



Midlertidig skimmelreivering af krybekældre

Undersøgelse af effekten af affugtning og sug i krybekældre med skimmelsvamp

Møller, Eva B.; Gunnarsen, Lars

Publication date:
2012

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Møller, E. B., & Gunnarsen, L. (2012). *Midlertidig skimmelreivering af krybekældre: Undersøgelse af effekten af affugtning og sug i krybekældre med skimmelsvamp*. SBI forlag. SBI Bind 2012 Nr. 07

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Midlertidig skimmelrenovering af krybekældre

Undersøgelse af effekten af affugtning og sug
i krybekældre med skimmelsvamp



Midlertidig skimmelreovering af krybekældre

Undersøgelse af effekten af affugtning og sug i krybekældre med skimmelsvamp

Eva B. Møller
Lars Gunnarsen

Titel	Midlertidig skimmelreivering af krybekældre
Undertitel	Undersøgelse af effekten af affugtning og sug i krybekældre med skimmelsvamp
Serietitel	SBI-rapport 2012:07
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2012
Forfatter	Eva B. Møller, Lars Gunnarsen
Sprog	Dansk
Sidetæl	62
Litteratur-henvisninger	Side 35
Emneord	Skimmelsvampevækst, krybekælder, affugtning, ventilation, undertryk, fugt, reivering
ISBN	978-87-92739-07-0
Fotos	Eva B. Møller
Omslag	Foto: Eva B. Møller
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Indhold

Indhold.....	3
Forord.....	4
Resumé.....	5
Indledning.....	7
Projekt mål.....	8
Projektbegrundelse.....	8
Skimmelvækst.....	10
Indeklimagener.....	10
Vækstbetingelser.....	11
Spredning af skimmel og afgangninger.....	15
Forsøg.....	17
Metode.....	17
Udvalgte boliger.....	19
Supplerende forsøg.....	21
Resultater.....	23
Fugtforhold.....	23
Trykdifferenser.....	24
Luftopblanding.....	24
Energiforbrug.....	26
Diskussion.....	27
Metodevalg.....	27
Effektivitet.....	28
Omkostninger.....	31
Konklusion.....	33
Anvendelighed.....	33
Begrænsninger.....	34
Litteratur.....	35
Bilag 1.....	37
Bilag 2.....	39
Bilag 3.....	43

Forord

Der synes at være en stigende tendens til, at der opstår fugt- og skimmel-svampeproblemer i såkaldte traditionelle ventilerede krybekældre. Denne erfaring er bl.a. gjort at Midtfyns Totalservice, der har kunnet konstatere et stigende behov for at kunne løse dette problem dels i almindelige krybekældre, dels i krybekældre, der har været oversvømmet og siden udtørret.

Den sikreste og mest radikale løsning ved skimmelsvampeangrebne krybekældre er at fjerne gulvet mod krybekælderen og rense krybekælderen for skimmel. Herefter kan opbygningen evt. ændres til enten terrændæk eller varm krybekælder jf. SBI-anvisning 224 *Fugt i bygninger* (Brandt, 2009), så skimmelangreb fremover undgås. Afslutningsvis lægges et nyt gulv.

Imidlertid er denne løsning meget kostbar. Midtfyns Totalservice, ved Michael Nielsen, har derfor bedt Statens Byggeforskningsinstitut om at forestå en undersøgelse af en løsning, hvor gulvet bevares, men hvor der etableres affugtning i krybekælderen kombineret med et svagt sug, således at der opretholdes et undertryk i kælderen.

Affugtningen betyder, at skimmelvæksten går i stå og undertrykket betyder, at der ikke føres skimmelsvampe eller toksiner herfra op i beboet område.

Denne rapport dokumenterer undersøgelser af effekten af affugtning og sug i krybekældre med skimmelsvamp.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Byggeri og sundhed
August 2012

Niels Jørgen Aagaard
Forskningschef

Resumé

Rapporten omhandler forsøg med en metode, der skal gøre det muligt at udsætte renoveringen af krybekældre, der er angrebet af skimmelsvamp, på bekostning af en større driftsudgift. Metoden består i følgende:

- I krybekælderen placeres en udsugningsventilator med afkast gennem krybekældervæggen. Luftstrømmen kan indstilles.
- Krybekældrens almindelige ventilationshuller stoppes med mineraluld.
- Erstatningsluften trækkes fra overliggende beboelsesrum ned gennem krybekælderdekke og forhindrer, at der etableres en luftstrøm den anden vej. Derved forhindres at luft med sundhedsskadeligt indhold fx som følge af skimmelvækst i kælderen eller radonindtrængning spredes til beboede områder.
- For at forhindre skimmelsvampevækst i krybekælderen opsættes en adsorptionsaffugter i krybekælderen. Denne er påkrævet både fordi der kan være et skimmelproblem og fordi fugttilførslen til krybekælderen øges, da der nu trækkes fugtig luft fra boligen ned i krybekælderen.

Metoden er blevet afprøvet på tre huse med krybekælderdek bestående af trægulve, isolering og vindpap og et klaplag i bunden af krybekælderen. Måleperioden strakte sig fra 1. juli 2009 til 31. august 2009 og blev delt i tre perioder; i hvert hus blev der afprøvet to forskellige indstillinger af udsugningsluftstrømmen samt en periode uden udsugning. Målingerne omfattede følgende:

- Sporgasmålinger med PFT udstyr, således at luftstrømme ud og ind af huset og gennem krybekælderdek kunne bestemmes
- Fugt- og temperaturmålinger ude, i krybekældrene og i de beboede rum
- Trykdifferensmålinger mellem krybekælder og beboede rum

De planlagte målinger af energiforbruget til affugterne blev ved en fejl ikke gennemført.

Resultaterne af målingerne viste:

- Uden udsugning fra krybekælderen er der en betydelig nettotransport af luft fra krybekælderen til det beboede areal
- Etableres der udsugning, vendes denne luftstrøm, således at der kun trænger meget små luftmængder op gennem krybekælderdekke
- Luftoverførslen fra krybekælderen var meget lav ved begge indstillinger. Af energihensyn bør ventilationen holdes nede
- Affugteren i et af husene kunne ikke holde fugtigheden på tilstrækkelig lavt niveau, pga. manglende målinger af affugterens forbrug, kan det ikke vurderes om dette skyldes affugterens kapacitet eller indstilling.

I oktober 2010 blev der udført et supplerende forsøg med lavere ventilation i krybekælderen og en anden type affugter. Dette forsøg viste, at den valgte ventilation var for lav til at sikre at luftstrømmen gennem etagedekke gik oppefra og ned, men fugtniveauet i krybekælderen var tilfredsstillende lavt.

Overslagsberegninger viser, at for et hus af den undersøgte type beløber driftsudgifterne sig til ca. 5.000 kr/år, hertil kommer anlægsudgiften på ca. 20.000 kr. Begge dele kan muligvis nedsættes ved at anvende mere energi-

effektive affugtere og optimere den udsugede luftstrøm. Den supplerende undersøgelse viser dog, at ventilationen kan blive for lav således at der ikke er sikkerhed for at skimmelsvampene ikke påvirker luftkvaliteten i beboelsesrummene.

Metoden synes at være anvendelig til huse af denne type såfremt:

- Affugteren kan holde en fugtighed i krybekælderen under 75 % RF, dette vil afhænge af det konkrete hus og affugteren
- Anlægs- og driftsudgifter er acceptable i forhold til besparelsen ved at udsætte renoveringen af krybekælderen.

Indledning

Fugt er nedbrydende for konstruktioner og kan påvirke indeklimaet i negativ retning, derfor er det væsentligt at forhindre fugten fra jorden i at trænge ind i husets konstruktioner. I dansk byggetradition kan overgangen mellem undergrunden og indeluften i princippet udføres på tre måder: En kælderkonstruktion, en krybekælder eller et terrændæk, afhængig af husets anvendelse, jordbundsforhold og ejerens ønsker.

I mange i enfamilie- og rækkehuse fra ca. 1900 og frem har krybekælderløsningen været anvendt, oftest i form af en ventileret konstruktion, med en krybekældbund af sand eller betonklaplag og ventileret gennem mindre åbninger i ydermuren. Gulvkonstruktionen med krybekælderen (krybekælderens "loft") har indtil slutningen af 1970'erne normalt været uisoleret eller med kun lidt isolering.

Krybekælderen giver mulighed for at føre installationer under huset, men er billigere at etablere end en fuld kælder. Krybekælderhøjder kan variere meget, fra højder hvor det kun er muligt at kravle sig frem, til højder hvor man næsten kan gå oprejst. I nogle tilfælde er krybekældrene så lave, at det reelt ikke muligt at inspicere krybekælderen.

I 1960'erne blev en krybekældertype med meget lidt ventilation introduceret, krybekældergulvet kunne være sand dækket med en plastikfolie.

Krybekældre har i mange år været anset for at være en fugtteknisk god løsning, selvom man i SBI-anvisning 178 "Bygningers fugtisolering" fra 1993 (Andersen et al. 1993) gjorde opmærksom på, at varmetabet fra løsningen normalt må betegnes som uacceptabelt.

Netop for at begrænse varmetabet fra de traditionelle krybekældre, er man begyndt at øge isoleringen mellem bolig og krybekælder, eller begrænse ventilationen i kælderen. Det betyder dels, at temperaturen i krybekælderen falder, dels at fugt fra jorden ikke ventileres bort. Begge forhold betyder, at fugtniveauet i krybekælderen stiger.

Resultatet har været, at man ser flere og flere krybekældre, der før fungerede fugtteknisk hensigtsmæssigt om end med et betydeligt varmetab, som nu får reduceret varmetabet, men fugtteknisk ikke længere fungerer. Det kan ved høje fugtniveauer resultere i råd i trækonstruktioner over krybekælderen, og ved lavere fugtniveauer i at der dannes skimmelsvampe i kælderen. Blot at øge ventilationen for at bortventilere mere fugt vil sjældent være en løsning, da mere ventilation, især om sommeren, kan være med til at øge fugtbelastningen på de kolde overflader mod undergrunden.

Skimmelsvampene nedbryder ikke konstruktionen, men kan give indeklimagener i husets beboede del. Fjernelse af skimmelsvamp kan imidlertid være meget vanskeligt og betyde en række følgeudgifter. Derfor kan det være hensigtsmæssigt at udskyde en reovering til et tidspunkt, hvor der alligevel skal ske forandringer. Prisen herfor kan være en øget energiudgift i den mellemliggende periode. Det er dog kun en mulighed, hvis beboerne ikke oplever indeklimagener mens reoveringen udskydes.

En mulig løsning kunne være at etablere affugtning i kælderen i de perioder hvor fugtniveauet er for højt og samtidig sikre et konstant undertryk i kælderen, således at gasser og biologisk materiale fra skimmelvæksten i krybekælderen ikke spredes til husets beboede område. Denne rapport belyser muligheden for en sådan løsning baseret på en række forsøg i eksisterende huse.

Projektmål

Hensigten med projektet har i prioriteret rækkefølge været:

- 1 At afprøve om det er muligt med affugtning og undertryk i vanskeligt tilgængelige hulrum at sikre mod fortsat skimmelvækst og spredning af evt. skimmel gennem luften til beboede rum. Afprøvningen dokumenteres.
- 2 At undersøge hvilke parametre der har indflydelse på om metoden kan anvendes, herunder hvilke forudsætning der skal være opfyldt.
- 3 At angive retningslinjer for en dimensioneringsmetode

Projektbegrundelse

På sigt bør huses energiforbrug minimeres, samtidig med at de stadig fungerer tilfredsstillende i funktions-, sikkerheds-, holdbarheds- og sundhedsmæssig henseende, sådan som bygningsreglementet for nybyggeri foreskriver (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010). Hvis holdbarheds- eller sundhedsmæssige forhold nødvendiggør en renovering, kan det ud fra en totaløkonomisk betragtning være hensigtsmæssigt at udsætte renoveringen selvom det betyder øget energiforbrug i en overgangsperiode, indtil renoveringen kan gøres billigere fx ved at blive foretaget sammen med andre renoverings tiltag. Dette kan dog kun ske, hvis det kan sandsynliggøres, at beboernes sundhed ikke belastes herved.

Sundhed

Når skimmelrenoveringer normalt skal foretages relativt hurtigt efter de opdages, skyldes det, at områder med skimmel kan påvirke beboeres helbred. Dette gælder specielt, hvis skimmelsvampen findes, hvor personer opholder sig. De nærmere mekanismer om hvad præcis der påvirker mennesker (gasser eller partikler eller kombinationer heraf) kendes ikke og dermed heller ikke hvordan påvirkningen spredes (WHO, 2009). Det synes dog sandsynligt, at påvirkningen sker gennem luften, da der også er konstateret gener fra hulrum, der normalt ikke er tilgængelige, fx krybekældre (Valbjørn 2003).

Som mål for at vurdere om den foreslåede metode fungerer mht. sundhed vurderes ud fra målinger om det er muligt at styre lufttilførslen til de beboede områder på en sådan måde, at lufttilførslen fra krybekælderen er så lille, at skimmelbelastningen herfra må forventes at være mindre end fra udeluften.

Økonomi

Afrensning af krybekældre for skimmelsvamp kan blive meget dyrt. Branchearbejdsmiljørådet for Bygge og Anlæg har således opstillet en række anbefalinger for varighed af arbejde udført krybekældre med forskellig højde, se tabel 1.

Tabel 1. Udgangspunkt for at vurdere hvor længe arbejdet i eksisterende krybekældre kan foregå (Branchearbejdsmiljørådet for Bygge og Anlæg, 2004).

Krybekælderens højde	Maksimal arbejdstid fordelt over en dag	Faktorer, der kan begrænse den daglige maksimale arbejdstid yderligere
Mellem 60 - 90 cm	1 time	Anvendelse af personlige værnemidler, der fx kan begrænse den fri ståhøjde
Mellem 90 - 120 cm	2 timer	Særligt belastende arbejdsstillinger eller adgangsforskel
Over 120 cm	4 timer	Psyisk belastende arbejdsforhold
Den faktiske ståhøjde for den/dem, der udfører opgaven i krybekælderen	Almindelig arbejdsdags længde	Personlige forhold, fx helbred og vægt

Hvis disse regler overholdes kan afrensning for skimmelsvamp muligvis lade sig gøre hvis krybekælderen er høj, men i mange tilfælde vil afrensning uden at fjerne gulvet ikke være gennemførligt eller markant dyrere end at fjerne gulvet inkl. de følgeudgifter dette afstedkommer.

Følgeudgifter ved gennemgribende renovering

Følgeudgifterne kan være betydelige, især hvis krybekælderen er sammenhængende og under hele huset, således at hele husets gulv skal tages op. Således må der indregnes udgifter til:

- Udskiftning af gulvet (fjernelse og retablering)
- Genhusning
- Udskiftning af køkkener
- Særlige tiltag omkring badeværelset

Oftest vil badeværelset være udført med uorganiske materialer og kan derfor normalt bevares, men der vil alligevel ofte skulle udføres specielle løsninger ved badeværelset.

For at begrænse disse udgifter kan det være hensigtsmæssigt at udsætte renoveringen til nogle af disse udgifter alligevel skulle afholdes, fx køkkener udskiftes, gulve omlægges eller i forbindelse med ejer/lejerskifte.

Ekstra driftsudgift ved udskydelse af renovering

Hensigten med den metode, der undersøges i dette projekt, er at gøre det muligt at udskyde renoveringen til et sådant mere passende tidspunkt. For ikke at gå på kompromis med sundheden er prisen dog et højere energiforbrug, dette sammensætter sig af:

- Tvunget mekanisk ventilation af krybekælderen, energiforbruget her går både på at drive ventilatoren, men også det øgede energitab som følge af øget ventilation. Den sidste del bestemmes ikke i denne rapport
- Drift for affugtning af kælderen. For at holde fugtniveauet i kælderen på et niveau, så der ikke opstår ny skimmelvækst, opsættes der en fugtstyret affugter i krybekælderen, denne aktiveres kun, når fugtniveauet når over en given grænse.

En totaløkonomisk vurdering skal således indeholde en opvejning af de øgede driftsudgifter i den periode den midlertidige afhjælpning finder sted i forhold til hvad der spares i anlægsudgiften ved at udskyde renoveringen til et mere passende tidspunkt.

Skimmelvækst

Ved et højt fugtindhold i en krybekælder kan der opstå træødelæggende svamp i den træbaserede konstruktion, der danner loft i krybekælderen og dermed gulv i husets beboede del. Det kan medføre konstruktivt svigt, der gør det nødvendigt at udbedre fejlen med det samme. Ved lidt lavere fugtniveauer kan der opstå skimmelsvamp, i modsætning til træødelæggende svampe nedbryder skimmelsvampe ikke konstruktionen, og den konstruktive sikkerhed er derfor ikke påvirket.

Indeklimagener

Derimod kan skimmel påvirke indeklimaet i den beboede del af huset og dermed beboernes helbred. Sundhedsstyrelsen (2009) har lavet en opgørelse over hvad de hyppigste symptomer er og hvor sikker man er på, at skimmel er årsag til symptomerne. De væsentligste konklusioner heraf er, at der med forskellige grader af sikkerhed er fundet sammenhæng mellem udsættelse for fugt og skimmelsvampe og:

- Såvel øvre som nedre luftvejssymptomer (irritation og tørhed af slimhinderne i øjne, næse og svælg samt tæthed i næsen samt hoste, hvæsende vejrtrækning (astmatiske symptomer) og åndenød.)
- Luftvejsinfektioner
- Udvikling af høfeber og astma hos børn
- Forværring af høfeber og astma

Almene symptomer som hovedpine, svimmelhed, træthed og koncentrationsbesvær samt kløe i huden og hududslet opleves ligeledes i sammenhæng med udsættelse for fugt og skimmelsvampe, men disse symptomer kan opstå som følge af en række andre faktorer og der foreligger ikke undersøgelser, der med tilstrækkelig stor videnskabelig styrke kan fastslå en sikker årsagssammenhæng mellem symptomerne og udsættelse for fugt og skimmelsvampe.

I samme publikation står der om tørre skimmelsvampe:

"Der er fra byggeteknisk side erfaring for, at manglende afrensning af tørre skimmelsvampe i lukkede bygningskonstruktioner, normalt ikke generer brugerne. Der er imidlertid ingen sundhedsfaglig dokumentation herfor. Derimod kan der være risiko for fornyet vækst af skimmelsvampe i tilfælde af, at der på ny opstår fugtproblemer. Endelig er det vanskeligt at vurdere evt. luftstrømme igennem lukkede konstruktioner."

Denne formulering er et udtryk for, at det er meget omdiskuteret hvor nødvendigt afrensning er, når fugtniveauet er nedbragt. Men normalt må en løsning hvor fugtniveauet er holdt nede og luftstrømmene er kontrolleret, anses for at være tilfredsstillende

For at forhindre at indeklimaproblemerne opstår, er der derfor behov for både at begrænse skimmelvæksten og forhindre spredningen af skimmel og gasser herfra.

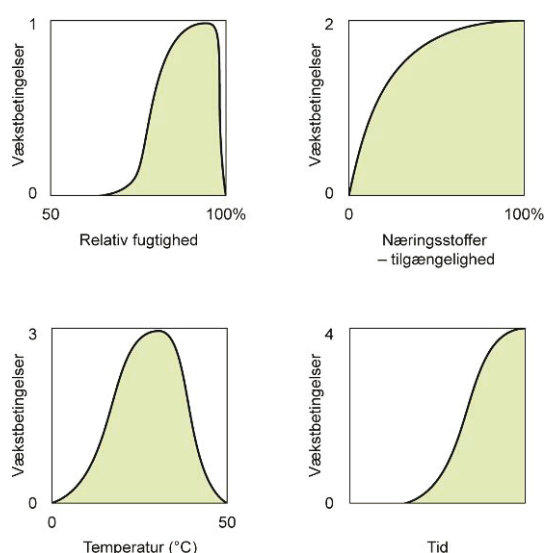
Vækstbetingelser

Skimmelsvampe forekommer overalt i naturen, at forsøge at forhindre skimmelsvampe i at komme ind i almindelige huse vil derfor være urealistisk. Men om skimmelsvampe udvikler sig til et problem afhænger af omfanget af skimmelvæksten og beboernes følsomhed overfor skimmelsvampe. Da påvirkningerne fra forskellige skimmelsvampe og andre miljøfaktorer er mangartede og menneskers tolerancetærskel er meget forskellig, er det ikke muligt at udpege enkelte skimmelsvampe eller anden biologisk aktivitet som skal holdes nede (WHO, 2009). Indsatsen skal derfor ske over en bred kam, hvor det handler om at holde mulighederne for vækst nede.

For at der kan opstå skimmelsvampevækst og hvor hurtigt væksten sker, er de væsentligste faktorer:

- Fugtforhold
- Næring
- Temperaturniveau
- Varighed af gunstige vækstforhold

Sammenhængen mellem disse forhold er forsøgt illustreret i figur 1, hvor sandsynligheden for skimmelvækst kan vurderes ved at gange sandsynligheden for hvert af de fire forhold (sandsynlighed 1 ved optimale forhold) med hinanden.



Figur 1. Skimmelsvampes vækstbetingelser er hovedsageligt givet ud fra fire parametre; 1) fugtforhold, 2) tilgang til næring, 3) temperatur og 4) tid. Figur stammer fra (Brandt 2009).

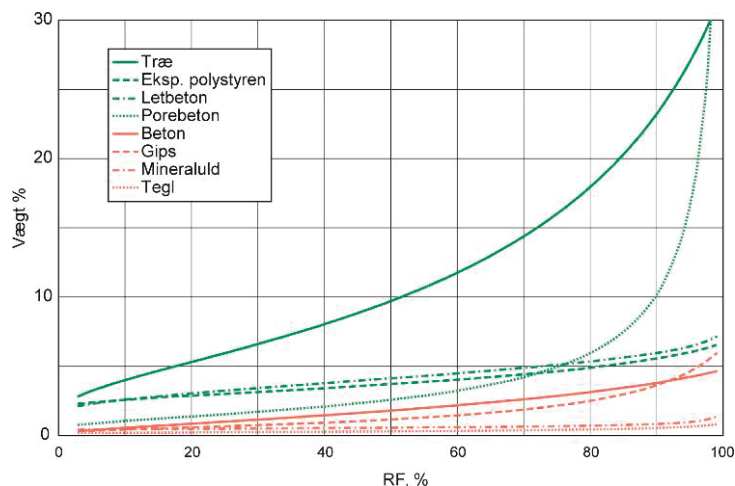
Også andre forhold kan spille ind, så som pH værdi og tilstedeværelse af fungicider, men normalt vil man forsøge at undgå brug af fungicider, da det kan resultere i, at et indeklimaproblem blot udskiftes med et andet. Derfor behandles denne mulighed ikke yderligere i denne rapport.

Skimmelsvampe lever af organisk materiale, men også små mængder, fx forurening eller smuds er nok til at der kan opstå skimmelvækst. Derfor kan der, hvis forholdene ellers fremmer skimmelvækst, ses skimmel på uorganiske materialer som fx beton. Men der kommer lettere udbredt skimmel på fx træ. Da materialerne i en given krybekælder kun lader sig ændre ved et større indgreb, behandles næringsforholdene ikke yderligere i rapporten.

Fugtforhold

Fugt anses for at være den mest betydende faktor for skimmelvækst, og i bygningsreglementet taler man om et kritisk fugtindhold i materialer (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010).

Fugtindholdet måles ofte i relativ luftfugtighed (RF). Et materiale der opbevares ved en bestemt RF vil indstille sig i en fugtligevægt med luften, svarende til en vis mængde optaget vand i materialet. Dette udtrykkes ofte som materialefugtens vægt-%. Sammenhængen mellem RF og vægt-% fugt i materialet udtrykkes ved sorptionskurver, hvor figur 2 viser et eksempel med forskellige kurver. Kurverne er kun lidt temperaturafhængige ved de temperaturer som normalt forekommer i bygninger.



Figur 2. Sorptionskurve, dvs. sammenhæng mellem relativ luftfugtighed (RF) og vandindhold i materialer (vægt-%) for forskellige materialer. Figur stammer fra (Brandt 2009).

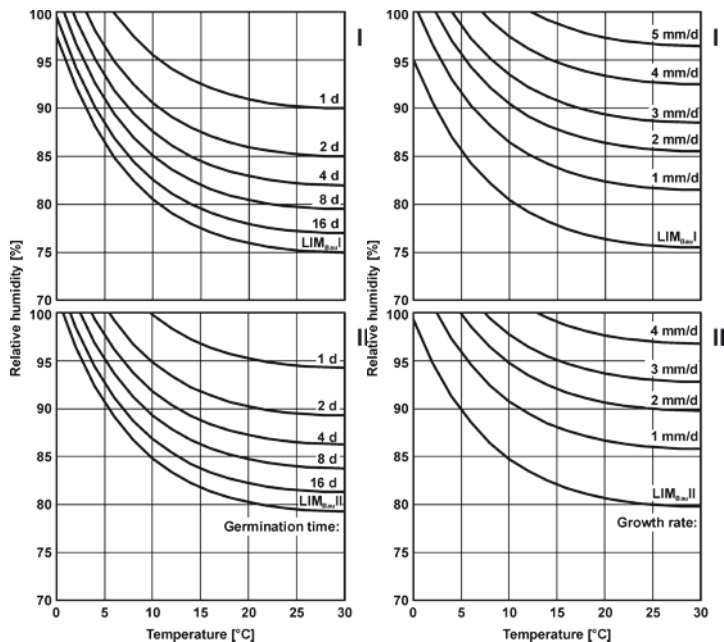
Da det er let at måle fugtindholdet i træ direkte, er det almindeligt at regne med vægt-% træfugt. Men for de fleste andre materialer er det vanskeligt at foretage en måling af materialefugtigheden på stedet. I stedet måles den relative luftfugtighed i den omgivende luft og det antages, at materialet er i ligevægt hermed og omsætningen mellem RF og vægt-% kan foregå via sorptionskurver som vist i figur 2.

Bygningsreglementets krav om, at materialer ikke må have et fugtindhold over et kritisk fugtindhold tolkes i SBI-anvisning 230 (Hansen, 2010) til et forenklet krav om at fugtindholdet i materialet ikke må overstige et fugtindhold svarende til at materialet er i ligevægt ved en relativ luftfugtighed på 75 %, hvilket for træ svarer til et fugtindhold på ca. 16 vægt-%.

Temperatur

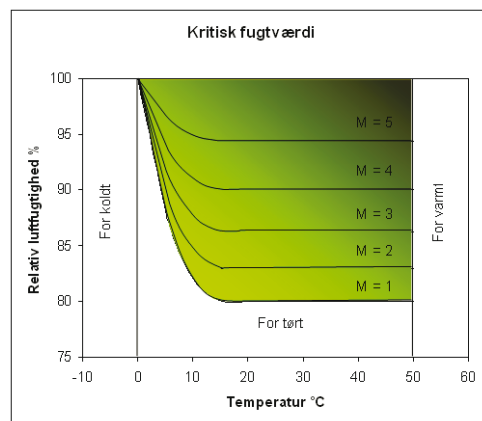
Fugt er imidlertid ikke den eneste parameter, temperaturen er også væsentlig. Dertil kommer, at fugt- og temperaturforhold hænger sammen; varm luft kan indeholde mere fugt end kold luft, derfor vil den relative luftfugtighed stige i en krybekælder, hvis temperaturen sænkes, men det absolutte vandindhold holdes konstant.

Der findes flere forskellige måder at fremstille sammenhængen mellem skimmelsvampevækst og fugt, temperatur, tid og næring, nogle opererer med såkaldte isoplestsystemer, hvor der forskellige grader af næring kan tegnes kurver der for sammenhængende værdier af RF og temperatur beskriver, hvor lang tid der går inden der dannes skimmel, kurverne afhænger af skimmelslægten. Der kan laves tilsvarende kurver der beskriver hvor hurtigt skimmelen vokser. Figur 3 viser et eksempel herpå.



Figur 3. Eksempel på forenklet isopleths-system. Til venstre beskrivelse af hvor hurtigt der opstår skimmel ved en given temperatur og fugtighed, til højre hvor hurtigt skimmelen vokser ved de givne forhold. De øverste figurer gælder for næringsholdige materialer (lettilgængelig organiske materialer), men de nederste er for uorganiske materialer. Isopleterne er forenklet da de ikke er artsspecifikke, men blot gælder for "skimmelsvampe". Fra Sedlbauer (2001)

Andre har på matematisk vis forsøgt at beskrive hvorledes skimmel opstår på givne materialer, og udtrykker vækstraten ved et skimmelindeks M , der er afhængigt af hvor meget skimmel der er på fladen $M=1$ svarer således til at kun nogen skimmel kan detekteres og kun ved mikroskopi. $M=3$ svarer til synlig skimmel. Resultaterne af den matematiske formel er illustreret i figur 4.



Figur 4. Sammenhæng mellem skimmelvækst temperatur- og fugtforhold efter lang tid ($t \rightarrow \infty$), efter Hukka & Viitanen, 1999)

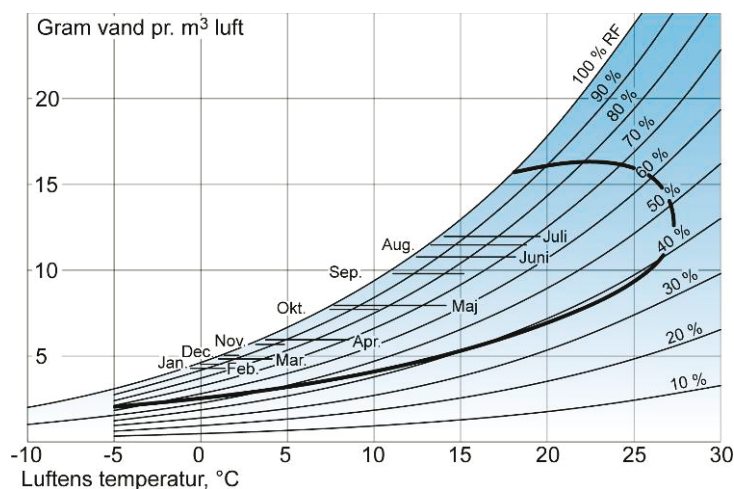
Begge metoder har fordele og ulemper og er meget materialeafhængige, men generelt ses det at hvis fugtniveauet holdes under 75 % RF sker der ingen vækst af skimmelsvamp uanset temperatur, næringsforhold og tid. Det kan være baggrunden for, at denne grænse er valgt for danske konstruktioner.

Men metoderne viser også, at hvis forholdene normalt holdes under 75 % RF vil skimmelvæksten ikke stige voldsomt blot fordi, der i en kort periode opstår lidt højere værdier, specielt ikke, hvis temperaturen samtidig går ned (vinterforhold).

Ved at etablere en fugtstyret affugter i krybekælderen vil det normalt være muligt at sikre, at fugtniveauet holdes under et givet niveau. Det forudsætter dog, at krybekælderen ikke oversvømmes eller ventileres med meget store luftudskiftning og affugteren derfor ikke kan følge med. Opsætning af en affugter betyder under alle omstændigheder en driftsudgift som følge af strømforbruget.

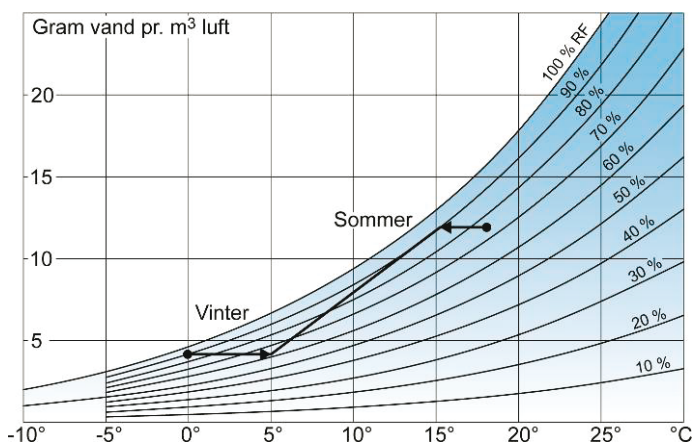
Sommerforhold i forhold til vinterforhold

I krybekældre er risikoen for skimmelsvampevækst størst om sommeren. Som det ses af figur 5, er vandindholdet i udeluften højest om sommeren, mens den relative luftfugtighed kun varierer lidt over året, med tendens til at være lavest om sommeren.



Figur 5. Udeluftens temperatur, vandindhold og RF, baseret på meteorologiske observationer. 99 % af målingerne ligger inden for den kraftigt optegnede kurve. De vandrette streger beskriver de gennemsnitlige variationer i udeluftens temperatur og RF i løbet af et døgn i hver af årets måneder. Fra Brandt (2009)

Når udeluften bringes ind i en krybekælder vil udeluften om vinteren blive varmet op (RF falder hermed) mens luften om sommeren vil blive nedkølet, ikke mindst pga. den kolde krybekælder bund. Det betyder, at RF hæves om sommeren. Forholdene er vist på figur 6. En kraftig ventilering om sommeren kan således få uheldige følger, ikke alene stiger RF, men temperaturen er også i et område hvor skimmel vækst er mulig.



Figur 6. Fugtforhold i en traditionel ventileret krybekælder. Om vinteren opvarmes udeluften fra fx 0 °C til 5 °C, hvilket sænker fugtigheden fra ca. 90 % til omkring 60% RF, om sommeren er forholdene omvendt; Udeluften er ca. 18 °C, men afkøles til ca. 15 °C, hvorved RF stiger fra omkring 75 % til 90 % RF.

Selvom det ville være at foretrække at udføre et forsøg over et helt år, vil sommerforholdene være de mest kritiske og dermed mest interessante.

Spredning af skimmel og afgangninger

Som tidligere anført er der ikke nogen sundhedsmæssig dokumentation for at tørre skimmelsvampe i lukkede rum påvirker beboerne. Sundhedsstyrelsen fremhæver selv, at det kan være svært at styre luftstrømme gennem hulrum og ofte har man valgt at fjerne også døde skimmelsvampe, da man ikke kender sundhedsrisikoen ved at lade dem sidde. Dette relaterer sig også til, hvad der anses for at være det skadelige element ved skimmelsvampe. Ofte anser man stofskifteprodukterne fra skimlen som et mindre problem end det biologiske materiale i skimmelsvampene. Dette materiale kan evt. spredes ved en udtørring, da fugten ikke længere holder skimmelsvampen sammen. Det skal forhindres at disse skimmelsvampedele spredes til beboede områder.

For at imødegå usikkerheden, men samtidig spare en dyr afrensning, er der foretaget flere udbedringsforsøg, hvor hensigten enten har været at indkapsle skimmelsvampen, så den ikke spredes, eller styre luftstrømmen mekanisk så forureningen styres uden om beboede områder.

Ved at forhindre spredning af skimmel fra kælder til beboelsesområde, vil man samtidig opnå, at andre afgangninger fra jorden fx radon forhindres i at trænge op i beboelsesområdet.

Indkapsling

Ved at etablere en lufttæt barriere mellem hulrummet med skimmel og det beboede område, kan spredningen forhindres. Imidlertid kan det være meget vanskeligt at sikre lufttæthed, specielt i eksisterende konstruktioner. Problematikken er at sammenligne med at skabe lufttæthed af energi- og fugthensyn, hvor etableringen af en effektiv dampspærre ofte er vanskelig. I visse situationer klæbes der folie direkte ovenpå de inficerede områder, så skimlen fastholdes og ikke spredes.

Ingen af disse løsninger er særligt velegnede til krybekældre, da de typisk kræver gode adgangsforhold til kælderen. At tætnes krybekælderen oppefra ved at udlægge en tæt belægning fx vinyl belægning kan være en mulighed, ofte resulterer dette desværre i, at fugtniveauet i krybekælderen stiger yderligere, da fugten fra jorden ophobes i kælderen. Resultatet kan være, at man forhindrer skimmelsvamp i at trænge op i beboelsen, men fugtniveauet bliver så højt, at trækonstruktionen under vinylen rådner (træødelæggende svamp begynder ved ca. 20 vægt-% træfugt, mens skimmel starter ved ca. 16 %).

Indkapsling vil derfor sjældent være en mulig løsning for krybekældre.

Undertryk

Alternativt til indkapsling kan luftstrømmen søges styret. Ved at suge luft ud fra krybekælderen vil erstatningsluften skulle komme fra boligens rum, hvorved luftstrømmen styres ned mod kælderen. Derved sikres det at skimmel og afgangninger herfra føres ud med afkastet.

Fordele

Metoden har en række fordele:

- Metoden vil normalt have lave anlægsudgifter, da det oftest vil være relativt nemt at installere udsugning fra krybekælderen, det kræver dog, at kælderen er så høj, at det nødvendige udstyr kan anbringes heri. Arbejdet vil delvist kunne udføres udefra, således at ophold i krybekælderen kan begrænses til kort tid og således overholde de anbefalede arbejdstider angivet i tabel 1.
- Sandsynligvis kan der anvendes standardmateriel, således at heller ikke denne del er fordyrende.

- Eventuelle andre forureninger fra kælderen som fx radon forhindres samtidig i at trænge op i det beboede område.

Ulemper

Imidlertid er der også ulemper forbundet med metoden:

- Drift af ventilationsanlæg betyder et vist strømforbrug. Ventilationsanlægget vil skulle være i konstant drift.
- Da ventilationen generelt øges vil varmetabet fra krybekælderen ligeledes øges.
- Da der sker en vis fugtproduktion i beboelsesdelen af huset, vil luften herfra altid indeholde mere fugt end udeluften. Det betyder, at med undertryk i kælderen, vil varm fugtig luft fra beboelsen blive trukket ned i den kolde krybekælder. En affugter er derfor nødvendig og den vil skulle arbejde mere som følge af den ekstra fugttilførsel fra beboelsesområdet.
- Hvis der er alt for store utætheder mellem krybekælder og beboelsesdel kan det være vanskeligt at opretholde et undertryk. Utæthederne kan være af forskellig art, fra almindelige sprækker i gulv og samlinger til større huller fx omkring installationer. For at nedbringe driftsudgiften for at opretholde undertrykket, er det nødvendigt først at gennemgå konstruktionen for at vurdere, om det vil være muligt at tætne konstruktionen yderligere inden undertrykket iværksættes. Sådanne tætningsarbejder kan dog være vanskelige at foretage.

Forsøg

For at vurdere om det er realistisk at udføre en midlertidig renovering af skimmelbelastede krybekældre vha. affugtning og mekanisk ventilation, udføres en række forsøg. Hensigten hermed er at undersøge:

- om det er muligt at holde fugtniveauet nede i en krybekælder med en affugter
- om det er muligt at styre luftstrømmen fra krybekælderen, så der ikke føres luft fra krybekælderen til beboelsesdelen
- hvor store driftsudgifter der er forbundet med at sikre fugtniveau og luftstrømning.

Metode

I stedet for at opstille forskellige teoretiske scenarier, afprøves metoden i eksisterende huse. Fordelen er, at der er tale om realistiske forhold, mens ulempen er, at antallet af varianter er begrænset og der vil være en række parametre, der ikke kan styres.

Udover at udvælge forsøgshuse, er der behov for at fastlægge såvel styrings- som målemetoder.

Fremgangsmåde

Forsøgene vælges at omfatte tre huse, i hvis krybekælder der er opsat affugter og et mindre ventilationsanlæg. I løbet af sommeren 2009 blev forskellige niveauer af udsugning afprøvet mens strømforbrug, fugt, temperatur, lufttrykdifferencer og luftopblending målt, som vist på figur 7. Forsøget blev udført over tre måneder, hvor ventilationsniveauet blev holdt konstant i en måned ad gangen.

Inden forsøget blev igangsat blev større utætheder mellem kælder og beboelse tætnet fx blev et større hul i gulvet efter en opvaskemaskine tætnet.



Figur 7. I krybekælderen blev der målt strømforbrug, fugt, temperatur og lufttrykdifference. På billedet til venstre ses desuden "lysdæmperen", der blev brugt til at regulere udsugningen. Endvidere blev luftopblendingen målt vha. passiv sporgasopsamling, hvor et opsamlingsrør ses på billedet til højre.

Fugtniveau

For at sikre mod skimmelsvampevækst skal krybekælderens fugtniveau holdes under 75 % RF. For at sikre, at dette gælder hele kælderen og ikke kun

lokalt hvor styringen er opsat, er affugterens setpunkt (ønskede højeste grænseværdi) sat til 60 % RF.

Affugtere

Der findes to hovedtyper affugtere:

- *Kondensaffugter*. Den fugtige luft føres forbi en køleflade, hvor luften køles ned til få grader over frysepunktet. Herved udskilles vand som skal ledes væk fra affugteren eller opsamles. Luften varmes herefter op igen, men er nu affugtet.
- *Adsorptionsaffugter*. Den fugtige luft sendes gennem et fugtabsorberende materiale og affugtes herved. Materialet regenereres vha. en varm luftstrøm. Denne varme og fugtige luft føres ud til det fri.

Begge typer affugtere anvendes fx ved udtørring af byggefugt, men kondensaffugteren kan ikke bruges ved lavere temperaturer, da luften kun afkøles få grader, hvorved effektiviteten nedsættes. Med adsorptionsaffugtere kan der opnås lavere fugtindhold end ved kondensering (Brandt, 2009).

Til dette forsøg er der anvendt adsorptionsaffugtere fordi:

- Adsorptionsaffugtere behøver hverken afløb eller beholdere der skal tømmes, fugten føres bort med en luftstrøm
- Forsøget ville også virke om vinteren
- Ved lavere temperaturer vil energiforbruget være lavere end ved adsorptionsaffugtere

Der anvendes adsorptionsaffugtere fra Munters MG90, som er anbragt ca. midt i krybekælderen.

Måling

Fugtigheden i kælderen måles og logges ved hjælp af elektroniske dataloggere, med opsamling hvert kvarter.

Ventilation

For at skabe undertryk i krybekælderen etableres konstant udsugning ved opsætning af kanalventilator. Afkastet blev ført gennem krybekældervæggen og op over terræn som vist på figur 8.



Figur 8. Udsugning fra krybekælder med afkast til det fri.

Styring

For at kunne regulere luftmængden, der suges ud af krybekælderen blev ventilatoren forsynet både med irisblænde til at regulere trykfaldet og en spændingsregulator eller "Idæmper" til at regulere omdrejningshastigheden.

Inden forsøget blev iværksat, blev samhörørende værdier mellem indstilling på dæmper og irisblænde og luftstrøm målt i laboratoriet. Ved hjælp af den

eksperimentelt fremstillede skala kunne luftstrømmen senere reguleres på stedet.

Som udgangspunkt blev der valgt tre forskellige ventilationsniveauer i de tre krybekældre. Planen var, at hvis et af niveauerne viste sig at være uegnet, kunne niveauerne justeres ind, ellers var det planen, at afprøve de tre niveauer på skift i krybekældrene, se tabel 2. Undervejs blev planen justeret, således at ventilationen blev helt slukket i den sidste måned, således at den forudgående situation, men med affugter, også blev undersøgt. Ændringen skyldtes at alle de planlagte udsugningsniveauer havde vist sig at kunne begrænse luftstrømmen fra kælderen til de beboede rum betydeligt.

Tabel 2. Planlagt styring af ventilation i de enkelte krybekældre, angivet i tekst og farver, i runde 3 blev dog alle ventilatorer slukket, hvorfor farven angiver det faktisk udførte, mens teksten angiver det planlagte.

Runde	Solbakken 625	Rosendalen 524	Solbakken 709
1 1. juli-27. juli	Højeste niveau	Mellemste niveau	Laveste niveau
2 27. juli-11. aug.	Mellemste niveau	Laveste niveau	Højeste niveau
3 11. aug-31. aug.	Laveste niveau	Højeste niveau	Mellemste niveau

Ifølge målingerne foretaget i laboratoriet svarede de tre niveauer til et flow på hhv.:

- Højeste niveau: 50 l/s = 180 m³/h
- Mellemste niveau: 40 l/s = 144 m³/h
- Laveste niveau: 20 l/s = 72 m³/h

Måling

Målerapporten for opstilling af luftstrømsskala fremgår af bilag 1.

Under selve forsøget blev trykforskellen mellem det beboede område og krybekælderen målt vha. differenstrykmålere med dataloggere.

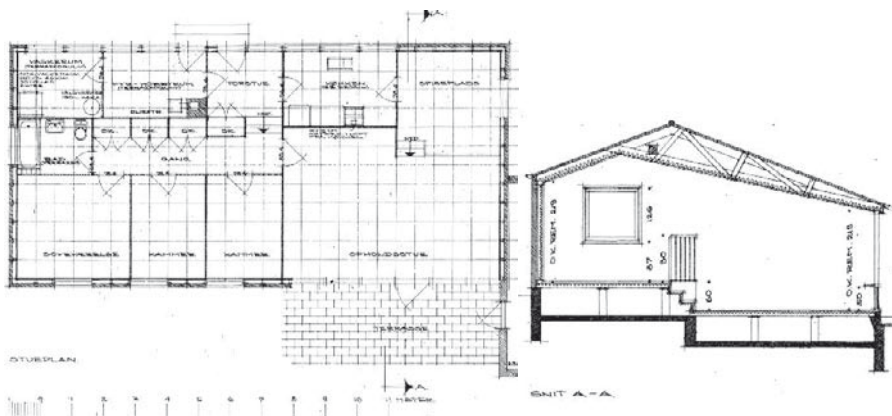
Samtidig blev luftstrømmene i huset målt vha. sporgasser, den såkaldte PFT-metode, der er en multi-sporgasmetode baseret på passiv opsamlings-teknik (Bergsøe, 1992). Ved at placere en type sporgaskilder i beboelsesdelen af husene og en anden type i krybekælderen og placere opsamlingsrør begge steder, kan det vurderes hvorledes luftstrømmen sammensætter sig, hvordan luftopblandingen er, dvs. hvor meget luft i beboelsesdelen der hentes udefra og hvor meget fra krybekælderen og tilsvarende med luftstrømmene i krybekælderen.

Til målingen blev der placeret 4 sporgaskilder i beboelsesområdet, 2 sporgaskilder med anden gas i krybekælderen og ca. 8 opsamlingsrør oppe og 3 nede. Placering af sporgaskilder og opsamlingsrør fremgår af bilag 2. Sporgaskilderne i krybekælderen var anbragt i nærheden af affugteren (mod husets midte), mens opsamlingsrørene var placeret mere i husets periferi. I beboelsesdelen var der tilstræbt en lignende strategi, men således at der typisk var såvel kilde som opsamlingsrør i samme rum, uden at de to dele var placeret lige ved siden af hinanden.

Hvis sporgassen fra krybekælderen kun i meget lille grad kan detekteres i beboelsesdelen, vil noget tilsvarende gælde for eventuelle skimmelsvampe-dele og afgangninger herfra.

Udvalgte boliger

Tre huse blev udvalgt til forsøg. I Munkebo er der en større bebyggelse (531 huse), bygget omkring 1960 og med få varianter i hustype. De fleste af disse huse er forsynet med krybekælder og gennem årene har der været flere til-



Figur 10. Plan og snit af hustype M₁, dvs. Solbakken 709. Snit og plan er ikke i samme målestok.

Krybekældrene er sammenhængende i hele husets længde og ventileres via små riste i facade og gavle. Krybekælderen i Solbakken 709 er mere opdelt end i de andre huse, da huset er i forskudte planer. Arealer og volumener af de to huse fremgår af tabel 3.

Tabel 3. Arealer og volumener i de valgte huse. Når volumenerne er relativt små i forhold til grundarealerne skyldes det at vægge regnes med i det bebyggede areal men er fraregnet i volumenerne og at ikke hele huset har krybekælder. I Hustype W₁ er rummet uden krybekælder ikke indregnet i volumenet af det beboede areal.

	Bebygget areal m ²	Volumen beboet areal m ³	Volumen krybe- kælder m ³
Hustype W₁ Rosendalen 524 og Solbakken 625	100	177	41
Hustype M₁ Solbakken 709	122	257	55

Supplerende forsøg

Efter ovenstående forsøg var afsluttet, blev der i efteråret 2010 udført et supplerende forsøg i et beboet hus (Rosendalen 331). I dette hus blev der anvendt en anden affugter med integreret ventilator. Ved denne opstilling var det muligt at nedsætte ventilationsraten yderligere.

Ventilation og affugtning

I husets krybekælder blev oprindelige ventilationsåbninger lukket. I modsætning til de tidligere forsøg blev der ikke installeret separat affugter og ventilator, men en samlet enhed indeholdende begge dele. Denne var en sorptionsaffugter af typen ComDry M 190Y fra firmaet Munters.

Affugteren blev opsat således at den sikrede et permanent udsugning fra kælderen på 14 l/s (20 m³/h). Affugterdelen var sat til at aktiveres ved RH > 60 % RF. Der var opsat fugtfølere flere steder i krybekælderen.

Affugterens strømforbrug og driftstid blev desuden registreret.



Figur 11. I supplerende forsøg i Rosendalen 331 blev der anvendt en affugter med integreret ventilator.

Hustype og målinger

Forsøget blev udført på adressen Rosendalen 331, et beboet hus af typen W_1 , altså som to af de oprindelige forsøgshuse.

I huset blev der opsat PFT kilder og opsamlingsrør i samme omfang og tilnærmelsesvis samme placering som ved de tidligere forsøg.

Resultater

Forsøgets resultater foreligger især i skemaform, gengivet i bilag 3, i dette afsnit vil hovedresultaterne blive præsenteret

Fugtforhold

En enkelt udendørs føler blev benyttet for at registrere udendørsklimaet i måleperioden, måleren var opstillet ved Rosendalen 524. De daglige udsving lå typisk mellem 40 og 90 % RF med en middelværdi omkring 55 % RF.

Ved det supplerende forsøg udført i efteråret 2010, blev de udvendige klimaforhold ikke målt.

Rosendalen 524

I Rosendalen 524, der stod ubenyttet i hele perioden bortset fra enkelte håndværksarbejder, er fugtigheden i beboelsesetagen omkring 50 % RF indtil midt i august, hvor fugtigheden gradvist stiger indtil den når et niveau på 60-65 % RF.

I krybekælderen i Rosendalen 524 falder luftfugtigheden i starten af måleperioden, det falder sammen med, at affugteren først blev installeret et par dage efter målingerne blev igangsat. I området i nærheden af affugteren falder fugtigheden fra ca. 75 % RF til mellem 60 og 65 % RF indtil midten af august, herefter stiger luftfugtigheden til mellem 70 og 75 % RF. Ved fugtføleren placeret længere væk fra affugteren falder luftfugtigheden ligeledes i starten fra 90-95 % RF til 75-80 % RF. Fra midten af august ses der også her en stigning i luftfugtigheden til ca. 85 % RF.

Solbakken 625

Solbakken 625, der fungerer som bebyggelsens ejendomskontor havde i beboelsesetagen en relativ luftfugtighed omkring 50 % RF i det meste af perioden, i slutning af måleperioden, hvor temperaturen faldt en smule steg fugtigheden ca. 4 %-point.

I krybekælderen i nærheden af affugteren ligger den relative luftfugtighed omkring 56 % RF i hele perioden. Noget tilsvarende gør sig gældende i området under køkkenet. I området under stuen er fugtniveauet lidt lavere (ca. 54 % RF) og falder yderligere midt i august til ca. 50 % RF.

I perioden ca. 4-14. august stiger temperaturen generelt i krybekælderen, en temperaturstigning der ikke ses i beboelsesetagen, og som ikke påvirker den relative luftfugtighed i krybekælderen.

Den 11. august blev ventilationen slukket. Efter denne dag er dagsudsvingene på fugtindholdet forøget, fugtniveau dog stort set uændret.

Solbakken 709

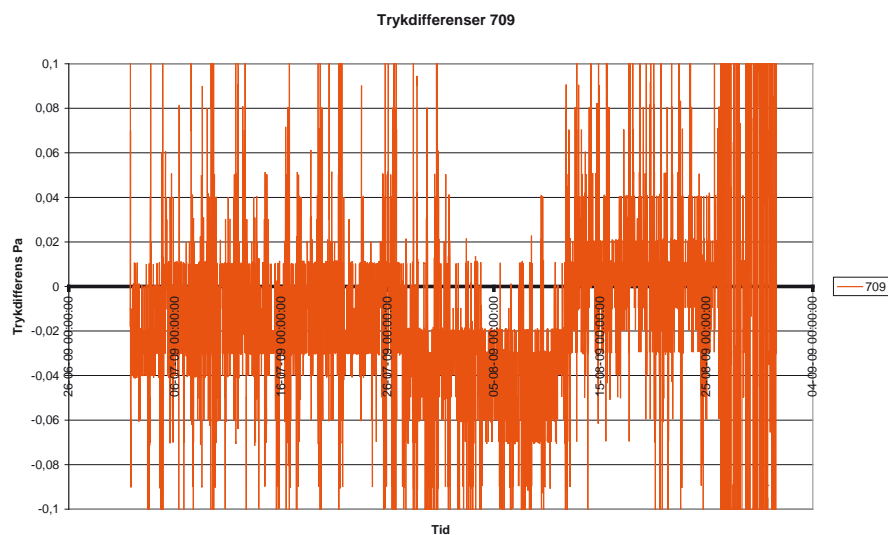
I det beboede hus, Solbakken 709 foreligger der alene målinger fra beboelsesetagen, hvor fugtniveauet generelt ligger mellem 40 og 45 % RF.

Rosendalen 331

I det supplerende forsøg fra efteråret 2010 blev kun fugtforholdene i kælderen målt. Efter en kort indkøringsperiode (2-3 dage) faldt RF i det meste af kælderen til under 60 %. Kun i et enkelt målepunkt stabiliserede fugtigheden sig på ca. 62 % RF.

Trykdifferenser

Trykdifferensen mellem den beboede etage og krybekælderen blev målt, men desværre var instrumenterne ikke hårdføre nok overfor de arbejder der foregik i krybekældrene, således blev slangen, der blev ført op i beboelses-etagen klemmt i et tilfælde og revet af i et andet, således at der reelt ikke kunne måles trykforskelle. Hvornår dette er sket har det ikke været muligt at vurdere ud fra målingerne. Kun i Solbakken 709, det beboede hus har det været muligt at registrere ændrede trykforskelle ved ændrede trykforhold, således var trykforskellen størst ved den højeste ventilation, ca. 0,05 Pa, mindst ved den laveste ventilation ca. 0,02 Pa og på samme niveau med slukket ventilation, men med omvendt fortegn.



Figur 12. Trykdifferens mellem beboet etage og krybekælder i Solbakken 709 (beboet hus).

Da målemetoden blev anset for at være for usikker, blev der ikke målt trykdifferencer ved det supplerende forsøg i efteråret 2010.

Luftopblanding

Målingerne med sporgasser anvendes til at vurdere luftopblandingen. Resultaterne fremgår af tabel 4. Forholdsmæssige tal er angivet i tabel 5 og tabel 6.

Tabel 4. Ventilationsforhold i testhusene ved forskelligt ventilationsniveau. Tallene angiver infiltration/exfiltration i m³/h, luftskifte dog i h⁻¹.

Ventilationsniveau	Solbakken 625			Rosendalen 524			Solbakken 709		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ind oppe	158	118	57	145	86	22	395	373	265
Ud oppe	23	27	74	2	20	54	302	191	290
Nedefra	6	5	53	7	3	55	14	34	59
Oppefra	140	96	36	150	69	23	107	217	34
Ind nede	42	38	52	47	26	49	61	51	62
Ud nede	177	129	36	190	92	18	154	233	37
Samlet luft	200	156	110	191	112	72	456	424	327
Luftskifte h ⁻¹	0,92	0,71	0,50	0,88	0,51	0,33	1,46	1,36	1,05

Tabel 5. Procentvis fordeling af ventilationsluften, baseret på tabel 4. Med farver er ventilationsniveauet angivet, farverne svarer til de i tabel 4 anvendte. Tabellens resultater er vist på en mere grafisk måde i bilag 3.

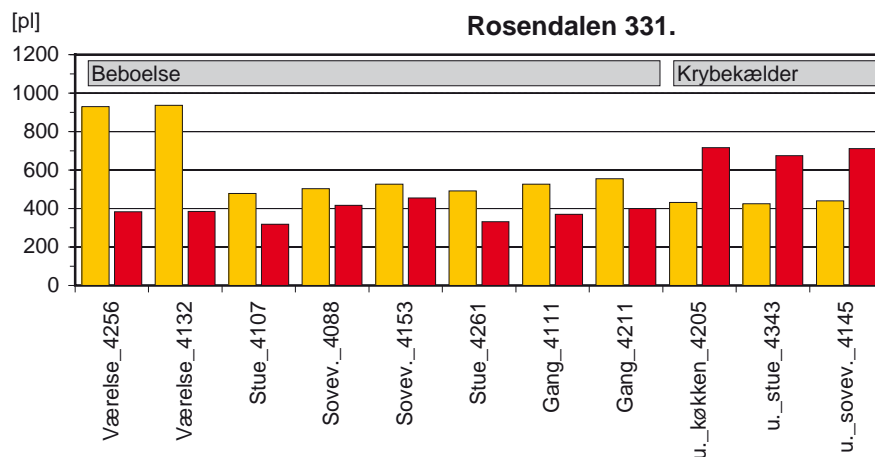
	Solbakken 625			Rosendalen 524			Solbakken 709		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ind oppe	79%	76%	52%	76%	77%	31%	87%	88%	81%
Ud oppe	11%	17%	67%	1%	18%	75%	66%	45%	89%
Nedefra	3%	3%	48%	4%	3%	76%	3%	8%	18%
Oppefra	70%	61%	33%	78%	62%	32%	23%	51%	10%
Ind nede	21%	24%	48%	24%	23%	69%	13%	12%	19%
Ud nede	89%	83%	33%	99%	82%	25%	34%	55%	11%

Tabel 6. Fordeling af luftskiftet gennem krybekælderdekke; forholdet mellem mængde luft der trænger op nede og luft der trænger den anden vej er angivet specifikt. Med farver er ventilationsniveauet angivet, farverne svarer til de i tabel 4 anvendte.

	Solbakken 625			Rosendalen 524			Solbakken 709		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Nedefra	6	5	53	7	3	55	14	34	59
Oppefra	140	96	36	150	69	23	107	217	34
Forhold	4%	5%	147%	5%	5%	235%	13%	16%	176%

Disse målinger er endvidere illustreret mere grafisk i bilag 3.

I det supplerende forsøg, hvor der kun er ét ventilationsniveau, foreligger der kun en enkelt måling, denne illustreres på figur 13 i form af hvor meget sporgas der er målt i de enkelte rør. I krybekælderen er der udsendt "rød" gas, mens der er udsendt "gul" gas i beboelsesområdet. I forhold til volumen af hhv. beboelsesetage og krybekælder er der udsendt ca. lige meget sporgas pr time.



Figur 13. Måleresultater fra PFT målinger i det supplerende forsøg i Rosendalen 331. Figuren angiver hvor meget sporgas, målt i picoliter, der er målt i de enkelte opsamlingsrør, både i beboelsesetagen og krybekælderen. Den gule gas doseres i beboelsesetage, mens den røde doseres i krybekælderen

Betydning af ventilation

For alle husene i det første forsøg gælder det, at uden ventilation er der en væsentlig større strøm af luft fra krybekælderen til det ovenliggende rum end omvendt. Etableres der imidlertid ventilation fra kælderen "vendes" luftstrømmen.

Ventilationsniveau

Der er en generel tendens til, at et højere ventilationsniveau betyder et højere luftskifte i hele huset. Kun i Solbakken 709 er der ikke denne sammenhæng hvor der skiftes mellem lav ventilation og høj ventilation, men nok i forhold til helt slukket. I forholdet mellem hvor meget luft der stiger op gennem krybekælderdekke i forhold til hvor meget der trænger nedad, har ventilationsni-

veauet i de to undersøgte indstillinger ikke nævneværdig betydning, blot ventilationsanlægget er tændt.

I det supplerende forsøg var ventilationen nedsat yderligere for at vurdere om en så lav ventilation var tilstrækkelig til at sikre at luftstrømmen var nedad rettet. At der i de enkelte opsamlingsrør fra beboelsesetagen har kunnet måles tilnærmelsesvist ens mængder af sporgas udsendt i beboelsesetagen og i krybekælderen viser, at dette ikke har været tilfældet. Der er behov for mere ventilation.

Energiforbrug

Det samlede energiforbrug består af tre dele:

- Energiforbrug til ventilator
- Energiforbrug til affugter
- Øget varmetab som følge af øget ventilation fra krybekælderen.

Mens ventilatorens energiforbrug er afhængigt af niveauet for ventilationen, er affugterens energiforbrug mere variabelt, da affugteren ikke nødvendigvis kører hele tiden. Det var planen at måle energiforbruget til affugteren i forbindelse med forsøget. Desværre blev bimåleren forbundet med ventilationsanlægget og ikke affugterne, derfor foreligger der ikke konkrete tal for affugterens energiforbrug i de tre huse.

Det øgede varmetab har i forsøgsperioden været uden betydning, da husene ikke var opvarmet i forsøgsperioden.

I det supplerende forsøg blev elforbruget på affugteren inkl. ventilatoren direkte målt, dette viste et energiforbrug på 369 kWh i en periode på 3 uger i efteråret.

I andre forsøg i andre bebyggelser er der blevet målt væsentlig lavere energiforbrug. I fire forskellige bebyggelser med i alt 103 huse er der i en periode på gennemsnitligt 677 dage målt et årligt elforbrug til ventilation og affugter på ca. 2000 kWh pr. år, med en spredning på ca. 1400 kWh pr. år. Den store spredning skyldes sandsynligvis forskelle i krybekældervolumen og fugtniveauer.

Diskussion

For at kunne drage nogle slutninger af forsøgsresultaterne er det nødvendigt at vurdere de opnåede resultater og hvorledes de er opnået.

Metodevalg

Inden hypoteser testes vil man altid forsøge at vælge en metode, der belyser problemstillingen på tilfredsstillende vis med hensyntagen til de givne omstændigheder. Alligevel kan metodevalget have betydning for resultatet, både i form af skævvridning af resultater eller i form af at resultaterne ikke bliver entydige. Nogle af disse forhold kendes på forhånd og accepteres men skal alligevel opregnes, andre uhensigtsmæssigheder bliver først tydelige når resultaterne foreligger.

At teste hypoteser ud fra kun tre forsøg, er altid problematisk, resultaterne kan kun tages som tendenser, sikkerheden hvormed en hypotese kan vurderes stiger betydeligt med antallet af forsøg. Forsøgene vurderes dog at give gode indikationer på hvorvidt en metode vil kunne fungere.

Inden forsøgets begyndelse var der diskussioner om hvorvidt krybekælderdekke var tæt nok til, at en forholdsvis lille udsugning fra kælderen kunne bevirke en trykforskel, så luftstrømmen ville blive nedadrettet og om utætheder i krybekældervæggene (ventilationsåbninger) kunne forhindre denne styring af luftstrømmen. For at forhindre disse problemer blev enkelte store huller lukket med forholdsvis primitive metoder; et hul under et manglende køkkenelement, sandsynligvis opvaskemaskine, blev lukket med simpel plade og tape mens huller i ydervæggene blev stoppet med mineraluld hvor det var muligt. Begge dele viste sig ikke at være noget problem, og det må vurderes at metoden som sådan var velegnet.

Husvalg

Ved at vælge huse der er benyttet på forskellig vis har fordele og ulemper; et ubenyttet hus udelukker forhold omkring brugeradfærd, men er mindre realistisk i forhold til benyttede huse. Ved benyttede huse kan brugeradfærd spille en stor rolle, specielt når det handler om ventilationsforhold, således blev forsøget indledt i en hedeølge, hvor døre og vinduer i det benyttede hus var åbne, mens de var stort set lukket i de andre huse. Det kan fx forklare, hvorfor den samlede ventilation i Solbakken 709 var større i første del af forsøget, end i anden runde hvor ventilationen i kælderen ellers blev øget.

Solbakken 709 adskiller sig ikke alene ved at være beboet, men også i en anden grundplan og opdeling af krybekælder. Det kan derfor være vanskeligt at vurdere om forskellene i fordelingen af luftstrømmene (tabel 5) mellem Solbakken 709 og de andre huse skyldes brugeradfærd eller om metodens effektivitet er afhængig af hustype. Det vurderes dog at de noget større luftskifter der er målt i Solbakken 709 (2-3 gange højere end de andre huse) hovedsageligt skyldes brugeradfærd.

Selvom Solbakken 709 var lidt anderledes opbygget end de andre huse ved at krybekælderen var i to niveauer, er opbygningen i husene dog grundlæggende ens; krybekælderen og dæk over krybekælder består af de samme elementer og er i ens stand. Samtidig ligger husene inden for samme bebyggelse, hvilket betyder at der kun er små forskelle i alder og jordbundsforhold.

Målemetoder

Trykdifferensmålingerne i husene var ikke robuste nok i forhold til de forskellige arbejder der skete i husene, herunder aktiviteter i krybekældrene i forbindelse med ændring af ventilation og indsamling af opsamlingsrør for sporgasmålinger. Selvom målingerne i Solbakken 709 svarer til det forventede, er en enkelt måling meget lidt at drage konklusioner ud fra.

Sporgasmålinger har vist sig nyttige ikke mindst set i lyset af de manglende trykdifferensmålinger. Når sporgasmålingerne viser, at der trænger sporgas fra krybekælderen op i den beboede etage, er det her tolket som, at denne transport sker op gennem krybekælderdekke, dette behøver imidlertid ikke at være tilfældet, der kan være tale om, at sporgassen er suget ud gennem ventilatoren og trængt ind i huset gennem vinduet. Denne situation ville selv det tætteste krybekælderdek eller en kraftig ventilation ikke kunne ændre, kun ved helt at fjerne forureningen fra krybekælderen kan problemet undgås.

Manglende oplysninger om energiforbrug gør, at beregninger af energiforbrug må baseres på teoretiske betragtninger og antagelser.

Supplerende forsøg

Da det supplerende forsøg skulle planlægges var hovedforsøgene analyseret, og det blev besluttet kun at ændre på få ting:

- Ventilationsmængden blev nedsat, da hovedforsøgets mindste luftmængder viste sig at have ønsket effekt. Formålet var derfor at vurdere om end endnu mindre mængde ville være tilstrækkelig.
- Der blev ikke målt trykdifferencer, da metoden havde vist sig at være usikker
- Der var større fokus på måling af elforbrug.

Effektivitet

Metodens effektivitet kan måles på flere måder:

- Kan metoden forhindre, at luft fra krybekælderen trænger op i den beboede etage?
- Kan metoden holde krybekældre så tørre, at der ikke er risiko for skimmelsvampevækst?
- Er metodens energiforbrug så lille, at de øgede driftsudgifter er acceptable?

Luftstrøm mod beboet etage

Luftstrømmene i husene er blevet målt med sporgasmetoden ved forskellige ventilationsniveauer. Kun i Solbakken 709 er der også målt trykdifferencer. Som det belyses nedenfor, synes metoden at være i stand til at begrænse luftstrømmen op gennem krybekælderdekke betydeligt, forudsat at ventilationen er i drift. De mængder luft der trænger op gennem krybekælderdekke trods ventilationen, vurderes at være så små, at risikoen for gener fra døde skimmelsvampe, radon eller lignende i krybekælderen kan betragtes som værende lille.

Ventilation eller ej

I alle husene i hovedforsøget betyder ventilationen, at der strømmer væsentligt mindre luft fra krybekælderen op i beboet etage end omvendt. Slukkes ventilationen stiger luftindtaget fra krybekælderen både absolut og forholdsvis. Muligvis trækkes der luft ind gennem ventilationsrøret og der er således tale om en ændring af ventilationsforholdene i forhold til inden der overhovedet blev etableret en ventilationskanal. Det betyder også, at hvis man ønsker

at øge den naturlige ventilation i krybekælderen ved at bore et ekstra hul i krybekældervæggen, er der risiko for, at dette samtidig vil øge luftstrømmingen fra krybekælderen til det beboede areal. Denne løsning bør derfor fravælges.

Muligvis kan der vælges en "fortyndingsstrategi" dvs. hvis krybekælderen ventileres så kraftigt, at partikler og gasser fra skimmelsvampe, radon og lignede opblandes med så meget luft at koncentrationen falder til et niveau, hvor en øget luftstrøm fra krybekælder til beboelsesetage ikke samtidig betyder øget tilførsel af krybekælderens forureninger i forhold til udgangspunktet. Her skal man dog være opmærksom på, at øget ventilation kan betyde øget fugtniveau i krybekælderen om sommeren, idet en øget tilførsel af varm fugtig luft ind i en krybekælder, der er koldere end udeluften, vil betyde at luftfugtigheden i kælderen stiger.

Ventilationsniveau

Tilsyneladende betyder ventilationsniveauet i krybekælderen meget lidt for luftstrømmen op gennem krybekælderdekke i hvert fald inden for det ventilationsniveau der er valgt i hovedforsøget. I alle tre huse er den absolutte luftstrøm op gennem krybekælderdekke lavest ved mindst ventilation såfremt denne er i funktion viser målingerne. Forskellene er dog meget små og procentuelt betyder det at ca. 5 % af luftstrømmen gennem krybekælderdekke, går fra krybekælderen og op i huset, uafhængigt af ventilationsniveauet. I Solbakken 709 er tallet noget større ca. 14 %. Der er dog ret store standardafvigelser på tallene fra Solbakken 709 og samtidig er der et meget stort luftskifte i boligen, specielt i begyndelsen af perioden. For alle tre huse gælder, at det samlede luftskifte for beboelse plus krybekælder er blevet lavere gennem perioden, i Solbakken 625 (ejendomskontor) og Rosendalen 524 (ubeboet) kan dette skyldes, at ventilationen i krybekælderen gradvist er blevet nedsat. I Solbakken 709 gælder dette ikke, i runde to var ventilationen størst, alligevel er luftskiftet mindre end i første runde, men dog lavest, når der ingen ventilation var. Dette stemmer overens med at udendørsmiddeltemperaturen faldt ca. 0,3 °C fra første til anden runde og yderligere 1,2 °C til tredje runde. En lavere udetemperatur vil normalt betyde et lavere luftskifte i boligen, da døre og vinduer åbnes mindre.

Kun i Solbakken 709 blev der sideløbende med sporgasmålingerne målt trykdifferens mellem beboet etage og krybekælder. Selvom målingerne viser at der kun er meget små trykdifferenser, svarer forholdet mellem disse til hvad der kunne forventes med de valgte ventilationsniveauer, dvs. størst differens ved størst udsugning.

Sammenholdes resultaterne i runde 1 og 2, viser det, at selvom trykdifferensen er størst i runde 2, sker der en større lufttransport nedefra og op i denne runde, end i runde 1 hvor trykdifferensen er mindre. Tilsyneladende kan man altså ikke slutte, at lufttransporten opad hænger direkte sammen med trykdifferensen. Det må dog atter fremhæves, at standardafvigelsen på luftmængden opad i runde 2 er meget stor, og tallet derfor må tages med et vist forbehold.

I det supplerende forsøg blev ventilationsmængden netop nedsat. Her viser målingerne, se figur 13, at der blev målt ca. lige meget af de to sporgasser på begge sider af etageadskillelsen; I beboelsesetagen blev der kun målt lidt mere af den gas der blev udsendt i beboelsesetagen end den gas der blev udsendt i krybekælderen og omvendt. Kun i det ene værelse er der tydeligvis mere af den gas der udsendes i beboelsesetagen end af gassen fra kælderen. Da niveauet af gas fra beboelsesetagen generelt er højere i dette rum end i resten af beboelsesetagen, tyder det på, at døren til værelset har været lukket i store dele af tiden og opblandingen har derfor været mindre. Bidraget fra kilden i dette rum, er derfor taget ud i vurderingen af hvor meget gas der generelt er blevet udsendt i beboelsesetagen, og volumenet tilsvarende reduceret. Det målte niveau af gas fra krybekælderen svarer i dette værelse til, hvad der ellers måles i huset.

Målingerne tyder generelt på, at der sker en stor opblanding af luft gennem etageadskillelsen, målingerne viser, at det ville være mere rigtigt at operere med kun en zone i stedet for at tale om to separate zoner, sådan som det har været tilfældet med de andre huse. Ved at opretholde en zoneopdeling i huset beregnes der at være et negativt flow fra krybekælderen til det fri (exfiltration) mens der stadig er positivt flow udefra til krybekælderen (infiltration). Fysisk er dette ikke muligt, der er blot tale om en regnemetode der ikke længere fungerer, når forudsætningen om zoneopdeling ikke længere er til stede. Forsøget viser altså, at med det valgte udstyr uden supplerende udsugning, kan det ikke forhindres, at luft fra krybekælderen trænger op i beboelsesetagen.

Håndtering af opsamlingsrør

Når opsamlingsrørene viser stort set samme mængde af de to gasser, kunne det være tegn på, at der er sket en forurening, fx ved at opsamlingsrør og kilder er blevet opbevaret sammen. Hvis det var tilfældet, ville den samlede mængde opsamlet sporgas være blevet meget stor, og de forskelle, der opstod mens måleudstyret var placeret rigtigt, ville kun syne af meget lidt. Sammenlignes mængden af opsamlet sporgas i hovedforsøget og i det supplerende forsøg, synes det dog ikke at være tilfældet. Desuden er kilder og rør blevet håndteret separat før og efter de egentlige målinger fandt sted, derfor er det ikke sandsynligt, at forurening af opsamlingsrørene er skyld i, at der i beboelsesområdet måles næsten lige så meget gas fra beboelsesområdet som fra kælderen.

Niveauet af sporgas må snarere tilskrives, at ventilationen i krybekælderen ikke har været tilstrækkelig til at sikre, at luftstrømmen gennem etagedækket forløber oppefra og ned.

Fugtforhold

Affugterne har ikke i alle hovedforsøgets tilfælde været i stand til at holde fugtniveauet under 75 % RF, som anses for at være grænsen for skimmelsvampevækst. Men fugtmålingerne i krybekældrene er meget forskellige i de to krybekældre, hvorfra der foreligger målinger.

I Rosendalen 524, det ubeboede hus, holdes fugtigheden under 75 % gennem hele måleperioden, men kun i nærheden af affugteren. Under stuen, dvs ikke direkte i nærheden af affugteren, men i et tilstødende "rum" i krybekælderen ligger fugtigheden generelt over 75 % RF, kun få formiddage inden for en uge i juli er niveauet under 75 % RF.

I Solbakken 625, ejendomskontoret, er fugtniveauet i hele krybekælderen i hele måleperioden tilstrækkeligt lavt, oftest under 60 % RF.

Grunden til at affugteren i Rosendalen 524 ikke har været i stand til at holde fugtniveauet tilstrækkeligt lavt i hele kælderen kan skyldes flere ting:

- Affugteren havde ikke kapacitet nok
- Indstillingen på affugteren var valgt forkert. Da affugteren er fugtstyret og sandsynligvis måler på den luft der føres ind i affugteren, er det ikke givet at fugtigheden i koldere områder af krybekælderen end lige i nærheden af affugteren vil komme ned på et tilsvarende lavt niveau. Derfor blev fugtstyringen heller ikke sat til 75 % RF men lavere. Muligvis var det valgte niveau ikke tilstrækkeligt lavt. Evt. kunne fugtføleren der styrede affugteren være placeret bedre, dvs. væk fra affugteren og i stedet det område af kælderen, der vurderedes at være sværest at holde tørt.

Da der ikke foreligger målinger af energiforbruget til affugterne, vides det ikke om affugteren i Rosendalen 524 har været i konstant drift, og dermed ikke hvad der er årsagen til den høje fugtighed væk fra affugteren. Problemet kunne muligvis være undgået ved en anden kanalføring, således at kolde områder var blevet undgået.

I en traditionel ventileret krybekælder med kun lidt isolering mod beboet område, vil øget ventilation ofte være en fordel, da det betyder, at mere fugtig luft kan føres bort. Det forudsætter at erstatningsluften kommer udefra og at denne har et vandindhold, der ikke vil betyde et kritisk niveau når luften føres ind i en koldere krybekælder. I dette tilfælde kommer erstatningsluften fra en bolig, såfremt denne er beboet, er der en fugtproduktion og fugtigheden i krybekælderen øges dermed. Da der imidlertid ikke foreligger nogen målinger af hvornår affugteren var aktiv, kan det ikke afgøres hvor meget affugterbehovet afhænger af krybekælderveileningen.

I det supplerende forsøg blev der, efter en kort indkøringsperiode kun målt fugtniveauer under 75 % RF. Kun i et enkelt målepunkt, var fugtigheden ikke generelt under set-punktet på 60 % RF. Affugteren var således i stand til at sikre et tilstrækkeligt lavt fugtniveau. Da målingerne var på den sikre side af maksimumværdien på 75 % RF, kunne set-punktet i dette forsøg sandsynligvis være sat højere for at begrænse energiforbruget.

Energiforbrug

Desværre foreligger der ikke tilstrækkelig brugbare data til at vurdere om metoden generelt er så energiforbrugende, at den kun kan anbefales som en kortvarig afhjælpningsforanstaltning eller kan anvendes i årevis, mens man udskyder en egentlig renovering. I nedenstående afsnit om omkostninger forbundet med metoden er der dog foretaget en række overslagsberegninger, der viser, at der er en ikke ubetydelig driftsomkostning forbundet med metoden.

Da der ikke er tegn på at øget ventilation giver bedre resultater, bør ventilationen holdes på så lavt et niveau som muligt for at begrænse varmetabet og driftsudgiften. Metoden er dog kun vurderet ned til et ventilationsniveau på ca. 70 m³/h. Det vides ikke hvor langt ned ventilationen kan sættes inden den mister sin betydning. Men det er sikkert, at ventilation, der giver undertryk, er nødvendig. Den varme og luftbevægelse som affugteren afstedkommer, er ikke tilstrækkelig til at forhindre at luft strømmer fra krybekælderen og op. Konkrete målinger i forbindelse med kommende anvendelser af metoden anbefales for at optimere den udsugede luftmængde i forhold til det givne hus' utætheder i krybekælderen.

Omkostninger

Metodens omkostninger kan beskrives ved:

- Etablering og drift af ventilation
- Etablering og drift af affugter, evt med flere fugtfølere for at sikre lavt fugtniveau i hele kælderen
- Øget varmetab som følge af udsugning af varm luft fra krybekælder

De estimerede udgifter til et hus som de her undersøgte fremgår af tabel 7

Tabel 7. Estimerede udgifter forbundet med brug af den afprøvede metode, opdelt på anlægsudgifter og driftsudgifter, priserne er inkl. moms.

	Anlægsudgifter (kr)	Driftsudgifter pr. år (kr)
Ventilation og affugter	20000	3000
Varmetab		2000
I alt	20000	5000

Forudsætninger

Beregningerne af udgifterne er forbundet med stor usikkerhed, især de årlige udgifter til affugteren er vanskelige at vurdere og afhænger i høj grad af jordbundsforhold og beskaffenheden af krybekælderen bund i det konkrete

tilfælde. For beregning af energipriser er der anvendt en elpris på 2 kr/kWh inkl. moms, mens opvarmning er antaget at være 2,5 gange lavere dvs. 80øre/kWh. Hvorvidt disse forudsætninger holder afhænger af opvarmningsform og lokale energipriser.

Ventilation

Ventilationen skal køre permanent for at sikre, at luftstrømmen forløber fra beboet område til krybekælder. Dette er således uafhængigt af om affugteren er aktiv. Energiformen er el.

Affugter

Affugterens energiforbrug afhænger af hvor fugtig krybekælderen er. Der vil derfor være meget stor usikkerhed på dette tal. Dertil kommer, at når metoden igangsættes, vil affugteren være mest aktiv i starten for at udtørre krybekælderen og dennes konstruktioner til et acceptabelt niveau, herefter vil der alene være tale om at bevare det lave niveau. Energiforbruget i de her udførte forsøg kan derfor næppe blot ekstrapoleres til at dække et helt år, det ville give et urealistisk højt forbrug.

Midtfyns Totalservice har sammen med Munters udført en række tilsvarende forsøg på lignende huse, hvor krybekælderenes volumen og fugtighed har varieret, resultaterne kan dog bruges som en rettesnor for, hvilket energiforbrug der kan forventes i husene i Munkebo.

I fire forskellige bebyggelser med i alt 103 huse er der i en periode på gennemsnitligt 677 dage målt et årligt elforbrug til ventilation og affugter på ca. 2000 kW/h pr. år. Der er dog en spredning på ca. 1400 kW/h pr. år på disse tal. I disse huse er der kørt med en ventilation på mindst end 20 l/s (72 m³/h). Samtidig er der benyttet en ældre affugtertype, der er mindre effektiv. Det samlede tal kan derfor sandsynligvis nedsættes med ca. 30 %.

Det samlede driftsforbrug for ventilation og affugter vurderes derfor til at være 1500 kW/h pr. år. Energiformen er el.

Varmetab

Det forøgede varmetab som følge af, at ventilatoren sender varm luft ud fra krybekælderen og at denne luft skal erstattes af kold udeluft som skal opvarmes. Der er regnet med, at der skal flyttes 100 m³/h døgnet rundt hele året. Der er midlet over hele året, således at der er regnet med en middel udetemperatur på 7,9°C og indetemperatur på 20°C.

En del af dette varmetab dækkes af den varme der stammer fra ventilatorens og affugterens drift. Det er imidlertid ikke helt korrekt at trække hele elforbruget fra varmetabet, da hverken opvarmning eller affugter vil være i drift året rundt, men at de to dele ikke nødvendigvis kører samtidigt. Faktisk er det forventeligt, at affugteren vil køre mindre om vinteren end om sommeren, altså modsat opvarmningen. Om sommeren vil elforbruget til affugter og ventilator ikke komme huset til gode. Derfor er kun 50 % af elforbruget trukket fra varmetabet. De 50 % beror alene på et skøn.

Konklusion

For huse som de undersøgte har forsøgene vist, at ved at etablere udsugning fra krybekælderen, er det muligt at begrænse luftmængderne, der normalt strømmer op gennem et krybekælderdek betydeligt. Der vil dog være en række energiudgifter forbundet med metoden.

Ud fra forsøgene og forskellige teoretiske betragtninger kan der drages følgende hovedkonklusioner:

- Ventilationen i krybekælderen kan vende luftstrømmen, således at luftstrømmen op fra krybekælderen minimeres.
- Der kan ikke konstateres nogen betydende forskel ved at ændre ventilationsniveauet, af energihensyn må det derfor tilrådes at ventilationsniveauet holdes så lavt som muligt. I hovedforsøgene er der dog ikke undersøgt forhold lavere end 20 l/s (72 m³/h) ved en krybekælder på 55 m³, dvs. et luftskifte på 1,3 h⁻¹.
- Supplerende forsøg med en ventilationsrate på 14 l/s (50 m³/h eller et luftskifte på 0,9) viser, at dette niveau ikke er tilstrækkeligt til at sikre at luftstrømmen gennem etagedækket går oppefra og ned.
- Alene at etablere et ekstra ventilationshul i krybekældervæggen uden samtidig at etablere mekanisk udsugning øger indsugningen af udeluften i kælderen, men det kan samtidig betyde, at der sendes mere luft fra krybekælderen op gennem krybekælderdek.
- Det er nødvendigt at sikre sig at affugteren kan holde fugtniveauet tilstrækkelig langt nede i hele kælderen, evt. må affugteren styres af flere målepunkter. Placering af luftdistributionskanaler i kælderen kan også være med til at forhindre "fugtige områder".

Anvendelighed

Metoden er udtænkt til at muliggøre udsættelse af skimmelsvamperenovering ved med affugteren at holde fugtniveauet nede og med ventilationen forhindre at døde skimmelsvampesporer trænger op i det beboede areal. Men som det supplerende forsøg viser, skal udsugningen fra kælderen være på et vist niveau for at sikre, at luftstrømmen går den rigtige vej, ved de undersøgte krybekældre på 55 m² var en udsugning på 20 l/s (72 m³/h) tilstrækkelig, mens 14 l/s (50 m³/h) var for lidt. Den nødvendige ventilation afhænger både af krybekælderens størrelse og at hvor utæt etagedækket er.

Ingen skimmelspredning

Metoden må betragtes som værende anvendelig i den type af huse, der her er undersøgt. Der trænger stadig luft op fra krybekælderen selvom der er etableret sug fra kælderen, men mængden vurderes at være så lille, at risiko for gener fra døde skimmelsvampe vurderes at kunne negligeres. For de fleste huse vil det sandsynligvis også betyde, at metoden vil være med til at forhindre radon i at trænge op i beboet område.

Da der ikke har vist sig nogle betydelige forskelle afhængigt af de udsugede luftstrømme, er det muligt endeligt at dimensionere metoden på baggrund af de udførte forsøg. For krybekældre af denne størrelse og opbygning kan ventilation ned til 20 l/s (72 m³/h) anvendes. Det supplerende forsøg viser at 14 l/s (50 m³/h) er for lidt. Det anbefales at optimere den udsugede luftmængde efter de faktiske forhold i de huse hvor metoden etableres.

Fugtniveauer

Målingerne har ikke i alle tilfælde kunnet bekræfte, at fugtniveauet i krybekælderen kan holdes nede på et niveau, hvor skimmel ikke længer kan gro. Det vides ikke om det skyldes det enkelte hus beskaffenhed eller affugterens begrænsninger. Denne problematik må behandles individuelt for de enkelte huse, således, at det sikres, at skimmelen ikke fortsat kan leve i krybekælderen.

Begrænsninger

I forsøget er der kun stødt på begrænsninger i form af, at affugteren i Rosendalen 524 var utilstrækkelig, enten pga. kapacitet, placering af kanaler eller valg af set-punkt. Det supplerende forsøg viste, at der er et minimumsniveau for hvor lav ventilationen må være.

Litteratur

Andersen N. E., Christensen G. og Nielsen F. (1993). *Bygningers fugtisolering*. SBI-anvisning 178, Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm

Bergsøe N. C. (1992). *Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser*. Beskrivelse og analyse af PFT-metoden. SBI-rapport 227, Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm

Branchearbejdsmiljørådet for Bygge og Anlæg (2004). *Branchevejledning om arbejde i eksisterende krybekældre*. København

Brandt E. (2009). *Fugt i bygninger*. SBI-anvisning 224, Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm

Erhvervs og Byggestyrelsen (2010). *Bygningsreglement 2010*. København

Hukka A. & Viitanen H. A. (1999). *A mathematical model of mould growth on wooden material*. Wood Science and Technology 33: 475-485

Sedlbauer K. (2001). *Vorhersagen von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen*. Ph.D. Thesis, Lehrstuhl für Bauphysik, Universität Stuttgart

Hansen, E.J.d.P. (red.). (2010). *Anvisning om Bygningsreglement 2010*. SBI-anvisning 230, Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm

Sundhedsstyrelsen (2009). *Personers ophold i bygninger med fugt og skimmelsvampe - anbefalinger for sundhedsfaglig rådgivning*. København

Valbjørn O. (2003). *Undersøgelse og vurdering af fugt og skimmelsvampe i bygninger*. By og Byg Anvisning 204, Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.

WHO (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. København: WHO Regional Office for Europe.

Karakteristik af udsugningssystem

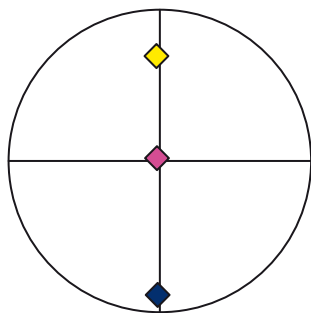
Dette notat har til formål at klarlægge udsugningssystemets flow ved forskellige indstillinger af henholdsvis irisblænde og strømstyrke.

Udsugningssystemet

Indvendig diameter målt til 99 mm ved rørets udmunding og 98 mm på målestedet.

Målepunkter ved måling er angivet i figur 1, hvor gul kvadrant angiver et ca. mål på 2 cm inde i røret, pink kvadrant angiver et ca. mål på 5 cm inde i røret mens mørkeblå kvadrant angiver et ca. mål på 9,5 cm.

Ideelt set bør der foretages målinger langs to på hinanden vinklede diametre i et cirkulært ledningstværsnit. Det har dog ikke været muligt grundet rørets lille størrelse, og det anses ikke for nødvendigt, da der samtidig foreligger målinger af trykdifferencen¹.



Figur 1 Cirkulært ledningstværsnit med målepunkter hhv. 2 cm, 5 cm og 9,5 cm.

Indstilling af irisblænde

For irisblænden er der valgt tre indstillinger: 1,5: 3 og 6, hvilket svarer til henholdsvis mindste, mellemste og største indstilling.

Strømstyrke

Indstillingen er strømstyrken er sket ved at anvende en lysdæmper. Strømstyrken havde tre indstillinger: 1: mindst mulig strømstyrke, 2: mellem strømstyrke og 3: maksimal strømstyrke. Heraf må kun indstilling 1 og 3 betegnes som nogenlunde præcise, da indstilling 2 blot var markeret med en blyantsstreg på lysdæmperen.

Flow

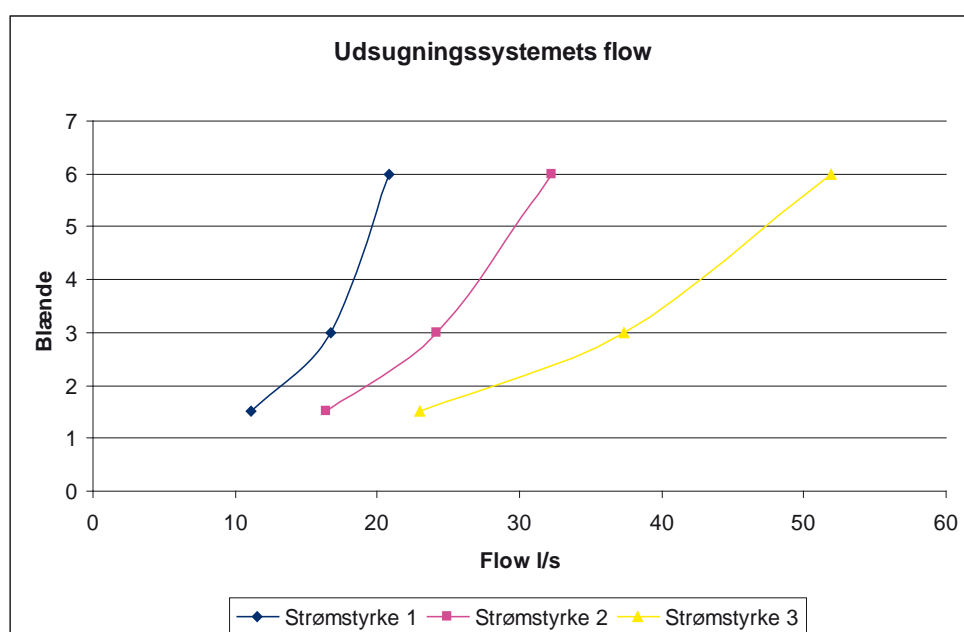
Blændens flow er beregnet ved hjælp af:

$$q(l/s) = k\sqrt{\Delta Pi}$$

hvor ΔPi er trykdifferensen og k er irisblændens indstilling.

¹ Der er forsøgsvis foretaget målinger af trykdifferensen med varmetrådsanemometer både lodret og vandret, men forskellen var minimal, hvorfor data er udeladt.

Udsugningssystemets flow er vist i figur 2, hvor flow for de tre strømstyrker er baseret på trykdifferensmålinger over blænden. Trykdifferensen er her målt med en Halstrup GMBH Multur EMA 150 trykmåler og der er foretaget kontrolmålinger. Blændens flow er samtidig målt varmetrådsanemometer fabrikkat Dantec, type Flowmaster Precision Anemometer 54 N 60 med tilhørende føler, type 54 R 20. De to forskellige målinger har til hensigt at bestemme udsugningssystemets flow, samt at sikre at blændeindstillingerne er korrekte. Flow baseret på målinger med varmtrådsanemometret er højere end flowene baseret på trykdifferensen over blænden særligt ved lave luft-hastigheder. Dette kan skyldes, at anemometret ikke måler særligt præcist ved lave hastigheder og at målingerne afhænger af den nøjagtige følerplacement, der var svær at få tilstrækkelig tæt på væggen i den tynde kanal.

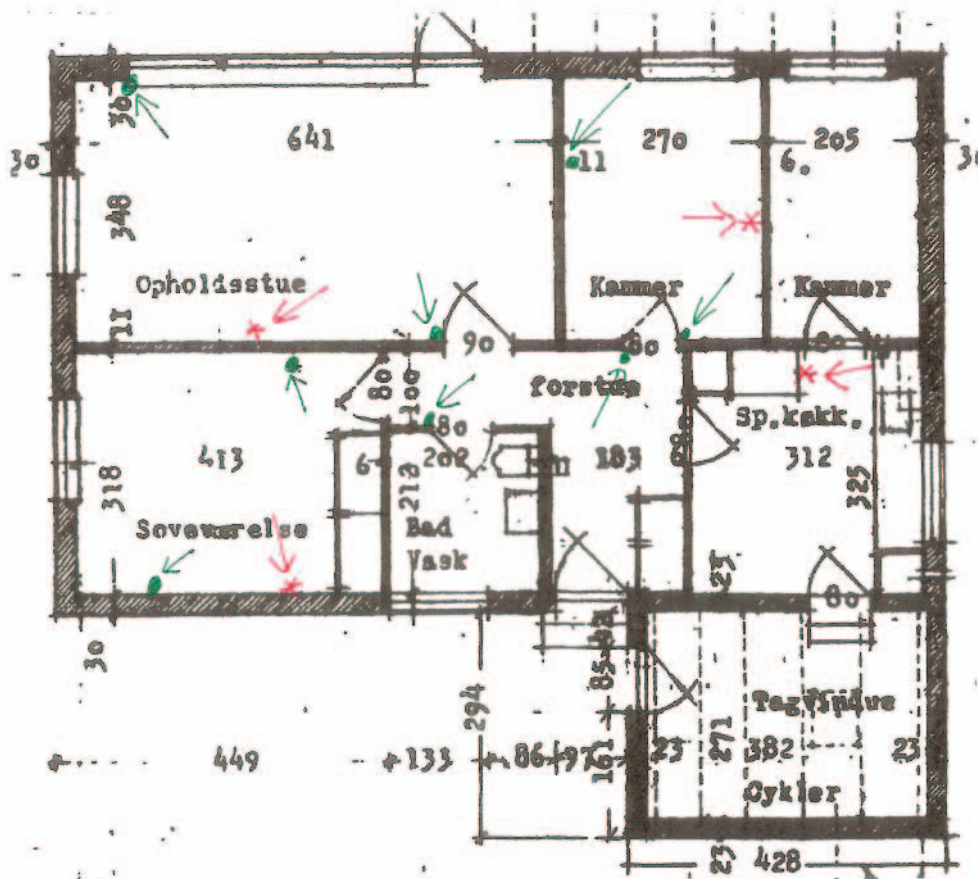


Figur 2. Udsugningssystemets flow (l/s) med irisblændeindstillinger 1,5; 3 og 6 for strømstyrke 1, 2 og 3. Flow er baseret på målinger af trykdifferens over blænden

Tabel 1

Irisblænde	1,5			3			6		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Strømstyrke									
Trykdifferens måling (Pa)	55	119	234	31	65	155	12	29	75
Flow (l/s) varmetrådsanemometer	15,5	20,5	29,4	19,2	26,9	41,6	23,2	16,8	51,7
Beregnet flow (l/s) blændeflow	11,12	16,36	22,95	16,70	24,19	37,35	20,78	32,31	51,96

På baggrund af målingerne kan det konkluderes, at det opstillede udsugningssystem virker tilfredsstillende inden for området vist i figur 2 og at flowmålinger baseret på trykdifferensen over blænden vil være de mest præcise i praktisk brug.



● OPSAMLINGSRØR OPPE

STUE

- VED BRYSTNING TIL STORT VINDUE
- PÅ DØRKAEM

KAMMER

- PÅ ARKIVSKAB
- PÅ DØRKAEM

GANG

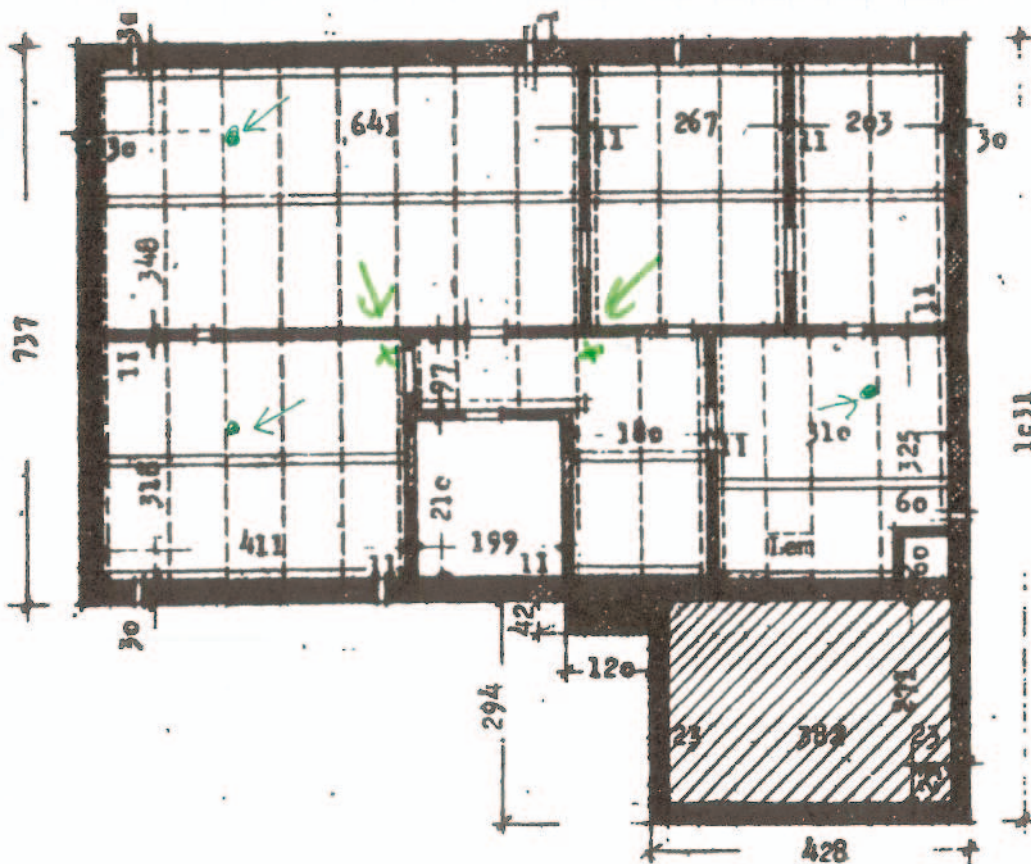
- PÅ DØRKAEM KAMMER
- PÅ DØRKAEM BATH

KONTOR

- PÅ LILLE REOL
- VED PRINTER

* RØD KILDE OPPE

- STUE: PÅ BILLEDBORANDE
- KONTOR: PÅ STOR REOL
- KØKKEN: PÅ SKABSREOL
- KAMMER: PÅ REOL



● OPSAMLINGSRØR NED

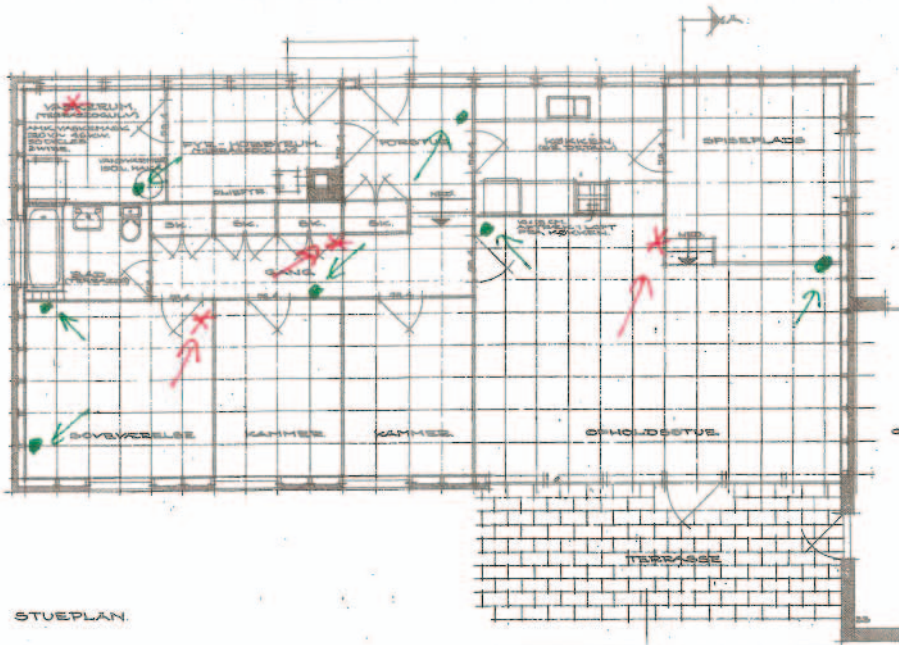
- VED UDSUGNING (UNDER KØKKEN)
- UNDER KONTOR
- UNDER STUE

* GUL KILDE NED

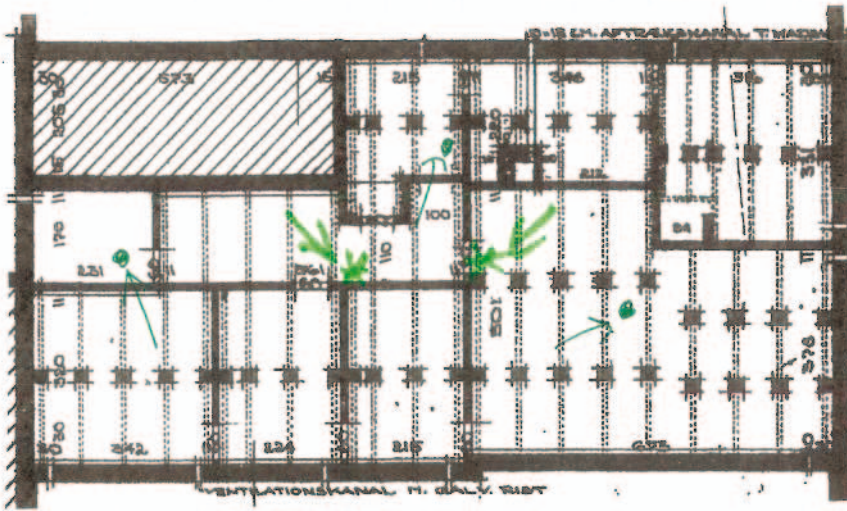
- VED AFFUGTER
- UNDER GANG MOD KONTOR

PLACERING AF KILDER OG OPSAMLINGSRØR

SOLBAKKEN 615



STUEPLAN



- OPSAMLINGSRØR OPPE
- STUE
 - PÅ LEJENDETR MOD STUE
 - BAG DØR ML GANG OG STUE (PÅ CYKELMØDEL)

- SOVEVÆRELSE
 - PÅ GAVL AF STORT SÅB (MOD VINDUE)
 - PÅ GAVL AF STORT SÅB (MOD GANG STERT TIL GÅNDELIG)

- GANG
 - PÅ KOMMODO

- FORSTUE
 - PÅ SÅLBANK

- BÅKERSTE VÆRELSE
 - PÅ SMALT SÅB

* RØD KILDE OPPE

- STUE: PÅ SIDE AF TRAPPE
- GANG: VED SÅB
- SOVEVÆRELSE: PÅ NÅTBORD MOD GAVL

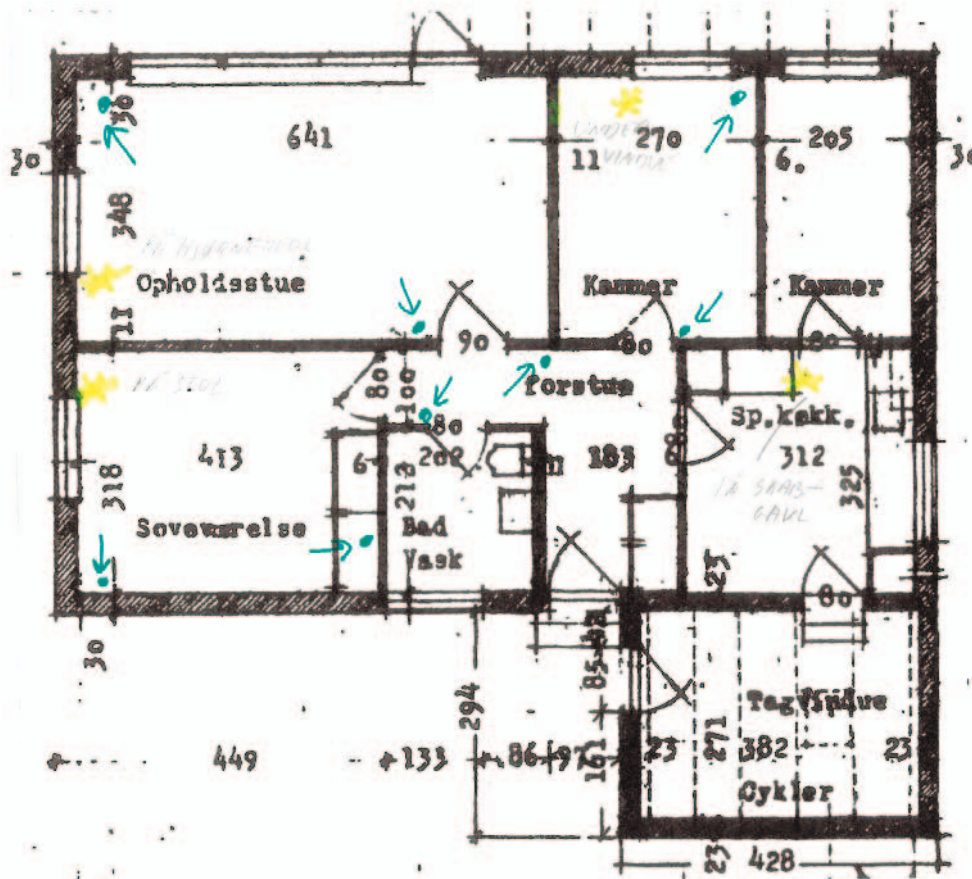
- OPSAMLINGSRØR NEDRE
 - VED VDSUGNING
 - LAV KRIBEKREDDER UNDER STUE
 - HØJ KRIBEKREDDER UNDER KAMMER/FORSTUE

* GRØN KILDE NEDRE

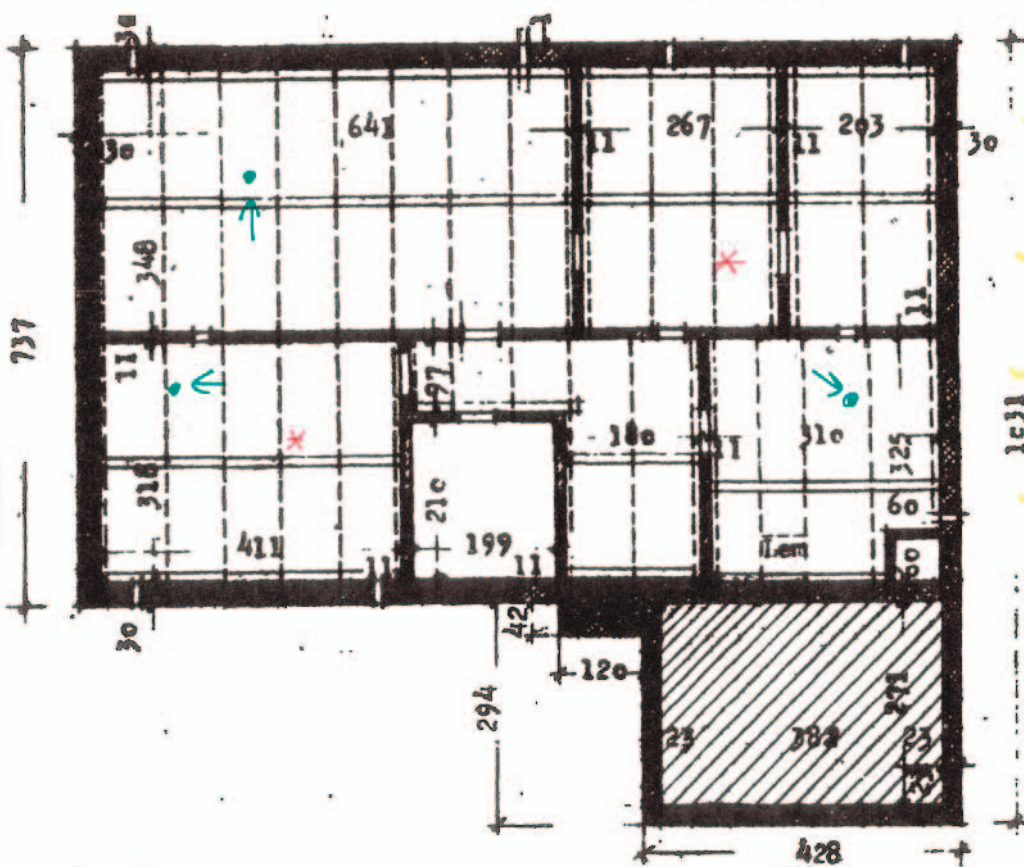
- VED AFFUGTER
- MOD STUE UNDER GANG

PLACERING AF KILDER OG OPSAMLINGSRØR

SOLBAKKEN 709



- OPSAMLINGSRØR OPPE
- STUE
 - DAG REOL
 - PÅ HJØRNE-SOVABORD
- KAMMER
 - PÅ FJERNSEJESBORD
 - PÅ DÅKARM
- GANG:
 - PÅ DØRARM MOD BAD
 - PÅ POTTPLANTE TV FOR SPEJL
- SOVEVÆRELSE:
 - PÅ MATBORD MOD VINDUE
 - PÅ KLÆDESAB



- GUL KILDE:
- STUE: PÅ HJØRNE REOL
- SOVEVÆRELSE: PÅ STOL
- KAMMER: VINDUESKARM
- KØKKEN: PÅ SKABS GAUL
- OPSAMLINGSRØR NED:
- UNDER KØKKEN
- UNDER STUE
- UNDER SOVEVÆRELSE

ROSENDALLEN 331



Skimmel i hulrum, PFT-målinger, krybekældre, EVM, LBG

Energi & Miljø
Niels Christian Bergsøe

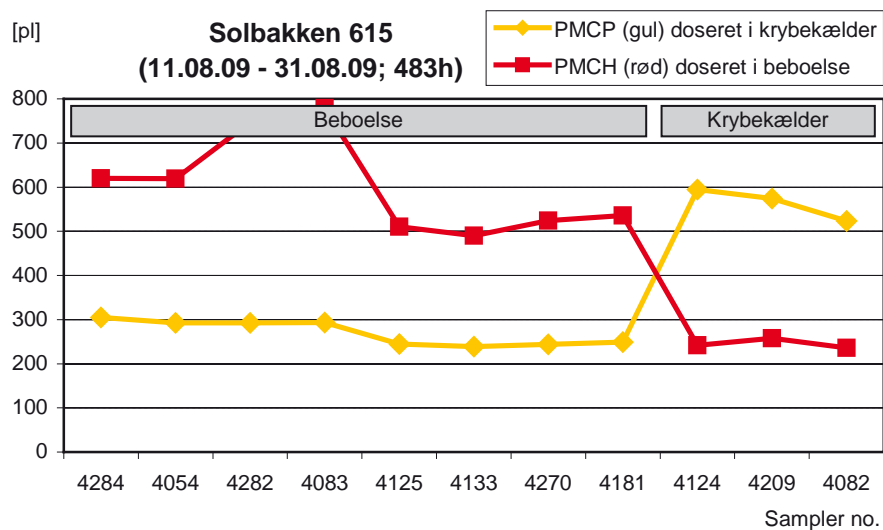
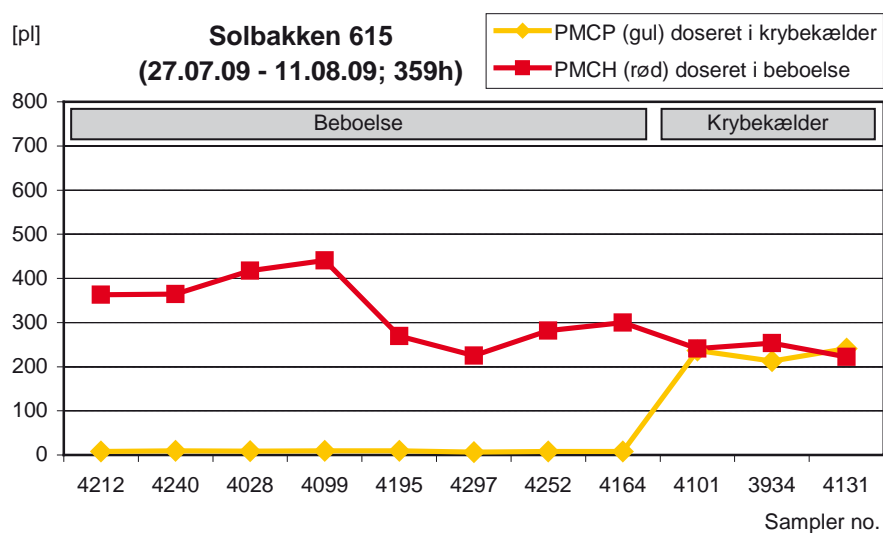
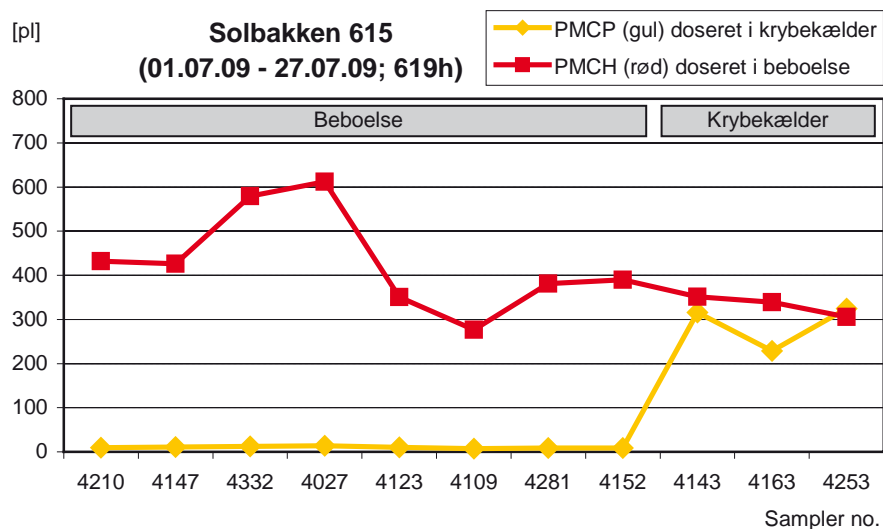
Solbakken 615
Solbakken 709
Rosendalen 524

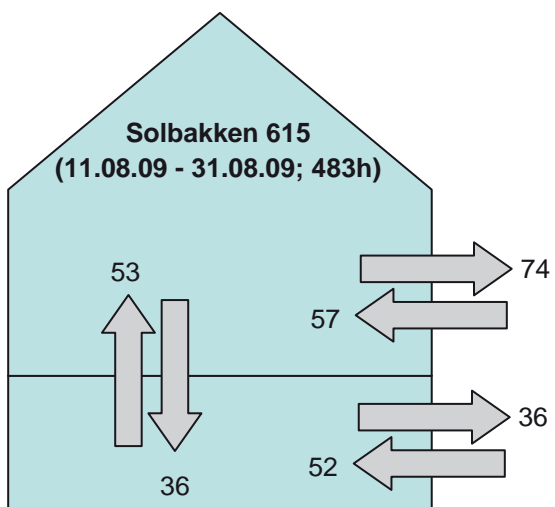
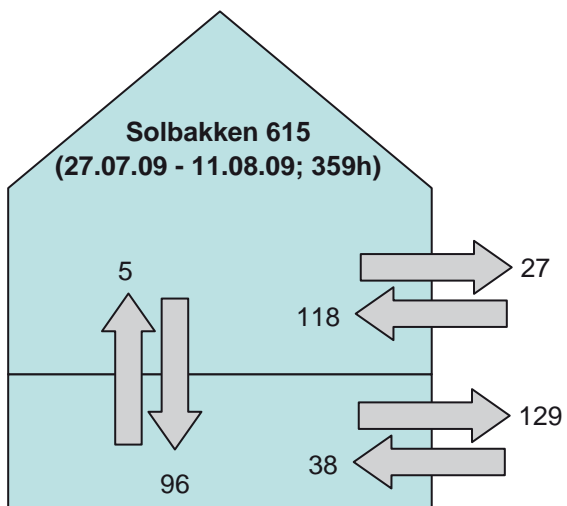
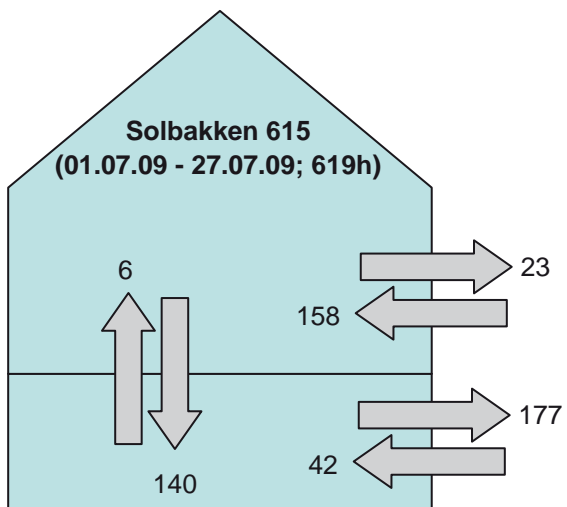
4. september 2009
Journal nr. 721-126

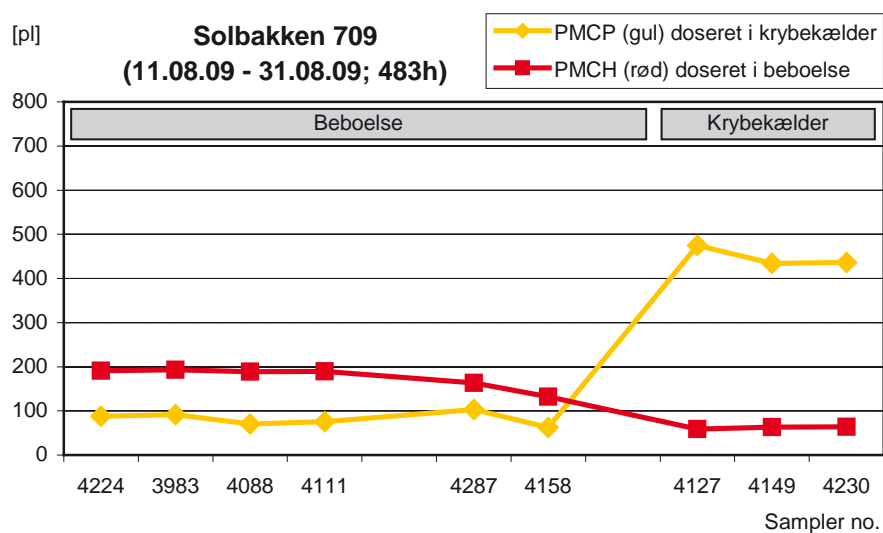
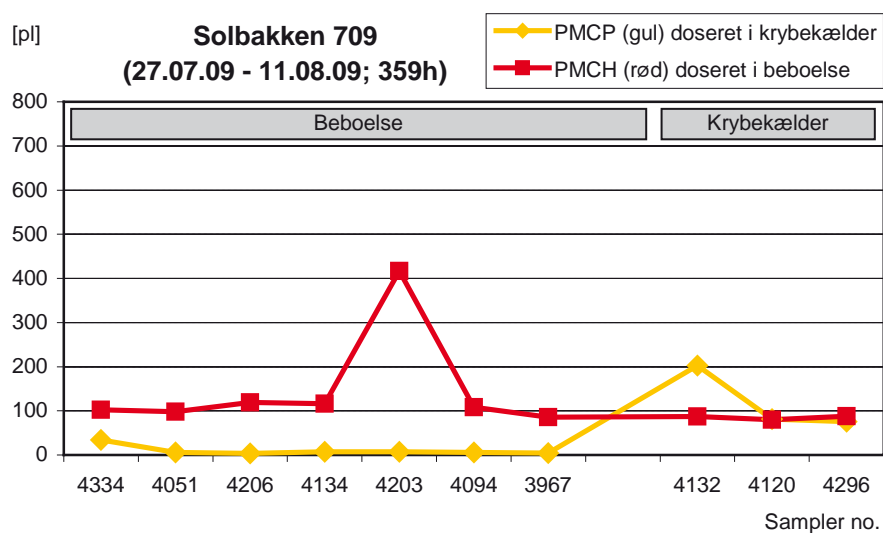
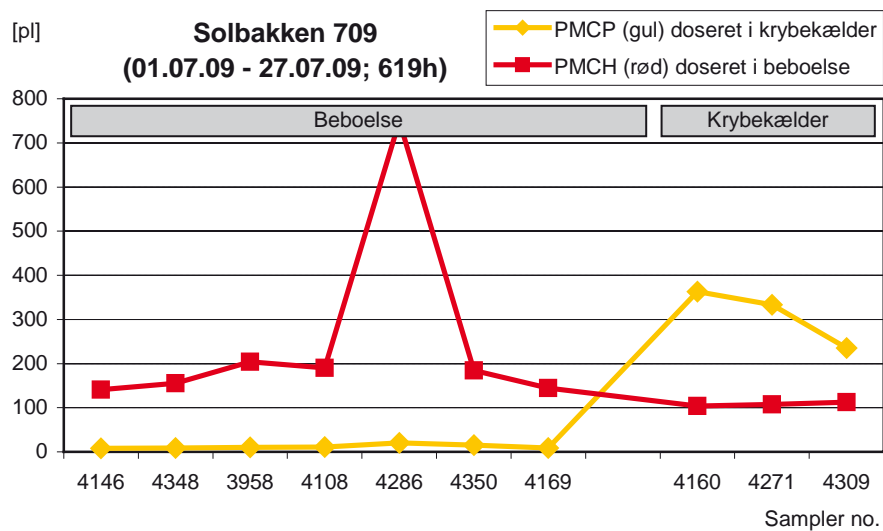
1. periode 01.07.09 – 27.07.09
2. periode 27.07.09 – 11.08.09
3. periode 11.08.09 – 31.08.09

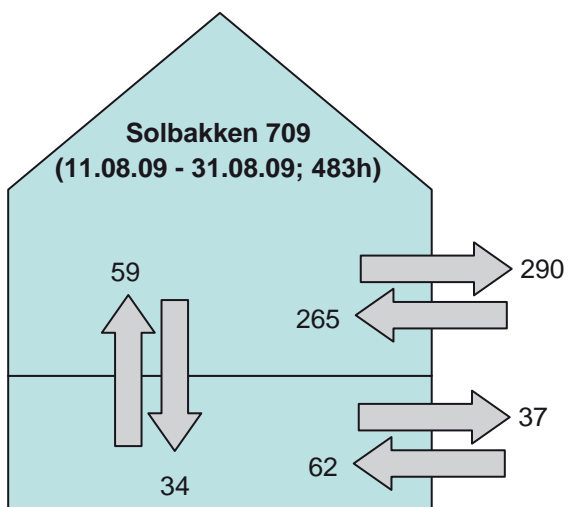
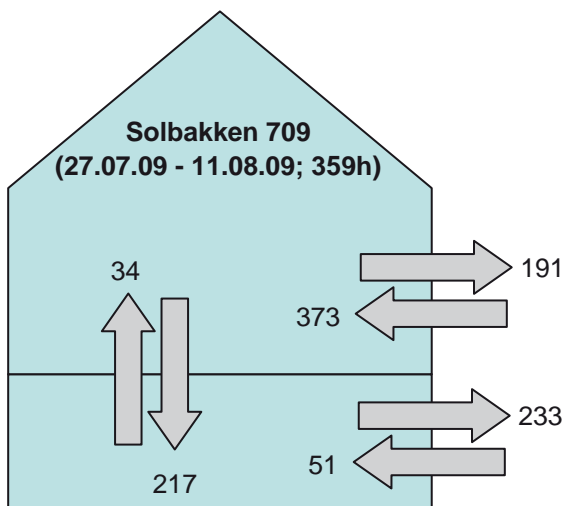
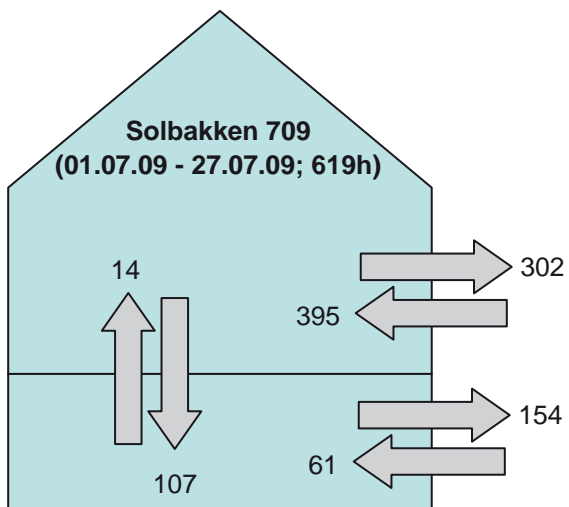
Oktober 2010

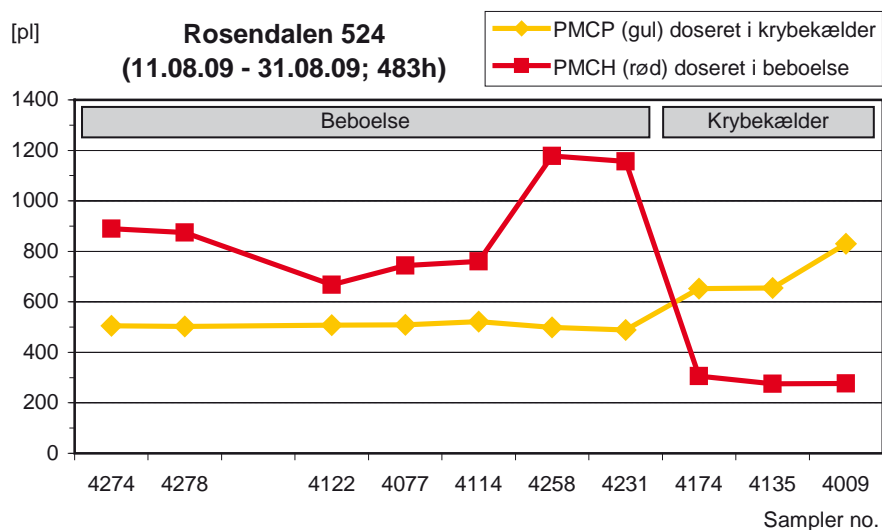
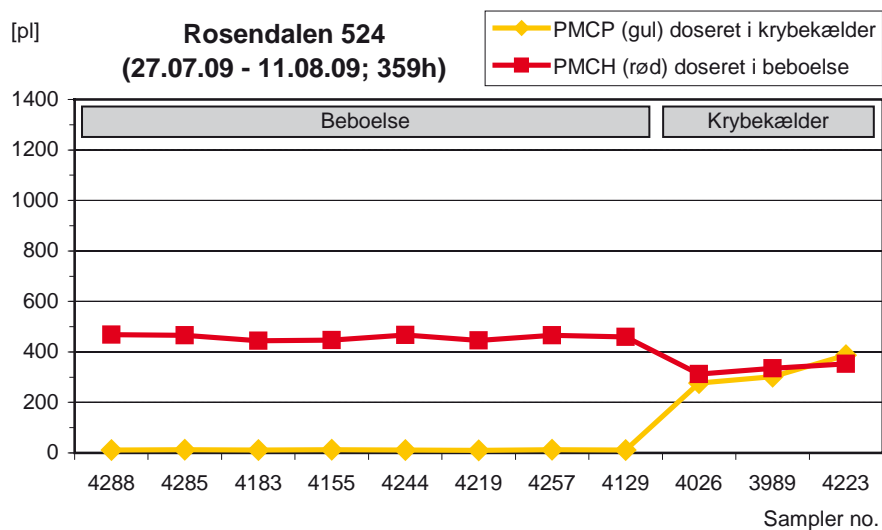
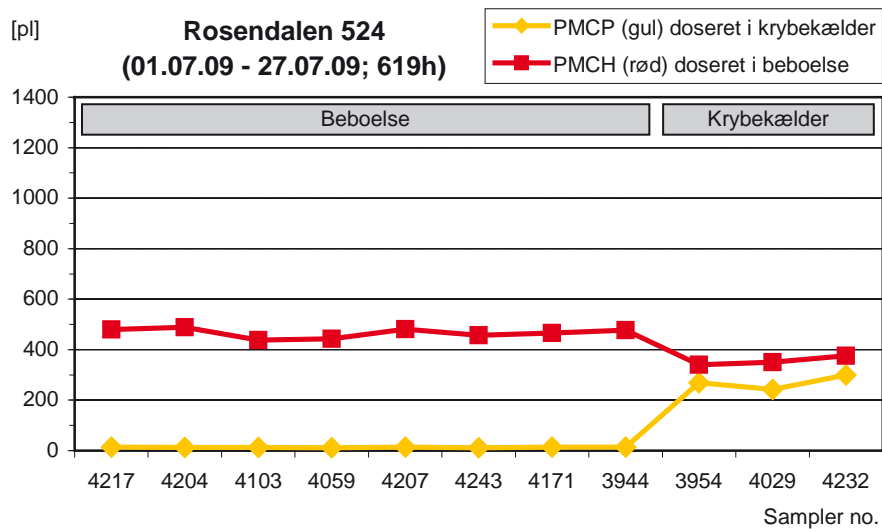
Rosendalen 331
02.10.2010 – 28.10.2010

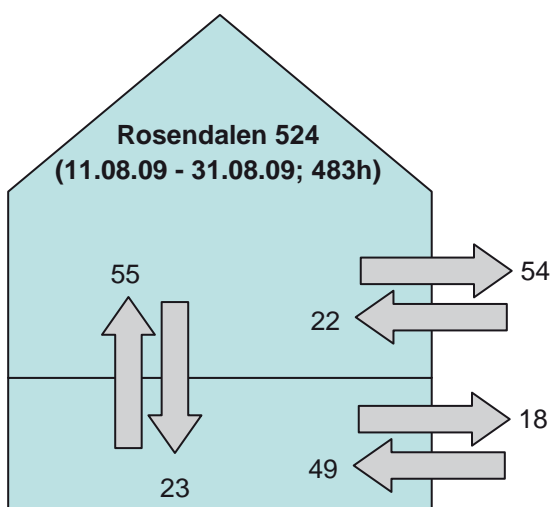
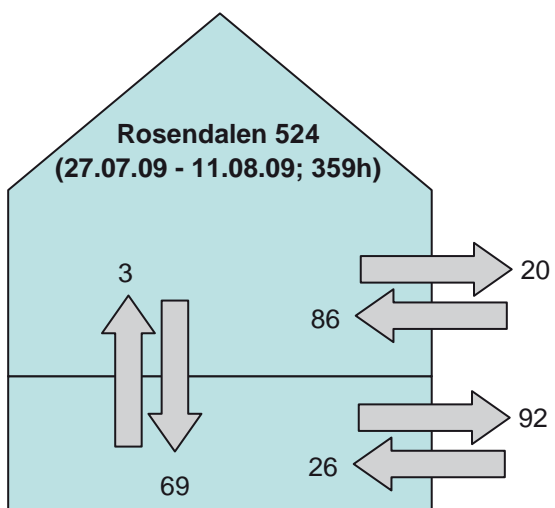
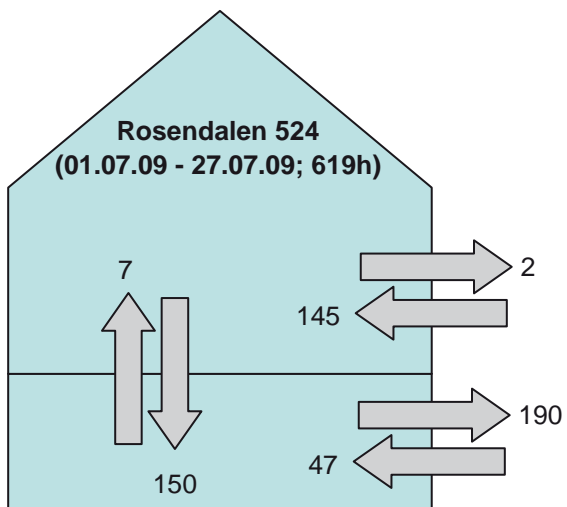












PFT-measurement

v. 43

Side 8 af 21

Building : Solbakken 615 (periode 1) Date: 20.08.2009
 Project : 721-126, skimmel i hulrum Enclosure: 1
 Measurement Start: 01.07.09 at 14:00 | Duration: 619,0 hours Analysis: 04.08.2009
 Measurement End : 27.07.09 at 09:00

Results

Total infiltration rate: 199,5 m³/h (26,4) [13%]
 Total air change rate: 0,92 h⁻¹ (0,12)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	157,5	52,7	[33]	22,9	41,2	[180]	163,3	54,7	[33]
2	42,0	47,9	[114]	176,6	42,2	[24]	182,4	43,3	[24]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	140,4	58,9	[42]	2 → 1	5,8	2,7	[46]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	38,1	[26]	1,0	[21]
2	Krybekælder (nede)	29,3	[7]	26,9	[18]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	177,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	41,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,25
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,31
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,30
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4210	431,8	9,6	4143	351,1	316,1						
2	4147	426,1	10,8	4163	338,7	228,7						
3	4332	579,1	12,7	4253	305,3	324,2						
4	4027	611,8	13,8									
5	4123	350,4	10,2									
6	4109	276,5	7,2									
7	4281	380,8	8,6									
8	4152	390,1	9,1									

PFT-measurement

v. 43

Side 9 of 21

Building	: Solbakken 709 (periode 1)	Date:	20.08.2009
Project	: 721-126, skimmel i hulrum	Enclosure:	2
Measurement Start:	01.07.09 at 19:45	Duration:	614,3 hours
Measurement End:	27.07.09 at 10:00		

Results

Total infiltration rate: 455,8 m³/h (74,3) [16%]
 Total air change rate: 1,46 h⁻¹ (0,24)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	395,0	90,5	[23]	301,7	79,7	[26]	408,7	93,7	[23]
2	60,8	29,2	[48]	154,1	41,3	[27]	167,8	44,2	[26]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	107,0	37,9	[35]	2 → 1	13,7	5,9	[43]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [µl/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	15,1	[16]	1,0	[25]
2	Krybekælder (nede)	9,6	[4]	29,1	[22]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	257,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	55,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,22
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,22
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,21
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4146	141,1	8,3	4160	104,2	363,0			4286	20,7	749,2	0,0
2	4348	155,2	8,7	4271	107,8	333,1						
3	3958	203,8	10,3	4309	112,8	235,3						
4	4108	190,4	10,9									
5	4350	184,0	15,2									
6	4169	144,2	8,9									

PFT-measurement

v. 43

Side 10 af 21

Building	: Rosendalen 524 (periode 1)	Date:	20.08.2009
Project	: 721-126, skimmel i hulrum	Enclosure:	3
Measurement Start:	01.07.09 at 17:45	Duration:	617,3 hours
Measurement End:	27.07.09 at 11:00		

Results

Total infiltration rate: 191,4 m³/h (23,6) [12%]
 Total air change rate: 0,88 h⁻¹ (0,11)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	144,6	22,4	[15]	1,9	35,4	[1.884]	151,9	23,5	[15]
2	46,8	25,7	[55]	189,5	35,1	[19]	196,9	36,0	[18]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	150,1	37,4	[25]	2 → 1	7,3	1,9	[26]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [µl/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	41,3	[4]	1,2	[9]
2	Krybekælder (nede)	31,5	[5]	25,2	[11]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	177,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	41,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,12
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,20
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,31
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [µl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4217	479,7	13,4	3954	340,4	269,2						
2	4204	489,0	12,2	4029	350,2	242,0						
3	4103	437,7	13,1	4232	375,7	299,6						
4	4059	442,4	11,3									
5	4207	481,3	14,4									
6	4243	457,5	11,8									
7	4171	465,8	14,3									
8	3944	476,7	13,9									

PFT-measurement

v. 43

Side 11 af 21

Building	: Solbakken 615 (periode 2)	Date:	20.08.2009
Project	: 721-126, skimmel i hulrum	Enclosure:	4
Measurement Start:	27.07.09 at 09:00	Duration:	359,0 hours
Measurement End:	11.08.09 at 08:00		

Results

Total infiltration rate: 155,6 m³/h (19,0) [12%]
 Total air change rate: 0,71 h⁻¹ (0,09)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	118,1	35,3	[30]	27,0	24,0	[89]	122,5	36,6	[30]
2	37,5	29,2	[78]	128,6	20,9	[16]	133,1	21,4	[16]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	95,6	33,3	[35]	2 → 1	4,5	1,6	[37]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [µl/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	50,7	[23]	1,3	[13]
2	Krybekælder (nede)	36,4	[7]	36,9	[7]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	177,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	41,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,21
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,25
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,27
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [µl]												
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers			
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	PMCH	PMCP	PMCH	PMCP
1	4212	363,0	8,0	4101	241,3	237,0							
2	4240	364,2	9,3	3934	253,3	212,4							
3	4028	417,2	8,4	4131	222,1	240,7							
4	4099	440,4	9,7										
5	4195	269,2	9,5										
6	4297	225,1	6,3										
7	4252	281,9	7,8										
8	4164	299,6	8,1										

PFT-measurement

v. 43

Side 12 af 21

Building	: Solbakken 709 (periode 2)	Date:	20.08.2009
Project	: 721-126, skimmel i hulrum	Enclosure:	5
Measurement Start:	27.07.09 at 10:00	Duration:	360,0 hours
Measurement End:	11.08.09 at 10:00		

Results

Total infiltration rate: 424,3 m³/h (61,2) [14%]
 Total air change rate: 1,36 h⁻¹ (0,20)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	373,1	77,3	[21]	191,0	139,0	[73]	407,4	92,7	[23]
2	51,2	55,4	[108]	233,3	156,1	[67]	267,7	178,4	[67]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	216,5	151,9	[70]	2 → 1	34,4	49,5	[144]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	15,9	[12]	1,6	[118]
2	Krybekælder (nede)	12,9	[5]	19,2	[60]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	257,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	55,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,43
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,42
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,39
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCH	PMCP	PDCH
1	4334	102,7	34,3	4132	87,0	202,8			4203	7,1	416,6	0,0
2	4051	97,8	5,5	4120	79,5	81,4						
3	4206	118,9	3,9	4296	87,9	75,3						
4	4134	116,2	7,3									
5	4094	108,1	5,5									
6	3967	85,4	4,3									

PFT-measurement

v. 43

Side 13 of 21

Building : Rosendalen 524 (periode 2) Date: 20.08.2009
 Project : 721-126, skimmel i hulrum Enclosure: 6
 Measurement Start: 27.07.09 at 11:00 | Duration: 359,5 hours Analysis: 17.08.2009
 Measurement End : 11.08.09 at 10:30

Results

Total infiltration rate: 111,8 m³/h (13,4) [12%]
 Total air change rate: 0,51 h⁻¹ (0,06)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	86,0	13,2	[15]	19,8	20,1	[102]	89,1	13,7	[15]
2	25,9	13,0	[50]	92,0	21,7	[24]	95,2	22,3	[23]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	69,3	20,1	[29]	2 → 1	3,2	0,9	[29]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	69,6	[2]	1,8	[7]
2	Krybekælder (nede)	50,7	[6]	51,5	[18]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	177,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	41,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,15
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,22
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,27
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4288	468,0	10,8	4026	312,4	276,8						
2	4285	465,5	12,3	3989	335,1	301,7						
3	4183	443,8	11,3	4223	352,5	386,9						
4	4155	447,1	12,4									
5	4244	467,1	10,9									
6	4219	445,6	10,6									
7	4257	465,4	12,4									
8	4129	459,6	10,9									

PFT-measurement

v. 43

Side 14 af 21

Building : Solbakken 615 (periode 3) Date: 03.09.2009
 Project : 721-126, skimmel i hulrum Enclosure: 7
 Measurement Start: 11.08.09 at 08:30 | Duration: 483,0 hours Analysis: 03.09.2009
 Measurement End : 31.08.09 at 11:30

Results

Total infiltration rate: 109,7 m³/h (14,3) [13%]
 Total air change rate: 0,50 h⁻¹ (0,07)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	57,3	18,8	[33]	74,0	24,3	[33]	109,9	33,5	[30]
2	52,4	11,3	[22]	35,7	16,6	[47]	88,3	17,1	[19]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	35,9	13,1	[37]	2 → 1	52,6	20,1	[38]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [µl/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	68,3	[18]	32,2	[10]
2	Krybekælder (nede)	27,8	[5]	67,2	[7]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	177,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	41,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,18
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,27
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,49
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [µl]									
	Zone 1			Zone 2			Zone 3		Excluded samplers	
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	Sampler	PMCH	PDCH
1	4284	619,8	304,5	4124	241,7	594,5				
2	4054	619,5	292,2	4209	257,9	574,1				
3	4282	746,9	292,6	4082	236,1	523,2				
4	4083	778,6	293,1							
5	4125	510,6	244,7							
6	4133	489,8	239,1							
7	4270	523,8	244,3							
8	4181	535,9	249,4							

PFT-measurement

v. 43

Side 15 af 21

Building : Solbakken 709 (periode 3) Date: 03.09.2009
 Project : 721-126, skimmel i hulrum Enclosure: 8
 Measurement Start: 11.08.09 at 08:30 | Duration: 483,0 hours Analysis: 03.09.2009
 Measurement End : 31.08.09 at 11:30

Results

Total infiltration rate: 326,5 m³/h (54,9) [17%]
 Total air change rate: 1,05 h⁻¹ (0,18)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	264,5	59,5	[22]	289,9	66,1	[23]	323,5	72,0	[22]
2	62,0	11,7	[19]	36,6	19,9	[54]	95,6	15,2	[16]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	33,5	9,4	[28]	2 → 1	59,0	19,9	[34]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	20,0	[14]	9,7	[18]
2	Krybekælder (nede)	7,0	[4]	53,4	[5]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	257,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	55,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,13
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,21
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,15
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4224	190,6	87,6	4127	58,9	474,5						
2	3983	193,4	91,5	4149	63,3	434,1						
3	4088	189,1	70,3	4230	63,5	436,2						
4	4111	189,8	75,8									
5	4287	163,1	103,0									
6	4158	132,2	62,6									

PFT-measurement

v. 43

Side 16 of 21

Building : Rosendalen 524 (periode 3) Date: 03.09.2009
 Project : 721-126, skimmel i hulrum Enclosure: 9
 Measurement Start: 11.08.09 at 11:00 | Duration: 482,5 hours Analysis: 03.09.2009
 Measurement End : 31.08.09 at 13:30

Results

Total infiltration rate: 71,9 m³/h (9,1) [13%]
 Total air change rate: 0,33 h⁻¹ (0,04)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	22,4	13,0	[58]	53,8	20,6	[38]	77,0	28,5	[37]
2	49,4	12,7	[26]	18,1	17,6	[97]	72,6	19,3	[27]
3									

Interzone				Interzone			
Zone	[m ³ /h]	SD	SD%	Zone	[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	23,2	10,6	[46]	2 → 1	54,5	24,8	[45]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Beboelse (oppe)	101,5	[22]	60,2	[2]
2	Krybekælder (nede)	32,4	[6]	85,0	[14]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (oppe)	177,0	PMCH	4	6620	23,0	6046
2	Krybekælder (nede)	41,0	PMCP	2	6006	20,0	4776
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,458 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,22
 PMCP: 0,513 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,34
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,66
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4274	889,9	505,3	4174	306,4	652,5						
2	4278	874,1	503,1	4135	275,2	655,0						
3	4122	668,0	507,7	4009	276,6	830,4						
4	4077	743,2	508,5									
5	4114	760,7	521,2									
6	4258	##	498,6									
7	4231	##	488,8									

PFT-measurement

v. 48

Side 17 of 21

Building : EVM, Rosendalen 331 Date: 06.01.2011
 Project : 721-126 Enclosure: 2z
 Measurement Start: 02.10.10 at 17:30 | Duration: 616,5 hours
 Measurement End : 28.10.10 at 10:00 | Analysis: 15.11.2010

Results

Total infiltration rate: 139,4 m³/h (48,4) [35%]
 Total air change rate: 0,64 h⁻¹ (0,22)
 Outdoor air supply: 0,26 l/s pr. m² (Gross floor area: 150 m²)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	113,3	63,8	[56]	189,2	106,8	[56]	249,6	140,7	[56]
2	26,1	16,7	[64]	-49,7	64,0	[-129]	86,5	27,3	[32]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	60,4	37,0	[61]	2 → 1	136,2	86,1	[63]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

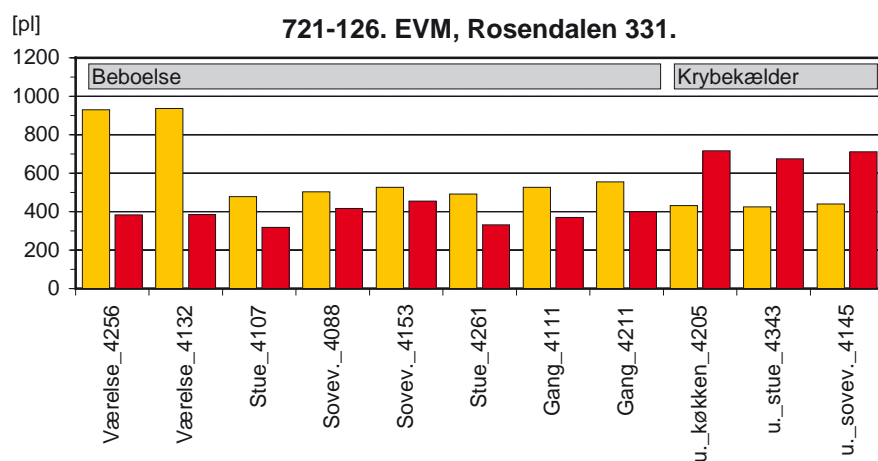
Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Beboelse (stueetage)	61,9	[32]	23,9	[11]
2	Krybekælder	43,2	[2]	43,7	[3]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (stueetage)	177,0	PMCP	4	12012	20,0	9553
2	Krybekælder	41,0	PMCH	2	3310	17,5	2341
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,550 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,24
 PMCH: 0,322 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,56
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 2,25
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]													
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers				
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4256	930,4	384,1	4205	430,9	716,0								
2	4132	936,1	385,1	4343	425,3	675,3								
3	4107	478,1	318,5	4145	439,4	712,0								
4	4088	502,7	416,7											
5	4153	526,3	454,8											
6	4261	491,2	332,4											
7	4111	526,5	370,3											
8	4211	555,0	399,7											



PFT-measurement

v. 48

Side 19 af 21

Building : EVM, Rosendalen 331 Date: 06.01.2011
 Project : 721-126 Enclosure: 2z-2
 Measurement Start: 02.10.10 at 17:30 | Duration: 616,5 hours
 Measurement End : 28.10.10 at 10:00 | Analysis: 15.11.2010

Results

Total infiltration rate: 154,2 m³/h (26,7) [17%]
 Total air change rate: 0,81 h⁻¹ (0,14)
 Outdoor air supply: 0,31 l/s pr. m² (Gross floor area: 139 m²)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	139,6	36,0	[26]	213,9	62,3	[29]	293,5	86,2	[29]
2	14,5	11,8	[81]	-59,7	45,0	[-75]	94,1	27,2	[29]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	79,6	31,2	[39]	2 → 1	153,8	65,4	[43]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [p/l]			
		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Beboelse (stueetage)	43,8	[6]	23,4	[11]
2	Krybekælder	37,1	[2]	44,7	[3]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Beboelse (stueetage)	150,0	PMCP	3	9009	20,0	7165
2	Krybekælder	41,0	PMCH	2	3310	17,5	2341
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,472 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,12
 PMCH: 0,329 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,31
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 2,66
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4107	478,1	318,5	4205	430,9	716,0			4256	930,4	384,1	0,0
2	4088	502,7	416,7	4343	425,3	675,3			4132	936,1	385,1	0,0
3	4261	491,2	332,4	4145	439,4	712,0			4153	526,3	454,8	0,0
4	4111	526,5	370,3									
5	4211	555,0	399,7									

PFT-measurement

v. 48

Side 20 af 21

Building : EVM, Rosendalen 331 Date: 06.01.2011
 Project : 721-126 Enclosure: 1z-PMCP
 Measurement Start: 02.10.10 at 17:30 | Duration: 616,5 hours
 Measurement End : 28.10.10 at 10:00 | Analysis: 15.11.2010

Results

Total infiltration rate: 168,3 m³/h (60,0) [36%]
 Total air change rate: 0,77 h⁻¹ (0,28)
 Outdoor air supply: 0,31 l/s pr. m² (Gross floor area: 150 m²)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	168,3	60,0	[36]	168,3	60,0	[36]	168,3	60,0	[36]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /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	Hele huset (PMCP)	56,8	[33]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Hele huset (PMCP)	218,0	PMCP	4	12012	20,0	9553
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,550 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,34
 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,36
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,00
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]				Excluded samplers
	Zone 1 Sampler PMCP	Zone 2 Sampler	Zone 3 Sampler		
1	4256 930,4				
2	4132 936,1				
3	4107 478,1				
4	4088 502,7				
5	4153 526,3				
6	4261 491,2				
7	4111 526,5				
8	4211 555,0				
9	4205 430,9				
10	4343 425,3				
11	4145 439,4				

PFT-measurement

v. 48

Side 21 af 21

Building : EVM, Rosendalen 331 Date: 06.01.2011
 Project : 721-126 Enclosure: 1z-PMCH
 Measurement Start: 02.10.10 at 17:30 | Duration: 616,5 hours
 Measurement End : 28.10.10 at 10:00 | Analysis: 15.11.2010

Results

Total infiltration rate: 89,9 m³/h (32,1) [36%]
 Total air change rate: 0,41 h⁻¹ (0,15)
 Outdoor air supply: 0,17 l/s pr. m² (Gross floor area: 150 m²)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	89,9	32,1	[36]	89,9	32,1	[36]	89,9	32,1	[36]
2									
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /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	Hele huset (PMCH)	29,3	[33]
2	Not defined		
3	Not defined		

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Hele huset (PMCH)	218,0	PMCH	2	3310	20,0	2632
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,322 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,34
 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,36
 Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,00
 Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [pl]			
	Zone 1 Sampler PMCH	Zone 2 Sampler	Zone 3 Sampler	Excluded samplers Sampler PMCP PMCH PDCH
1	4256 384,1			
2	4132 385,1			
3	4107 318,5			
4	4088 416,7			
5	4153 454,8			
6	4261 332,4			
7	4111 370,3			
8	4211 399,7			
9	4205 716,0			
10	4343 675,3			
11	4145 712,0			

Rapporten omhandler forsøg med en metode, der skal gøre det muligt at udsætte en dyr og gennemgribende renovering af krybekældre, der er angrebet af skimmelsvamp, på bekostning af en større driftsudgift. Metoden består i at etablere et svagt undertryk i krybekælderen samtidig med, at denne affugtes.

Metoden er blevet afprøvet på tre huse med krybekælderdek bestående af trægulve, isolering og vindpap og et klaplag i bunden af krybekælderen. Metoden synes at være anvendelig til huse af denne type, hvis:

- affugteren kan holde en fugtighed i krybekælderen under 75 % RF, dette vil afhænge af det konkrete hus og affugteren
- anlægs- og driftsudgifter er acceptable i forhold til besparelsen ved at udsætte renoveringen af krybekælderen.

1. udgave, 2012

ISBN 978-87-92739-07-0