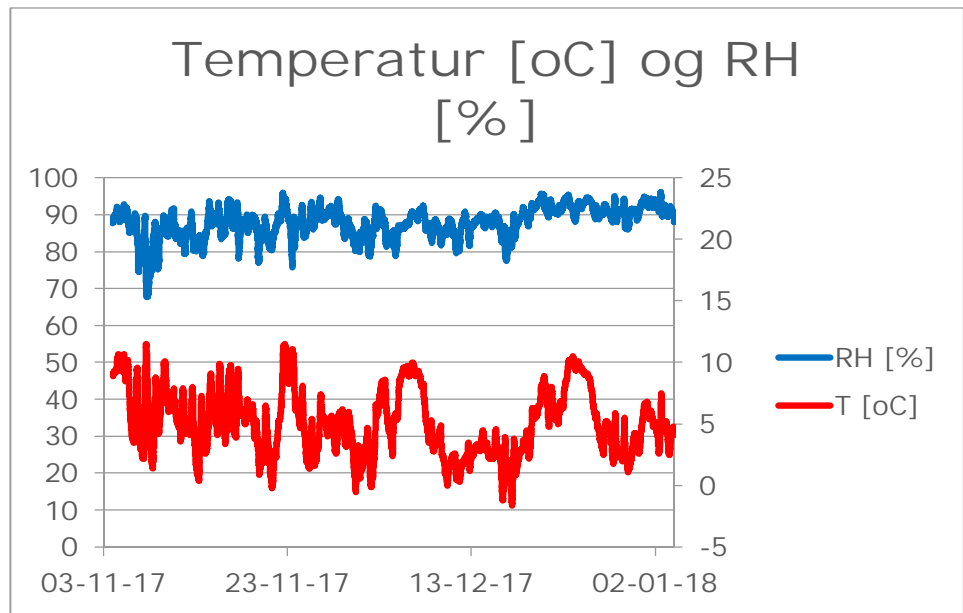
Værelse (MP6)



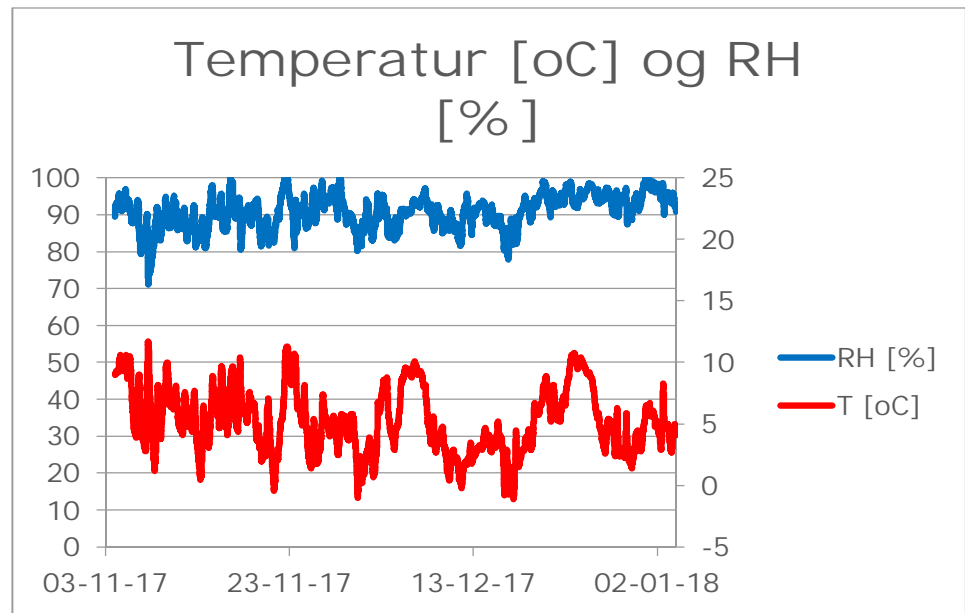
Kontor (MP7)



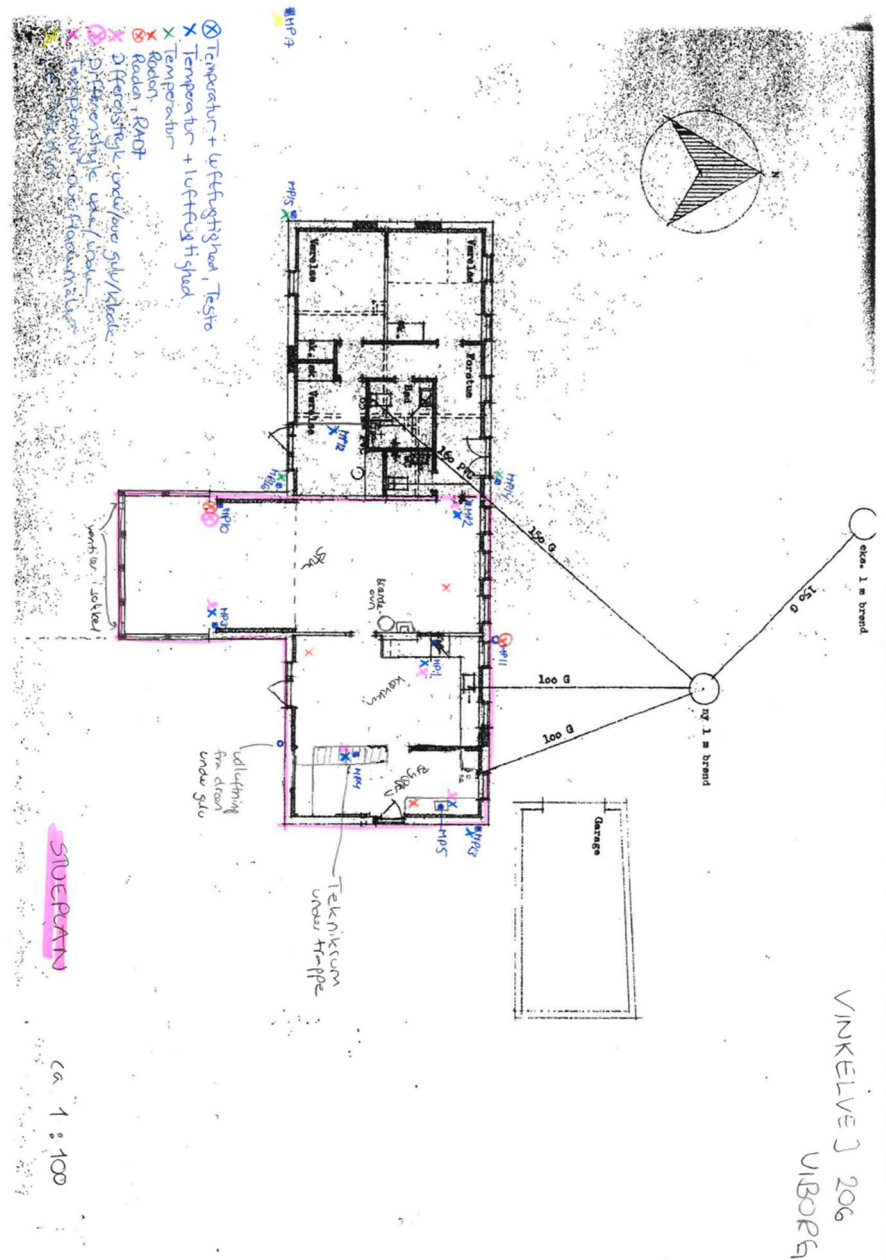
Skunk (MP19)



Ikke navngivet rum, 1. Sal (MP 8)



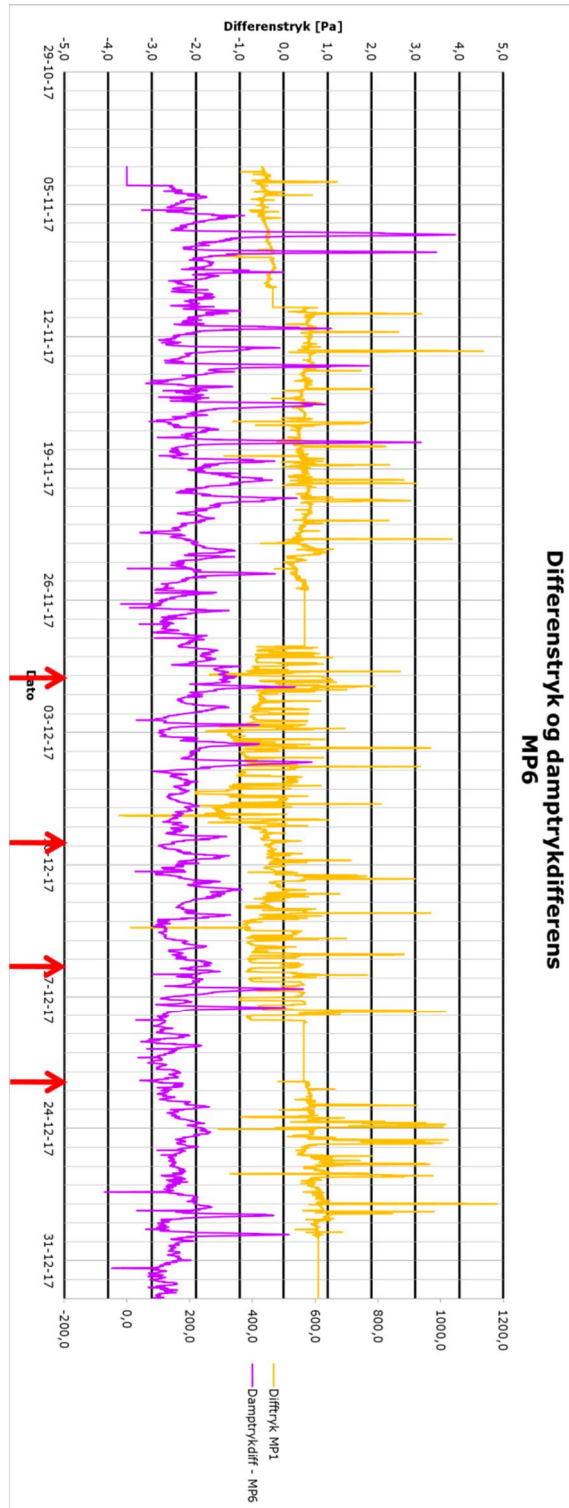
## Appendix 2: Placering af målepunkter



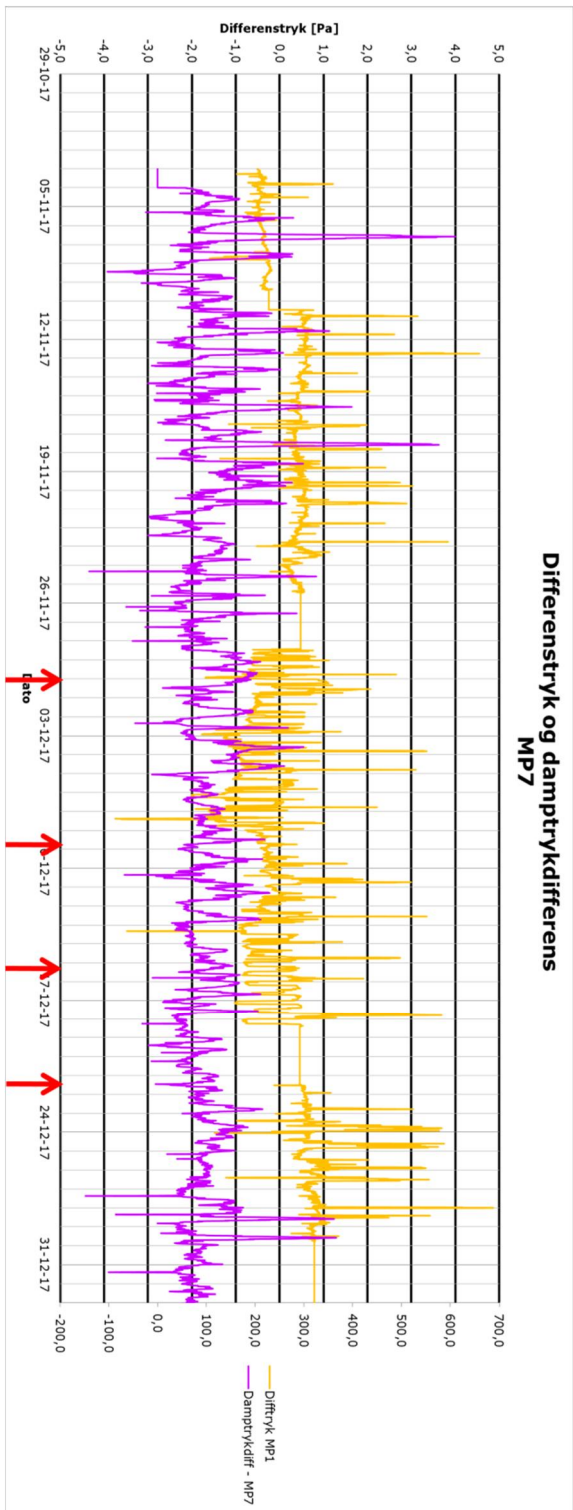




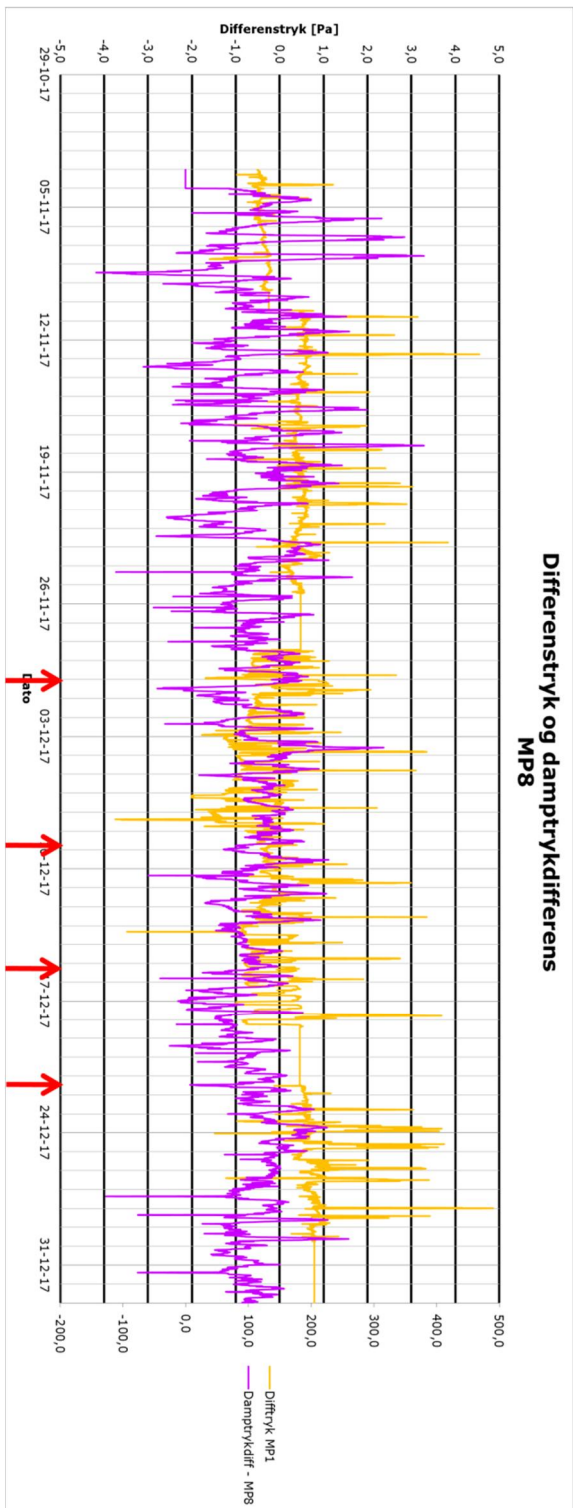
### Appendix 3: Trykdifferens henover terrændæk samt forskel i partialtryk for vanddamp i lofts konstruktion.



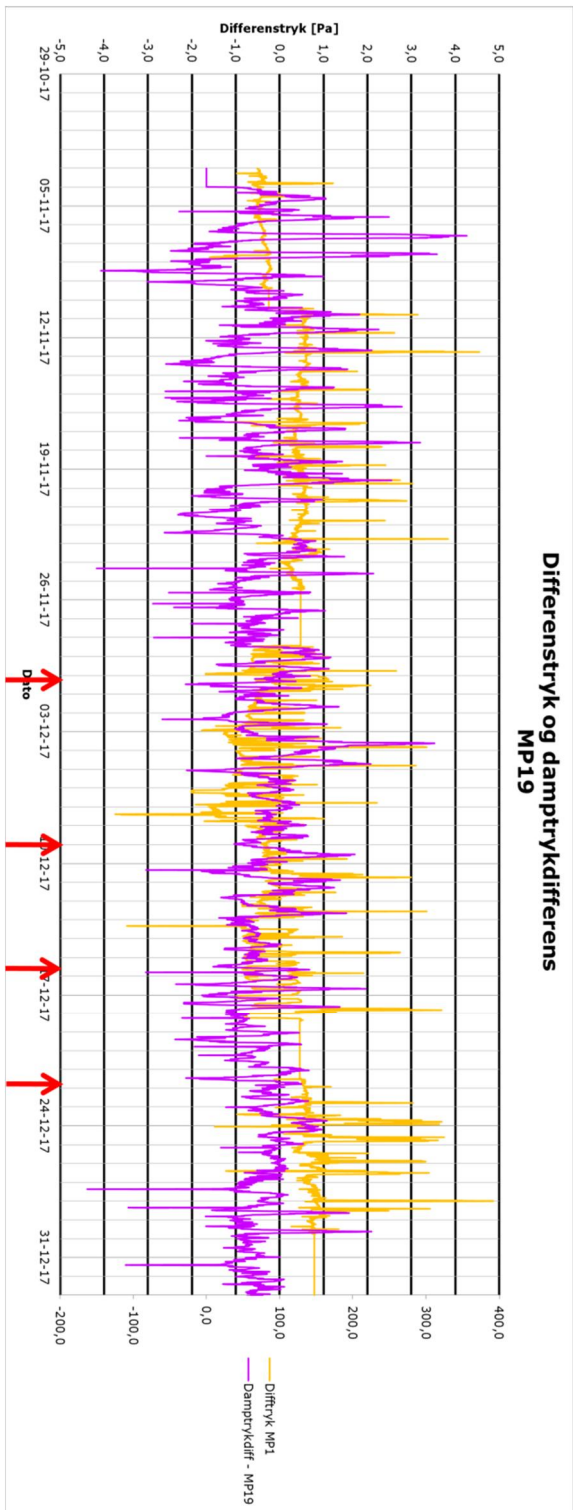
### Differenstryk og damptrykdifferens MP7



### Differenstryk og damptrykdifferens MP8



### Differenstryk og damptrykdifferens MP19

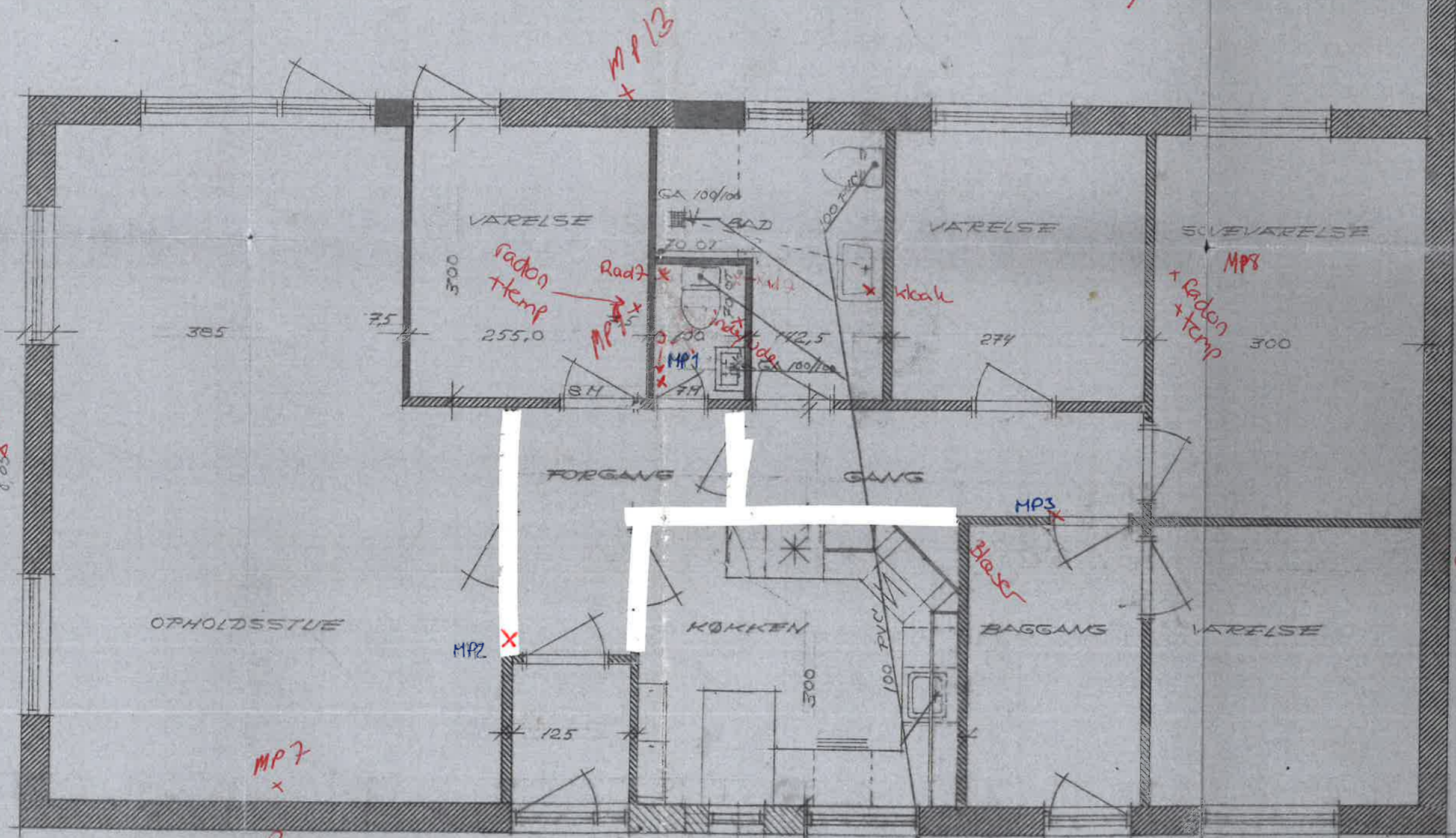


---

**Bilag 3.1**  
**Aalborg, situationsplan**

---

EKSISTERENDE BRUND



GRUNDPLAN EFTER OMBYGNING.

EKSISTERENDE

---

**Bilag 3.2**  
**Aalborg, tæthedsprøvning**

---



Niras A/S  
Østre Havnegade 12  
9000 Aalborg

Møllevej 4A  
8420 Knebel  
www.trykproevning.dk  
tlf. 86356811

19-02-2018

Trykprøvning af: Solhøjsvej 5, 9210 Aalborg SØ

Rapport nr: 20180206-3228



<u>Indholdsfortegnelse:</u>	<u>Side:</u>
Resultat	2
Forklaring til testresultat	4
Blowerdoortest	5
Billede dokumentation	8



# Rapport

Opvarmet (BBR) areal:	125	m <sup>2</sup>
Ejendoms nr.:	284486	
Vejkode:	7665	
Byggeår:	1965	
Status på byggeri:	Afsluttet	
Bygnings type:	Enfamiliehus	
Test dato:	06-02-2018	
Metode:	Bygningen er testet efter DS/EN 13829, BR10, Klimaskærm	
Bygningsreglementets lovkraft:	Der måles på luftskiftet gennem klimaskærmen, ved 50 pa. Lovkravene er: Bygningsreglementet 2010: 1,5 l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup> Bygningsreglementet 2015: 1,0 l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup> Energiklasse 2020: 0,5 l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup>	
Bygningen skal opfylde:	Ingen krav	
	Test ved undertryk	4,33 l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup>
	Test ved overtryk	5,08 l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup>
	Gennemsnit	4,71 l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup>
Resultat:	<b>4,7 l/s pr. m<sup>2</sup> Ingen krav</b>	
Er der afvigelser i forhold til DS/EN 13829:	Nej	
Tester:	Jakob Jensen	
Godkendt:	Vivi Gilsager	



Identitets nr. 3497

# Fakta på testdagen

Metode:	DS/EN 13829, BR10, Klimaskærms vejledninger	
Udvendig temperatur:	-5	°C
Indvendig temperatur:	21	°C
Barometer stand:	1016	hPa
Boligarealet er oplyst fra:	Bygherre	
Vindforhold:	1,6-3,3 m. pr. sekund. Svag vind. Små blade bevæger sig.	
Vejr:	Skyfrit	
Placering af blowerdoor:	Hoveddør	
Ring størrelse ved testens start:	A	
Det er afgørende for resultatet, at den korrekte ring størrelse indtastes i softwaret		
Afdækninger:	Aftræk, emhætte og brændeovn lukket med plastfolie/tape	

Blindmålinger:	Undertryk start	-0,3 Pa
Blindmålingerne skal være under	Undertryk slut	-0,6 Pa
+/- 5 pa. for at opfylde kravene i	Overtryk start	-0,2 Pa
DS/EN 13829:	Overtryk slut	-0,1 Pa

Opvarmning: Fjernvarme

Ventilation: Naturlig

## Anvendt udstyr:

<u>Beskrivelse</u>	Serie nr. og kalibreringsdato
Manometer	SN: 63359 Sidste kontrol 21. juni 2017
Ventilator	SN: CE-5438 Sidste kontrol 21. juni 2017
Anometer	Ikke anvendt
Termo kamera	Ikke anvendt

Kalibreringscertifikater fremsendes ved henvendelse.

# Forklaring til testrapporter

Airflow at 50 Pascals:	Den luftmængde der skal til for at, ændre bygningstrykket til 50 Pa. trykforskel. Lps= l. pr. sekund.  Resultatet afleveres i l. pr. sekund pr. m <sup>2</sup> boligareal (BBR) = lpsm <sup>2</sup>
Leakage Areas:	Canadian EqLA@ 10 Pa = angiver hvor meget luft der går gennem et hul med skarpe kanter, når trykket er 10 Pascal.  LBL ELA@ 4 Pa = arealet af et hul med speciel udformning og der skal gå lige meget luft gennem dette hul, som gennem bygningen ved en trykforskel på 4 Pascal.
Building Leakage Curve:	C = Luftmængdekoeficienten N = Luftmængdeeksponenten Korrelationskoeficient = Er et udtryk for hvor godt de målte Blowerdoor data passer med bygningens beregnede lækagekurve. Jo bedre målingerne ligger på kurven, des nærmere er korrelationskoeficienten på 1. Korrelationskoeficienten bør være mindst være 0,98. Eksponenten skal være mellem 0,5 og 1.  Hvis det er kraftigt blæse vejr eller at ventilatoren er udsat for vind-ændringer, kan det være vanskeligt at foretage målingerne. Dette vil give en større usikkerhed, men betyder nødvendigvis ikke at resultatet er forkert.
Test standard:	Metode nr. på den standard testen udføres efter.
Type of Test Method:	Er altid B i Danmark.
Equipment:	Navnet på udstyret
Test Mode:	Depressurization = Undertryk Pressurization = Overtryk
Regulation complied with:	BR10 = Bygningsreglementes krav om lufttæthed

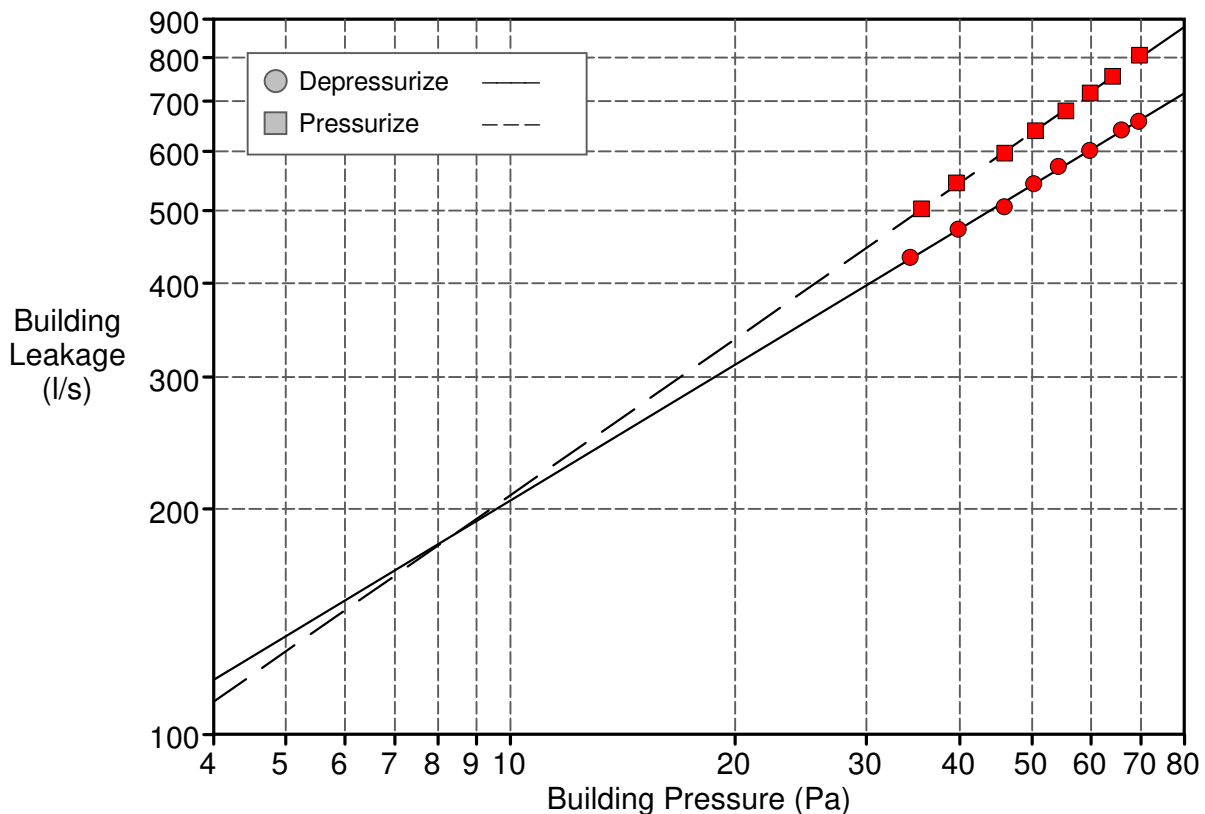


Date of Test: 06-02-2018  
Test File: Solhøjsvej 5 TP 06-02-2018  
Customer:

Technician: JJ  
Project Number:  
Building Address: Enfamilieshus  
Solhøjsvej 5  
Aalborg SØ, 9210

	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
<b>Test Results at 50 Pascals:</b>			
V50: l/s50 (Airflow)	541 ( +/- 0.7 %)	636 ( +/- 0.5 %)	588
n50:			
w50: lps/m <sup>2</sup> (Floor Area)	4.33	5.08	4.71
q50:			
<b>Leakage Areas:</b>			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm <sup>2</sup> )	825.2 ( +/- 4.8 %)	838.3 ( +/- 3.5 %)	831.8
LBL ELA @ 4 Pa (cm <sup>2</sup> )	459.3 ( +/- 7.4 %)	429.6 ( +/- 5.4 %)	444.5
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (Cenv) l/s/Pa <sup>n</sup>	49.6 ( +/- 11.4 %)	42.4 ( +/- 8.3 %)	
Air Leakage Coefficient (CL) l/s/Pa <sup>n</sup>	51.4 ( +/- 11.4 %)	42.4 ( +/- 8.3 %)	
Exponent (n)	0.602 ( +/- 0.029)	0.692 ( +/- 0.021)	
Correlation Coefficient	0.99884	0.99953	

Test Standard: EN 13829  
Test Mode: Depressurization and Pressurization  
Type of Test Method: B  
Regulation complied with:



## BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 06-02-2018 Test File: Solhøjsvej 5 TP 06-02-2018

### Depressurization Test 1:

#### Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
21.0	-5.0	101600.0

#### Pre-Test

#### Baseline Pressure Data

#### Post-Test

Δp <sub>0,1-</sub>	Δp <sub>0,1+</sub>	Δp <sub>0,1</sub>	Δp <sub>0,2-</sub>	Δp <sub>0,2+</sub>	Δp <sub>0,2</sub>
-0.4	0.1	-0.3	-0.6	0.0	-0.6

### Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (l/s)	Adjusted Flow (l/s)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a	n/a				
-70.0	-69.5	87.8	696	658	-0.2	Ring A
-66.3	-65.9	83.1	677	641	0.3	Ring A
-60.2	-59.7	73.3	636	602	-0.1	Ring A
-54.7	-54.2	66.4	606	573	0.9	Ring A
-50.7	-50.3	59.6	574	543	0.1	Ring A
-46.3	-45.9	51.6	535	506	-1.5	Ring A
-40.3	-39.8	44.9	499	472	0.1	Ring A
-34.8	-34.3	37.8	458	433	0.4	Ring A
-0.6	n/a	n/a				

## BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 06-02-2018 Test File: Solhøjsvej 5 TP 06-02-2018

### Pressurization Test 1:

#### Environmental Data

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
21.0	-5.0	101600.0

#### Pre-Test

#### Baseline Pressure Data

#### Post-Test

Δp <sub>0,1-</sub>	Δp <sub>0,1+</sub>	Δp <sub>0,1</sub>	Δp <sub>0,2-</sub>	Δp <sub>0,2+</sub>	Δp <sub>0,2</sub>
-0.4	0.4	-0.2	-0.2	0.2	-0.1

### Data Points:

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (l/s)	Adjusted Flow (l/s)	% Error	Fan Configuration
-0.2	n/a	n/a				
69.5	69.6	107.4	769	806	0.8	Ring A
63.9	64.1	94.2	721	755	0.0	Ring A
59.6	59.8	85.1	685	718	-0.2	Ring A
55.3	55.5	76.0	648	679	-0.6	Ring A
50.3	50.5	67.2	610	639	-0.2	Ring A
45.8	46.0	58.6	570	597	-0.5	Ring A
39.4	39.6	48.6	519	544	0.6	Ring A
35.4	35.5	41.5	480	503	0.2	Ring A
-0.1	n/a	n/a				

# Billede dokumentation



Blowerdoor set inde fra



Blowerdoor set ude fra



Emhætte lukket med tape



Aftræk lukket med tape

---

**Bilag 3.3**  
**Aalborg, datarapport**

---



## Bilag 3.3

## I-Vent

## Datarapport for målinger i bolig i Aalborg

Projekt nr.: 1030960  
Dokument nr.: 1226591686  
Version 1  
Revision

Udarbejdet af WHY/MEVO  
Kontrolleret af  
Godkendt af MNJ

## 1 Indledning

Som en del af I-vent projektet er der lavet målinger i en bolig i Aalborg i perioden februar til maj 2018 (delforsøg 1) samt december 2018 til april 2019 (delforsøg 2). De udførte undersøgelser og resultaterne heraf er præsenteret i dette datanotat under følgende afsnit:

### Afsnit 2: Undersøgelser

- 2.1: Tidsplan for undersøgelser
- 2.2: Måleudstyr og placering af målinger delforsøg 1
- 2.3: Måleudstyr og placering af målinger delforsøg 2

### Afsnit 3: Resultater

- 3.1: Beskrivelse af forsøgsperiode
- 3.2: Vejrforhold
- 3.3: Temperaturforhold
- 3.4: Differenstryk
- 3.5: Radon
- 3.6: Fugtforhold

Boligen har været beboet i undersøgelsesperioden og benyttet stort set uden hensyntagen til de foretagne målinger. Dog har der været installeret en del udstyr på lille badeværelse, hvorfor dette badeværelse kun er benyttet meget lidt i undersøgelsesperioden, for at minimere de direkte forstyrrelser af målingerne. Endvidere er det kun lavet meget begrænset udluftning i perioden.

## 2 Undersøgelser

### 2.1 Tidsplan for undersøgelser

Feltundersøgelserne er udført som beskrevet nedenfor, hvor datoerne er angivet i parentes:

#### Delforsøg 1

- Tæthedsprøvning med blowerdoor og test med overtryk på bygningen (06.02.18)
- Logning af data i normalsituationen, 7 uger (08.02.18-27.03.18)
- Etablering af mekanisk balanceret ventilationsanlæg (27.03.18-03.04.18)
- Logning af data ved overtryk på bygningen, 4 uger (07.04.18-03.05.18)

#### Delforsøg 2

- Logning af data ved forskellige scenarier af ca. 1 uges varighed (17.12.18-30.04.19)
- Sporgasmålinger ved hhv. overtryk, undertryk og slukket anlæg (12.02.19-08.03.19)

Indledningsvis er der gennemført en tæthedsprøvning af ejendommen samt test af, om det er muligt at lave overtryk på bygningen. Efterfølgende er der lavet målinger over en ca. 7 ugers periode, som i det følgende kaldes normalsituation. I denne periode er der ikke foretaget nogen trykpåvirkning af huset.

Under normalsituationen er der arbejdet med løsninger for etablering af overtryk på boligen, da tæthedsprøvning over overtrykstest har vist, at huset er for utæt til, at der kan tilføres kold udeluft som ved de tidligere undersøgte ejendomme. Det er i samarbejde med grundejer besluttet, at etablere et egentligt mekanisk balanceret ventilationsanlæg i boligen. Efter anlægget er etableret, er der gennemført en 4 ugers testperiode, hvor huset er ventileret med en større indblæsning ift. udsugning (delforsøg 1 har luftskifte ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  og flow +50% indblæsning). Forsøget er herefter stoppet og først startet igen til december på grund af årstidens betydning for radonindtrængning i bygninger.

Delforsøg 2 er udført ved en række scenarier af ca. 1 uges varighed med varierende indblæsning og udsugning, for at se effekten på radonindholdet i boligen (delforsøg 2 har luftskifte ca.  $0,6 \text{ h}^{-1}$  og flow +/-20%).

## 2.2 Måleudstyr og placering af målinger delforsøg 1

Det anvendte udstyr til delforsøg 1 er listet i tabel 2.2A, og placering af måleudstyr er beskrevet nærmere efterfølgende samt angivet på situationsplan i bilag 3.1.

Måleparameter	Udstyr	Placering	Indstillet målefrekvens
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	2 målinger ude (MP10-MP11) og 4 målinger inde (MP1, MP7-MP9).	15 minutter
Temperatur, overflade	Testo	2 målinger på overside/underside spær i loftsrummet (MP4, MP6).	15 minutter
Differenstryk	Systronik	2 målinger over/under terrændæk (MP1-MP2).	15 minutter
Radon	Rad7 Corentium Pro	1 måling under gulv (MP18). 3 målinger inde (MP7-MP9).	1 time 1 time
Luftfugtighed og temperatur	Testo T175T3	1 måling ude (MP10), 2 målinger på loftsrum (MP4-MP5) samt 3 målinger inde (MP1, MP7, MP17).	5 minutter
CO <sub>2</sub>	Tinytag TGE-0011	1 måling ude (MP10), 2 målinger på loftsrum (MP4-MP5) samt 3 målinger inde (MP1, MP7, MP17).	3 minutter

Tabel 2.2A: Anvendt feltudstyr til målingerne i bolig i Aalborg – delforsøg 1.

### Temperatur:

Der blev placeret temperaturmålere 4 steder indendørs i boligen sammen med differensstrykloggerne samt på lille badeværelse.

Endvidere blev der placeret temperaturmålere udendørs hhv. nord og øst for huset. Målingerne udendørs blev ligeledes placeret, så de ikke blev påvirket af direkte sollys samt, så vidt muligt, væk fra ydervæggene, da det vurderes, at temperaturen kan påvirkes af kulde/træk ved kuldebroer mv.

### Temperatur, overflade:

Der blev installeret 2 målepunkter til registrering af temperatur på bygningsmaterialer i loftsrummet. Hvert målepunkt har målt temperaturen på overside og underside af et loftsspær.

### Differenstryk:

Der blev indledningsvis installeret 3 målepunkter til registrering af differenstryk over/under gulv i boligen. Målepunkterne blev, så vidt muligt, fordelt jævnt over boligens areal med hensyntagen til husets beboere og deres daglige færden. Målepunkterne blev etableret ved gennemboring af gulvene for at kunne måle trykket under gulvet ift. trykket inde i boligen. For ikke at gennembryde eksisterende gulvbelægninger i boligen blev punkterne flyttet ud langs væggene, hvilket erfaringsmæssigt ikke er helt optimalt ift. måling af differenstrykket. Differenstrykmålingerne blev derfor etableret med poreluftsonde, der er ført ned under klaplaget, for at få bedre målinger. Det var ikke muligt at etablere en sonde i målepunkt MP3, hvorfor dette punkt blev droppet. Loggerne blev placeret så de, så vidt muligt, ikke blev påvirket af direkte sollys i en højde på ca. 30 cm over gulvet.

### Radon:

Inde i huset blev der placeret radonmålere til måling af radonindholdet i indeluften i 3 punkter (stue, soveværelse og værelse). Målerne blev placeret nogenlunde jævnt fordelt rundt i huset.

Endvidere blev der installeret 1 målepunkt under gulv på lille badeværelse for at måle radonindholdet i jorden under bygningen. Afkastluften fra målingen blev ført udendørs via en slange.

### Luftfugtighed:

Der blev målt luftfugtighed jævnt i boligen, i to punkter i loftsrummet samt udenfor rundt om boligen, samme målepunkter som temperaturen.

### CO<sub>2</sub>:

Koncentrationen af CO<sub>2</sub> blev målt i stuen, på det lille WC og i baderum inde i boligen. På loftet blev der målt i to punkter, og udenfor blev der målt i et enkelt punkt i carporten. CO<sub>2</sub>-loggerne har behov for strøm og tåler ikke vand. På grund af udsugning fra vådrum, skønnes luften at være repræsentativ for CO<sub>2</sub>-indholdet i rummene i umiddelbar nærhed af vådrummene.

## 2.3 Måleudstyr og placering af målinger delforsøg 2

På baggrund af resultaterne af delforsøg 1 blev det besluttet, hvilke målinger der skulle udføres i forbindelse med delforsøg 2. Det anvendte udstyr til delforsøg 2 er listet i tabel 2.2B, og placering af måleudstyr er beskrevet nærmere efterfølgende samt angivet på situationsplan i bilag 3.1.

Måleparameter	Udstyr	Placering	Indstillet målefrekvens
Temperatur	ElmaLOG 181TH eller VoltCraft DL-181THP	1 måling ude (MP11) og 1 måling inde (MP7).	15 minutter
Differenstryk	Systronik	1 måling over/under terrændæk (MP1).	15 minutter
Radon	Corentium Pro	2 målinger inde (MP7, MP9).	1 time 1 time
Luftfugtighed og temperatur	Testo T175T3	1 måling ude (MP10), 2 målinger på loftsrum (MP4-MP5) samt 3 målinger inde (MP1, MP7, MP17).	5 minutter
CO <sub>2</sub>	Tinytag TGE-0011	1 måling ude (MP10), 2 målinger på loftsrum (MP4-MP5) samt 3 målinger inde (MP1, MP7, MP17).	3 minutter
Sporgas	PMCH og PMCP	2 forskellige sporgaskilder i hhv. bolig og tagrum samt 12 samplere fordelt ligeledes i bolig og tagrum.	-

Tabel 2.2B: Anvendt feltudstyr til målingerne i bolig i Aalborg – delforsøg 2.

### Temperatur:

Der blev placeret en temperaturmåler i stuen samt en temperaturmåler udendørs øst for huset. Begge målepunkter vurderes, på baggrund af resultaterne fra delforsøg 1, at være repræsentative for vurdering af temperaturredningen over måleperioden for hele ejendommen.

### Differenstryk:

Der blev installeret et målepunkt på lille badeværelse til registrering af differensstryk over/under gulv i boligen. Målepunktet blev placeret med hensyntagen til husets beboere og deres daglige færden, og derfor blev dette målepunkt valgt frem for de øvrige, som er placeret mere centralt i bygningen.

### Radon:

Der blev placeret radonmålere til måling af radonindholdet i indeluften i 2 punkter (stue og værelse).

### Luftfugtighed og temperatur:

Der blev målt luftfugtighed og temperatur i stue, værelse og soveværelse inde i boligen. I tagrummet blev der målt i to punkter, og ude blev der målt i et enkelt punkt i carporten.

### CO<sub>2</sub>:

Det blev målt CO<sub>2</sub> i samme målepunkter som luftfugtighed

### Sporgas:

Der blev placeret to forskellige sporgaskilder i henholdsvis bolig og tagrum:

- Type PMCH-tagrum: 3 stk jævnt fordelt i tagrummet
- Typer PMCP-bolig: 6 stk i alt. 2 stk i stue, 1 i hvert af de 3 værelser og 1 i soveværelse

Der har været placeret i alt 12 samplere. Samplere var fordelt jævnt og med størst mulig afstand til kilderne:

- Stue, 3 stk
- Værelse Vest, 2 stk
- Værelse Midt, 1 stk
- Soveværelse, 2 stk
- Værelset SØ, 1 stk
- Tagrum, 3 stk

## 3 Resultater

### 3.1 Beskrivelse af forsøgsperiode

Den 6. februar 2018 blev der installeret måleudstyr i boligen, som beskrevet i afsnit 2.2.

I perioden 8. februar til 27. marts 2018 målte instrumenterne de forskellige parametre uden anden påvirkning af huset end den daglige brug, herunder bl.a. opvarmning og udluftning (normalsituation).

I perioden 27. marts til 3. april 2018 blev der installeret et mekanisk balanceret ventilationsanlæg i boligen.

#### Delforsøg 1

Første delforsøg blev udført i perioden 7. april til 3. maj 2018 (ca. 4 uger), hvor ventilationsanlægget blev indreguleret med en større indblæsning i forhold til udsugning for at skabe et overtryk i boligen. Anlægget blev endvidere indstillet til fast, manuel drift, hvilket vil sige, at anlægget ikke længere var behovsstyret efter luftfugtighed.

I forbindelse med delforsøg 1 blev der lavet følgende indregulering af anlægget, svarende til et luftsifte i boligen på ca.  $1 \text{ h}^{-1}$ :

Dato	Scenarie	Indblæsning [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	Udsugning [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
07.04.18- 03.05.18	Overtryk	300	200

Tabel 3.1A: Indregulering af anlæg i forbindelse med delforsøg 1.

Forsøget blev herefter stoppet på grund af årstidens betydning for radonindtrængning i bygninger.

#### Delforsøg 2

Andet delforsøg blev udført i perioden 17. december 2018 til 5. april 2019. Forsøget blev udført ved 10 scenarier af ca. 1 uges varighed med varierende indblæsning og udsugning, for at se effekten på radonindholdet i boligen. Anlægget var under hele forsøget indstillet til fast, manuel drift, hvilket vil sige, at anlægget ikke længere var behovsstyret efter luftfugtighed.

I forbindelse med forsøget blev der lavet indreguleringer af anlægget, svarende til et luftsifte i boligen på ca.  $0,6 \text{ h}^{-1}$ :

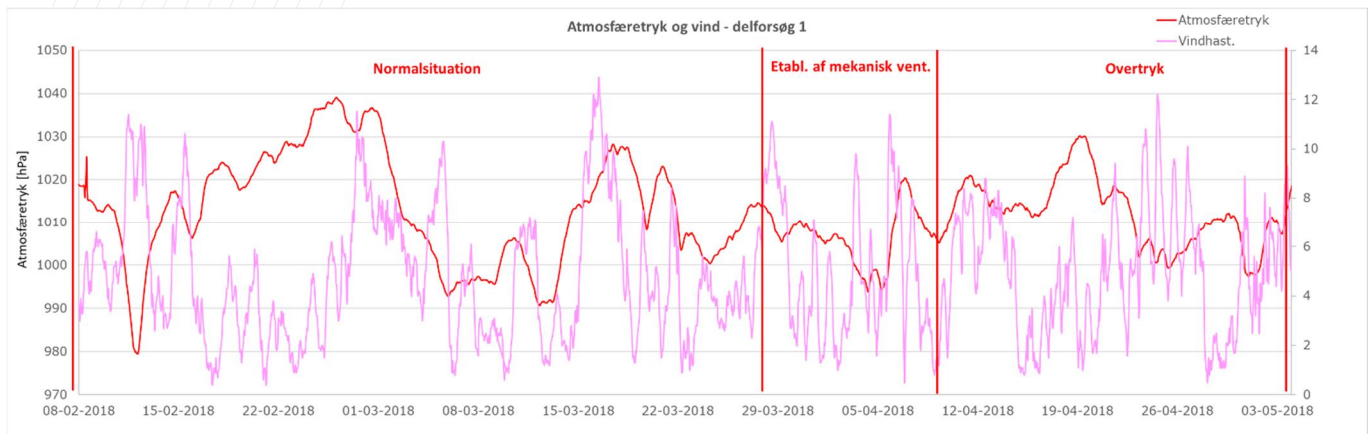
Dato	Scenarie	Indblæsning [m <sup>3</sup> /h]	Udsugning [m <sup>3</sup> /h]
17.12.18- 23.12.18	Undertryk	130	160
23.12.18- 31.12.18	Overtryk	160	130
01.01.19- 06.01.19	Balanceret	160	160
12.02.19- 24.02.19	Balanceret (sporgas)	160	160
24.02.19- 02.03.19	Sluk (sporgas)	0	0
02.03.19- 08.03.19	Overtryk (sporgas)	160	130
14.03.19- 18.03.19	Overtryk	160	130
18.03.19- 25.03.19	Balanceret	160	160
25.03.19- 01.04.19	Undertryk	130	160
01.04.19- 05.04.19	Sluk	0	0

Tabel 3.1B: Indregulering af anlæg i forbindelse med delforsøg 2.

### 3.2 Vejrforhold

I måleperioderne er vejrforholdene registreret med målinger af atmosfæretryk, hvilket fremgår af figur 3.2A og 3.2B for hhv. delforsøg 1 og delforsøg 2. Ved delforsøg 1 er endvidere målt vindhastigheder, hvilket ligeledes fremgår af figur 3.2A. Målinger i atmosfæretryk og vindforhold anvendes i de efterfølgende vurderinger af forsøgsresultaterne for at få et overblik over, hvordan huset er påvirket af de meteorologiske forhold.





Figur 3.2A: Atmosfæretryk og vindhastigheder under delforsøg 1.

Overordnet set vurderes måleperioden med overtryk på baggrund af målingerne af vejrforholdene at være uden de helt store udsving, som vil kunne have uacceptabel stor indvirkning på forsøgsresultaterne.



Figur 3.2B: Atmosfæretryk under delforsøg 2.

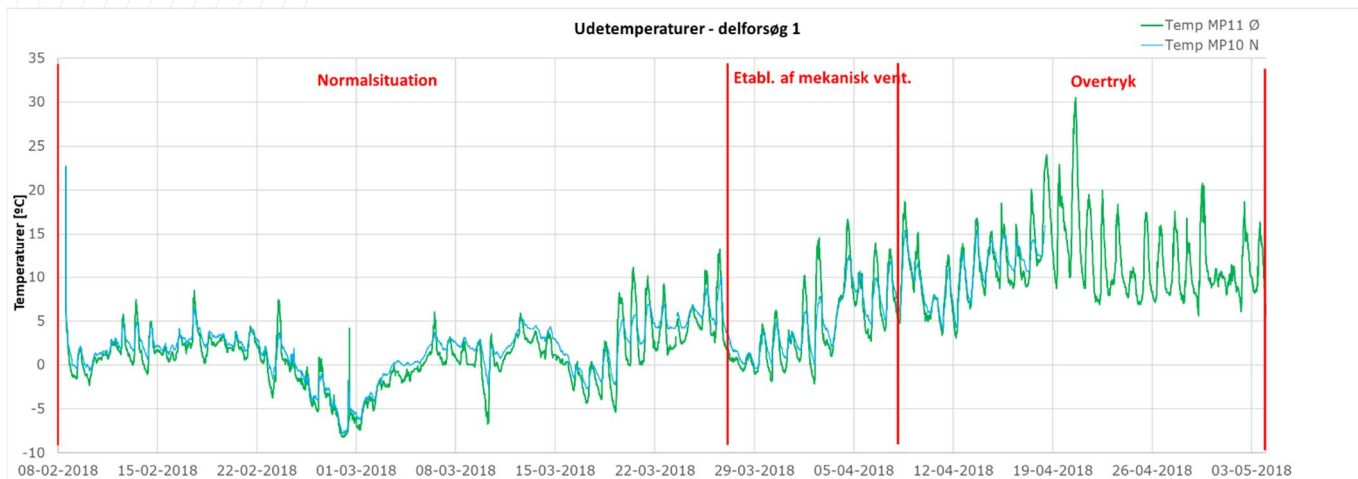
I forbindelse med delforsøg 2 har hvert scenarie haft en varighed på omkring en uges tid. Generelt har der været forholdsvis store variationer i atmosfærisk tryk i i en del af perioden, og især marts måned har været præget af lavt tryk, som kan have betydning for forsøgsresultaterne.

Ændringer i atmosfæretryk er generelt en varsel om skifte i vejret i form af ændrede vind- og temperaturforhold.

### 3.3 Temperaturforhold

#### 3.3.1 Udetemperaturer

Resultaterne af udetemperaturer ses i figur 3.3A og 3.3B for hhv. delforsøg 1 og delforsøg 2.



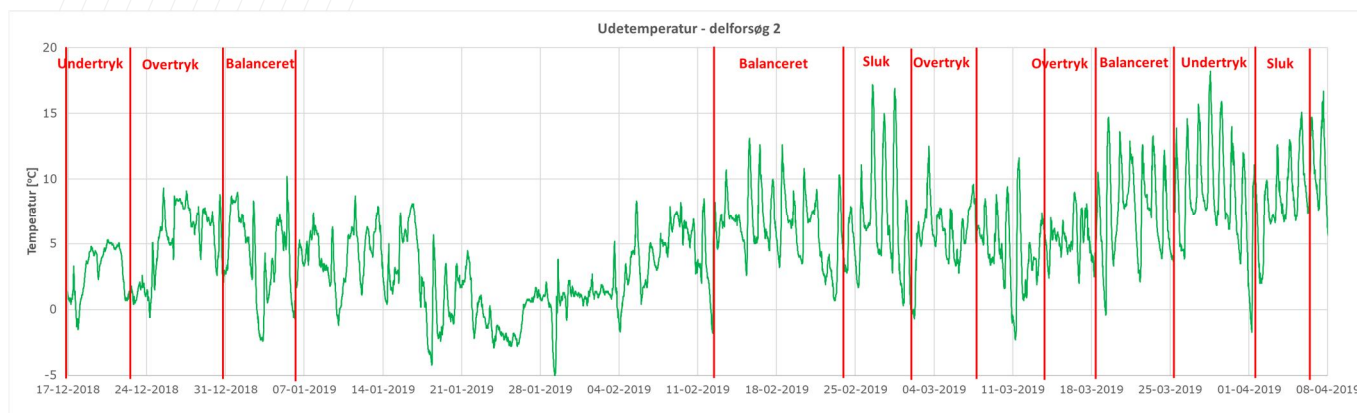
Figur 3.3A: Udetemperaturer målt nord og øst for boligen under delforsøg 1.

I forbindelse med delforsøg 1 blev der målt temperatur udendørs nord og øst for boligen. Instrumentet nord for huset stoppede med at logge d. 18. april, hvorfor der ikke ligger data for den sidste del af perioden i denne måling.

Generelt er der god overensstemmelse mellem resultaterne af de to målinger, dog med større udsving på målingerne øst for boligen. Dette vurderes at hænge sammen med, at instrumentet øst for boligen hænger mere udsat end instrumentet nord for boligen.

På grund af manglende data for instrumentet nord for boligen benyttes fremadrettet temperaturmålingerne udført øst for boligen (MP11) til processering af de øvrige data.

I måleperioden er der målt udetemperaturer fra  $-7^{\circ}\text{C}$  til  $+30^{\circ}\text{C}$ , og der ses tydelige døgnvariationer over hele perioden. Frem til 20. marts ligger udekonzentrationerne nogenlunde konstant, men herefter begynder de at stige langsomt frem til 15. april, hvorefter temperaturerne stagnerer resten af perioden. Overordnet set vurderes måleperioden på baggrund af udetemperaturmålingerne, at være uden de helt store udsving, som vil kunne have uacceptabel stor indvirkning på forsøgsresultaterne. Den løbende temperaturstigning over undersøgelsesperioden vurderes dog at kunne have betydning for sammenligning af resultater i normalsituation og ved overtryk.

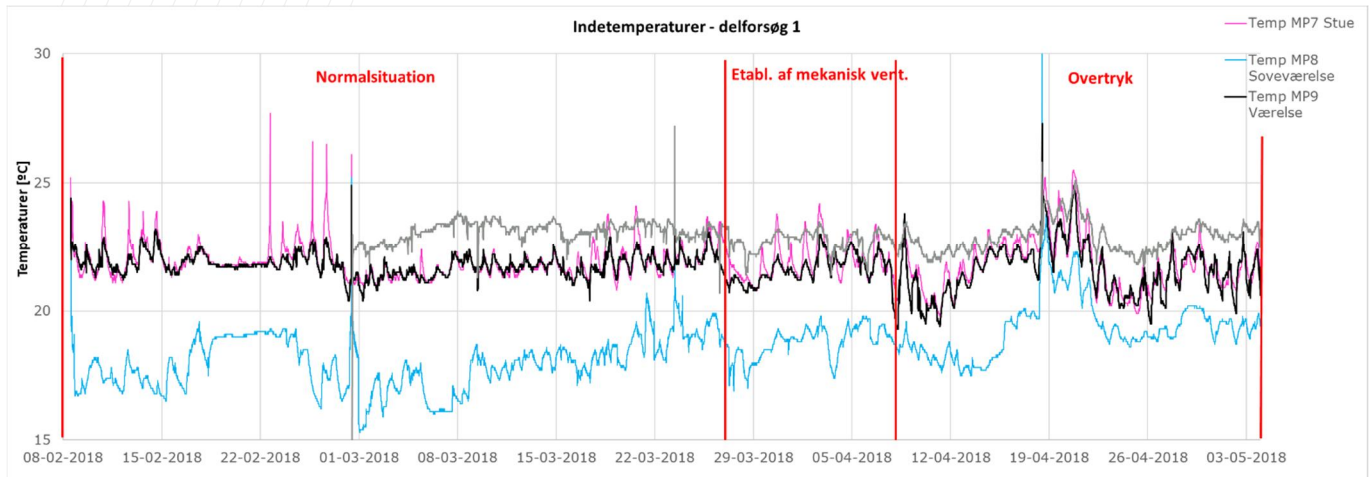


Figur 3.3B: Udetemperaturer målt øst for boligen under delforsøg 2.

I forbindelse med delforsøg 2 er der målt temperatur udendørs øst for boligen. I måleperioden er der målt udetemperaturer fra  $-5^{\circ}\text{C}$  til  $+18^{\circ}\text{C}$ , og der ses tydelige døgnvariationer over hele perioden. Døgnvariationerne er mest tydelige i den sidste halvdel af perioden, hvor dagstemperaturerne er stigende. Overordnet set vurderes måleperioden på baggrund af udetemperaturmålingerne, at være uden de helt store udsving, som vil kunne have uacceptabel stor indvirkning på forsøgsresultaterne.

### 3.3.2 Indetemperaturer

Resultaterne af indetemperaturer ses i figur 3.3C og 3.3D for hhv. delforsøg 1 og delforsøg 2.



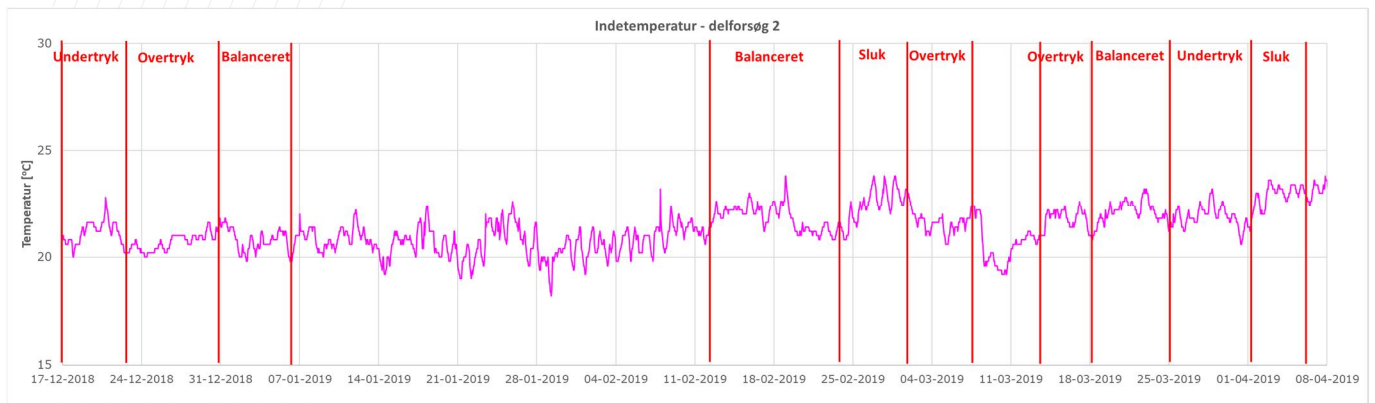
Figur 3.3C: Indetemperaturer målt 4 steder i boligen under delforsøg 1.

I forbindelse med delforsøg 1 blev der målt temperatur indendørs 4 steder i boligen.

Generelt er der god overensstemmelse mellem resultaterne af de udførte målinger i stue og værelse, mens temperaturerne i soveværelset ligger lavere og temperaturerne på det lille toilet ligger højere. Det vurderes, at temperaturerne i stue og værelse er repræsentative for størstedelen af boligen og i det følgende er kun anvendt resultaterne fra målinger i stuen (pink graf).

Der ses nogenlunde konstant temperatur i indeluften i intervallet  $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ , og der ses tydelige døgnvariationer over hele perioden. Døgnvariationerne er størst i den sidste halvdel af perioden, hvilket vurderes at skyldes tilsvarende større døgnvariationer i udelufttemperaturerne jf. figur 3.3A. Pludselig stigninger i indetemperatur vurderes at skyldes anvendelse af ejendommens brændeovn.

Efter etablering af mekanisk ventilation i boligen ses større variationer i indelufttemperaturerne, som ellers har ligget meget konstant tidligere. Det vurderes, at disse ændringer skyldes, at temperaturen i indeluften er mere styret af udelufttemperaturen når anlægget er tændt. Således ses der en svag tendens til, at variationerne i indelufttemperaturerne følger variationerne i udelufttemperaturerne i den periode, hvor der er overtryk i boligen.

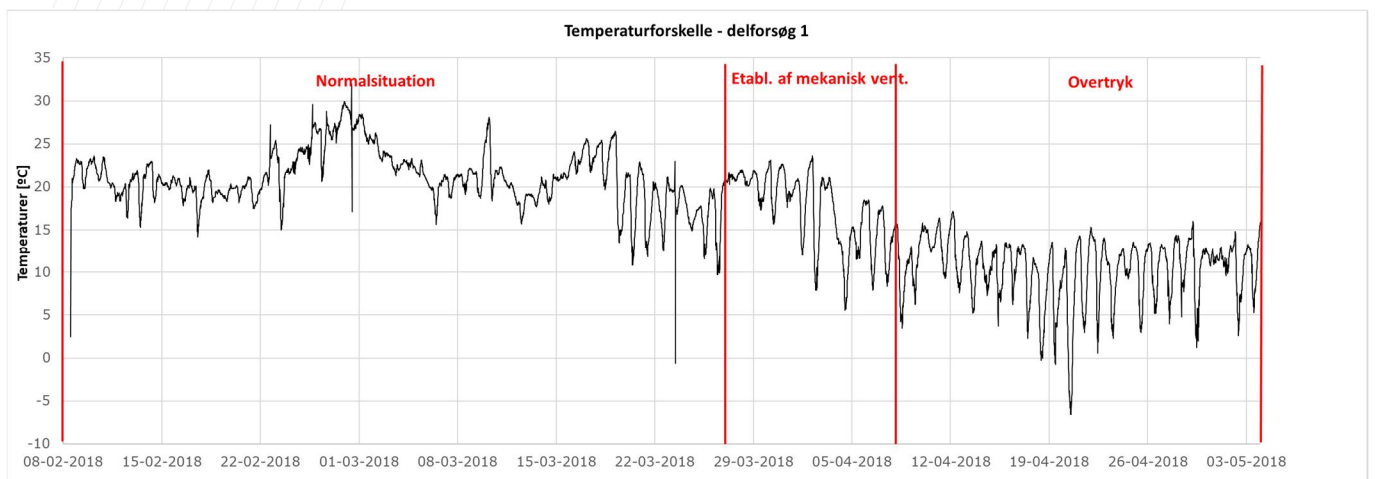


Figur 3.3D: Indetemperaturer målt i stuen i boligen under delforsøg 2.

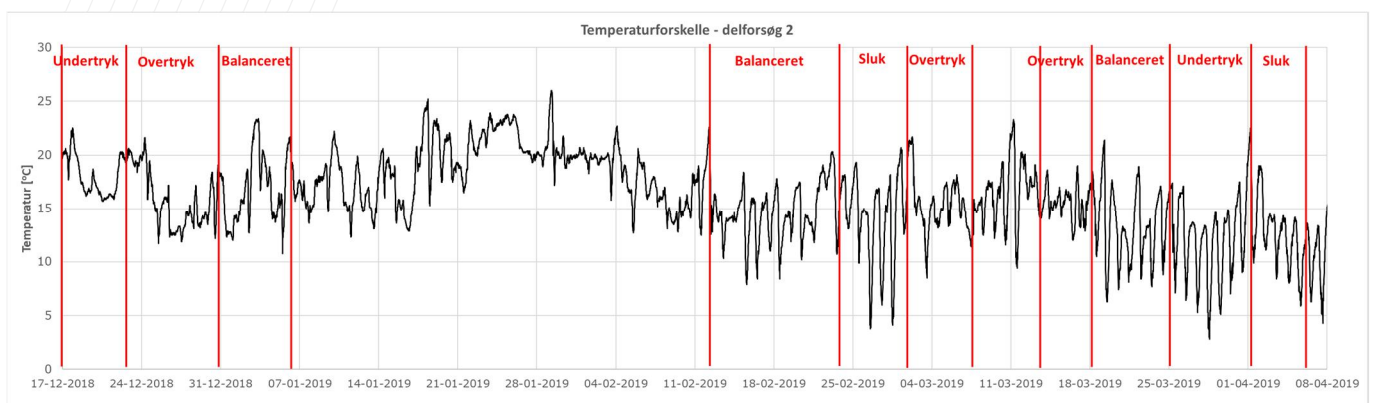
Der ses nogenlunde konstant temperatur i indeluften i intervallet 20-23°C, og der ses tydelige døgnvariationer over hele perioden.

### 3.3.3 Forskel mellem ude- og indetemperatur

Temperaturforskellen er erfaringsmæssigt en af de primært styrende parametre af differensstrykket over gulvet, og temperaturforskellene mellem ude- og indeluften er vist i figur 3.3E og 3.3F for hhv. delforsøg 1 og delforsøg 2.



Figur 3.3E: Forskelle i ude- og indetemperaturer under delforsøg 1.



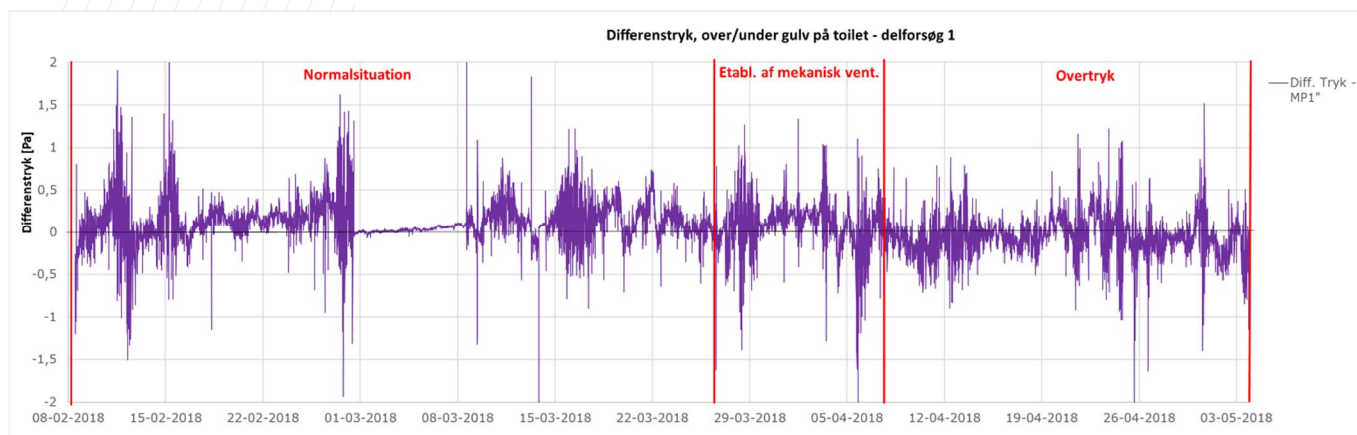
Figur 3.3F: Forskelle i ude- og indetemperaturer under delforsøg 2.

Der er under begge delforsøg målt forskelle mellem ude- og indetemperaturer på op til 30°C. På grund af relativt store svingninger på kort tid (døgnvariationer) i udetemperaturerne ses også tilsvarende store svingninger i temperaturforskellene.

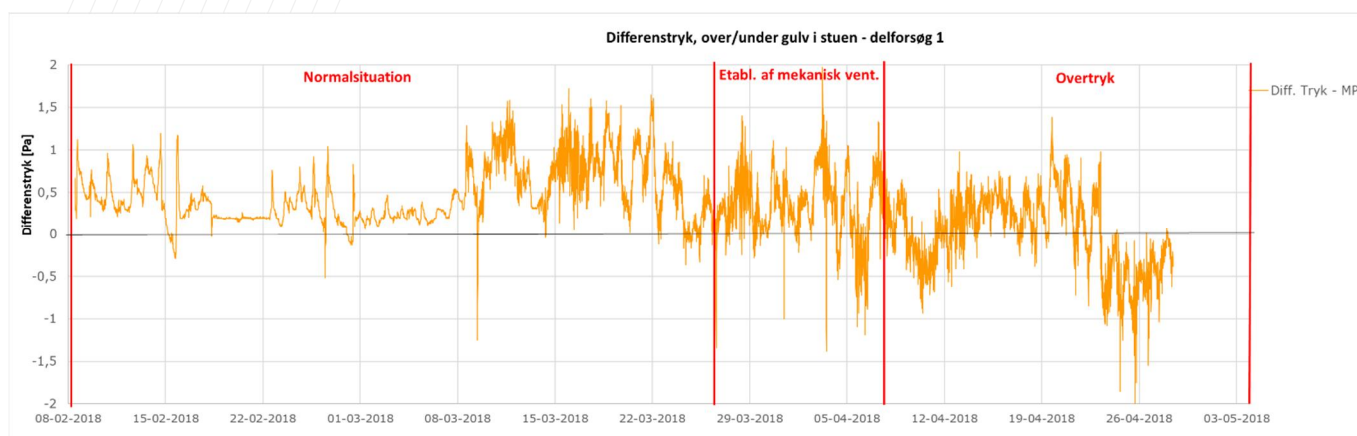
### 3.4 Differenstryk

#### 3.4.1 Differenstryk over/under gulv

Der er målt differenstryk over/under gulv i boligen, og resultaterne ses i figur 3.4A og 3.4B for delforsøg 1 samt af figur 3.4C for delforsøg 2.



Figur 3.4A: Differenstryk over/under gulv på toilettet ved delforsøg 1. Overtryk ved luftskifte omkring  $1 \text{ h}^{-1}$  og flow +50% indblæsning. Positive værdier angiver en opadrettet gradient.

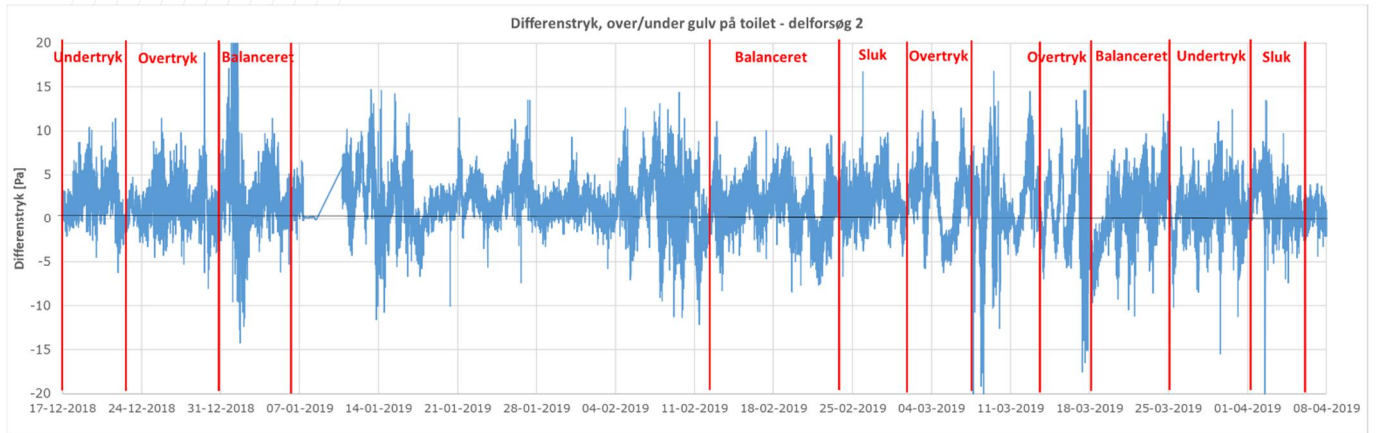


Figur 3.4B: Differenstryk over/under gulv i stuen ved delforsøg 1. Overtryk ved luftskifte omkring  $1 \text{ h}^{-1}$  og flow +50% indblæsning. Positive værdier angiver en opadrettet gradient.

I forbindelse med delforsøg 1 blev der målt differenstryk over gulvet to steder i boligen, hhv. på lille toilet (MP1) samt i stuen (MP2). Målingen på det lille toilet er mindst forstyrret under forsøget, da toilettet kun anvendes minimalt.

I normalsituationen blev der generelt målt positive værdier for differenstrykket, svarende til en opadrettet gradient fra poreluften under gulvet til indeluften. Værdierne svinger generelt omkring et overtryk på +0,2-0,5 Pa på toilettet og +0,5-1 Pa i stuen.

I perioden med kontinuert overtryksventilation (luftskifte ca.  $1 \text{ h}^{-1}$  og flow +50% indblæsning) observeres en mindre ændring i differenstrykket. På toilettet observeres værdier omkring  $-0,2$ - $+0,1 \text{ Pa}$ , og trykgradienten er nedadrettet en stor del af tiden. I stuen er værdierne ligeledes faldet og ligger omkring  $-0,5$ - $+0,5 \text{ Pa}$ .

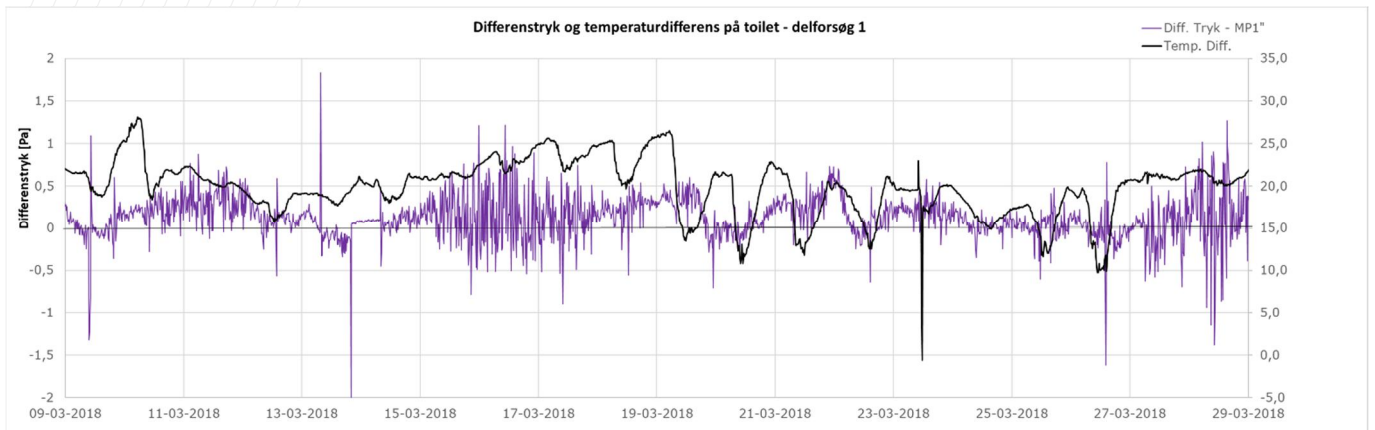


Figur 3.4C: Differenstryk over/under gulv i stuen ved delforsøg 2. Ventilation ved luftskifte omkring  $0,6 \text{ h}^{-1}$  og flow  $\pm 20\%$ . Positive værdier angiver en opadrettet gradient.

Generelt ligger differenstrykket over gulvet i undersøgelsesperioden (luftskifte ca.  $0,6 \text{ h}^{-1}$  og flow  $\pm 20\%$ ) omkring  $0$ - $+5 \text{ Pa}$ , svarende til en opadrettet trykgradient. Der ses ikke tegn på, at trykgradienten ændres ved de forskellige scenarier med hhv. overtryk, undertryk, balanceret samt slukket anlæg.

### 3.4.2 Differenstryk og temperaturforhold

I figur 3.4D er vist differenstryk over/under gulv sammen med forskellen i inde- og udetemperaturerne i en del af normalsituationen for at vurdere, hvorvidt differenstrykket på denne ejendom er påvirket af temperaturforskellen.

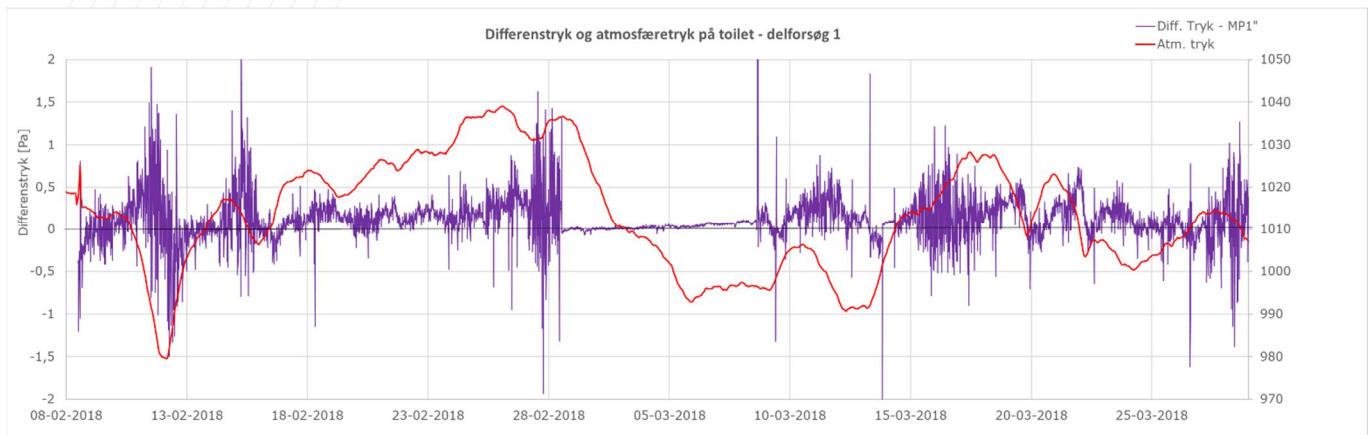


Figur 3.4D: Differenstryk over/under gulv sammen med temperaturforskel mellem inde- og udeluft i en del af normalsituationen. Positive værdier angiver en opadrettet gradient.

Der ses en tendens til sammenfald mellem de overordnede variationer i differensstryk over/under gulv og temperaturforskellen mellem inde og ude, den er dog ikke helt entydig. Den opadrettede trykgradient er størst, hvor udetemperaturen er lavest og temperaturforskellen dermed størst.

### 3.4.3 Differenstryk og vejrforhold

I figur 3.4E fremgår sammenhængende målinger af differenstryk over/under gulv sammen med atmosfæretryk i normalsituationen for at vurdere, hvorvidt differenstrykket på denne ejendom er påvirket af variationerne i atmosfæretryk.



Figur 3.4E: Differenstryk over/under gulv sammen med atmosfæretryk i normalsituationen. Positive værdier angiver en opadrettet gradient.

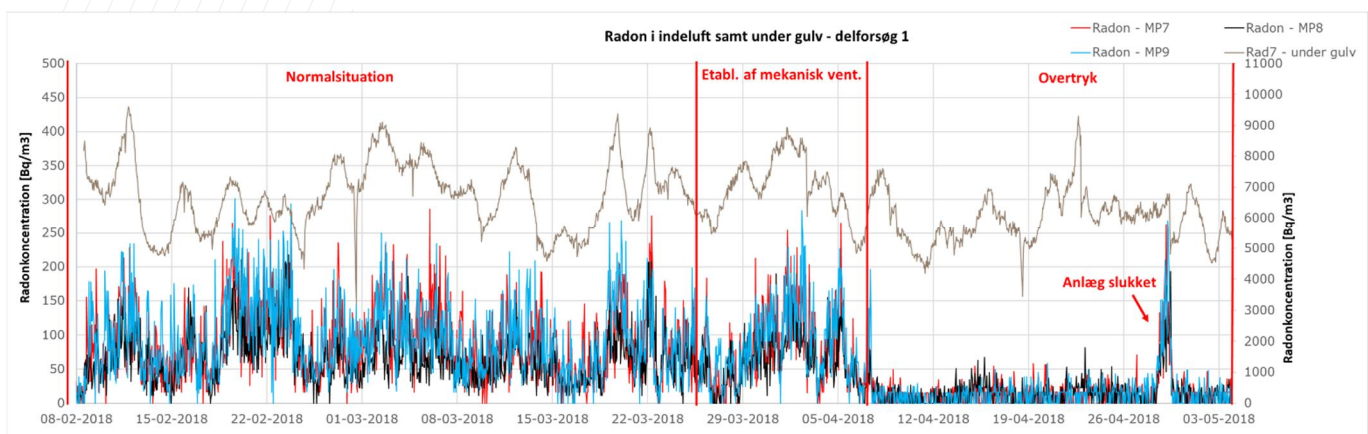
Der ses en tendens til sammenfald mellem de overordnede variationer i differens-tryk over/under gulv og variationerne i atmosfæretryk. I perioder med faldende atmosfæretryk ses der en øget opadrettet trykgradient over gulvet.

Sammenhængen med barometertrykket kan dog oftest kobles med, at atmosfæretrykket er styrende for adskillige meteorologiske parametre som f.eks. vindstyrke og -retning

## 3.5 Radon

### 3.5.1 Radon i indeluft og under gulv

Resultaterne af radonmålinger i indeluft samt under gulv for delforsøg 1 ses i figur 3.5A, mens resultaterne af radonmålinger i indeluft for delforsøg 2 ses i figur 3.5B.



Figur 3.5A: Radon i indeluft og under gulv ved delforsøg 1. Bemærk andet koncentrationsinterval for radonkonc. under gulv på y-akse til højre.

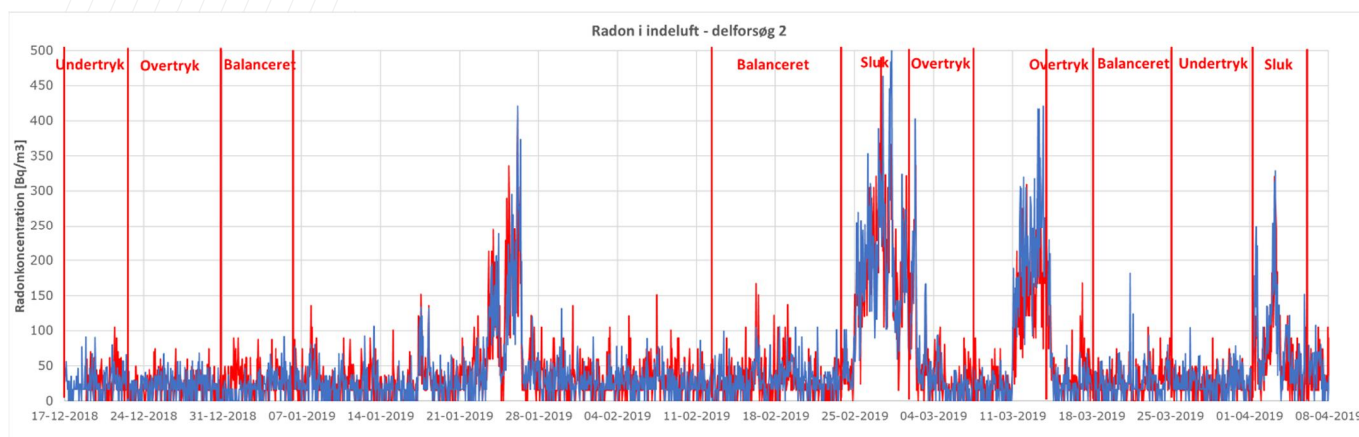
I forbindelse med delforsøg 1 blev der målt radon i indeluften 3 steder i boligen. Endvidere blev der målt radonindhold under gulvet ét sted.

Generelt ses der fin sammenhæng mellem radonmålinger i de forskellige rum i boligen. I normalsituationen er der registreret et radonindhold i boligen omkring 50-150 Bq/m<sup>3</sup> med max. værdier op til ca. 300 Bq/m<sup>3</sup>.

Efter etablering af overtryksventilation (luftsifte ca. 1 h<sup>-1</sup> og flow +50% indblæsning) falder radonniveauet betydeligt i hele boligen. Der ses i denne periode radonkoncentrationer i intervallet 0-30 Bq/m<sup>3</sup>. I en kort periode omkring d. 30. april er anlægget slukket for at se, om der stadig er indtrængning af radon. Der ses ved slukning af anlægget momentant en stigning i radonindholdet i alle målinger med koncentrationer op til ca. 270 Bq/m<sup>3</sup>. Ved start af anlægget igen, reduceres radonindholdet med det samme.

Radonindholdet under gulv i delforsøg 1 ses ligeledes af figur 3.5A, og her ses et indhold af radon under gulvet 6.000-7.000 Bq/m<sup>3</sup>. Der er således en reduktionsfaktor over gulvet i boligen på 50-100 gange. Der ses fin sammenhæng mellem radonindholdet i indeluften og radonindholdet under gulvet, således at en stigning af radon under gulvet også medfører en stigning af radon i indeluften.

I forbindelse med delforsøg 2 blev der målt radon i indeluften 2 steder i boligen.



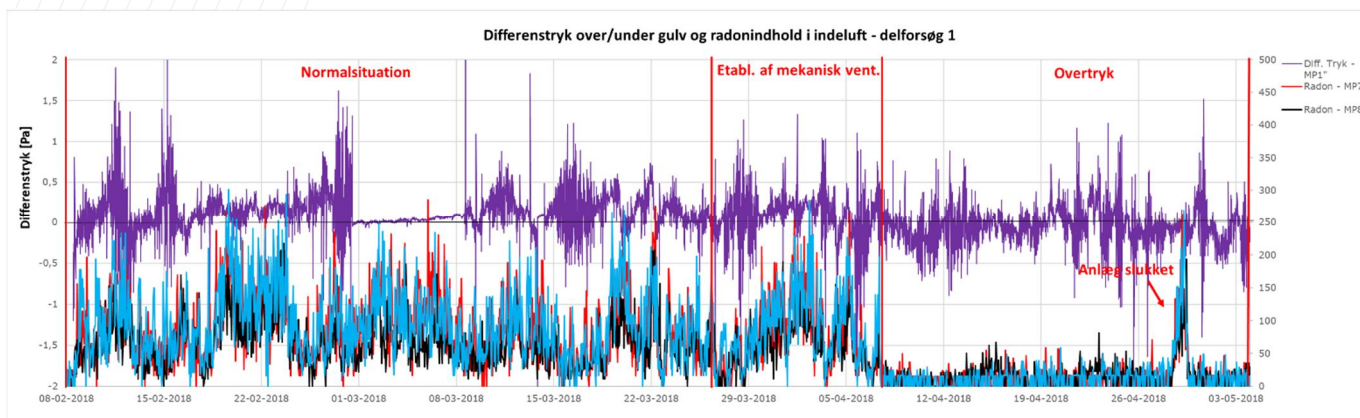
Figur 3.5B: Radon i indeluft ved delforsøg 2.

Ventilationsanlægget har været tændt i størstedelen af delforsøg 2 (luftsifte ca. 0,6 h<sup>-1</sup> og flow +/-20%), og radonindholdet ligger omkring 0-50 Bq/m<sup>3</sup> med enkelte meget korte udsving op til ca. 180 Bq/m<sup>3</sup>. I forbindelse med delforsøg 2 har der været 2 scenarier med slukket anlæg og herudover har der været yderligere 2 perioder med slukket anlæg inden for forsøgsperioden. Alle 4 situationer, hvor anlægget har været slukket, fremgår af figur 3.5B, hvor radonindholdet stiger momentant, og falder igen når anlægget tændes.

### 3.5.2 Radon og differenstryk

I figur 3.5C fremgår sammenhængende målinger af radon i indeluft og differenstryk over/under gulvene for delforsøg 1.





Figur 3.5C: Radon i indeluft og differenstryk over/under gulv ved delforsøg 1.

I normalsituationen ses der ikke umiddelbart en ikke sammenhæng mellem udsving i differenstryk over/under gulvet og indholdet af radon i indeluften. Dog ses der en tendens til, at radonindholdet i indeluften falder i perioder, hvor differensstrykket over gulvet er meget ustabil.

### 3.6 Fugtforhold

For at vurdere risikoen for at der ved overtryksventilation presses fugt ud i konstruktionerne blev fugt og temperaturforhold målt i forbindelse med forsøgene. Derudover er der målt CO<sub>2</sub>-koncentration og der er benyttet sporgasmålingerne til at vurdere hvordan ventilation med overtryk påvirker mængden af luft fra boligen, som presses op til loftrummet. Dette er interessant fordi luften i boligen indeholder fugt, som kan fortættes og give problemer med skimmel i lofts- og tagkonstruktionerne.

#### 3.6.1 Sporgas

Målingerne har til formål at estimere eventuel 2-vejs luftudveksling mellem bolig og tagrum i tre forskellige situationer.

- Situation A: Tændt anlæg – almindelig regulering (balanceret, svagt undertryk)
- Situation B: Slukket anlæg
- Situation C: Tændt anlæg – større indblæsning end udsugning

Hver af de tre målinger er derfor gennemført som 2-zonemåling, dvs. ved anvendelse af to forskellige sporgastyper doseret henholdsvis i boligen (PMCP-bolig) og i tagrummet (PMCH-tagrum). Feltpapirer og resultatrapport fra SBI er vedlagt i bilag 3.4.

Setup'et gør det muligt som supplement at bestemme udelufttilførslen til hver af de to zoner.

I alle tre målinger er der så store luftskifter i tagrummet at koncentrationen af PMCH-tagrum i tagrummet (og i boligen) er særdeles lav og vurderinger baseret på denne gas må derfor ske kvalitativt.

#### Situation A, almindelig regulering med svagt undertryk

PMCH-tagrum forekommer stort set ikke i tagrummet ~ meget høj ventilationsrate i tagrummet.

Højere koncentration af PMCH-tagrum i boligen end i tagrummet ~ normalt indikator for fejlagtig zoneinddeling af måleobjektet, dette er dog undersøgt og er ikke tilfældet. Der overføres luft fra tagrum til bolig.

PMCP-bolig forekommer stort set ikke i tagrummet ~ meget lille overførsel af luft fra bolig til tagrum.

Mest PMCH-tagrum i boligen i denne måling i forhold til de to andre målinger ~ situation med størst overførsel af luft fra tagrum til bolig, hvilket er forventet ved undertryk på ventilationen.

Luftskifter:

- Tagrum ca 14 gange i timen
- Bolig ca 0,6 gange i timen

#### Situation B, slukket anlæg

Forholdsvis høj koncentration af PMCP-bolig i bolig ~ lav ventilationsrate i boligen. Lav koncentration af PMCP-bolig i tagrum ~ der er kun lille overførsel af luft fra boligen til tagrummet.

Marginalt højere koncentration af PMCH-tagrum i tagrummet end i boligen ~ luften i boligen er i høj grad strømmet ind via tagrummet.

Luftskifter:

- Tagrum ca. 5 - 9 gange i timen
- Bolig ca. 0,03-0,12 gange i timen

#### Situation C, reguleret til svagt overtryk

PMCH-tagrum forekommer stort set ikke – hverken i tagrummet eller i boligen ~ stort luftskifte i tagrummet.

Mindst PMCP-bolig i boligen i denne måling i forhold til de andre målinger ~ høj ventilationsrate i boligen.

Større luftudveksling mellem tagrum og bolig, med en nettoluftoverførsel fra tagrum til bolig. Dog stor usikkerhed på målingerne.

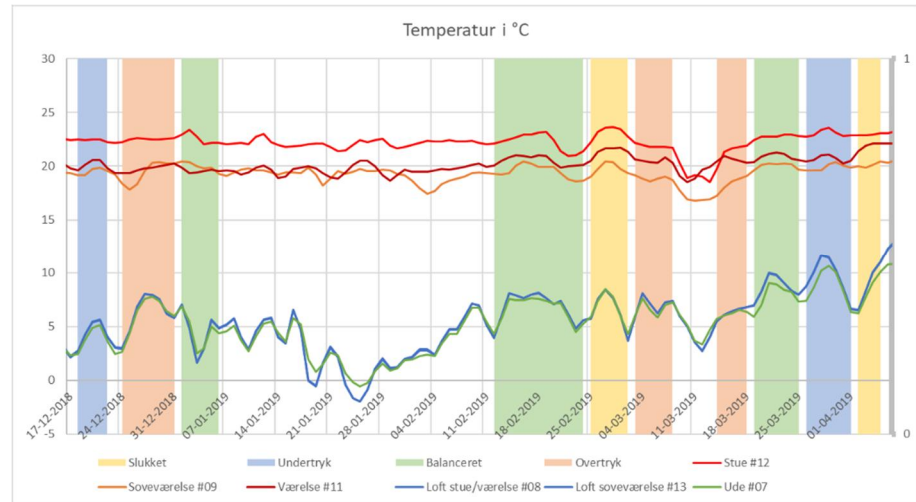
- Luftskifter:
  - Tagrum ca 5 - 15 gange i timen
  - Bolig ca 0,4 – 0,7 gange i timen

Stor usikkerhed på målingerne, da koncentrationen af sporgas på loftet er meget lav.

### 3.6.2 Temperatur og luftfugtighed

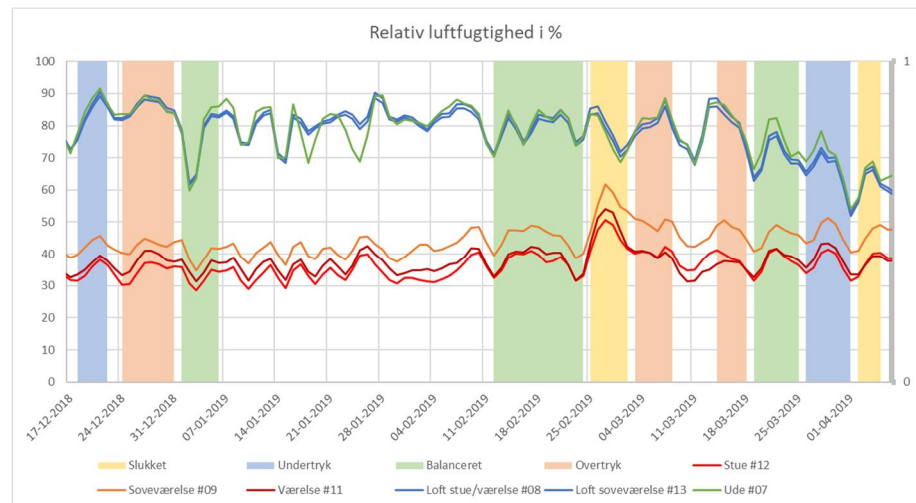
Måleresultaterne i forsøgsperiode 2 er vist herunder.

Figur 3.6A: Målte temperaturer i perioden



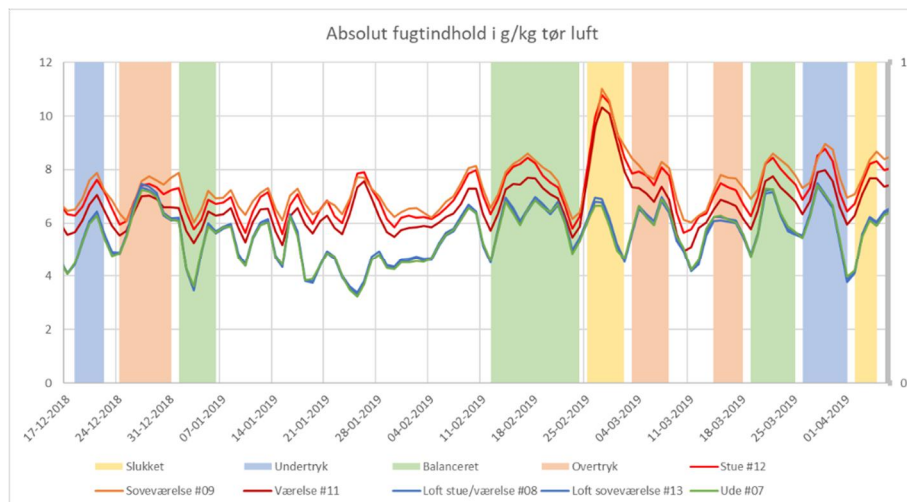
Indetemperaturen er nogenlunde konstant i hele perioden, mens udetemperaturen stiger lidt til sidst. Temperaturen i tagrummet er stort set lig med udetemperaturen.

Figur 3.6B: Målte relativ luftfugtigheder i perioden



Ud fra de målte temperaturer og luftfugtigheder er det absolutte fugtindhold beregnet.

Figur 3.6C: Beregnede absolute luftfugtigheder i perioden

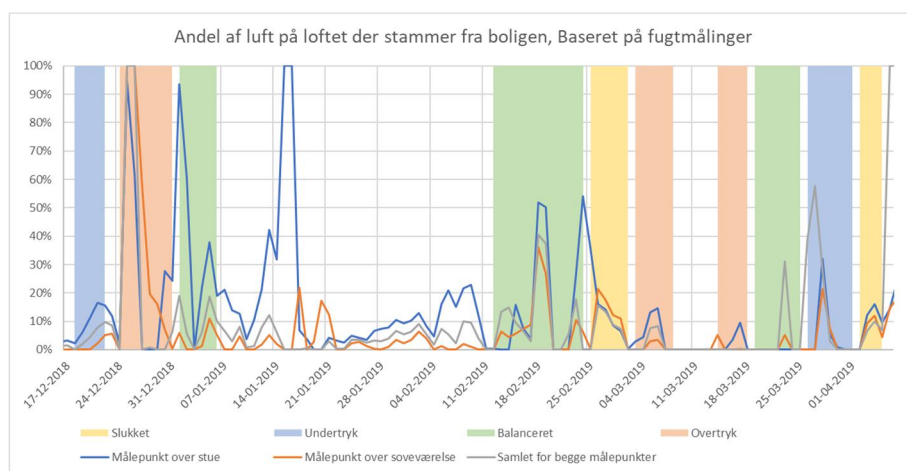


Det absolute fugtindhold i luften i tagrummet og ude er stort set ens i hele perioden. Der er kun meget lille forskel.

I den første periode med slukket anlæg (gul) stiger fugtindholdet i boligen.

Ud fra fugtindholdet kan andelen af boligluft i tagrummet bestemmes.

Figur 3.6D: Andel af luft i tagrummet, der stammer fra boligen

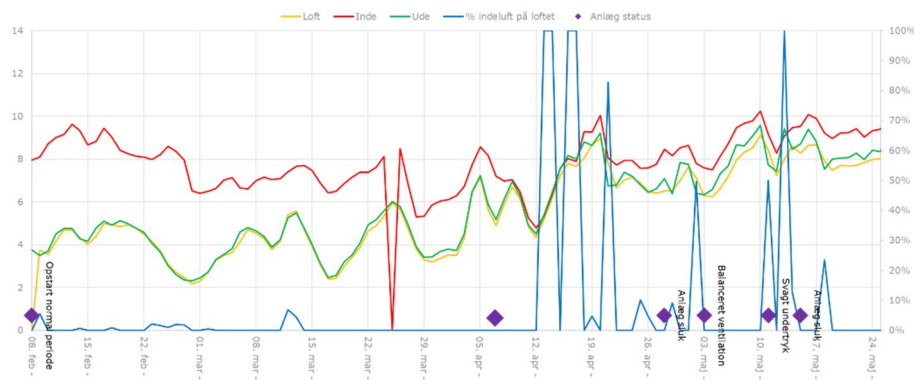


Generelt ligger andelen af luft fra boligen i tagrummet lavt, hvilket stemmer overens med at sporgasmålingerne viser, at der er et stort luftskifte i tagrummet. Beregningerne viser dog meget store udsving, hvilket skyldes at forskellen mellem fugtindholdet i tagrummet og ude kun er meget lille, faktisk så lille at den kommer indenfor måleusikkerheden på udstyret. For at minimere usikkerheden har alle loggerne ligget samme sted i en periode, hvorefter dataene er kalibreret i forhold til at vise det samme for denne periode. Beregningen af andelen af luft fra boligen i tagrummet er dog stadig behæftet med stor usikkerhed.

Der er ses ikke nogen konsekvent sammenhæng mellem hvordan ventilationsanlægget har været styret og andelen af luft fra boligen i tagrummet.

For måleperiode 1 er de beregnede absolutte fugtindhold samt andel boligluft på loftet vist herunder.

Figur 3.6E: Fugtmålinger fra periode 1

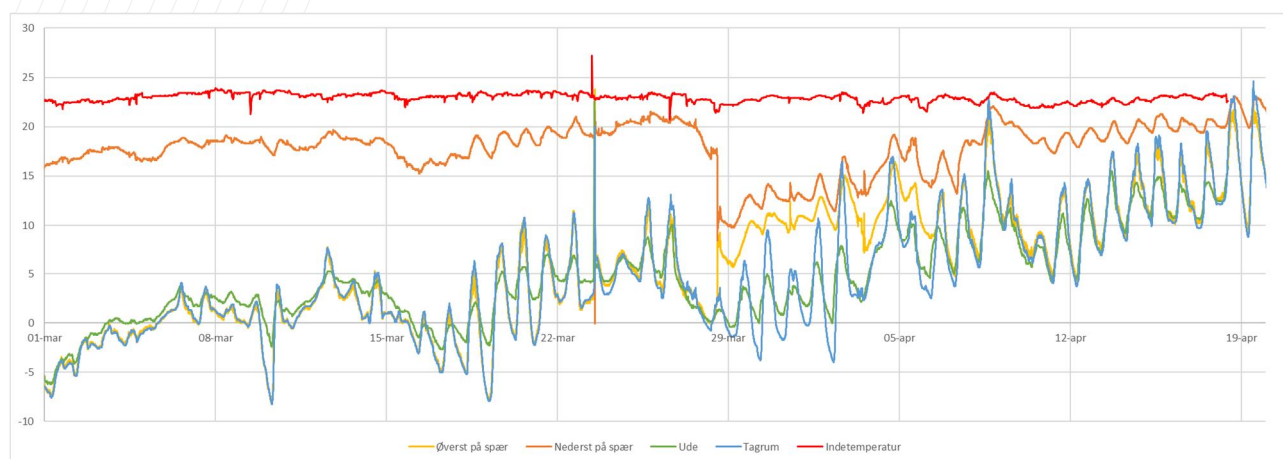


Som for målingerne i periode 2 ses stort set samme fugtindhold i tagrummet som ude. Da anlægget kom i drift i starten af april steg fugtindholdet ude, fordi vejret blev varmt, det er derfor svært at benytte forskellene i fugtindhold til beregningerne. Dette var medvirkende årsag til at der blev gennemført en ny måleperiode.

I den første måleperiode blev der målt overfladetemperaturer på over- og underside af et spær i tagrummet for at vurdere risikoen for skimmel i tagrummet.

Herunder er temperaturmålingerne vist sammen med målinger af lufttemperaturen i boligen, tagrummet og ude.

Figur 3.6F: Temperaturmålinger fra første måleperiode

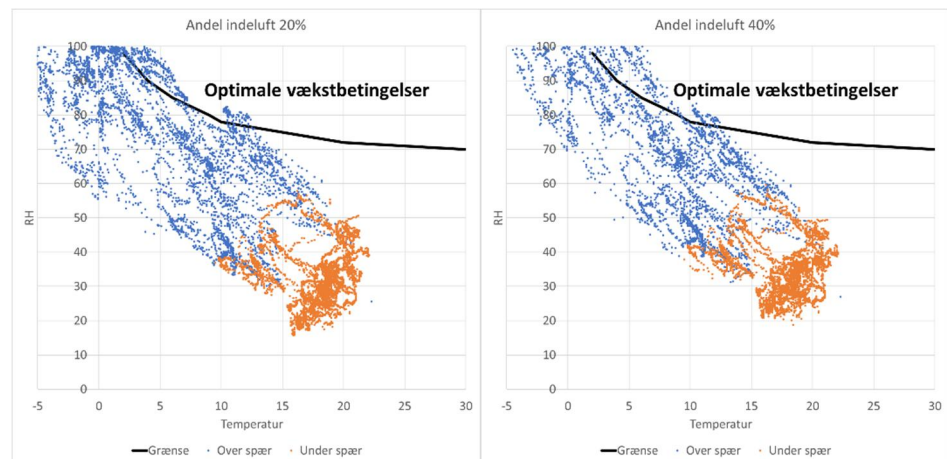


Generelt ses det at oversiden af spæret har en temperatur der følger temperaturen i tagrummet og undersiden af spæret ligger ca. 5°C under temperaturen i boligen.

I perioden omkring 29. marts til 8. april blev der installeret ventilationsanlæg i boligen og lemmen til loftet stod åben, derfor er temperaturerne i denne periode markant anderledes.

Ud fra de målte temperaturer over og under spærret er den relative luftfugtighed beregnet og plottet sammen med temperaturen herunder for hvert målepunkt. I diagrammerne er desuden angivet grænsen for optimale forhold for skimmelvækst. Til højre ses hvis luften på tagrummet består af 20% luft fra boligen og 80% udeluft, mens figuren til højre viser hvordan det ser ud hvis luften i tagrummet består af 40% luft fra boligen og 60% udeluft.

Figur 3.6G: Sammenligning af forhold i måleperiode 1 med de optimale betingelser for skimmelvækst. Data er for perioden 28-2-2018 til 18-4-2018.



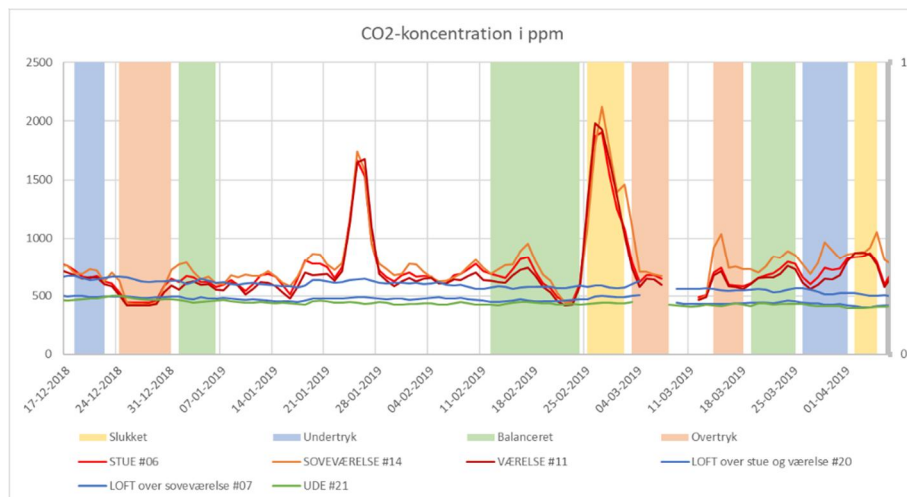
Det ses at jo større andel boligluft der er i tagrummet, jo flere af målepunkterne ligger indenfor zonen med optimale vækstbetingelser for skimmel. Denne undersøgelse medtager ikke fugtigheden der kunne være udkondenseret tidligere, og der kan derfor være risici som ikke kommer frem her. Såfremt forholdene i løbet af vinteren har betydet at der er udkondenseret vand ved spærret vil den relative luftfugtighed være højere og der vil være mere optimale forhold for skimmel.

Langt de fleste målepunkter ligger i området, hvor der ikke er risiko for skimmel.

### 3.6.3 CO<sub>2</sub>-koncentration

Måleresultaterne i forsøgsperiode 2 er vist herunder.

Figur 3.1H: Målte CO<sub>2</sub>-koncentration i perioden

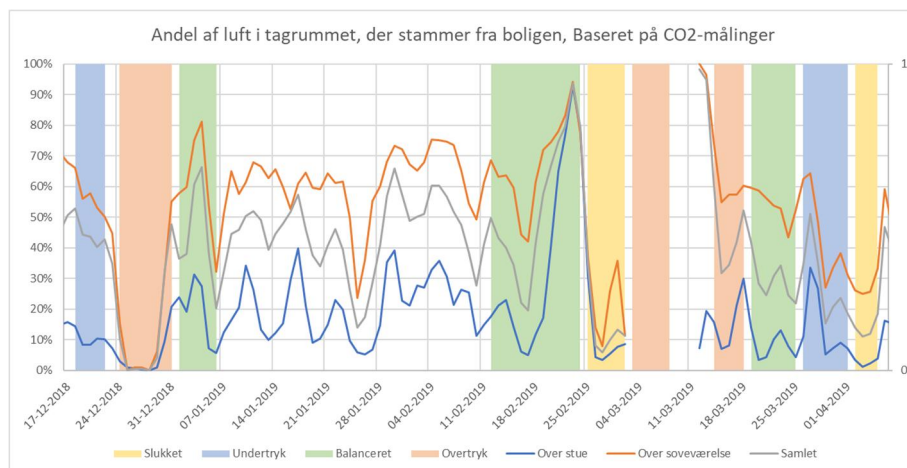


CO<sub>2</sub>-koncentrationen ligger på et meget fint niveau i hele perioden, bortset fra når anlægget er slukket (gul). Forskellen til udeniveau er lille.

Den ene CO<sub>2</sub>-logger på loftet ligger konstant lidt højere end den anden og til tider endda højere end koncentrationen i boligen, trods ekstern kalibrering af loggerne. Dette øger naturligt usikkerheden på målingerne, da det ikke er realistisk. Det er derfor målepunktet over stuen der er mest troværdigt.

Ud fra CO<sub>2</sub>-koncentrationen kan andelen af boligluft i tagrummet bestemmes.

Figur 3.6I: Andel af luft i tagrummet, der stammer fra boligen

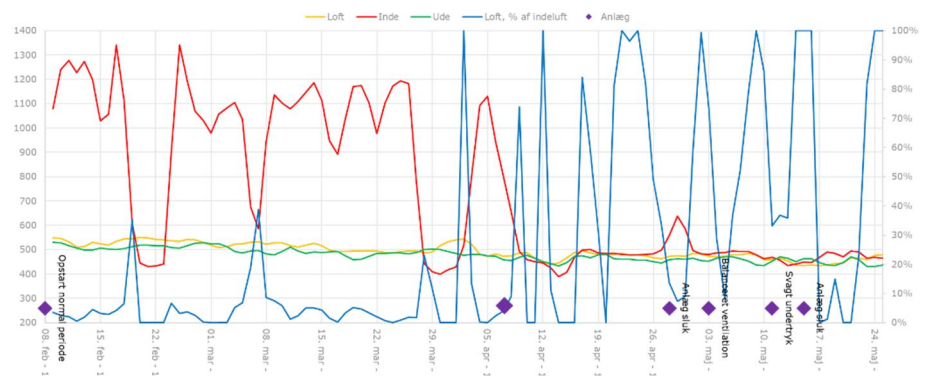


Hvis der fokuseres på den blå kurve, der er baseret på data fra stuen og lige over stuen, ses en del udsving. Der er en svag tendens til at andelen af boligluft i tagrummet er lavere, når der er undertryk, end for de andre situationer, men udsvingene er så store indenfor hver periode, at det er svært at konkludere noget entydigt. Der er ses ikke nogen konsekvent sammenhæng mellem hvordan ventilationsanlægget har været styret og andelen af luft fra boligen i tagrummet.

Der ses en større andel boligluft i tagrummet ud fra CO<sub>2</sub>-målingerne end ud fra fugtmålingerne. Dette kan skyldes måleusikkerheder eller at en del af fugten afsættes på vej optil tagrummet. Der ses dog ikke en langsommere variation for fugtmålingerne og derfor vurderes det at forskellen primært skyldes måleusikkerheder/beregningsusikkerheder.

CO<sub>2</sub>-målingerne for periode 1 er vist herunder.

Figur 3.6J: CO<sub>2</sub>-målinger fra periode 1



Det er tydeligt på CO<sub>2</sub>-koncentrationen at ventilationsanlægget sikrer en større udskiftning af luften og skaber et markant bedre indeklima i boligen. Ventilationen sænker indekoncentrationen så meget at forskellen kommer inden for måleusikkerhederne og det er derfor svært at konkludere noget ud fra målingerne.



---

**Bilag 3.4**  
**Aalborg, sporgasundersøgelse**

---

## I-vent – PFT-målinger

Der er foretaget tre på hinanden følgende PFT-målinger.

Måleperiode:

- 1. måling: 12. februar 2019 – 20. februar 2019
- 2. måling: 24. februar 2019 – 2. marts 2019
- 3. måling: 2. marts 2019 – 8. marts 2019

Måleobjekt:

- fritliggende enfamiliehus ca. 125 m<sup>2</sup> i én etage
- mekanisk ventilation
- ingen kælder
- uudnyttet tagrum
- huset i almindelig brug under målingerne

Måleplan:

- Målingerne har til formål at estimere eventuel 2-vejs luftudveksling mellem bolig og tagrum i tre forskellige situationer
  - Situation A: Slukket anlæg
  - Situation B: Tændt anlæg – almindelig regulering (balanceret, svagt undertryk)
  - Situation C: Tændt anlæg – større indblæsning end udsugning
- Hver af de tre målinger er derfor gennemført som 2-zonemåling, dvs. ved anvendelse af to forskellige sporgastyper doseret henholdsvis i boligen og i tagrummet
- Setup'et gør det muligt som supplement at bestemme udelufttilførslen til hver af de to zoner
- Ved alle tre målinger har boligejeren stået for opsætning og nedtagning af PFT-udstyr

## Resultater:

På baggrund af resultater af PFT-analyser vurderes det, at målingerne er gennemført i rækkefølgen:

- 1. måling: Situation B – Tændt anlæg – almindelig regulering (balanceret, svagt undertryk)
- 2. måling: Situation A – Slukket anlæg
- 3. måling: Situation C – Tændt anlæg – større indblæsning end udsugning

Boligejeren har efterfølgende bekræftet vurderingerne.

Betegnelserne *PMCP-bolig* og *PMCH-tagrum* anvendes som betegnelser for sporgastypen udsendt hhv. i bolig og i tagrum.

I alle tre målinger forekommer *PMCH-tagrum* i særdeles små mængder både i tagrummet og i boligen. I måling 3 er mængden under analyseudstyrets kvantifikationsgrænse, men generelt må vurderinger baseret på forekomst af *PMCH-tagrum* ske kvalitativt.

### 1. måling

- *PMCH-tagrum* forekommer stort set ikke i tagrummet ~ meget høj ventilationsrate i tagrummet
- Højere koncentration af *PMCH-tagrum* i boligen end i tagrummet ~ normalt indikator for fejlagtig zoneinddeling af måleobjektet
- *PMCP-bolig* forekommer stort set ikke i tagrummet ~ meget lille overførsel af luft fra bolig til tagrum
- Mest *PMCH-tagrum* i boligen i denne måling i forhold til de to andre målinger

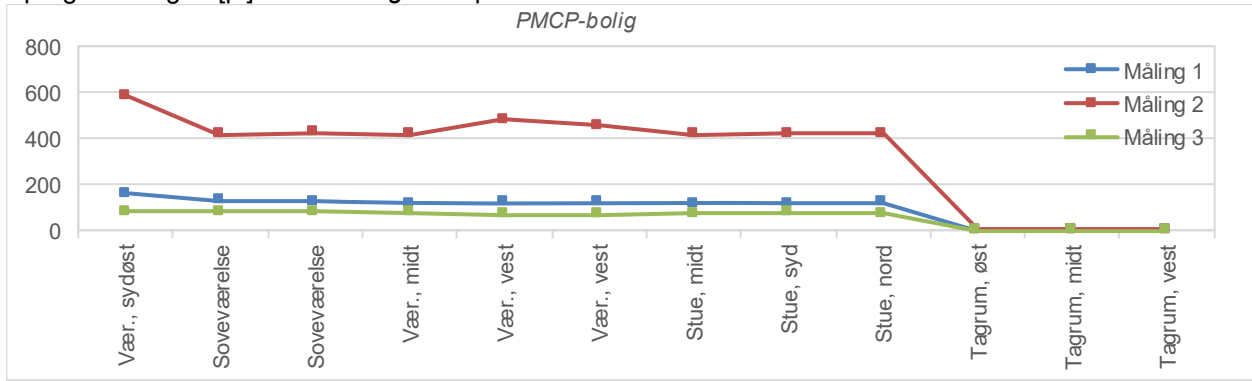
### 2. måling

- Marginalt højere koncentration af *PMCH-tagrum* i tagrummet end i boligen
- Forholdsvis høj koncentration af *PMCP-bolig* i bolig ~ lav ventilationsrate i boligen

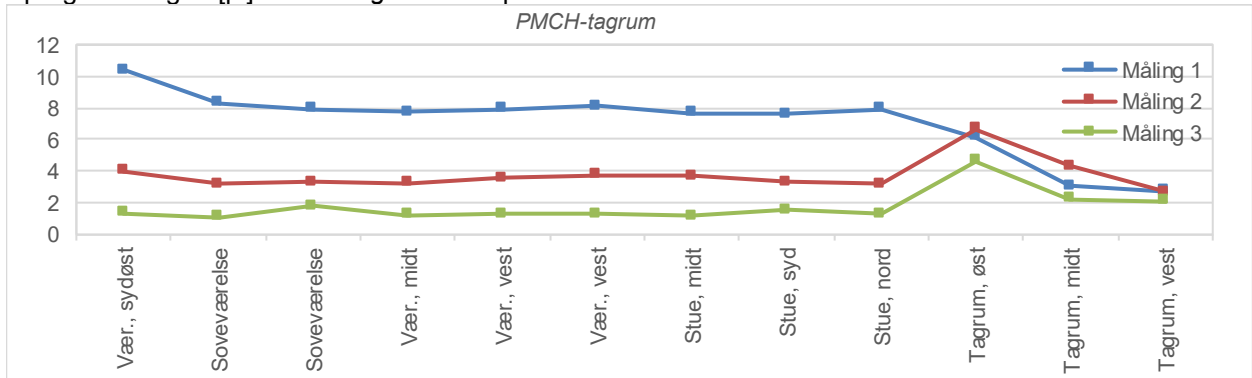
### 3. måling

- *PMCH-tagrum* forekommer stort set ikke – hverken i tagrummet eller i boligen
- Mindst *PMCP-bolig* i boligen i denne måling i forhold til de andre målinger ~ høj ventilationsrate i boligen

Sporgasmængde [p] PMCP-bolig i samplere

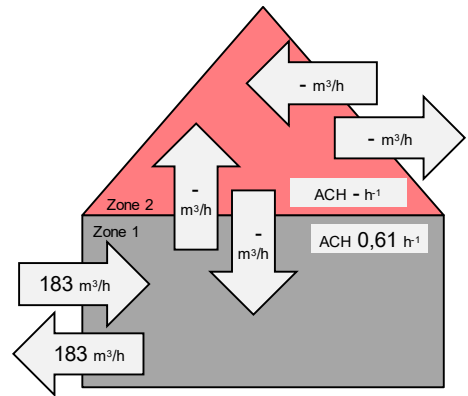
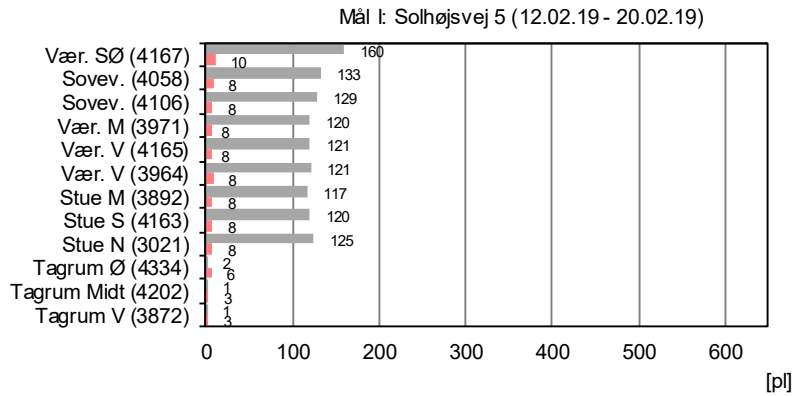


Sporgasmængde [p] PMCH-tagrum i samplere

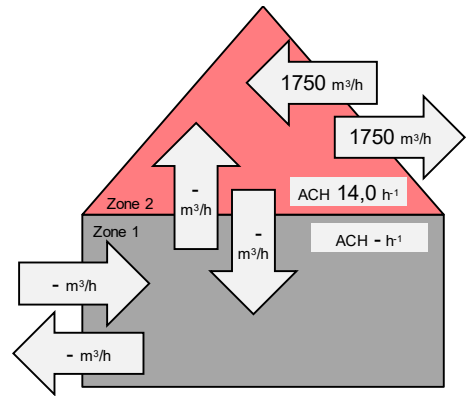
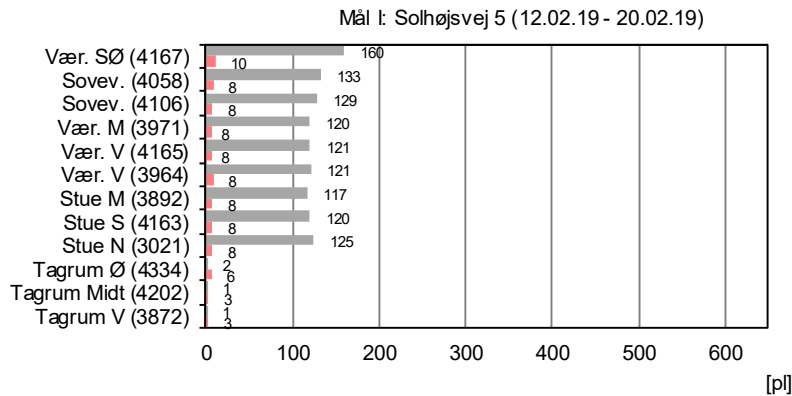


Måling 1: a) 2-zoneanalyse ikke mulig.

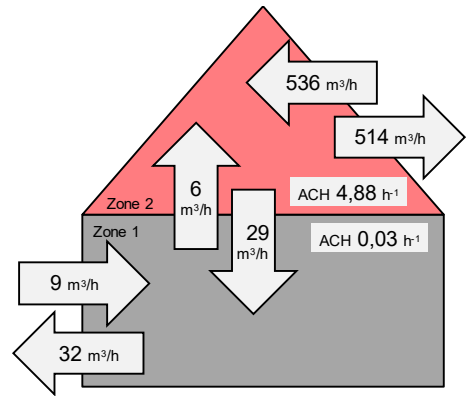
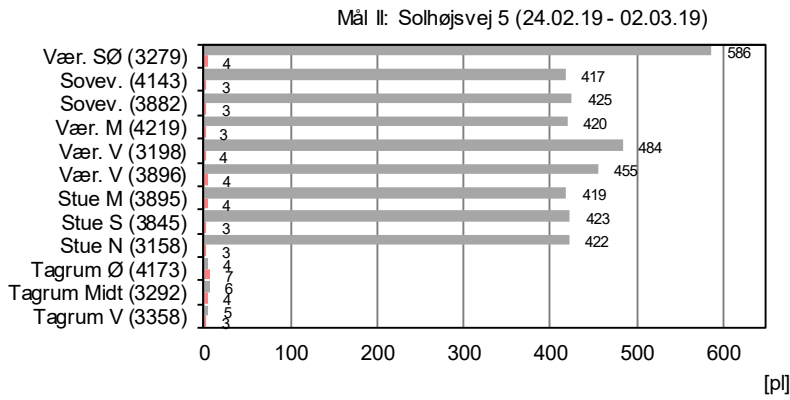
Måling 1: b) 1-zoneanalyse, bolig.



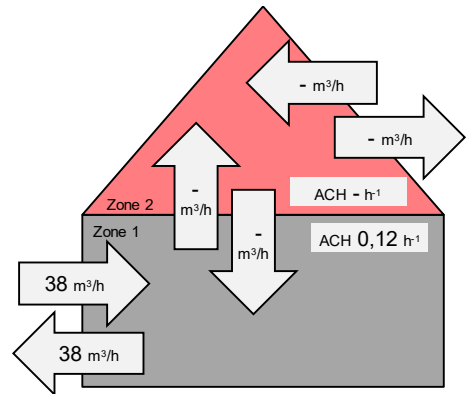
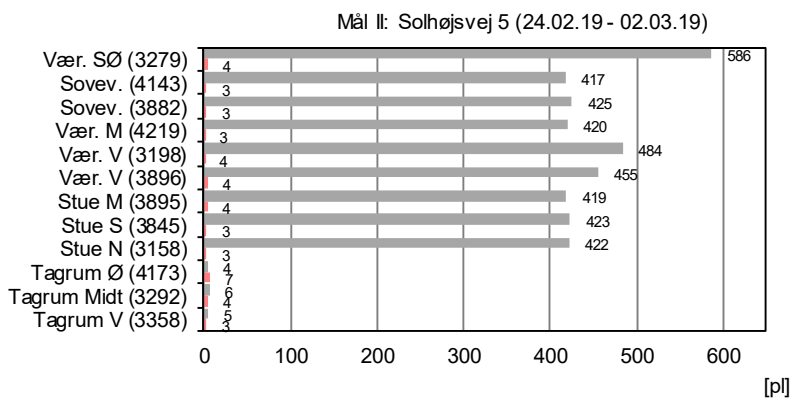
Måling 1: c) 1-zoneanalyse, tagrum.



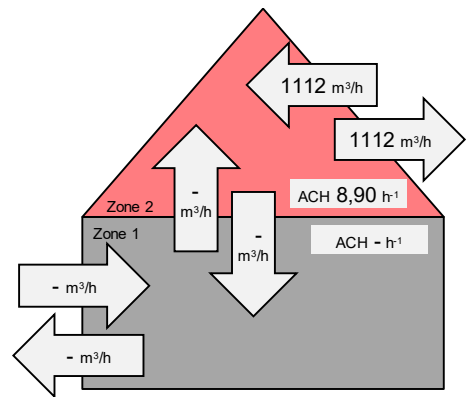
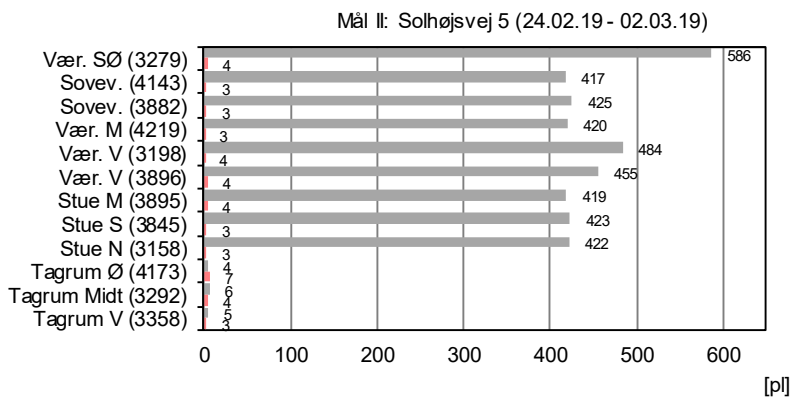
Måling 2: a) 2-zoneanalyse.



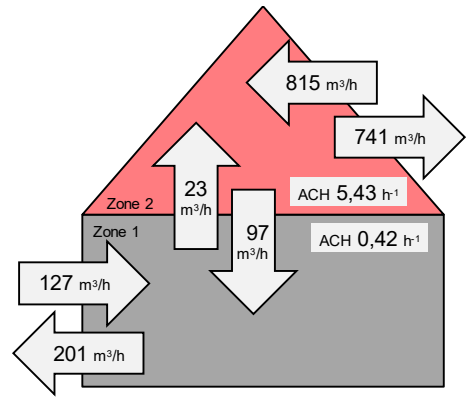
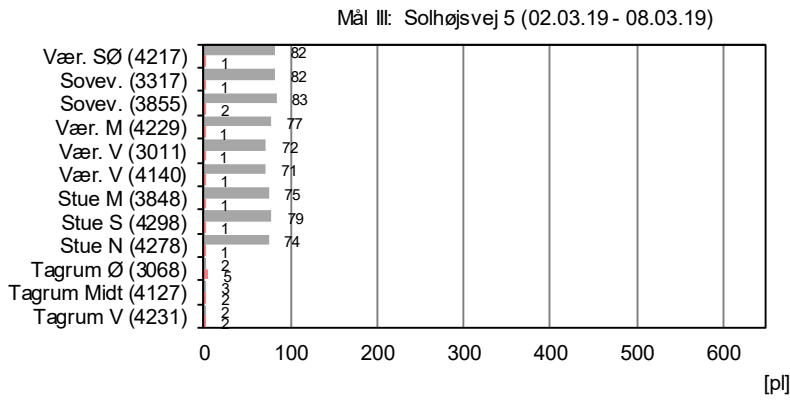
Måling 2: b) 1-zoneanalyse, bolig.



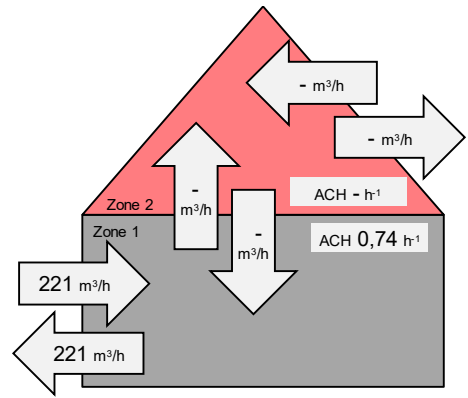
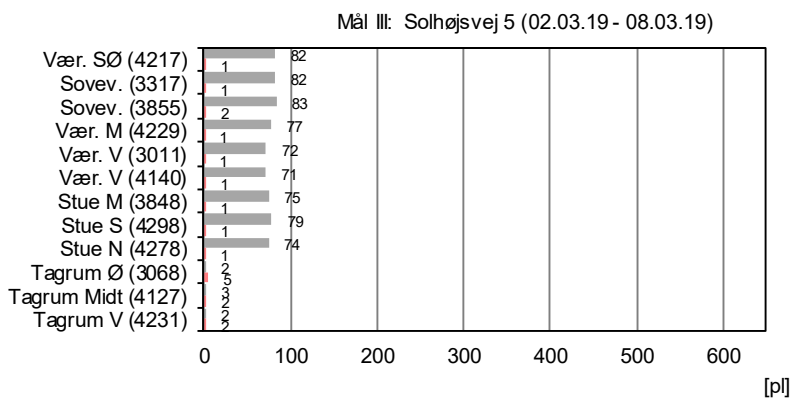
Måling 2: c) 1-zoneanalyse, tagrum.



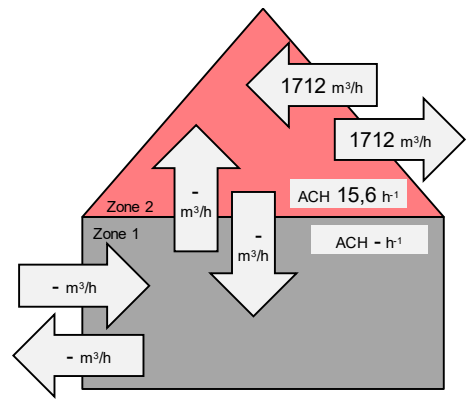
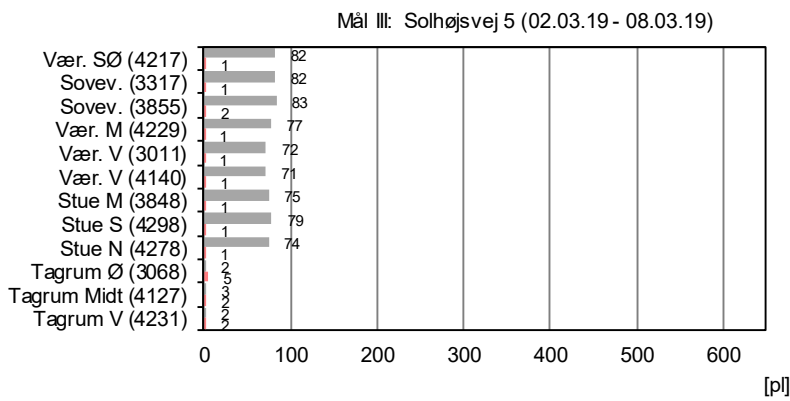
Måling 3: a) 2-zoneanalyse.



Måling 3: b) 1-zoneanalyse, bolig.



Måling 3: c) 1-zoneanalyse, tagrum.



# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål I: Solhøjsvej 5 (12.02.19 - 20.02.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 1a  
 Measurement Start: 12.02.19 at 09:00 Duration: 192,0 hours Analysis: 14.03.2019  
 Measurement End : 20.02.19 at 09:00

## Results

Total infiltration rate: 659,1 m<sup>3</sup>/h (259,4) [39%]  
 Total air change rate: 1,61 h<sup>-1</sup> (0,63)  
 Outdoor air supply: - l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 0 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	-197,2	200,4	[-102]	177,9	32,5	[18]	187,4	33,6	[18]
2	856,2	433,8	[51]	481,2	268,3	[56]	865,8	438,7	[51]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2	9,5	5,3	[56]	2 → 1	384,6	211,0	[55]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

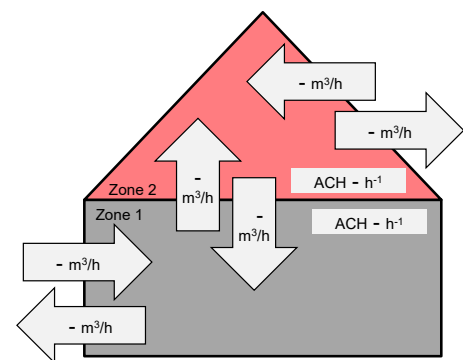
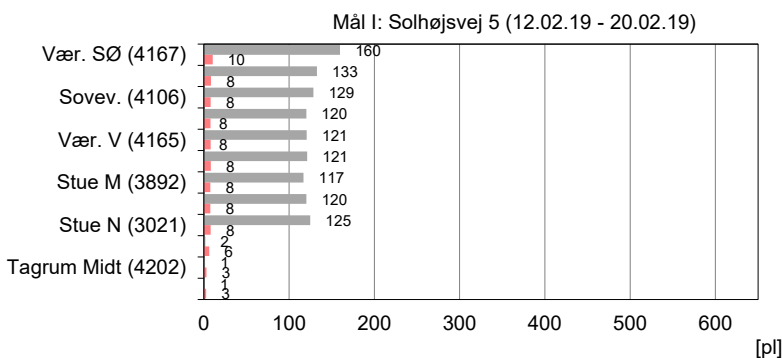
Zone		Average Zone Concentration [pI/l]			
		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Bolig	74,3	[10]	5,1	[10]
2	Tagrum	0,8	[14]	2,5	[47]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bolig	300,0	PMCP	6	15600	22,0	13609
2	Tagrum	110,0	PMCH	3	4965	7,0	2095
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,15  
 PMCH: 1,000      Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,50  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 2,34  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pI]										
	Zone 1			Zone 2			Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4167	159,7	10,4	4334	1,6	6,2					
2	4058	132,7	8,3	4202	1,4	3,0					
3	4106	128,5	7,9	3872	1,2	2,7					
4	3971	120,2	7,7								
5	4165	120,7	7,9								
6	3964	121,1	8,1								
7	3892	116,9	7,7								
8	4163	120,3	7,6								
9	3021	124,8	7,9								



Mål I: Solhøjsvej 5 (12.02.19 - 20.02.19)

# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål I: Solhøjsvej 5 (12.02.19 - 20.02.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 1b  
 Measurement Start: 12.02.19 at 09:00 Duration: 192,0 hours Analysis: 14.03.2019  
 Measurement End : 20.02.19 at 09:00

## Results

Total infiltration rate: 183,2 m<sup>3</sup>/h (32,3) [18%]  
 Total air change rate: 0,61 h<sup>-1</sup> (0,11)  
 Outdoor air supply: 0,41 l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 125 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	183,2	32,3	[18]	183,2	32,3	[18]	183,2	32,3	[18]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2				2 → 1			
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

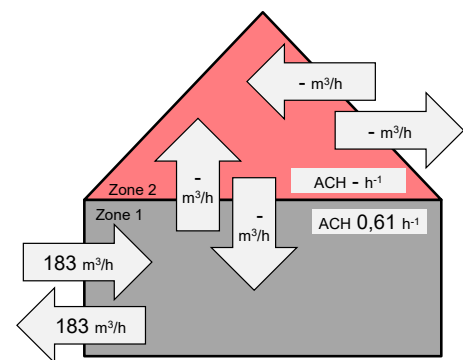
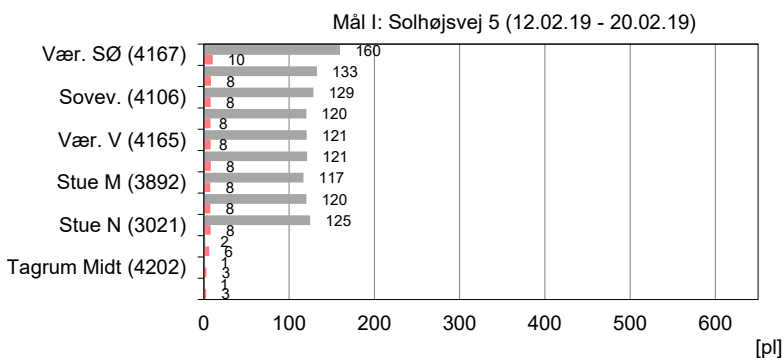
Zone	Bolig	Average Zone Concentration [pI/l]	
		PMCP	SD%
1	Bolig	74,3	[10]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone	Bolig	Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bolig	300,0	PMCP	6	15600	22,0	13609
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,14  
 Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,18  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,00  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pI]				Excluded samplers			
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCP	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4167	159,7			4334	1,6	6,2	0,0
2	4058	132,7			4202	1,4	3,0	0,0
3	4106	128,5			3872	1,2	2,7	0,0
4	3971	120,2						
5	4165	120,7						
6	3964	121,1						
7	3892	116,9						
8	4163	120,3						
9	3021	124,8						



Mål I: Solhøjsvej 5 (12.02.19 - 20.02.19)

# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål I: Solhøjsvej 5 (12.02.19 - 20.02.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 1c  
 Measurement Start: 12.02.19 at 09:00 Duration: 192,0 hours Analysis: 14.03.2019  
 Measurement End : 20.02.19 at 09:00

## Results

Total infiltration rate: 1749,6 m<sup>3</sup>/h (867,2) [50%]  
 Total air change rate: 14,00 h<sup>-1</sup> (6,94)  
 Outdoor air supply: - l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 0 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	1749,6	867,2	[50]	1749,6	867,2	[50]	1749,6	867,2	[50]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2				2 → 1			
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

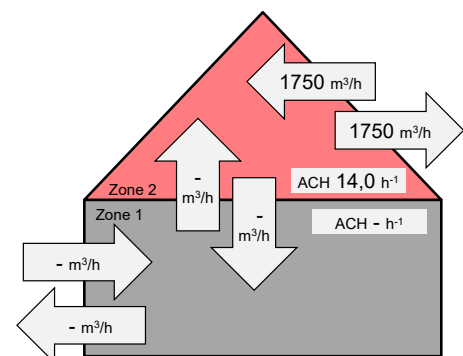
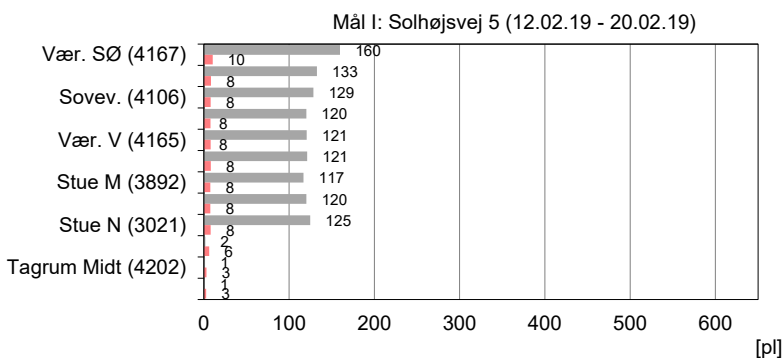
Zone		Average Zone Concentration [pI/l]	
		PMCH	SD%
1	Tagrum	2,5	[47]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Tagrum	125,0	PMCH	3	4965	22,0	4331
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,35  
 Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,50  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,00  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pI]				Excluded samplers			
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCH	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4334	6,2			4167	159,7	10,4	0,0
2	4202	3,0			4058	132,7	8,3	0,0
3	3872	2,7			4106	128,5	7,9	0,0
4					3971	120,2	7,7	0,0
5					4165	120,7	7,9	0,0
6					3964	121,1	8,1	0,0
7					3892	116,9	7,7	0,0
8					4163	120,3	7,6	0,0
9					3021	124,8	7,9	0,0



Mål I: Solhøjsvej 5 (12.02.19 - 20.02.19)



# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål II: Solhøjsvej 5 (24.02.19 - 02.03.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 2a  
 Measurement Start: 24.02.19 at 17:00 Duration: 139,0 hours Analysis: 15.03.2019  
 Measurement End : 02.03.19 at 12:00

## Results

Total infiltration rate: 545,4 m<sup>3</sup>/h (238,2) [44%]  
 Total air change rate: 1,33 h<sup>-1</sup> (0,58)  
 Outdoor air supply: - l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 0 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	9,0	13,6	[151]	31,6	7,1	[22]	37,8	7,2	[19]
2	536,3	250,9	[47]	513,8	241,1	[47]	542,6	253,8	[47]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2	6,2	3,4	[54]	2 → 1	28,8	14,8	[51]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

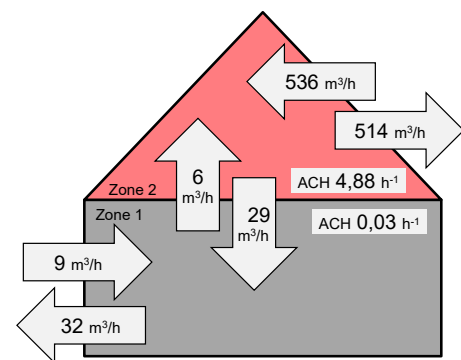
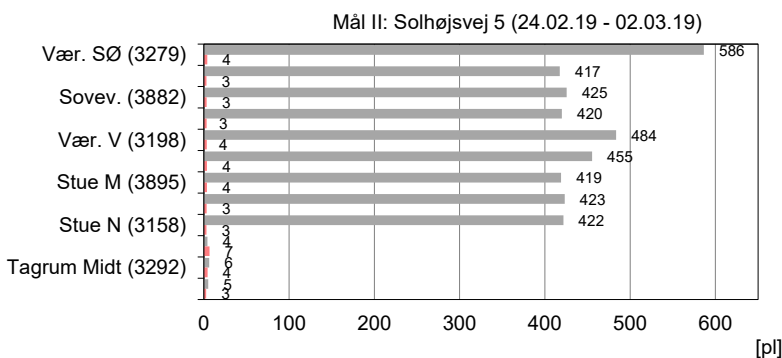
Zone		Average Zone Concentration [pI/l]			
		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Bolig	363,2	[12]	3,0	[8]
2	Tagrum	4,2	[20]	3,9	[44]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bolig	300,0	PMCP	6	15600	22,0	13609
2	Tagrum	110,0	PMCH	3	4965	7,0	2095
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,16  
 PMCH: 1,000      Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,46  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,27  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pI]						Excluded samplers
	Zone 1			Zone 2			
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler
1	3279	586,3	4,0	4173	4,2	6,6	
2	4143	417,5	3,2	3292	6,3	4,3	
3	3882	425,5	3,3	3358	5,1	2,7	
4	4219	419,7	3,2				
5	3198	483,5	3,5				
6	3896	455,3	3,7				
7	3895	418,9	3,7				
8	3845	423,1	3,3				
9	3158	421,6	3,1				



Mål II: Solhøjsvej 5 (24.02.19 - 02.03.19)

# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål II: Solhøjsvej 5 (24.02.19 - 02.03.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 2b  
 Measurement Start: 24.02.19 at 17:00 Duration: 139,0 hours Analysis: 15.03.2019  
 Measurement End : 02.03.19 at 12:00

## Results

Total infiltration rate: 37,5 m<sup>3</sup>/h (7,1) [19%]  
 Total air change rate: 0,12 h<sup>-1</sup> (0,02)  
 Outdoor air supply: 0,08 l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 125 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	37,5	7,1	[19]	37,5	7,1	[19]	37,5	7,1	[19]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2				2 → 1			
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

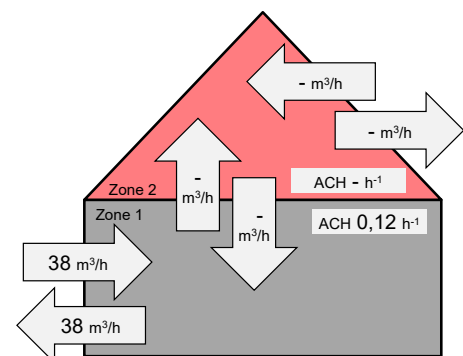
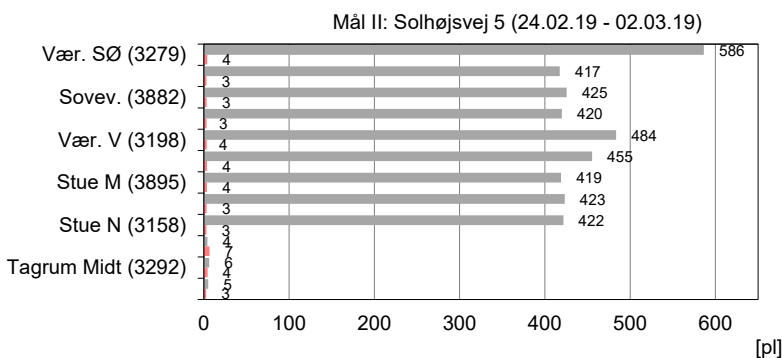
Zone		Average Zone Concentration [p/l]	
		PMCP	SD%
1	Bolig	363,2	[12]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bolig	300,0	PMCP	6	15600	22,0	13609
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,16  
 Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,19  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,00  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [p/l]				Excluded samplers			
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCP	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	3279	586,3			4173	4,2	6,6	0,0
2	4143	417,5			3292	6,3	4,3	0,0
3	3882	425,5			3358	5,1	2,7	0,0
4	4219	419,7						
5	3198	483,5						
6	3896	455,3						
7	3895	418,9						
8	3845	423,1						
9	3158	421,6						



Mål II: Solhøjsvej 5 (24.02.19 - 02.03.19)

# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål II: Solhøjsvej 5 (24.02.19 - 02.03.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 2c  
 Measurement Start: 24.02.19 at 17:00 | Duration: 139,0 hours Analysis: 15.03.2019  
 Measurement End : 02.03.19 at 12:00

## Results

Total infiltration rate: 1112,0 m<sup>3</sup>/h (515,8) [46%]  
 Total air change rate: 8,90 h<sup>-1</sup> (4,13)  
 Outdoor air supply: - l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 0 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	1112,0	515,8	[46]	1112,0	515,8	[46]	1112,0	515,8	[46]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2				2 → 1			
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

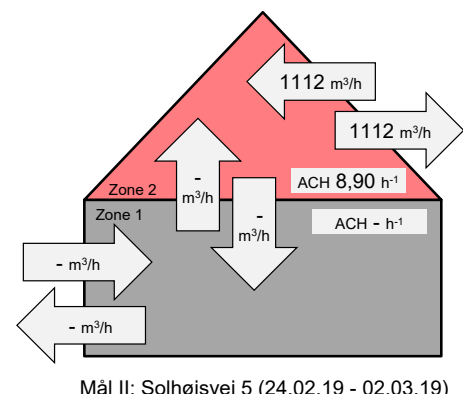
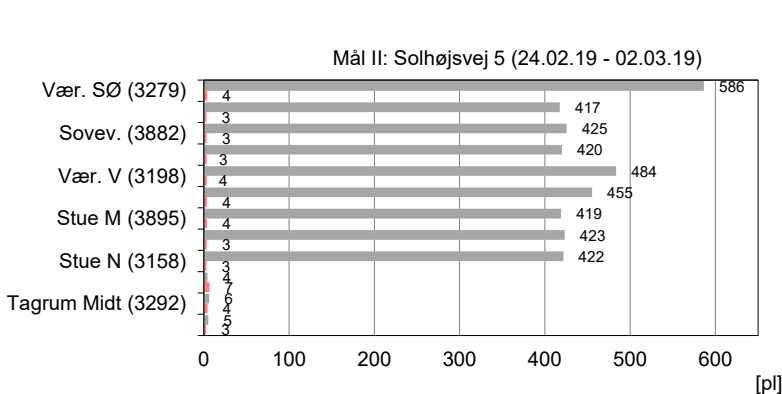
Zone		Average Zone Concentration [p/l]	
		PMCH	SD%
1	Tagrum	3,9	[44]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Tagrum	125,0	PMCH	3	4965	22,0	4331
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,38  
 Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,46  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,00  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [p/l]				Excluded samplers			
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCH	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4173	6,6			3279	586,3	4,0	0,0
2	3292	4,3			4143	417,5	3,2	0,0
3	3358	2,7			3882	425,5	3,3	0,0
4					4219	419,7	3,2	0,0
5					3198	483,5	3,5	0,0
6					3896	455,3	3,7	0,0
7					3895	418,9	3,7	0,0
8					3845	423,1	3,3	0,0
9					3158	421,6	3,1	0,0



# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål III: Solhøjsvej 5 (02.03.19 - 08.03.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 3a  
 Measurement Start: 02.03.19 at 13:00 Duration: 141,0 hours Analysis: 15.03.2019  
 Measurement End : 08.03.19 at 10:00

## Results

Total infiltration rate: 941,5 m<sup>3</sup>/h (367,8) [39%]  
 Total air change rate: 2,09 h<sup>-1</sup> (0,82)  
 Outdoor air supply: - l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 0 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	126,6	54,3	[43]	200,8	34,7	[17]	224,1	34,8	[16]
2	814,9	413,0	[51]	740,8	378,1	[51]	838,2	424,8	[51]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2	23,3	13,3	[57]	2 → 1	97,4	54,2	[56]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

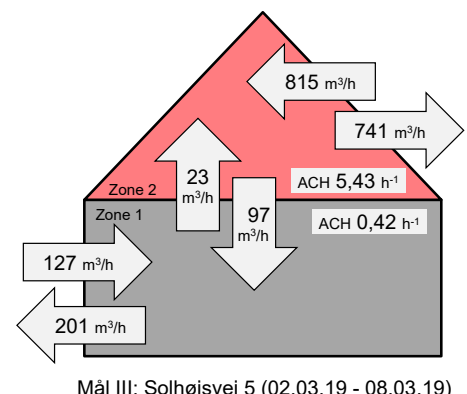
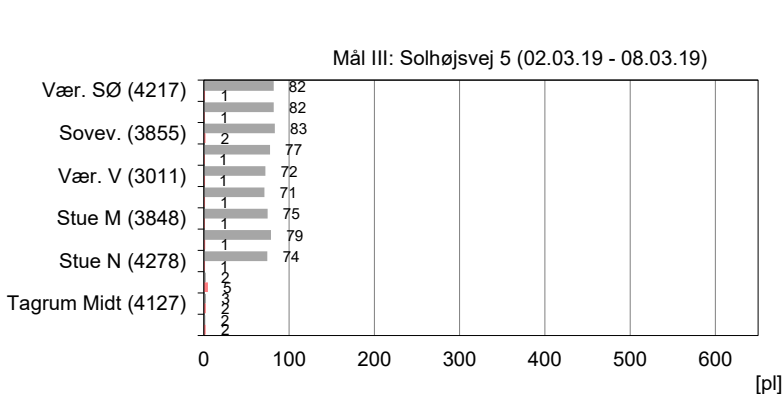
Zone		Average Zone Concentration [pI/l]			
		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Bolig	61,5	[6]	1,1	[16]
2	Tagrum	1,7	[21]	2,5	[48]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bolig	300,0	PMCP	6	15600	22,0	13609
2	Tagrum	150,0	PMCH	3	4965	7,0	2095
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,12  
 PMCH: 1,000      Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,47  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,10  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pI]						Excluded samplers
	Zone 1			Zone 2			
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler
1	4217	81,9	1,3	3068	2,1	4,6	
2	3317	82,0	1,0	4127	2,6	2,2	
3	3855	83,3	1,8	4231	1,7	2,1	
4	4229	77,4	1,2				
5	3011	72,2	1,3				
6	4140	71,1	1,2				
7	3848	74,7	1,1				
8	4298	78,7	1,5				
9	4278	74,4	1,2				



# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål III: Solhøjsvej 5 (02.03.19 - 08.03.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 3b  
 Measurement Start: 02.03.19 at 13:00 Duration: 141,0 hours Analysis: 15.03.2019  
 Measurement End : 08.03.19 at 10:00

## Results

Total infiltration rate: 221,4 m<sup>3</sup>/h (34,1) [15%]  
 Total air change rate: 0,74 h<sup>-1</sup> (0,11)  
 Outdoor air supply: 0,49 l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 125 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	221,4	34,1	[15]	221,4	34,1	[15]	221,4	34,1	[15]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%		[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2				2 → 1			
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

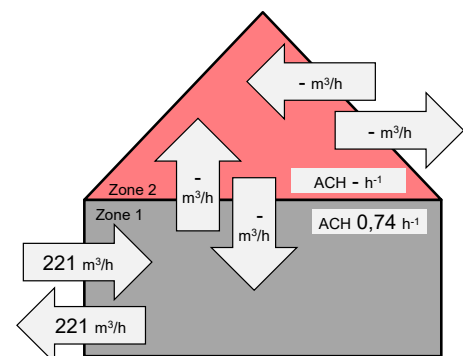
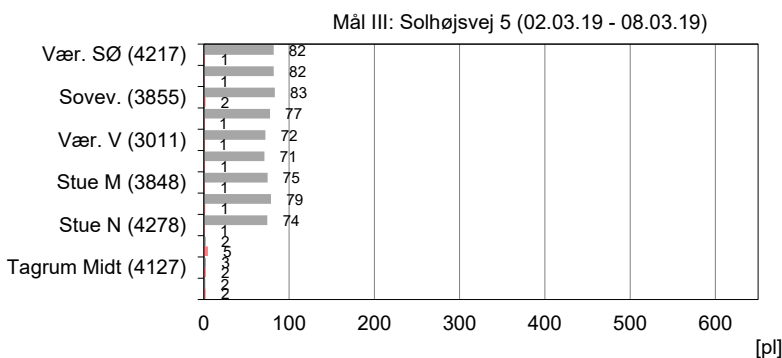
Zone		Average Zone Concentration [p/l]	
		PMCP	SD%
1	Bolig	61,5	[6]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bolig	300,0	PMCP	6	15600	22,0	13609
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,12  
 Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,15  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,00  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pl]				Excluded samplers			
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCP	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4217	81,9			3068	2,1	4,6	0,0
2	3317	82,0			4127	2,6	2,2	0,0
3	3855	83,3			4231	1,7	2,1	0,0
4	4229	77,4						
5	3011	72,2						
6	4140	71,1						
7	3848	74,7						
8	4298	78,7						
9	4278	74,4						



Mål III: Solhøjsvej 5 (02.03.19 - 08.03.19)

# PFT-measurement

v. 55

Building : Mål III: Solhøjsvej 5 (02.03.19 - 08.03.19) Date: 18.03.2019  
 Project : Luftudveksling bolig/tagrum Enclosure: 3c  
 Measurement Start: 02.03.19 at 13:00 Duration: 141,0 hours Analysis: 15.03.2019  
 Measurement End : 08.03.19 at 10:00

## Results

Total infiltration rate: 1712,1 m<sup>3</sup>/h (857,6) [50%]  
 Total air change rate: 15,56 h<sup>-1</sup> (7,80)  
 Outdoor air supply: - l/s per m<sup>2</sup> (Gross floor area: 0 m<sup>2</sup>)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1	1712,1	857,6	[50]	1712,1	857,6	[50]	1712,1	857,6	[50]
2									
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%	Zone	[m <sup>3</sup> /h]	SD	SD%
1 → 2				2 → 1			
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

## Analysis

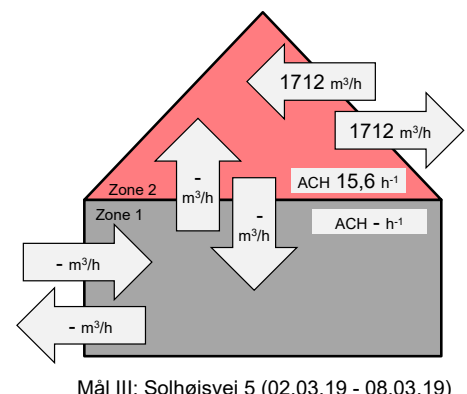
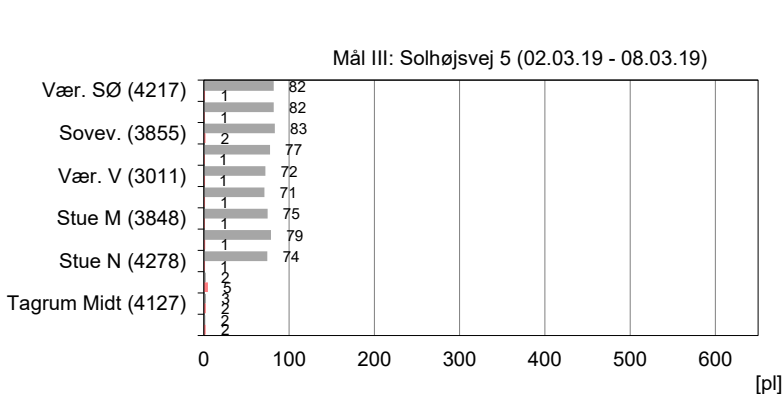
Zone		Average Zone Concentration [pI/l]	
		PMCH	SD%
1	Tagrum	2,5	[48]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m <sup>3</sup> ]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Tagrum	110,0	PMCH	3	4965	22,0	4331
2	Not defined						
3	Not defined						

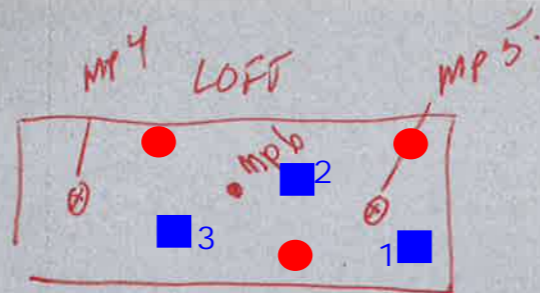
Rackfactor(s): PMCH: 1,000      Uncertainty GC: 10 %      Uncertainty concentration matrix: 0,35  
 Uncertainty mixing: 5 %      Uncertainty air flow matrix: 0,50  
 Uncertainty samplers: 2 %      Condition number of conc. matrix: 1,00  
 Uncertainty emitters: 10 %

## Samplers

	Measured Volume [pI]				Excluded samplers			
	Zone 1		Zone 2		Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCH	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	3068	4,6			4217	81,9	1,3	0,0
2	4127	2,2			3317	82,0	1,0	0,0
3	4231	2,1			3855	83,3	1,8	0,0
4					4229	77,4	1,2	0,0
5					3011	72,2	1,3	0,0
6					4140	71,1	1,2	0,0
7					3848	74,7	1,1	0,0
8					4298	78,7	1,5	0,0
9					4278	74,4	1,2	0,0



EKSISTERENDE BRUND



MP12  
8.0.04






OPHOLDESTUE

MP7

Radon  
Temp  
CO<sub>2</sub>

MP11  
15,65

MP10

-  Udsugning, mekanisk ventilation
-  Indblæsning, mekanisk ventilation
-  Sampler
-  Sporgaskilde (rød)
-  Sporgaskilde (sølv)

SKINDPLAN EFTER OMBYGNING.

EKSISTERENDE

sporkilder sat op 11-02-19 kl. 21:00

①



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

### PFT-measurement

Project-identification: I-vent Building: Solhøjvej 5 Mechanical air supply   
 Start date (day, month, year): 12-02-19 Start time (hour, min): 09:00 Mechanical extraction   
 Stop date (day, month, year): 20-02-19 Stop time (hour, min): 09:00 Natural ventilation   
 Your name: WHY 1 storey   
 2 storey   
 Basement   
 Fireplace

#### Zone 1

Zone-identification: Bolig (salv) Number of tracer gas sources: 6 Silver   
 Average temperature: 22 °C Volume: 300 m<sup>3</sup> Temp. logger no.: \_\_\_\_\_ Red   
<sup>125 m<sup>2</sup> x 2,4 m</sup>  
Soveværelse 19°C Orange

Sampler no.	Sampler location	Source location
4 4167	VÆRELSE SØ (NV) - SKAB	VÆRELSE SØ - HYLDE
5 4058	SOVEVÆRELSE (V) - REOL	SOVEVÆRELSE } RILLEDE
6 4106	SOVEVÆRELSE (S) - SPEJL	SOVEVÆRELSE }
7 3971	VÆRELSE M (S) - DØR	VÆRELSE M - SKAB
8 4165	VÆRELSE V (V) - HYLDE	VÆRELSE V } SKAB
9 3964	VÆRELSE V (S) - HYLDE	VÆRELSE V }
10 3872	STUE (M) - BILLEDE	STUE }
11 4163	STUE (S) - HYLDE	STUE } LAMPE
12 3021	STUE (N) - BILLEDE	STUE } VASE

Placering på tegning

#### Zone 2

Zone-identification: Loftsrum (rood) Number of tracer gas sources: 3 Silver   
 Average temperature: 7 °C Volume: 110 m<sup>3</sup> Temp. logger no.: \_\_\_\_\_ Red   
 Orange

Sampler no.	Sampler location	Source location
1 4334	Øst	Øst
2 4202	Midt	Midt
3 3872	Vest	Vest







---

**Bilag 4.1**  
**Lynge, vurdering af fugt**

---

Bilag 4.1

**IT-Vent**

Vurdering af fugtforhold i tagkonstruktion baseret på måling med tracergas i Lyngø

Projekt nr.: 225706  
 Dokument nr.: 1225533868  
 Version 1  
 Revision  
  
 Udarbejdet af CLR  
 Kontrolleret af  
 Godkendt af

## 1 Indledning

I projektet IT-Vent undersøges om man med overtryksventilering kan skabe en trykgradient henover bygningskonstruktioner (primært terræn- eller krybekælderdek etc.) så at radon og andre problematiske stoffer (forurening) kan holdes ude af bygningen.

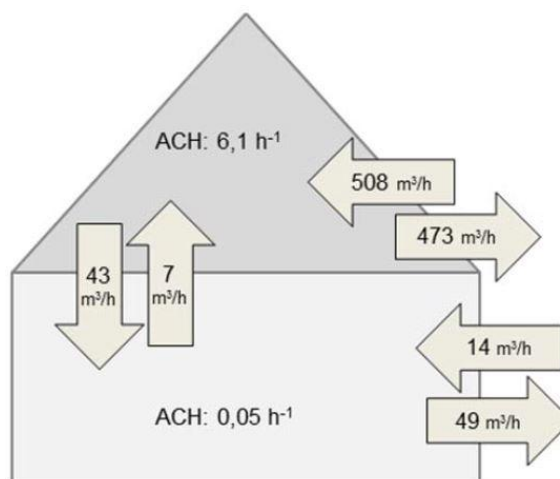
Projektet har fokus på problemets omfang og afhjælpning i lav bebyggelse (parcelhus, kæde-/række-/klyngehuse) idet boligarealet her er tæt på radon og/eller øvrig forurening.

I nærværende notat vurderes mængde af fugt der transporteres fra indeklima til loftrum grundet nævnte overtryksventilation. Det vurderes herefter om eksisterende ventilation af loftrum (via åbninger ved gavl etc.) synes tilstrækkelig til at ventilere denne ekstra fugtmængde bort.

## 2 Eksisterende målinger

Der er tidligere udført PFT sporgas målinger på ejendommen Bjergagervej 5, 3540 Lyngø. Ved PFT målinger bestemmes størrelsen af lufttransport mellem ude og inde (og loftrum) ved hjælp af sporgasmålinger. En grafisk afbildning af luftstrømme ses af Figur 2.1.

Figur 2.1: Luftstrømme mellem inde, ude og loftrum for ejendommen Bjergagervej 5, 3540 Allerød

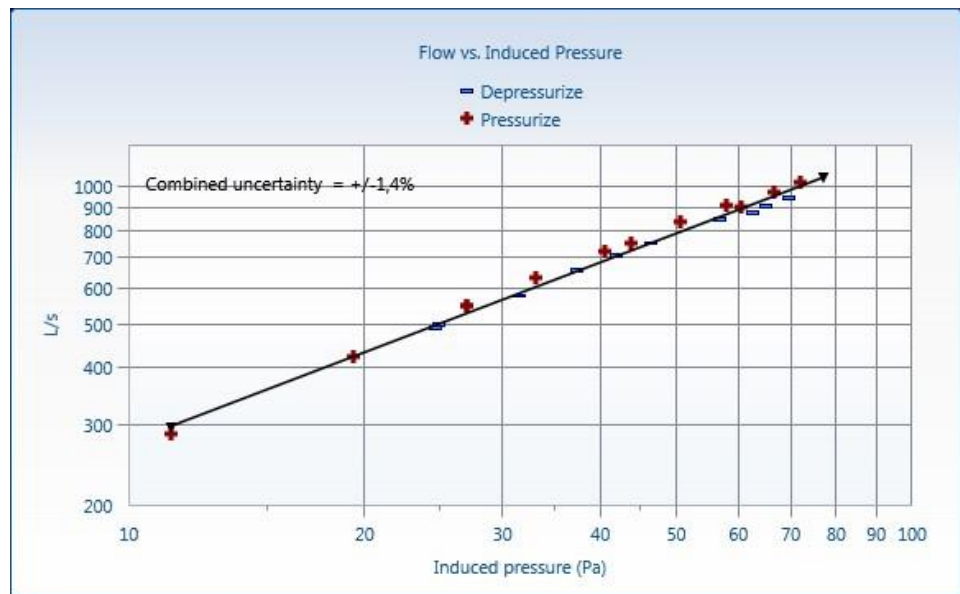


Af Figur 2.1 ses at der ved normale trykforhold kan måles en lufttransport fra indeklima til loftrum på 7 m<sup>3</sup>/h (og en lufttransport fra indeklima til ude på 49 m<sup>3</sup>/h).

### 3 Vurdering af fugttransport fra indeklima til loftrum

Etablering af overtryk i indeklimaet vil ved utætte konstruktioner give anledning til lufttransport gennem disse. Størrelsen af lufttransport afhænger af trykforskellen mellem inde og ude. Ved trykprøvning ses ofte en lineær sammenhæng mellem lufttransport og trykforskel. Figur 3.1 viser sammenhæng mellem lufttransport gennem klimaskærm (infiltration/exfiltration) og trykforskel over klimaskærm ved henholdsvis undertryk og overtryk.

Figur 3.1: Sammenhæng mellem lufttransport (infiltration/exfiltration) og trykdifferens over klimaskærm for ejendommen Bjergagervej 5, 3540 Allerød



Ved etablering af overtryksventilering, således at der skabes en trykgradient henover terræn- eller krybekælderdæk, tænkes overtrykket i indeklimaet at være ca. 5-10 Pa i forhold til tryk i det omkringliggende klima. Ved et overtryk på ca. 10 Pa<sup>1</sup> vurderes lufttransport fra indeklima til tagrum/udeklima, baseret på Figur 3.1, at være ca. 250 l/s. Her vurderes det at ca. 1/8 af luftmængderne sker gennem loft (7 m<sup>3</sup>/h ud af samlet 56 m<sup>3</sup>/h jf. Figur 2.1) loftet.

Lufttransport (konvektion) fra indeklima til loftrum vurderes da at være ca. 30 l/s (svarende til 108 m<sup>3</sup>/h).

I opvarmningssæson vurderes det at indeluften har temperatur på 20°C og 46 pct. relativ fugtighed jf. SBI Anvisning 224; dvs. et absolut fugtindhold på 7,94 g/m<sup>3</sup>. I tagrummet vurderes at være -1,1°C og 91 pct. relativ fugtighed; dvs. et absolut fugtindhold 4,07 g/m<sup>3</sup>.

Med en lufttransport på 108 m<sup>3</sup>/h fra indeklima til tagrum vurderes det at konvektion kan transportere op mod 108 x (7,94 – 4,07) = 418 g/h.

<sup>1</sup> Det skønnes ikke muligt at vurdere lufttransport ved en trykdifferens på eksempelvis 5 Pa, idet datagrundlaget er for spinkelt til at foretage en ekstrapolation.

Af Figur 2.1 fremgår at tagrummet har et luftskifte på 6 gange i timen. Tagrummet har et volumen på  $83 \text{ m}^3$  (fremgår af udført PFT-måling). Der er dermed et luftskifte på  $498 \text{ m}^3/\text{h}$ . Såfremt der ventileres med udeluft ( $-1,1^\circ\text{C}$ ; 91 pct relativ fugtighed) kan luften indeholde yderligere  $0,45 \text{ g}/\text{m}^3$  (fra 91 pct. relativ fugtighed til 100 pct. relativ fugtighed). Med et luftskifte på  $498 \text{ m}^3/\text{h}$  kan der fjernes  $498 \times 0,45 = 224 \text{ g}/\text{h}$ . Potentialet for at fjerne fugt ( $224 \text{ g}/\text{h}$ ) er mindre end mængden af tilført fugt ( $418 \text{ g}/\text{h}$ ) hvorfor der er risiko for ophobning af fugt i tagkonstruktion.

### 3.1 Supplerende vurdering af fugtforhold i loftrum

Med en mindre trykdifferens (5 Pa, eksempelvis) henover loft vil lufttransport mellem indeklime og loftrum også være mindre. Ud fra datagrundlag er det ikke muligt at bestemme en forventet værdi for denne lufttransport. Lufttransport fra indeklime til tagrum/udeklime tænkes dog at kunne være under  $100 \text{ l}/\text{s}$ , svarende til en skønnet lufttransport (konvektion) fra indeklime til loftrum på  $12 \text{ l}/\text{s}$  (svarende til  $43 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Samtidig kunne fugttransport mindskes såfremt indeluften affugtes. Såfremt indeluften kan affugtes til eksempelvis 35 pct. vil indeluften have et absolut fugtindhold på  $6,05 \text{ g}/\text{m}^3$ .

Konvektion vil da transportere  $43 \times (6,08 - 4,07) = 86 \text{ m}^3/\text{h}$ , hvilket vil kunne fjernes af ventilation af tagrummet.

## 4 Konklusion

Afhængig af størrelsen af lufttransport mellem indeklime og loft, ventilation af loftrummet samt indeluftens fugtindhold ses muligheder (eller risiko) for at overtryksventilere nærværende bygning.

Vurdering, specielt i forbindelse med estimering af lufttransport ved 5 Pa trykdifferens, er dog behæftet med betydelig usikkerhed, hvorfor det anbefales at yderligere analyse af dette gennemføres.

NIRAS A/S

Claus Rudbeck

---

**Bilag 4.2**  
**Lynge, datanotat**

---

Bilag 4.2

IT-Vent

Datanotat omkring måling af temperatur, fugt og CO<sub>2</sub> i Lyngø

## 1 Indledning

I forbindelse med undersøgelse af mulighed for etablering af overtryksventilation for at hindre indtrængning af forurening fra terræn er der udført måling af temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub>-niveau i udeklima samt i udvalgte rum/lokationer i ejendommen Bjergagervej 5, 3540 Lyngø.

Formål med nærværende notat er at dokumentere temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub>-niveau fra nævnte målinger.

## 2 Måleresultater

Data for temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub> er opsamlet i perioden 16. november til 29. november 2017 inkl. Opsamlet data fremgår af diagrammer i Appendiks 1.

Opsamlede data viser en periode med et udeklima med temperatur på mellem 0 og 10°C (gennemsnitstemperatur 4,4°C) og relativ fugtighed mellem 80 og 100 pct. (gennemsnit 92 pct.).

I indeklima (stort badeværelse og køkken) ses rimelig konstant temperatur (ca. 20,8°C) og relativ fugtighed (49 pct.) gennem hele måleperioden. I lille badeværelse er temperaturniveauet betydelig højere (ca. 24°C). CO<sub>2</sub>-niveau er målt i stue (varierende mellem ca. 600 ppm og 2.700 ppm; gennemsnit på 1330 ppm) og soveværelse (varierende mellem ca. 670 ppm og 3.700 ppm; gennemsnit på 1.530 ppm).

I loftrum måles et temperaturniveau meget tæt på udeklima (gennemsnitstemperatur på 4,3°C og gennemsnit af relativ fugtighed på 89 pct.). Ved luge over bryggers er temperaturniveauet lidt højere (gennemsnit 5,2°C) og niveauet for relativ fugtighed er også højere (97,5 pct.).

## 3 Vurdering af måling af temperatur, relativ fugtighed og CO<sub>2</sub>

De gennemførte målinger viser et indeklima der er præget af et generelt højt gennemsnit af CO<sub>2</sub>. Dette kunne tyde på at luftskifte i bygning (via ventilationsåbninger eller generel infiltration/exfiltration) er utilstrækkeligt.

I forhold til en mulig overtryksventilation vurderes loft/tag som værende den mest kritiske konstruktion, idet loft/tag-konstruktion ofte indeholder betydelig mængde organisk materiale (træ i form af spær etc.). Måling af niveau for relativ fugtighed i loftrum (både langt inde på loft samt ved luge over bryggers) viser ganske højt



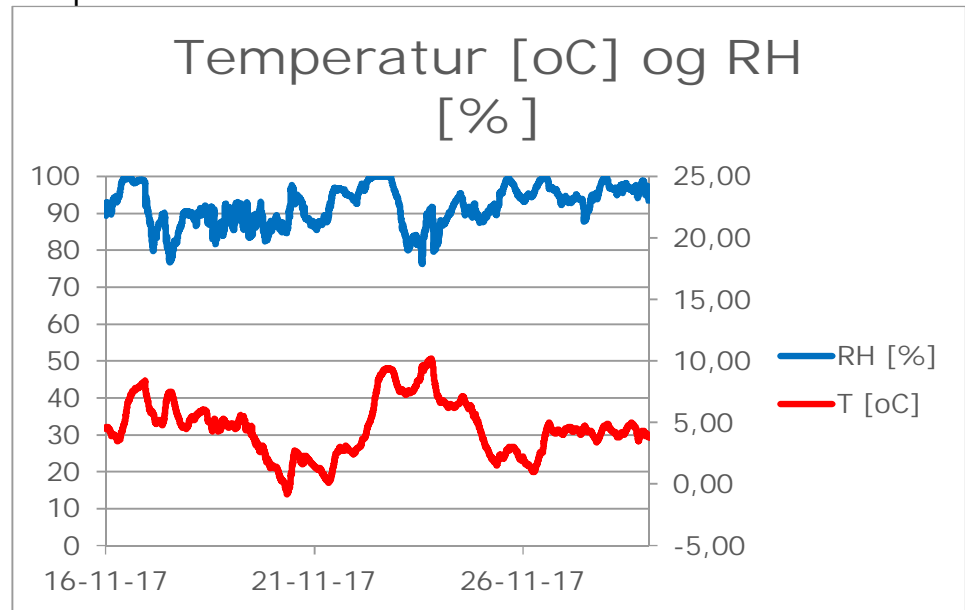
niveau for relativ fugtighed. Det vurderes at det målte fugtniveau allerede nu vil være tilstrækkeligt til at skade tagkonstruktionen på længere sigt.

Ved overtryksventilation er det tesen at denne vil forøge transporten af fugt fra indeklime til loftrum. Med det nuværende høje niveau af luftfugtighed anbefales det ikke at forøge risiko for at tilføre yderligere fugt fra indeklime til loftrum.

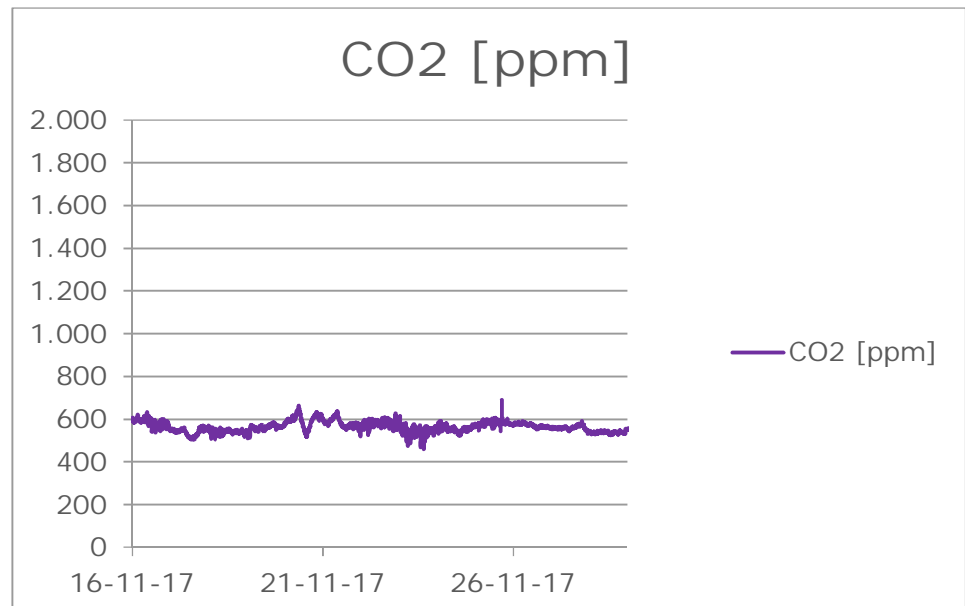
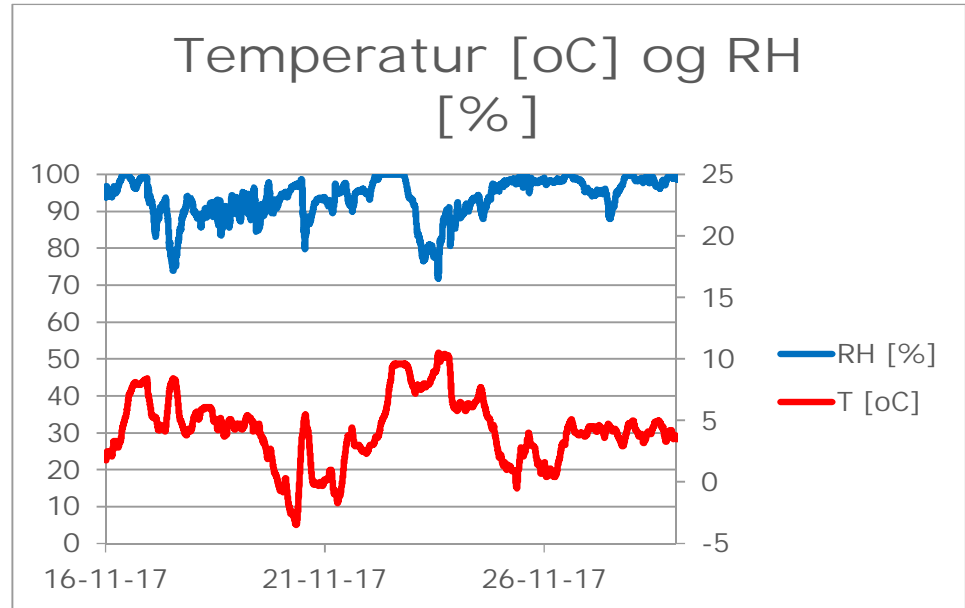
Overtryksventilering af bygningen kan derfor ikke anbefales.

## Appendix 1:

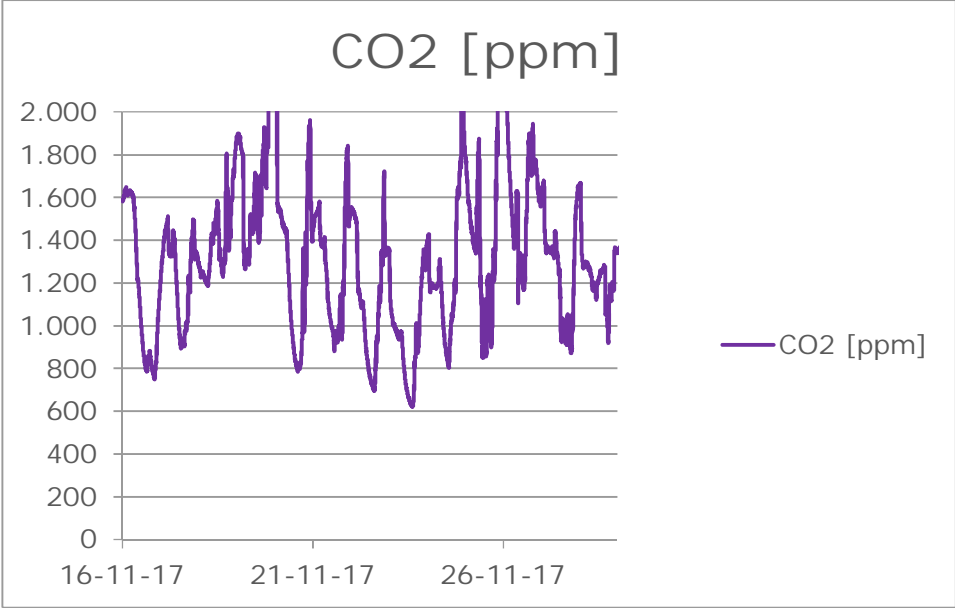
### Carport



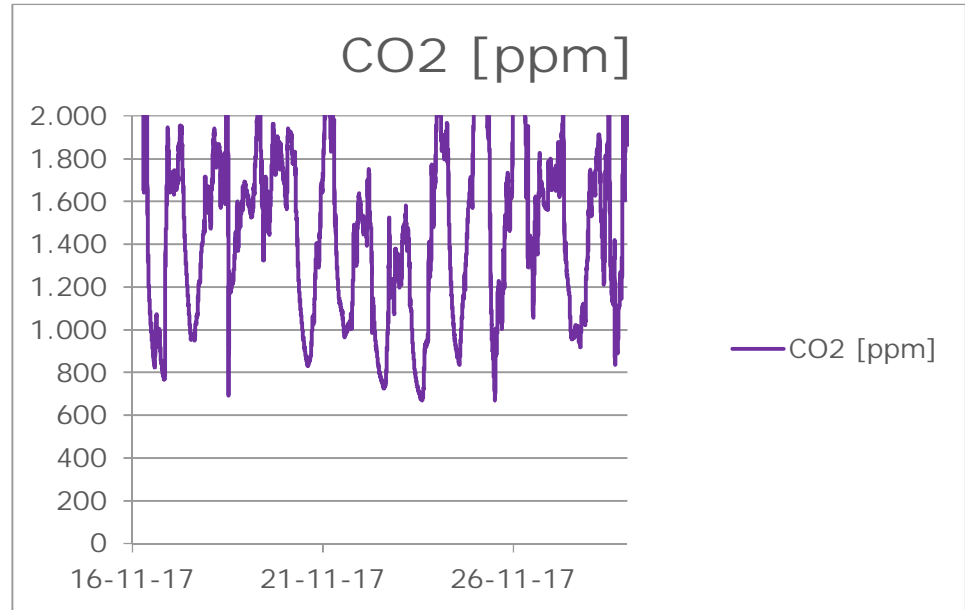
## Terrasse



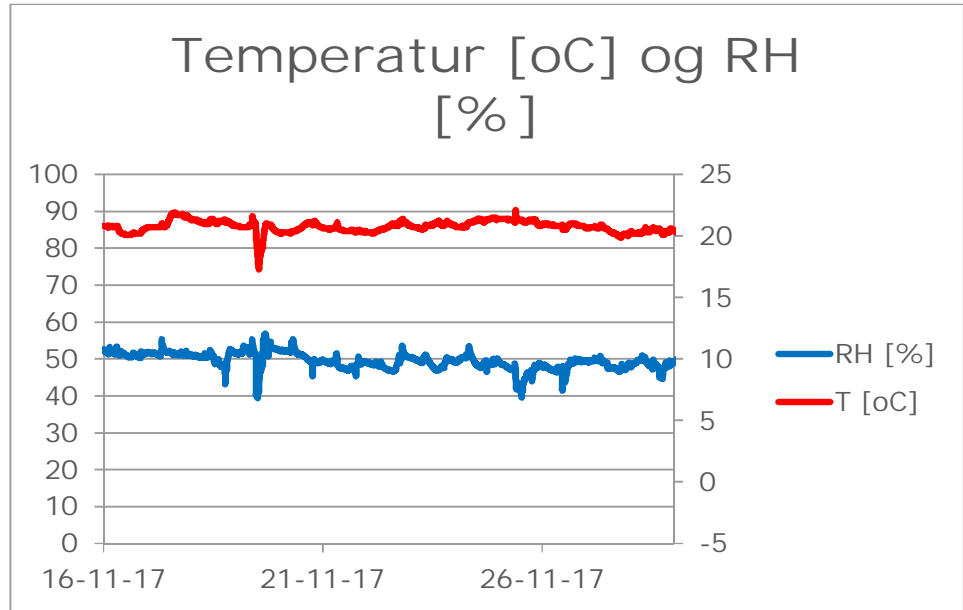
Stue



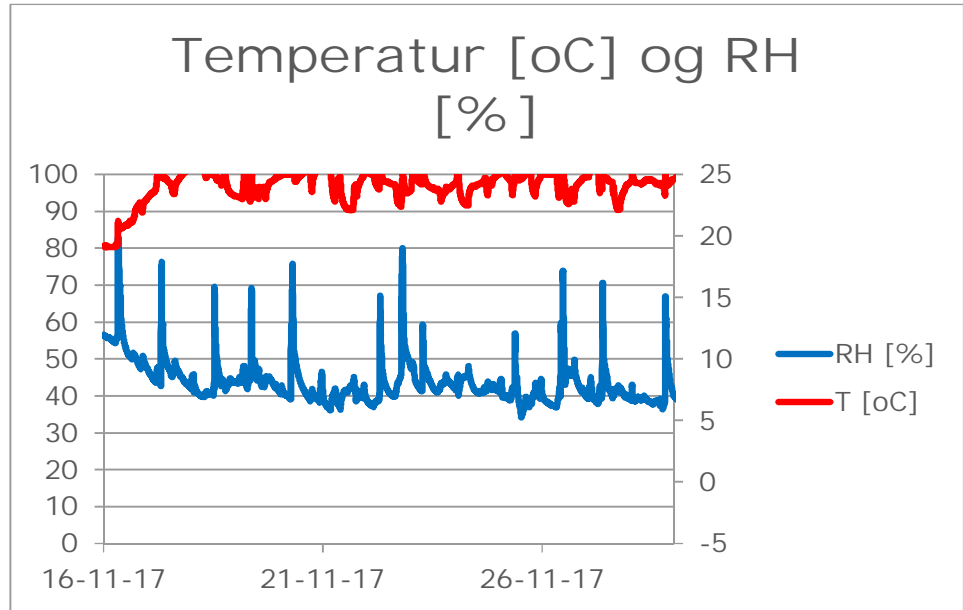
## Soveværelse



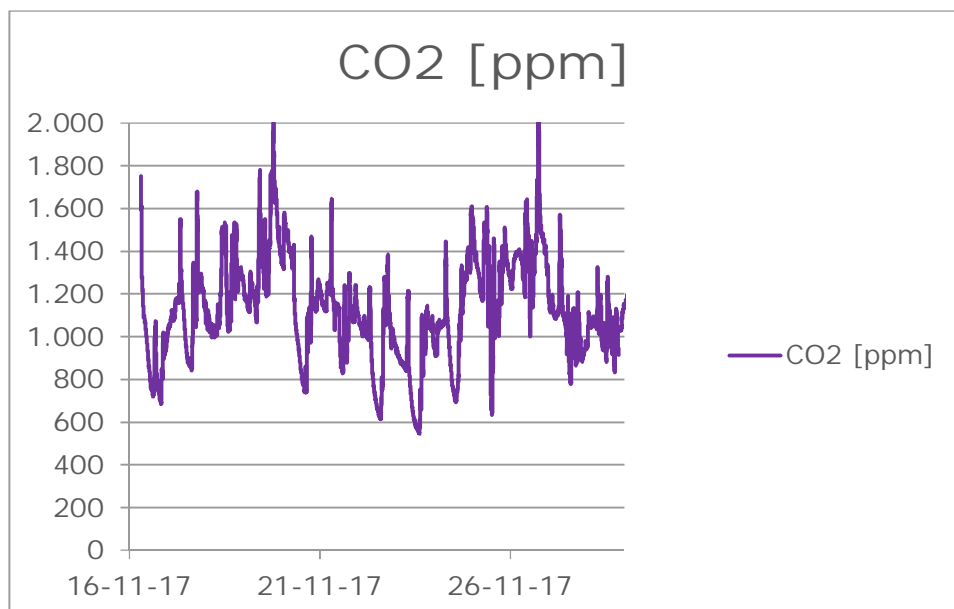
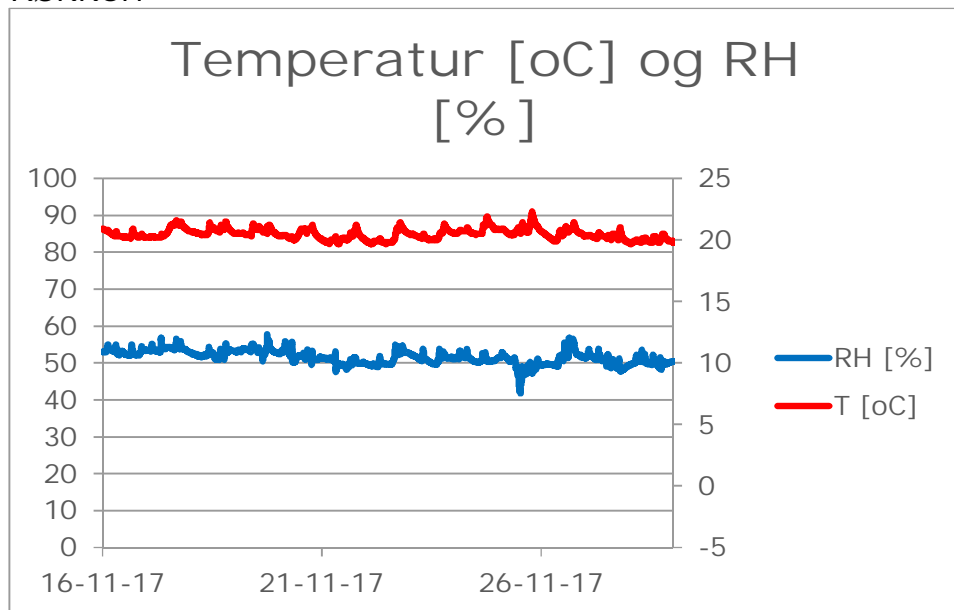
### Stort badeværelse



### Lille badeværelse

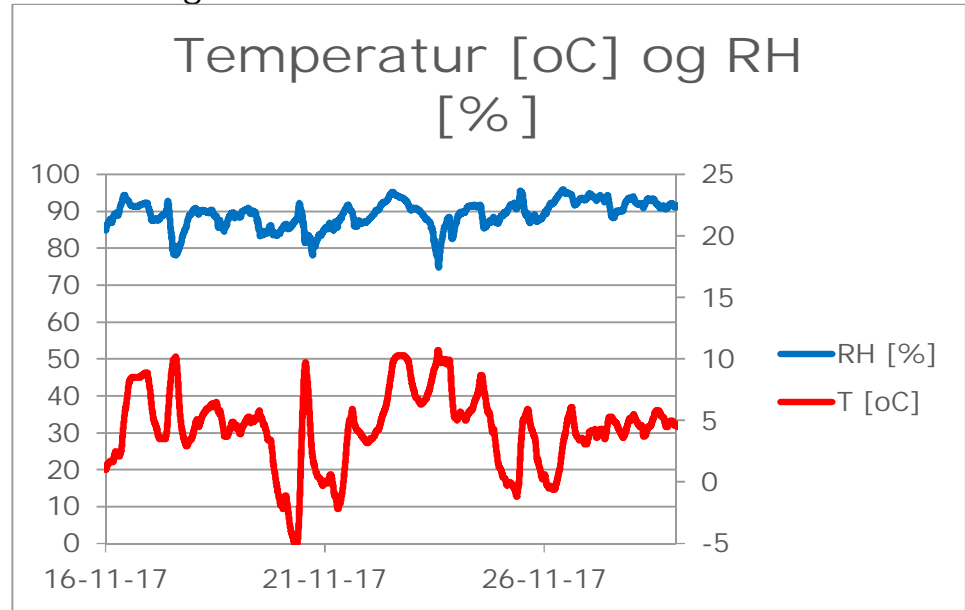


## Køkken

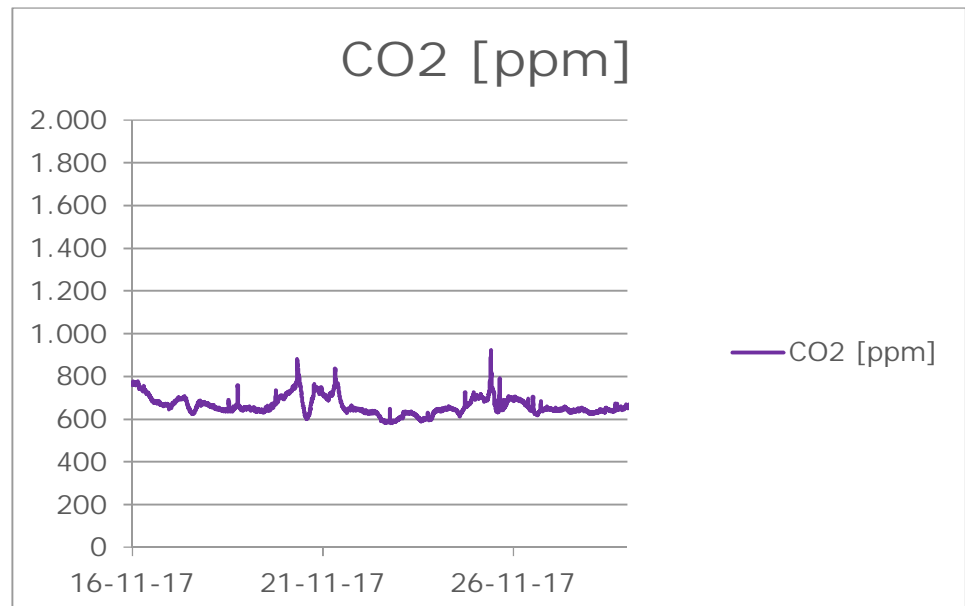
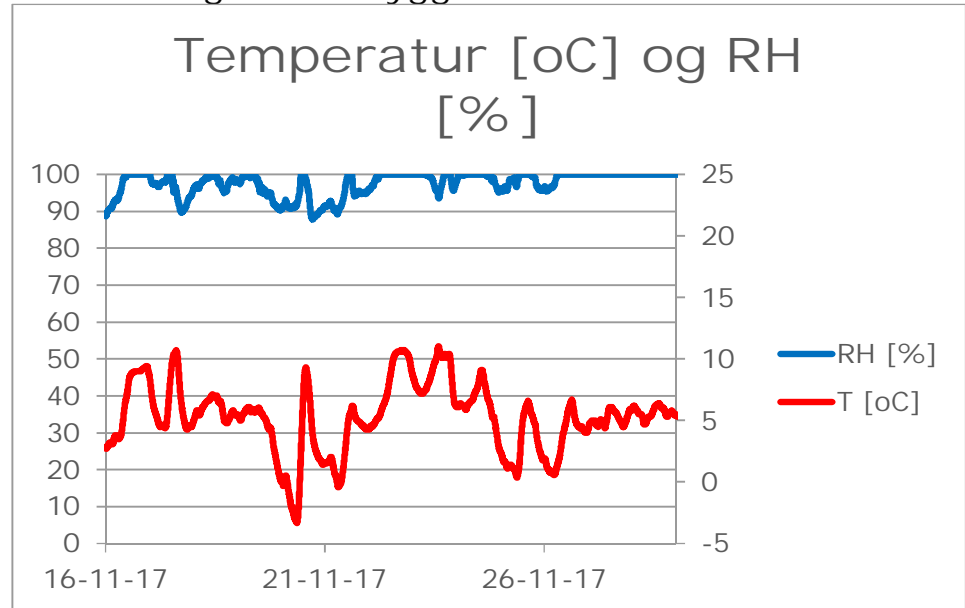




Loft – langt inde



### Loft ved luge over bryggers



---

**Bilag 5**  
**Fugtstudier**

---

## Bilag 5

## IT-Vent

## Fugtstudier - typiske og kritiske konstruktioner

Projekt nr.: 225706  
Dokument nr.: 1224778162  
Version 1  
Revision

Udarbejdet af CLR  
Kontrolleret af mevo  
Godkendt af

## 1 Indledning

I projektet IT-Vent undersøges om man med overtryksventilering kan skabe en trykgradient henover bygningskonstruktioner (primært terræn- eller krybekælderdæk etc.) så at radon og andre problematiske stoffer (forurening) kan holdes ude af bygningen.

Projektet har fokus på problemets omfang og afhjælpning i lav bebyggelse (parcelhus, kæde-/række-/klyngehuse) idet boligarealet her er tæt på radon og/eller øvrig forurening.

I nærværende notat beskrives en række af de mest almindelige konstruktioner i nævnte type byggeri. Det vurderes at en række af disse konstruktioner vil have problemer med overtryksventilering, idet overtrykket kan medvirke til at presse fugt ud gennem konstruktionerne. Med større fugttransport gennem konstruktionerne stiger risikoen for at der opstår en højt (skadeligt) fugtindhold i disse, hvilket vurderes at kunne medføre risiko for skader i form af skimmel, råd etc.

## 2 Almindelige konstruktioner i lav bebyggelse

### 2.1 Ydervægge

Ydervægge i lav bebyggelse er kendetegnet ved at være opbygget som massive mure (evt. suppleret med udvendig eller indvendig isolering), hule mure (evt. med hulmursisolering) eller lette ydervægge (træ- eller stålskelet, hvor hulrum er udfyldt med isolering).

#### 2.1.1 Massive mure

Massive mure ses i byggeri fra før 1961 (BR-61) og opførtes i teglsten. De massive mure kan senere hen være efterisoleret enten indvendigt eller udvendigt.

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Massive mure vurderes ikke at have problemer med overtryksventilering. Såfremt der trænger ekstra fugt ind i konstruktionen vil murstens kapillarsugende egenskaber gøre at evt. ekstra fugt transporteres til indvendig/udvendig overflade hvorfra fugt fordampes.

Massive mure med udvendig isolering vurderes ikke at have problemer med overtryksventilering. Udvendig isolering holder murværk varmt hvorved kondens ikke burde forekomme.

Massive mure med indvendig isolering vurderes at være problemfyldte allerede uden at der påtrykkes overtryksventilering. Konstruktion vurderes at være problematisk.

### 2.1.2 Hule mure

Hule mure vandt indpas i byggeriet fra omkring år 1900. Fra 1961 (BR-61) udfyldes hulrummet med varmeisolerende fyld (mineraluld, skum, letklinker etc.). En del hule mure, som ikke fra starten var udfyldt med isoleringsmateriale, er efterfølgende efterisoleret med forskellige isoleringsmaterialer (mineraluld, skum, letklinker etc.).

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Massive mure vurderes ikke at have problemer med overtryksventilering. Såfremt der trænger ekstra fugt ind i konstruktionen vil murstens kapillarsugende egenskaber gøre at evt. ekstra fugt transporteres til indvendig/udvendig overflade hvorfra fugt fordamper.

### 2.1.3 Lette ydervægge

Lette ydervægge, dvs. stolpekonstruktioner af træ/stål udfyldt med isoleringsmateriale, ses i byggeri fra 1960'erne og fremad. I 1960'erne opbygges ydervæggene med træskelet. Indvendig bruges forskalling og puds og udvendig benyttes bræddebeklædning. Senere (1990'erne og fremad) opbygges lette ydervægge af træ/stål som skelet. Som indvendig beklædning bruges nu gipsplader. Udvendigt bruges bræddebeklædning, cementbaserede plader mv.

I de oprindelige lette ydervægge (i 1960'erne; med forskalling og puds) sikres lufttæthed med pudslaget. Fugtforholdene i konstruktionen er acceptable idet isoleringstykkelserne er begrænsede.

I de senere lette ydervægge (med gipsplader og større isoleringstykkelser) introduceres dampspærre (typisk en PE-folie) for at sikre lufttæthed og sikkerhed mod skadelig fugtoghobning.

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Lette ydervægge vurderes at kunne have problemer med overtryksventilering. Væggene indeholder (ofte) betydelige mængder organisk materiale (gips-kartonplader, forskalling (af træ) og træskelet som er sårbart såfremt fugtniveauet i konstruktionen stiger.

Problem med overtryksventilering vurderes at være størst ved konstruktioner med stor isoleringstykkelse (idet varmestrømmen og dermed temperatur er lav) og ved samlingsdetaljer mellem ydervæg og tilstødende bygningsdele (gulv, skillevæg, tag, vinduer).

Utæthed i den indvendige beklædning og/eller dampspærre forværrer et eventuelt problem.

## 2.2 Tag/loftkonstruktion

Tagkonstruktion i lav bebyggelse er kendetegnet ved typisk at være opbygget som lette konstruktioner, dvs. med den bærende konstruktion i træ. Afhængig af byggeperiode er der benyttet mindre eller større isoleringstykkelser.

### 2.2.1 Vandret loft – uudnyttet tagrum

Vandret loft ses i lav bebyggelse, hvor der ikke er ønske om at udnytte tagrummet. Oprindeligt er konstruktionen opbygget med forskalling samt rør/puds

på indvendig side, med loftbjælker og evt. loftsbrædder. Tagrummet er koldt. Tagrummet ventileres typisk ved åbninger ved tagfod samt ved rygning; evt. suppleret med ventilationsåbninger i gavle. Lufttæthed (og modstand mod vanddamptransport) sikres med pudslaget.

Senere erstattes rør/puds med indvendig pladebeklædning i form af gipsplader. Idet der også indlægges isoleringsmateriale i loftkonstruktionen introduceres en dampspærre; typisk placeret mellem forskalling og gipsplade.

Som tagdækning bruges teglsten, eternit, betontagsten o. lign.

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Vandret loftskonstruktion vurderes at have problemer med overtryksventilering. Loftskonstruktionen indeholder (ofte) betydelige mængder organisk materiale (gips-kartonplader, forskalling (af træ) og tagbjælker som er sårbart såfremt fugtniveauet i konstruktionen stiger.

Problem med overtryksventilering vurderes at være størst ved konstruktioner med stor isoleringstykkelse (idet varmestrømmen og dermed temperatur er lav) og ved samlingsdetaljer mellem loft og tilstødende bygningsdele (skillevæg, ydervæg). Utæthed i den indvendige beklædning og/eller dampspærre forværrer et eventuelt problem.

### 2.2.2 Skråtag – udnyttet tagrum (paralleltag)

Skråtag ses i lav bebyggelse, hvor der er ønske om at udnytte tagrummet. Oprindeligt er konstruktionen opbygget med forskalling samt rør/puds på indvendig side, med loftbjælker og evt. loftsbrædder. Konstruktionen ventileres ved åbninger ved tagfod samt ved rygning. Lufttæthed (og modstand mod vanddamptransport) sikres med pudslaget.

Senere erstattes rør/puds med indvendig pladebeklædning i form af gipsplader. Idet der også indlægges isoleringsmateriale i tagkonstruktionen introduceres en dampspærre; typisk placeret mellem forskalling og gipsplade.

Som tagdækning bruges teglsten, eternit, betontagsten o. lign.

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Skråtag (paralleltag) vurderes at have problemer med overtryksventilering. Loftskonstruktionen indeholder (ofte) betydelige mængder organisk materiale (gips-kartonplader, forskalling (af træ) og tagbjælker som er sårbart såfremt fugtniveauet i konstruktionen stiger.

Problem med overtryksventilering vurderes at være størst ved konstruktioner med stor isoleringstykkelse (idet varmestrømmen og dermed temperatur er lav) og ved samlingsdetaljer mellem loft og tilstødende bygningsdele (skillevæg, ydervæg).

Utæthed i den indvendige beklædning og/eller dampspærre forværrer et eventuelt problem.

### 2.2.3 Flade tage

Flade tage optræder typisk i byggeri fra 1950'erne og fremad. De flade tage er fra starten kun isoleret i meget beskedent omfang (om overhovedet). Fra 1970'erne øges isoleringstykkelsen betragteligt.

Flade tage opbygget med lette byggematerialer, dvs. ikke betontage, minder i opbygning meget om paralleltage (se afsnit 2.2.2) og har dermed de samme udfordringer.

Ventilation af tagkonstruktion tilvejebringes med ventilationsåbninger i udhæng. Ventilation er nogle gange etableret via taghætter. Brug af taghætter frarådes dog da der er risiko for fugtskader for taget (varm fugtig rumluft trænger op i tagkonstruktion).

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Flade tage (paralleltag) vurderes at have problemer med overtryksventilering. Loftskonstruktionen indeholder (ofte) betydelige mængder organisk materiale (gips-kartonplader, forskalling (af træ) og tagbjælker som er sårbart såfremt fugtniveauet i konstruktionen stiger.

Problem med overtryksventilering vurderes at være størst ved konstruktioner med stor isoleringstykkelse (idet varmestrømmen og dermed temperatur er lav) og ved samlingsdetaljer mellem loft og tilstødende bygningsdele (skillevæg, ydervæg).

Utæthed i den indvendige beklædning og/eller dampspærre forværrer et eventuelt problem.

## 2.3 Gulv/Dæk

Gulvkonstruktion i lav bebyggelse er typisk opbygget som dæk på terræn, dæk over uopvarmet kælder eller krybekælderdæk. Type af gulvkonstruktion afhænger bl.a. af jordbundsforhold (grundvandsspejl etc.).

### 2.3.1 Dæk på terræn

Dæk på terræn opbygges typisk af et betonlag udlagt på jord. Fra 1960'erne og fremad blev der tillige udlagt et kapillarbrydende lag (sten af min  $\varnothing 4$  mm, løse letklinker eller tilsvarende), i 1970'erne begyndte man at isolere på betonens overside (med ca. 50 mm isolering) og fra 1980'erne begyndte man at isolere på betonens underside. Ved udlægning af isolering blev der også udlagt et fugtspærende lag på oversiden af betonen. Ovenpå betondækket (og evt. fugtspærre) blev efterfølgende udlagt gulvbeklædning (trægulv på strøer, gulvtæppe, linoleum etc.).

Vurdering af problem med overtryksventilering

Dæk på terræn vurderes ikke at have problemer med overtryksventilering. Såfremt konstruktionen har organiske materialer (træ, lim fra klæbning etc.) er disse placeret på indvendig side. Betonlaget vil, selv med betydelig fugttilførsel, ikke tage skade.

### 2.3.2 Dæk over uopvarmet kælder

Dæk over uopvarmet kælder opbygges typisk med et bjælkelag, hvor der ovenpå bjælkerne er udlagt gulvbeklædning (trægulv, pladebeklædning/tæppe etc.). Mellem bjælkerne kan der være indskudsbrædder med ler (typisk i ældre konstruktioner) eller isoleringsmateriale. Mod kælderrum kan dækket være afsluttet med pladebeklædning eller efterladt uden yderligere afdækning.

Dækket er typisk opbygget uden dampspærre grundet den begrænsede temperaturforskel (og dermed forskel i vanddamptryk) mellem stueetage og kælder.

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Dæk over uopvarmet kælder vurderes at have problemer med overtryksventilering. Dækket indeholder betydelige mængder organisk materiale (bjælker, indskudsbrædder etc.) som er sårbart såfremt fugtniveauet i konstruktionen stiger.

### 2.3.3 Krybekælderdek

Krybekælder er betegnelse for et rum under en bygning, hvor rummet er ventileret med udeluft. Konstruktionen ses mest udbredt i huse fra før 1970'erne. Kryberummet kan have forskellig højde; typisk ses krybehøjde, men der er også eksempler på kryberum der er eksempelvis 10 cm i højde. Krybekælder ses sjældent i nybyggeri, da konstruktionen har risiko for fugtskader såfremt der ikke kan skabes tilstrækkelig med ventilation af kryberummet.

Dæk over krybekælder opbygges typisk med et bjælkelag, hvor der ovenpå bjælkerne er udlagt gulvbeklædning (trægulv, pladebeklædning/tæppe etc.). Mellem bjælkerne kan der være indskudsbrædder med ler (typisk i ældre konstruktioner) eller isoleringsmateriale. Såfremt der er isoleret mellem bjælker fastholdes isoleringsmateriale typisk med ståltråd eller tynde lister.

Krybekælderdek er sjældent opbygget med dampspærre.

Vurdering af problem med overtryksventilering:

Krybekælderdek vurderes at have problemer med overtryksventilering. Dækket indeholder betydelige mængder organisk materiale (bjælker, indskudsbrædder etc.) som er sårbart såfremt fugtniveauet i konstruktionen stiger. Selv uden overtryksventilering er krybekælder fugtmæssigt ofte udfordrede.

## 3 Anbefaling

I forhold beregning/vurdering af konsekvenser ved overtryksventilering af lavt byggeri, vurderes det at der arbejdes videre med vurdering af den fugtmæssige sikkerhed af følgende konstruktionstyper:

- Lette ydervægge
- Tag/loftskonstruktioner (skråtag uudnyttet tagrum, skråtag udnyttet tagrum, fladt tag)
- Dæk over uopvarmet kælder
- Krybekælderdek



---

**Bilag 6**  
**Differenstryk,**  
**erfaringsopsamling**

---

## Intelligent ventilation

### Differenstryk, erfaringsopsamling



Dato 24-05-2017

Sagsbehandler Børge Hvidberg

Jordforurening@ru.rm.dk

Tel. +4578411908

Sagsnr. 1-34-71-2-11

Lokalitetsnr. «xxx-xxxx»

#### 1. Danske erfaringer

Region Midtjylland har gennemført en række tests af brug af blower door til bestemmelse af forureningsbidrag fra poreluftforurening og fra interne kilder til indeklimaet i boliger. Resultaterne er præsenteret i /Hvidberg og Nielsen 2015/. Efterfølgende har metoden været anvendt på nogle projekter, præsenteret i /Hvidberg 2016/.

Differenstrykmålinger er ikke vist i ovenstående præsentationer, men det konkluderes i /Hvidberg 2016/, at et differenstryk over klimaskærmen på hhv. + og – 5 Pa er tilstrækkelig til at vende trykgradienten over gulv, så bestemmelse af bidrag fra poreluftforurening kan beregnes.

Region Midtjyllands data for differenstryk over hhv. klimaskærm og gulv fra ovennævnte projekter er sammenfattet i nedenstående tabeller (ikke offentliggjort). Det skal bemærkes, at der i alle tilfælde er samme differenstrykgradient-retning. Dvs. hvis der er skabt overtryk i huset, er de angivne trykgradienter for både klimaskærm og gulv udadrettet, tilsvarende hvis der er skabt undertryk i huset, er de angivne trykgradienter indadrettet, uanset hvilken trykgradient-retning der var i naturlig tilstand. I naturlig tilstand (differenstryk over klimaskærm =0) kan differenstryk over gulv være opad- eller nedadrettet.

Error! Not a valid link.

Lokalitet	C	C	C	C
Dato	23.04.2015	23.04.2015	23.04.2015	23.04.2015
Klimaskærm	0	5	15	20
Rum 1	0*	3,0	6,0	7,0
Rum 2	0,1	0,3	0,5	0,7

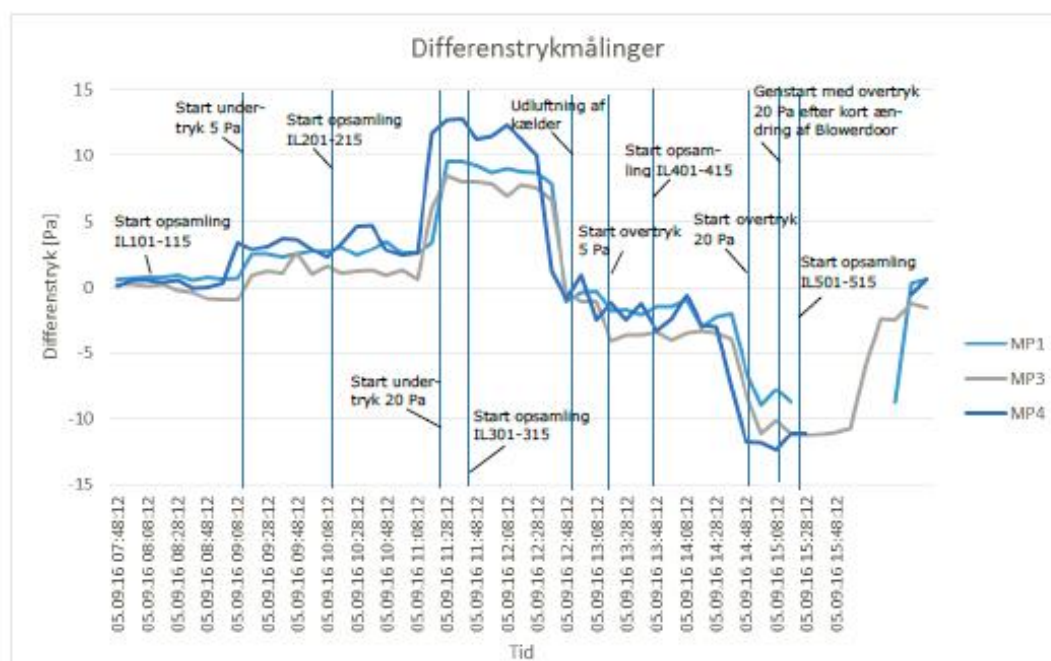
\*: Varierende, middelværdi 0.

Sammenhørende værdier for målt differenstryk over klimaskærm (påtrykt med blower door) og resulterende differenstryk over gulv, i Pa.

Det fremgår af ovenstående værdier for lokalitet A, at målepunktet "Gulv, stue midt" må være placeret relativt tæt ved en betydende lækage gennem gulvet, medens målepunkter "Gulv værelse" og "Gulv stue syd" må være placeret i tæt gulv, idet der her kan opretholdes næsten samme differenstryk som over klimaskærmen.

På lokalitet C var gulvet af generel dårlig kvalitet med mange revner, og differenstrykket over gulv var noget mindre end differenstrykket over klimaskærmen, specielt for målepunkt "Rum 2".

I /Mogensen og Loll 2017/ er resultaterne for differenstrykket over gulv ved blower-door påtrykte over/undertryk vist i nedenstående figur.



## 2. Udenlandske erfaringer

I USA er blower door test (Building Pressure Control / Controlled Pressure Method) en almindelig anvendt metode til bestemmelse af indtrængningsveje for (foruren) poreluft og til bestemmelse af forureningsbidrag fra interne kilder og fra poreluft. Metoden er omtalt i projekter, bl.a. McHugh et al 2012b og i Johnson et al 2016, samt præsenteret på konferencer, bl.a. McHugh et al 2012a og Holten et al 2017.

Data for differenstrykmålinger fra disse referencer er sammenfattet i nedenstående tabel. Det skal bemærkes, at der i alle tilfælde er samme trykgradient-retning. Dvs. hvis der er skabt overtryk i huset, er de angivne trykgradienter for både klimaskærm og gulv udadrettet, tilsvarende hvis der er skabt undertryk i huset, er de angivne trykgradienter indadrettet, uanset hvilken trykgradient-retning der var i naturlig tilstand.

Reference År	1 2012a	1 2012a	2 2012b	2 2012b	4 2016	4 2016	5 2017	5 2017
Bemærk- ninger			Utæt gulv	Tæt gulv			Stor bygning	Stor bygning
Klima Skærm,	1-2	4-6	2-4	1,0- 2,5	8	10- 12	5	20
Gulv	0,5- 1,5	2-3	0,002- 0,5	0,5- 1,5	4	5-10	0,5-0,8	0,5-1,5

*Sammenhørende værdier for målt differenstryk over klimaskærm og resulterende differenstryk over gulv, i Pa.*

## 3. Sammenfatning

På basis af ovenstående data vurderes det, at i bygninger med et rimeligt tæt gulv vil et overtryk i huset på 4-5 Pa (differenstryk på 4-5 Pa over klimaskærmen) være tilstrækkelig til at sikre nedadrettet trykgradient over gulvet. Det må forventes, at den nedadrettede trykgradient over gulvet ikke kan opretholdes i mindre områder tæt ved utætheder i gulvet (ved f.eks. rørgennemføringer mm.)

## 4. Referenceliste

1. McHugh, T., Beckley, L., Gorder, K. & Dettenmaier, E., (2012a) Field Methods to Distinguish Between Vapor Intrusion and Indoor Sources of VOCs. Presented at the Eight International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant Compounds, Battelle, May 23, 2012, Monterey, California.

2. McHugh, T., Beckley, L. & Bailey, D., (2012b) Protocol for Tier 2 Evaluation of Vapor Intrusion at Corrective Action Sites, ESTCP Project ER-200707. July 2012.

3. Hvidberg B. & Nielsen, K., (2015) Blower door test to examine if VOC concentration in indoor air is caused by internal source or by subslab source. Presented at AquaConsoil 2015, 13th International UFZ-Deltares Conference on Sustainable Use and Management of Soil, Sediment and Water Resources. 9.-12. June 2015, Copenhagen, Denmark.

4. Johnson, P., Holton C., Guo, Y., Dahlen, P., Luo, H., Gorder, K., Dettenmaier, E., Hinchey, R. (2016) Integrated Field-Scale, Lab-Scale, and Modeling Studies for Improving Our Ability to Assess the Groundwater to Indoor Air Pathway at Chlorinated Solvent-Impacted Groundwater Sites. SERDP Project ER-1686. July 2016.

5, Holton C., Lutes, C., Lund L., Hallberg K., Truesdale R. & Caldwell, D.. (2017) State-of-the-Science Update on the use of Building Pressure Cycling Methods. Presented at AEHS Conference March 2017, [27th Annual International Conference on Soil, Water, Energy, and Air](#), March 20 to 23. 2017, San Diego, California.

6. Hvidberg, B., 2016, Blæs og sug - Indeklimaundersøgelser med Blower Door og volumenprøvetagning af poreluft. Præsenteret på ATV Jord og Grundvand temamøde Nyt om indeklima – undersøgelsesmetoder og risikovurderinger, 15. september 2016 Aarhus

7. Mogensen, S. B, Loll, P. 2017, Blower door undersøgelse af indeklima, Dansk Miljørådgivning A/S for Region Midtjylland, foreløbig udgave 21. 2. 2017