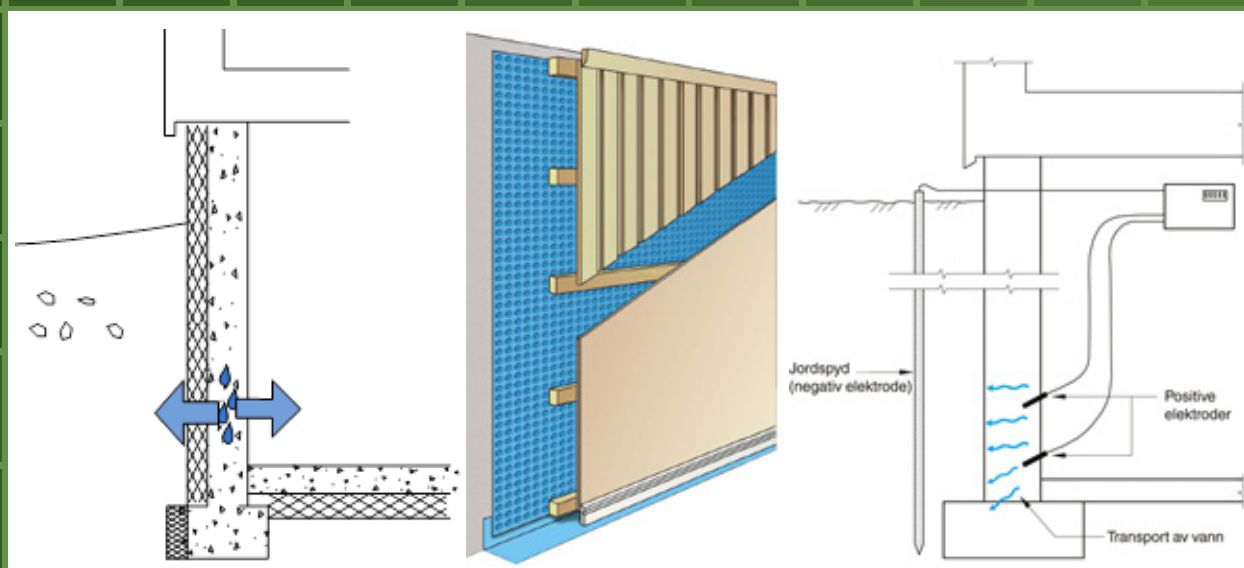


Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger

Delrapport 2 – Felt-, laboratorie- og beregningsmessige undersøkelser av tre metoder

Prosjektrapport 84

2011



SINTEF Byggforsk

Stig Geving, Peter Blom, Marius Kvalvik og Espen Martinsen

Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger

Delrapport 2 – Felt-, laboratorie- og beregningsmessige undersøkelser av tre metode

Prosjektrapport 84 – 2011

Prosjektrapport nr. 84

Stig Geving, Peter Blom, Marius Kvalvik og Espen Martinsen

Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger

Delrapport 2 – Felt-, laboratorie- og beregningsmessige undersøkelser av tre metoder

Emneord:

Kjelleryttervegger, fuktskade, uttørking

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1239-3 (pdf)

Prosjektnr. 3D0648

Illustrasjon omslag:

Byggforskerien

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2011

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Forord

En stor andel av norske bygninger har kjellere som er for fuktige til å brukes som sunne oppholdsrom eller som varme og tørre lagerarealer. Rehabilitering av kjelleryttervegger initieres av forskjellige årsaker, men som oftest har det sammenheng med at veggene er blitt for fuktige på grunn av tette eller feil plasserte drensrør, vann som suges opp kapillært opp gjennom grunnmursålen eller utett vannavvisende og kapillærbrytende sjikt på utsiden av veggen. Dette gir skader som i verste fall kan få helsemessige konsekvenser på grunn av mikrobiologisk vekst.

Denne typen skader løses ofte med oppgraving av grunnen utenfor veggen og legging av ny drenering med ny fukt- og varmeisolering utvendig. På markedet finnes det også metoder som ikke medfører utvendig oppgraving, for eksempel elektroosmosemetoden. Hvilke metoder man velger kan få stor betydning for om fukten i eksisterende vegg får anledning til å tørke ut eller ikke, og dermed om rehabiliteringen vil være vellykket eller ikke.

I dette prosjektet er det gjort undersøkelser av tre alternative utbedringsmetoder. En av metodene krever utvendig oppgraving, det vil si bruk av utvendig dampåpen isolering (Isodren) som tillater utadrettet uttørring. De to andre metodene krever ikke utvendig oppgraving og gjelder henholdsvis en variant av elektroosmosemetoden (EPT-systemet) og bruk av innvendig grunnmursplate og utforing (Isola).

Dette arbeidet er gjennomført innenfor forsknings- og utviklingsprogrammet *External heat and moisture insulation of cellar walls 2009-2011*. Prosjektet har vært et samarbeidsprosjekt mellom Isola as, Isodren Norge as, EPT as og SINTEF Byggforsk. Forfatterne vil rette en stor takk til Norges forskningsråd for finansieringen av dette arbeidet. Vi retter også en takk til Anticimex as som ga oss tilgang til sin database over boligsalgsrapporter.

Trondheim, mars 2012

Richard Waterhouse
Prosjektansvarlig
Isola AS

Stig Geving
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

Sammendrag

I dag råder det ulike oppfatninger om hvilke metoder og produkter som er best i forbindelse med rehabilitering og utbedring av fuktskadede eksisterende kjelleryttervegger. I denne rapporten er det gjort undersøkelser av tre aktuelle utbedringsmetoder. Det er gjort både fuktberginger med beregningsprogrammet WUFI, feltnålinger på kjellervegger som nettopp er rehabilitert og laboratoriemålinger.

De utbedringsmetodene som er vurdert spesielt er følgende:

- Utvendig dampåpen isolering
- Innvendig grunnmursplate og utforing
- Elektrosmose

De enkelte metodene har alle sine fordeler og ulemper eller spesielle anvendelsesområder. Det er viktig at man i størst mulig grad avklarer årsak til problemet før man velger utbedringsmetode. Enkelte utbedringsmetoder innebærer større grad av usikkerhet enn andre. Generelt anses utvendig oppgraving og etablering av ny drenering, nytt tettesjikt og utvendig isolering for å være en fuktsikker og energimessig gunstig løsning. Dersom utvendig oppgraving er problematisk, eller hovedproblemet er kapillær oppsuging via grunnmurssålen, kan alternative metoder som elektrosmosemetoden eller innvendig grunnmursplate med utforing være aktuelt.

Vedrørende bruk av utvendig isolering med såkalt dampåpen isolasjon, viste beregningsresultater klart at det å benytte en dampåpen utvendig isolasjon gir en vesentlig høyere uttørkingshastighet sammenlignet med standard damp tett EPS- isolasjon som er vanligst i bruk i dag. Både beregninger og målinger viste imidlertid klart at metoden er avhengig av flere faktorer for å fungere godt. Hvis kjelleren er uoppvarmet er den ekstra uttørkingshastigheten liten, eller det er ingen effekt i det hele tatt. En innvendig utforing som monteres før veggen er tørket ut kan bremse uttørkingen vesentlig, spesielt dersom utforingen er isolert.

For metoden med innvendig grunnmursplate var det risikoen for kondensering og muggvekst på innsiden av grunnmursplaten som ble undersøkt. Beregninger og laboratoriemålinger viste at akseptabel isolasjonstykkelse vanligvis vil ligge et sted mellom 0–50 mm, men i enkelte tilfeller kan det være mulig å bruke mellom 50–100 mm isolasjon. For mange tilfeller ser det ut til at ca. 50 mm isolasjon kan være akseptabelt, men det er nok endel tilfeller hvor man bør bruke mindre eller ingen isolasjon. Dette gjelder spesielt dersom eksisterende vegg er av uisolert betong, som har meget lav varmemotstand. Det kan være aktuelt å øke isolasjonstykkelsen utover 50 mm når eksisterende grunnmur har høy varmemotstand, når luftfuktigheten i rommet er lav og når uteklimaet ikke er spesielt kaldt.

Vedrørende bruk av elektrosmose som uttørking metode ble ett av to feltforsøk mislykket. I feltforsøket som ble gjennomført fant man ingen tegn til uttørking. Årsaken til dette har det ikke lyktes å finne. Teoretisk vet vi at metoden på generell basis vil kunne fungere i forskjellig grad. Det henvises derfor til (Geving og Blom, 2012) for generell informasjon om metoden.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
1. Innledning	7
1.1 Formål.....	7
1.2 Bakgrunn.....	7
1.2.1 Vanlige skader	7
1.2.2 Tilstanden for norske kjellere	8
2. Utvendig dampåpen isolering	12
2.1 Generelt.....	12
2.2 Fuktregninger	13
2.2.1 Generelt.....	13
2.2.2 Konstruksjon og materialer.....	13
2.2.3 Inne- og uteklime	15
2.2.4 Startfukt	15
2.2.5 Parametervariasjoner.....	15
2.2.6 Resultater	16
2.2.7 Vurderinger	18
2.2.8 Konklusjoner.....	19
2.3 Feltnåling 1 – Sparemur fra 1920	19
2.3.1 Generelt.....	19
2.3.3 Måleoppsett.....	20
2.3.4 Resultater og vurderinger.....	22
2.3.5 Konklusjon.....	23
2.4 Feltnåling 2 – Hulmur i tegl fra 1930	23
2.4.1 Generelt.....	23
2.4.2 Måleoppsett.....	24
2.4.3 Resultater og vurderinger.....	25
2.4.4 Konklusjon.....	26
3. Innvendig grunnmursplate og utføring	27
3.1 Generelt.....	27
3.2 Fuktregninger	28
3.2.1 Generelt.....	28
3.2.2 Konstruksjon og materialer.....	28
3.2.3 Basis inputparametre.....	29
3.2.4 Muggvekstkriterier.....	30
3.2.5 Parametervariasjoner.....	30
3.2.6 Resultater og vurderinger.....	32
3.2.7 Konklusjoner.....	37
3.3 Laboratiemålinger.....	38
3.3.1 Generelt.....	38
3.3.2 Oppbygging av vegg	38
3.3.3 Resultater	40
3.3.4 Vurdering	42
3.3.5 Konklusjon.....	43
3.4 Oppsummering.....	44
4. Elektrosmose	45
4.1 Generelt.....	45
4.2 Feltnåling 3 – Sparemur fra 1920	45
4.2.1 Generelt.....	45

4.2.2 Måleoppsett.....	47
4.2.3 Resultater og vurderinger.....	48
4.2.4 Konklusjon.....	49
5. Referanser.....	50

1. Innledning

1.1 Formål

Hensikten med rapporten er å vise egnethet og aktuelle begrensinger til tre forskjellige metoder for å utbedre fuktskadede kjelleryttervegger. Metodene som er undersøkt nærmere er hovedsakelig knyttet til prosjektdeltakernes kommersielle rehabiliteringsmetoder, hhv.:

- 1) Utvendig dampåpen isolering (Isodren as)
- 2) Innvendig grunnmursplate og utforing (Isola as)
- 3) Elektro-osmose (EPT as)

For å undersøke disse metodene er det dels gjennomført feltundersøkelser (metode 1 og 3) og laboratorieundersøkelse (metode 2). I tillegg er det gjennomført fukttekniske beregninger der det har vært mulig (metode 1 og 2).

I en parallell rapport i dette prosjektet er det dessuten gjennomført en generell litteraturundersøkelse av disse tre metodene, sammen med andre både tradisjonelle og utradisjonelle metoder for rehabilitering av kjelleryttervegger (Geving og Blom, 2012). For en sammenfattende vurdering av disse tre metodene (og andre metoders) egnethet og begrensninger henvises det derfor til (Geving og Blom, 2011), som også har tatt opp i seg resultatene dokumentert i hærstående rapport.

1.2 Bakgrunn

1.2.1 Vanlige skader

Kjelleryttervegger er generelt skadeutsatte konstruksjoner, utsatt for både fuktinntrengning utenfra og kondensproblematikk. Symptomene vises gjerne i form av saltutslag, puss- og malingsavskalling på murte og støpte vegger. I tillegg opptrer gjerne mugg og råtesopp på utforinger av treverk og ting som er lagret mot veggen. Årsakene kan være mange, noen av dem er illustrert nærmere i figur 1.2.1. Noen av de mest vanlige skadene og årsakene er nærmere omtalt i (Geving og Blom, 2012).

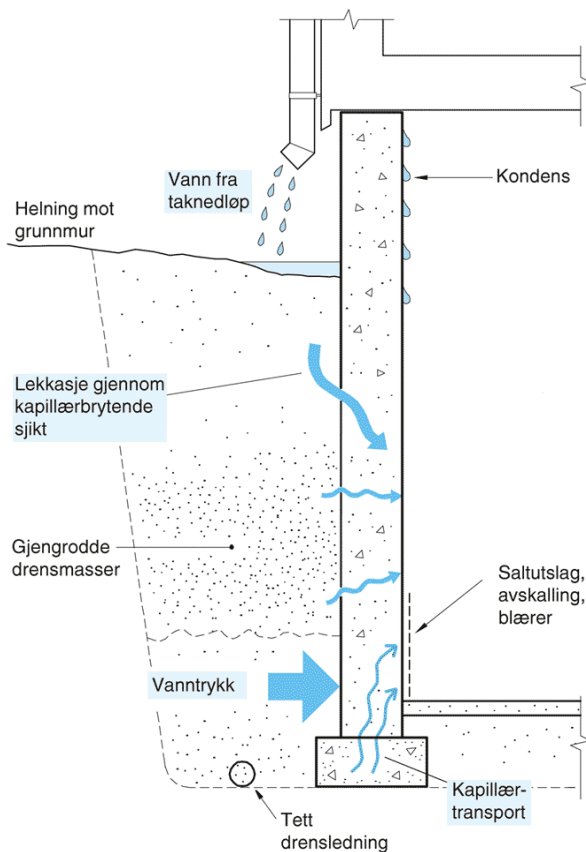


Fig. 1.2.1
Årsaker til fuktinntrengning i kjellervegger. Kilde: Byggforskserien

1.2.2 Tilstanden for norske kjellere

Det eksisterer ingen omfattende vitenskapelige undersøkelser av tilstanden til kjellere og kjelleryttervegger i norske hus. Anticimex as har imidlertid samlet et stort antall tilstandsrapporter for norske bygninger i en database. Anticimex as er den største enkeltaktøren innen bygningsinspeksjoner i Norge, og alle tilstandsrapporter som inspektørene gjennomfører blir lagt inn i databasen. Anticimex utga i 2006 en rapport over tilstandsgraden til forskjellige bygningsdeler i norske boliger (Nilsen, Norstein og Sellevoll, 2006) basert på 8895 bygningsinspeksjoner. Rapporten er den eneste omfattende undersøkelsen av sitt slag i Norge, og konkluderte blant annet med at de kjellerrelaterte bygningsdelene var blant de mest skadede konstruksjonsdelene som trengte umiddelbar utbedring. Blant annet ble det konkludert med at hver fjerde bolig hadde behov for umiddelbar utbedring av dreneringen.

I Anticimex's rapport fra 2006 gikk man ikke i dybden i det tilgjengelige datagrunnlaget for kjellerkonstruksjonene, siden rapporten var ment å gi en oversikt for alle bygningselementene i boligene. I dette prosjektet har vi derfor fått tilgang til Anticimex sin database og gjennomført en mer detaljert analyse for nettopp de kjellerrelaterte bygningsdelene. Denne analysen er dokumentert nærmere i (Martinsen, 2009), og utdrag av analysen er gitt i det følgende.

Databasgrunnlaget var 4688 boligsalgsrapporter utført i perioden januar 2008 til oktober 2009. De undersøkte boligene representerer hele spennet i alder man vil finne på norske boliger, men relativt få fra før 1900. Det er verdt å merke seg at det er mange usikkerheter forbundet med analyse av et slikt datamateriale. Inspeksjonene gjøres av forskjellige inspektører, med forskjellig kompetanse og erfaringsgrunnlag. Det vil også være hull i datagrunnlaget, tolkningsmuligheter og til dels uklare definisjoner i en slik database. Disse usikkerhetene er nærmere omtalt i (Martinsen, 2009).

Et sentralt begrep i datagrunnlaget er tilstandsgrad (TG). Tilstandsgraden angir en bygningsdels tilstand i en karakterskala fra 0 til 3, der 0 er beste tilstand og 3 er dårligste tilstand. En bygningsdel

kan ha lokale skader med høyere tilstandsgrad enn resten av konstruksjonen. Konvensjonen er å notere høyeste tilstandsgrad der flere tilstandsgrader opptrer samtidig. Tilstandsgrad 0 og 1 er slått sammen til tilstandsgrad 1. De ulike tilstandsgradene kvalifiseres etter følgende kriterier:

- TG 0: Hvit farge. Element uten slitasje- eller skadesymptomer. Vanligvis helt nye elementer
- TG 1: Grønn farge. Element i god stand uten behov for tiltak. Beskriver et element tatt i bruk og med normal slitasje
- TG 2: Gul farge. Ingen større skade, men utbedringer må påregnes innen kort tid
- TG 3: Rød farge. Straktiltak påkrevd. Brukes ved full funksjonssvikt og store svekkelser

Et interessant aspekt i forbindelse med status for kjelleryttervegger er hvilke byggematerialer som er benyttet i vegg. Figur 1.2.2 viser prosentvis bruk av forskjellige bygningsmaterialer benyttet som ”grunnmur” i de forskjellige tidsepokene. Det må imidlertid bemerkes at grunnmur dels kan referere til en kjelleryttervegg, men også til en ringmursløsning uten kjeller (golv på grunn eller kryperom). Det er heller ikke oppgitt hvorvidt grunnmuren har en innvendig utforing eller ikke.

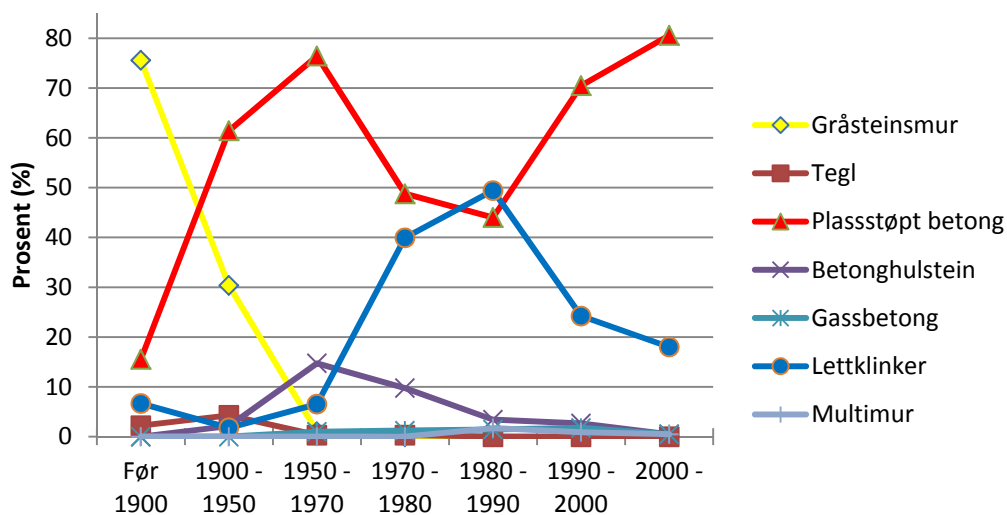


Fig. 1.2.2
Prosentvis fordeling av byggematerialer i grunnmur for forskjellige tidsepoker.

I forbindelse med kjellerveggenes fukttilstand inneholder databasen to interessante oppføringer, hhv. ”drenering” og ”kjellervegg”. Tilstandsgraden til ”kjellervegg” som vist i figur 1.2.3 er hovedsakelig basert på tilstanden observert fra innsiden av vegg, og da igjen hovedsakelig knyttet til fukttilstanden (f.eks. synlig fukt, målt fukt, saltutslag, avskallinger). Det er imidlertid verdt å merke seg at høy tilstandsgrad (2-3) kan referere både til fukt som kommer utenfra og eventuelle kondensproblemer på overflater. Det er også uklart i hvilken grad f.eks. innvendig isolerte utforinger har gitt høy tilstandsgrad ut fra muligheten/risikoen for fuktskade – eller ikke.

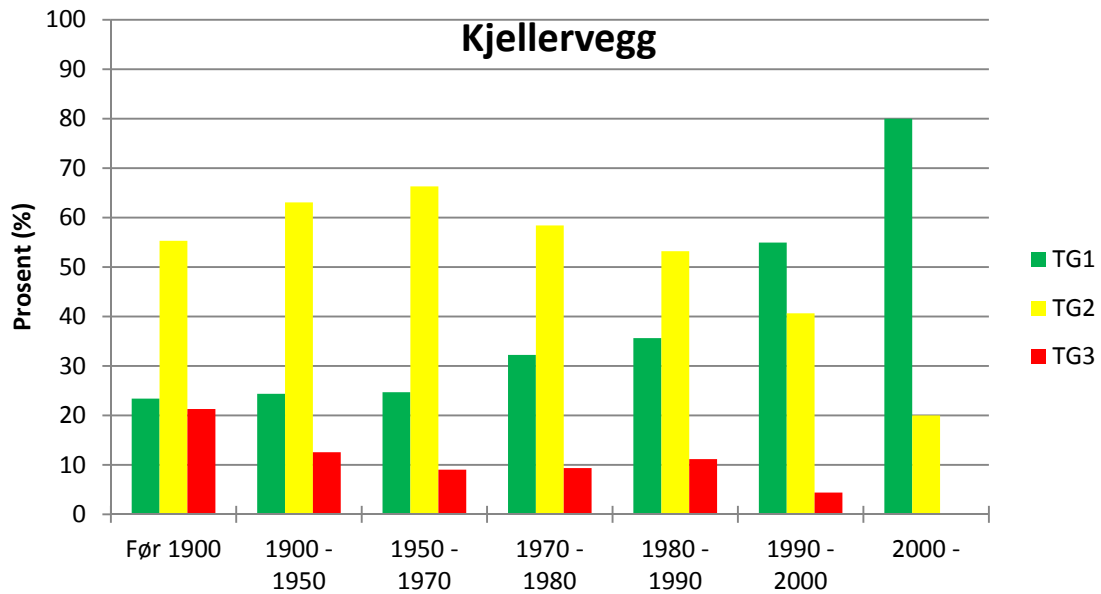


Fig. 1.2.3
Tilstandsgrader på kjellervegg fordelt på byggeår.

Tilstandsgraden til ”drenering” er vist i figur 1.2.4. Med drenering omfattes blant annet utvendig fuktsikring, drenerende masser og dreneringsrør. Bedømmelsen av tilstandsgrad vil være basert på observerbare faktorer, siden inspeksjonen nødvendigvis ikke omfatter oppgraving og direkte inspeksjon av selve dreneringen. Observerbare faktorer kan f.eks. være eventuelle fuktproblemer observert på innsiden av kjellerveggen og kjellergolvet og utvendige forhold som terrengfall mot vegg eller manglende eller dårlig kapillærbrytende sjikt på utsiden av veggen. I tillegg er det uklart i hvilken grad inspektørene automatisk gir høye tilstandsgrader ut fra en betraktning av forventet levetid for utvendig drenering, f.eks. dersom boligen er eldre enn 20-40 år. Det er verdt å merke seg at ”drenering” har lavere tilstandsgrad enn ”kjellervegg” for bygninger yngre enn 40 år, mens det motsatte er tilfelle for eldre bygninger.

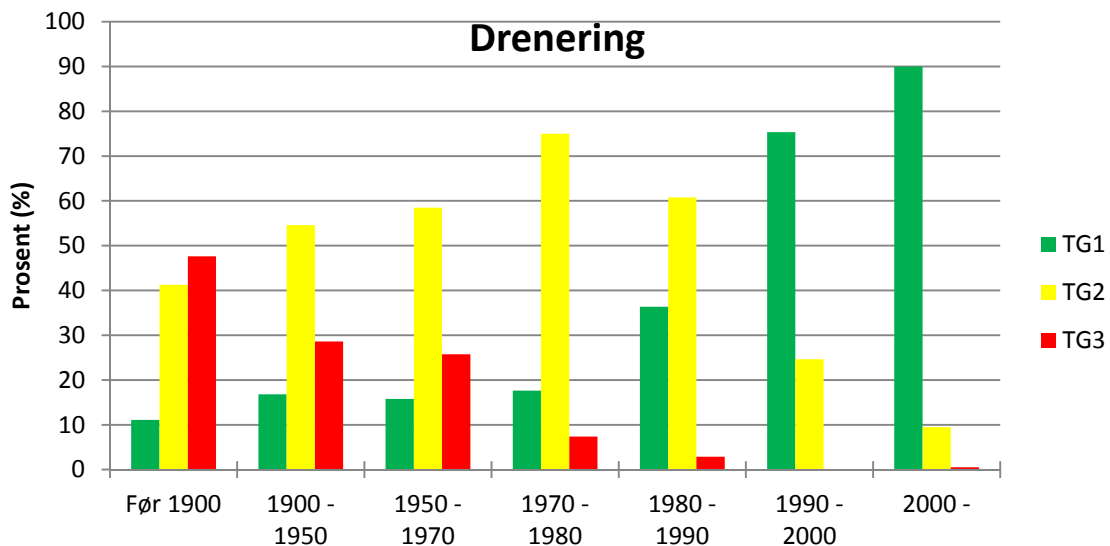


Fig. 1.2.4
Tilstandsgrader på drenering fordelt på byggeår.

I tillegg til skader på kjellervegger opptrer selvfølgelig ofte skader på kjellergolvene samtidig. Det er derfor interessant å se tilstandsgrader på kjellergolvene som vist i figur 1.2.5 i sammenheng med tilstandsgradene til kjellerveggene. Vi kan se ganske klart at kjellergolv har vesentlig lavere

tilstandsgrader enn kjellerveggene. Dette har trolig å gjøre med blant annet at veggene er mest utsatt både for infiltrerende overflatevann utenfra og eventuelt kapillært oppsugd vann fra fundamentet. I tillegg vil veggene også trolig være mest utsatt for kondensproblematikk.

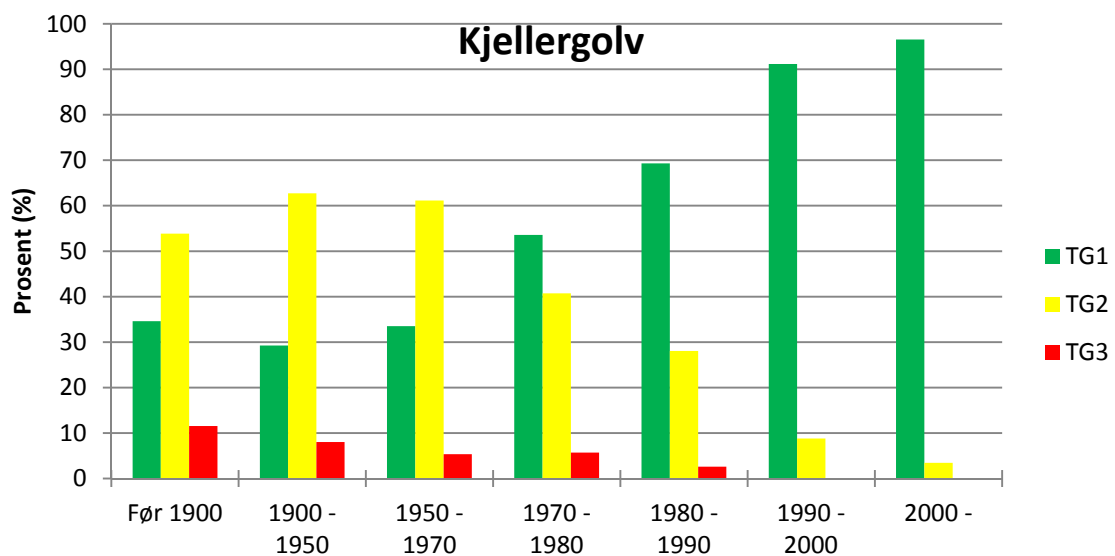


Fig. 1.2.5
Tilstandsgrader på kjellergolv fordelt på byggeår.

2. Utvendig dampåpen isolering

2.1 Generelt

Den mest vanlige metoden for å utbedre fuktskader i kjelleryttervegger som skyldes fukt utenfra er å grave opp utvendig for kjellerveggen, legge ny drensledning og drenerende masser inntil veggen og montere/påføre nytt tettesjikt på veggen. I den sammenheng har man også mulighet til å isolere veggen utvendig (i stedet for innvendig) dersom kjelleren skal oppvarmes, noe som anbefales av SINTEF Byggforsk både av fukttekniske og energimessige årsaker. Dersom man benytter standard EPS som isolering (som er relativt damptett), eller legger en grunnmursplate mellom isolasjonen og veggen, synes det klart at mesteparten eller all fukt som måtte finnes i eksisterende vegg kun kan tørke ut mot innelufta. Dersom veggen er kraftig oppfuktet kan dette ta svært lang tid og begrense bruken og innredningen av kjelleren i flere år.

Isteden for å benytte standard EPS som isolering kan man benytte en mer dampåpen varmeisolerings. Dette kan f.eks. være spesialprodukter som Isodren-platen som består av sammenlimte polystyrenkuler med et kontinuerlig luftrom mellom kulene (SINTEF TG 2379, 2009), se figur 2.1.1

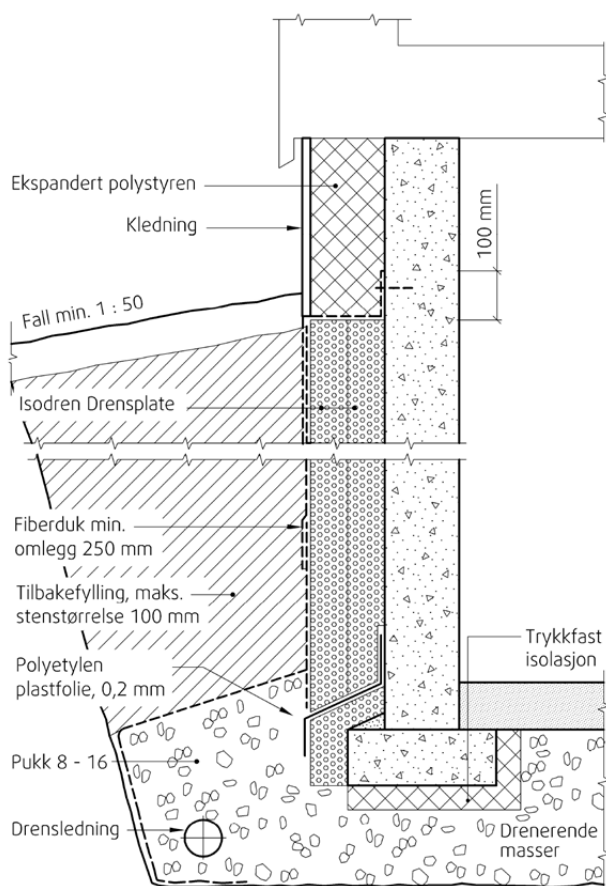


Fig. 2.1.1
Eksempel på bruk av Isodren Drensplate som utvendig isolering av kjelleryttervegg (SINTEF TG 2379, 2009).

Når slik dampåpen isolasjon plasseres på utsiden av veggen, uten grunnmursplate mellom isoleringen og grunnmuren, vil man kunne få en utdrettet uttørking av veggen på vinterstid, dvs. veggen vil kunne tørke raskere og potensielt til et lavere fuktnivå. Prinsippene for uttørking ved vanlig byggemåte med damptett isolasjon og/eller grunnmursplate og med kun dampåpen isolasjon

er vist i figur 2.1.2. Merk at det kan være aktuelt med membran/grunnmursplate på utsiden av den dampåpne isolasjonen for å hindre oppfukning av isolasjonen, hvis ikke isolasjonen samtidig har drenerende egenskaper (drensplate) slik Isodren-platen har.

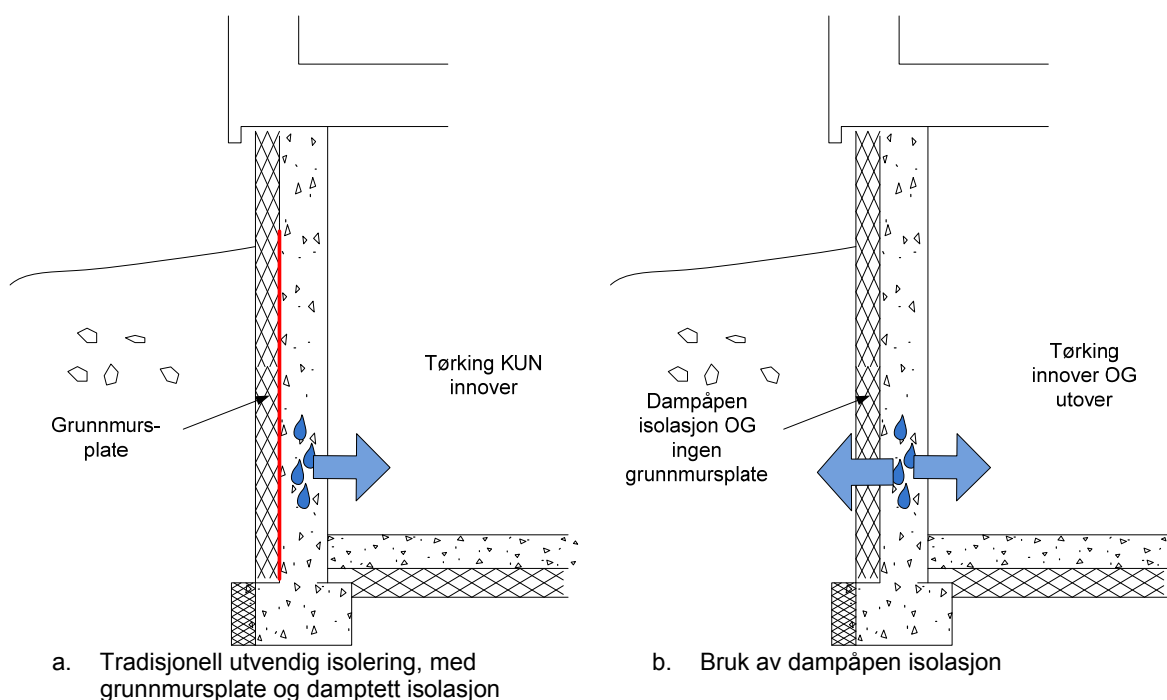


Fig. 2.1.2
Prinsipielle muligheter for uttørring av fuktskadet kjellervegg etter rehabilitering.

Hensikten med beregningene og målingene vist i dette kapitlet var å analysere tørkehastigheten til en opprinnelig fuktskadet kjellervegg, som blir rehabilitert ved å montere dampåpen varmeisolasjon på utsiden.

2.2 Fuktberegninger

2.2.1 Generelt

Fuktberegninger ble gjennomført med programmet WUFI 2D-3 (WUFI, 2011). WUFI er et beregningsprogram for koblet ikke-stasjonær, to-dimensjonal varme- og fukttransport. Programmet inkluderer fukttransport ved hjelp av vanddampdiffusjon og kapillærtransport og tar hensyn til fuktkapasiteten til materialene. En detaljert beskrivelse av beregningsoppsettet og resultatene er gitt i (Martinsen, 2010).

2.2.2 Konstruksjon og materialer

En referansevegg ble definert for beregningene. Referanseveggen besto av 200 mm B15 betong (diffusjonsmotstandsfaktor $\mu = 92$) med 100 mm relativt dampåpen EPS ($\mu = 4,4$) på utsiden, se figur 2.2.1. EPS-isolasjonen har samme dampmotstand som Isodren-typen som er omtalt i kap. 2.1. Det kan nevnes at vanlig EPS-isolasjon er ca. 10 ganger så damp-tett (typisk $\mu = 30-50$). Kvaliteten til betongen er valgt for å simulere en eldre type kjellervegg, det vil si relativt kapillærsugende og mer dampåpen enn moderne betongkvaliteter. En del av gulvet ble inkludert i beregningene, selv om det hadde kun en liten effekt på fuktforholdene i vegg. Det kan bemerkes at den utvendige EPS-isolasjonen ikke er montert over bakken. Normalt er det anbefalt også å isolere over bakken, både av fukt og energiårsaker. Av praktiske årsaker blir imidlertid isolasjonen ofte ikke montert over bakken, så denne løsningen ble valgt som en forventet ugunstig løsning med hensyn på rask

uttørking av betongen. I slike tilfeller beskyttes toppen av isolasjonen fra regnvann med et beslag (ikke vist i figuren).

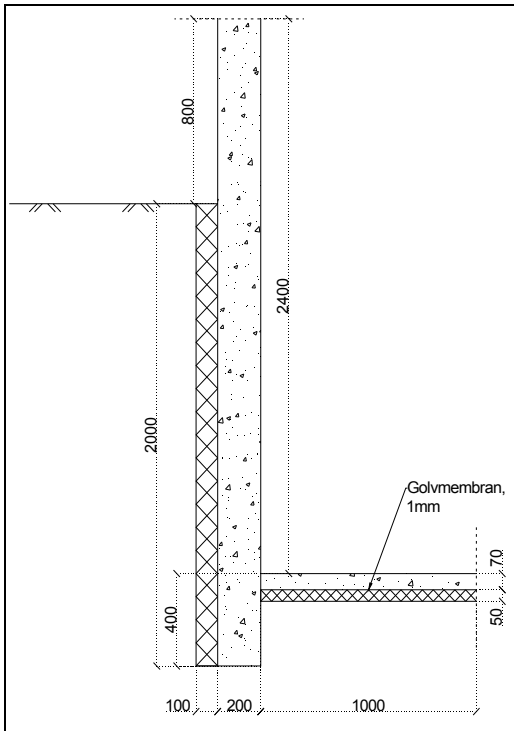


Fig. 2.2.1
Referansevegg; betong (B15) med 100 mm utvendig isolasjon under grunnen (dampåpen EPS, $\mu = 4,4$).

Forskjellige konstruksjonsvarianter og andre materialer ble benyttet i en parameterstudie. Disse ekstra beregningstilfellene er beskrevet nærmere i kapittel 2.2.5. Materialdata er hovedsakelig modellert ved bruk av databasen som følger med WUFI. Relativ fuktighet (RF) i betongen ble beregnet i to forskjellige høyder og fire forskjellige dybder (monitorposisjoner), se figur 2.2.2. Hver monitorposisjon representerer gjennomsnittet av 50 mm betong, det vil si RF ved monitorposisjon $d = 25$ mm er gjennomsnittet fra innvendig overflate til en dybde av 50 mm.

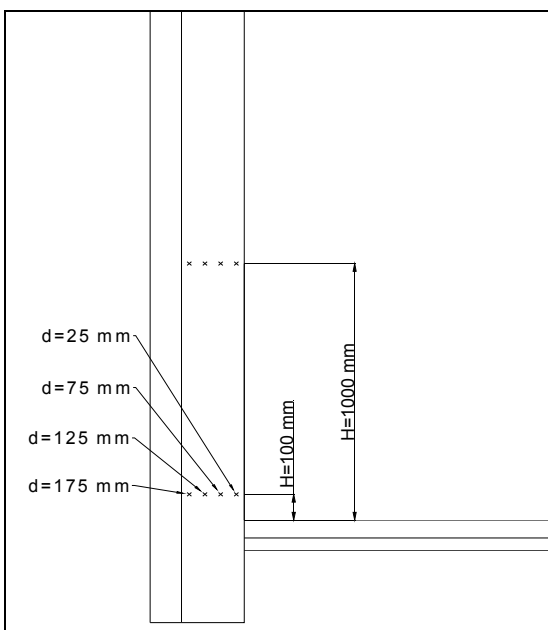


Fig. 2.2.2
Monitorposisjoner i betongen for beregningsresultatene, dybde (d) regnes fra innvendig betongoverflate.

2.2.3 Inne- og uteklima

Innetemperaturen er som standard satt til 22 °C (oppvarmet kjeller). I et ekstra beregningstilfelle er det forutsatt at kjelleren var uoppvarmet, og temperaturen er da modellert som en sinuskurve med maksimums- og minimumstemperatur på henholdsvis 18 °C (juli) og 10 °C (januar). I et annet beregningstilfelle er innetemperaturen satt til 26 °C (ekstra oppvarmet). Fukttilskuddet i lufta er brukt som mål på fuktbelastningen inne. Fukttilskuddet er definert som differansen i vanddampkonsentrasjon mellom inne- og utelufta i g/m^3 . Fukttilskuddet avhenger av utetemperaturen, og den valgte verdien er basert på målinger dokumentert i (Geving, Holme og Jenssen, 2008). Som en standardverdi for fukttilskudd er det brukt en verdi på 2,2 g/m^3 for vinterforhold (utetemperatur under 5 °C) og 0,5 g/m^3 for sommerforhold (utetemperatur over 15 °C), med lineær interpolasjon for temperaturer mellom 5-15 °C. Dette representerer midlere fukttilskudd for vanlige oppholdsrom. For det ekstra beregningstilfellet med uoppvarmet kjeller er det antatt noe lavere fukttilskudd, henholdsvis 1,6 g/m^3 for vinterforhold og 0,5 g/m^3 for sommerforhold. Dette representerer midlere fukttilskudd for en uoppvarmet kjeller.

Som utvendige klimadata for den delen av konstruksjonen som er over bakken er det benyttet et såkalt Moisture Design Reference Year (MDRY) fra Oslo. MDRY er klimadata på timebasis som er valgt ut for å representere en fuktbelastning som er mer kritisk enn gjennomsnittsklimaet. For den delen av konstruksjonen som er under bakken er grensebetingelser definert for ytre overflate av den utvendige isolasjonen. Grensebetingelsene er her gitt som månedlige middelverdier for RF og temperatur. RF i grunnen er antatt å være svært høy, dvs. nært 100 %. Vi har likevel ikke brukt 100 % som grensebetingelse, siden dette vil gi vertikal kapillærtransport opp i veggen som om fundamentet var i direkte kontakt med vann. En RF på 98 % ble etter utprøving valgt som en mer hensiktsmessig verdi, som likevel ga en viss vertikal kapillærtransport oppover i veggen i tillegg til vanddamptransport. Gjennom isolasjonen skjer det ingen kapillærtransport, og forskjellen mellom en RF på 98 og 100 % har minimal effekt på vanddamptransporten. For et ekstra beregningstilfelle ble RF satt til 100 % for å simulere høyt nivå av grunnvann i direkte kontakt med fundamentet.

Temperaturen i grunnen ble definert som separate klimafilere med månedsverdier for forskjellige dybdeintervaller under bakkenivå. Dvs. totalt 6 klimafilere ble definert for dybdene; 1) 0 – 0,5 m, 2) 0,5 – 1,0 m, 3) 1,0 – 1,5 m, 4) 1,5 – 2 m, 5) under vegg og 6) under golv. Temperaturene ble beregnet ved hjelp av det to-dimensjonale varmestrømsprogrammet HEAT2, med uteklima fra Oslo og de aktuelle innetemperaturene som grensebetingelser og for de aktuelle isolasjonstykkelsene. Grunnen ble antatt å være våt leire ($\lambda = 2,0 \text{ W/mK}$), og omliggende jordmasser ble inkludert i beregningene i henhold til ISO 13370:2007. Grunntemperaturen på utsiden av isolasjonen i en høyde 100 mm over betonggolvet var omtrentlig en sinuskurve med maksimum og minimumsverdier på hhv. 15,5 °C (august) og 5,5 °C (februar). For en høyde 1 m over betonggolvet var tilsvarende maksimum og minimumsverdier på hhv. 16,4 °C (juli) og 1,8 °C (januar).

2.2.4 Startfukt

Startfukt for kjellerveggen er opplagt viktig for disse beregningene. Vi utførte derfor forhånds-beregninger med WUFI for den originale fuktskadede konstruksjonen uten den utvendige isolasjonen (vegg før rehabilitering). RFi grunnen ble satt til 97 % for den øvre delen av veggen under bakken og 100 % for den nederste meteren av veggen. Innetemperatur og -RF var 10 °C and 80 % RF. Ved å bruke resultatene fra disse forhånds-beregningene definerte vi at start-RF varierte fra 100 % i den nederste 0,5 m av veggen til 95 % i toppen av veggen, mens den ytre delen av veggen var noe fuktigere enn den indre delen.

2.2.5 Parametervariasjoner

Formålet med beregningene var å finne eventuelle fordeler med å bruke en dampåpen utvendig isolasjon i relasjon til tørkehastighet av en opprinnelig oppfuktet vegg, samt å finne hvilke faktorer som påvirker tørkehastigheten. De valgte parametervariasjonene er forklart i tabell 2.2.1.

Tab. 2.2.1

Parametervariasjoner

Nr.	Varierte parametre
1	<i>Referansetilfelle, se figur 2.2.1:</i> 100 mm dampåpen EPS-isolasjon av type Isodren ($\mu = 4,4$), B15 concrete ($\mu = 92$), $T_i = 22$ °C)
2	Vanlig damp tett utvendig EPS isolasjon ($\mu = 50$)
3	Dampåpen utvendig mineralull ($\mu = 2,0$)
4	200 mm utvendig isolasjon ($\mu = 4,4$)
5	Uoppvarmet kjeller ($T_i = 10 - 18$ °C, lavere fukttilskudd)
6	Ekstra oppvarmet kjeller ($T_i = 26$ °C)
7	Isolert utforing på innsiden (50 mm mineralull + 13 mm sponplate)
8	Uisolert utforing på innsiden (50 mm luftsikt/lekt + 13 mm sponplate)
9	Annet veggmateriale (betong B45, $\mu = 248$)
10	Annet veggmateriale (lettklinker, $\mu = 7$)
11	Annet veggmateriale (tegl, $\mu = 15$)
12	Utvendig isolasjon også over bakken
13	Grunnmursplate plassert mellom betongen og den utvendige isolasjonen
14	Antatt fundamentbunn i direkte kontakt med vann ($RF_{grunn} = 100$ %)

2.2.6 Resultater

Beregningsresultatene er oppsummert i tabell 2.2.2, hvor RF etter ett og to år er gitt for forskjellige høyder og dybder. Figur 2.2.3 viser forløpet til RF for referanseveggen (nr. 1) for fire forskjellige dybder (monitorposisjoner) for en høyde på hhv 100 og 1000 mm over betonggolvet. For begge høyder kan det observeres at monitorposisjonen nærmest innelufta tørker raskest, mens monitorposisjonen nærmest utsiden tørker raskere enn midtdelen av betongen. Generelt ser vi at betongen i høyde 1000 mm tørker raskere enn i høyde 100 mm. Vi kan også observere typiske sesongvariasjoner, med tørking i oppvarmings sesongen og oppfukning om sommeren.

Tab. 2.2.2

Beregningsresultater (RF på 1. januar etter 1 og 2 år) for de forskjellige parametervariasjonene, og for varierende dybde og høyde i henhold til figur 2.2.2.

Nr.	RF (%) etter 1 år				RF (%) etter 2 år			
	H = 100 mm		H = 1000 mm		H = 100 mm		H = 1000 mm	
	d=25	d=175	d=25	d=175	d=25	d=175	d=25	d=175
1	75	88	54	59	64	85	46	48
2	88	96	66	93	86	95	56	84
3	71	80	57	57	63	69	50	50
4	85	93	60	73	74	89	50	52
5	90	95	85	89	88	94	70	74
6	69	84	53	54	61	71	39	43
7	96	96	92	91	95	94	85	83
8	94	94	83	76	90	94	59	56
9	84	86	63	69	75	85	54	58
10	41	69	34	46	40	66	34	46
11	70	92	34	42	69	91	34	42
12	79	89	57	59	69	86	49	50
13	89	96	67	94	88	96	58	89
14	88	94	58	60	87	93	50	51

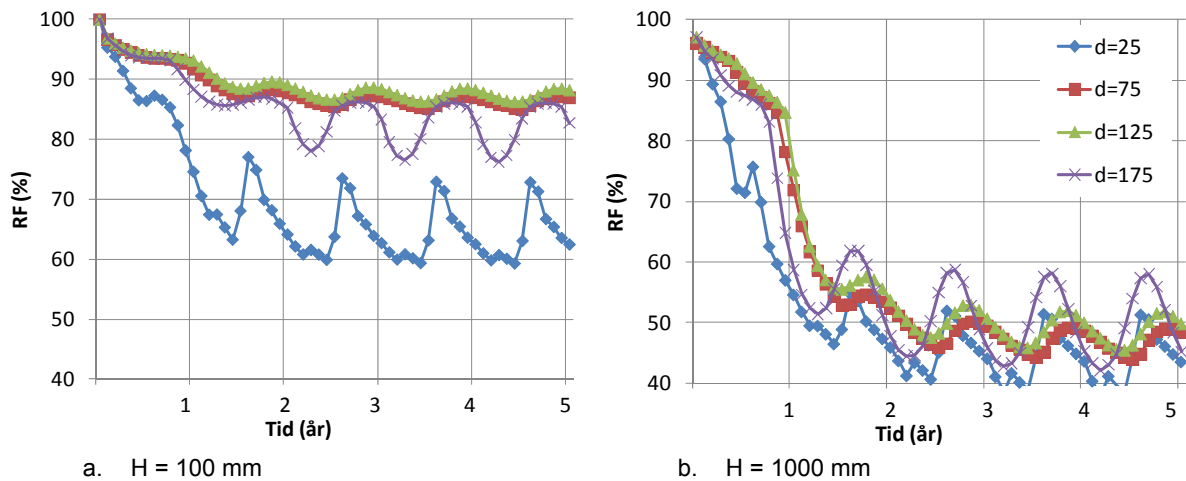


Fig. 2.2.3
Referansevegg (Nr. 1). RF for to høyder og fire forskjellige dybder.

Effekten av varierende vanndampmotstand til den utvendige isolasjonen er vist i figur 2.2.4, for en høyde 100 mm over betonggolvet og to forskjellige dybder. Vi observerer at tørkehastigheten er signifikant høyere for de dampåpne isolasjonsmaterialene sammenlignet med vanlig damp tett EPS ($\mu = 50$). Dette gjelder både for monitorposisjonen nær den innvendige overflaten og for monitorposisjonen nær den utvendige overflaten. Vi kan også se at for den utvendige monitorposisjonen ($d = 175$ mm) er det også stor forskjell mellom det dampåpne EPS-materialet ($\mu = 4,4$) og den dobbelt så dampåpne mineralulla ($\mu = 2$), mens denne forskjellen er svært liten for den innvendige monitorposisjonen ($d = 25$ mm).

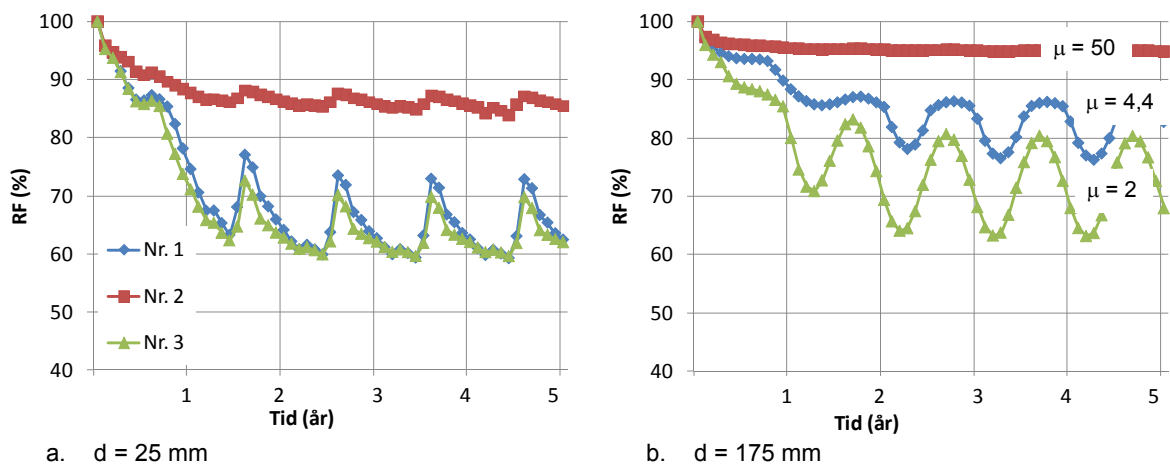


Fig 2.2.4
Effekt av varierende dampåpenhet til den utvendige isolasjonen. RF for $H = 100$ mm og to forskjellige dybder.

RF-fordelingen er vist for hele vegg i figur 2.2.5 for beregningstilfelle nr. 1 og 2 etter ett års beregning. Vi kan se at for tilfellet med dampåpen utvendig isolasjon tørker betongen raskere enn for tilfellet med damp tett isolasjon, men spesielt den utvendige delen tørker raskere. Vi kan også observere at deler av det kontinuerlige kapillære fuktoptaket fra fundamentet ser ut til å tørke mot utsiden.

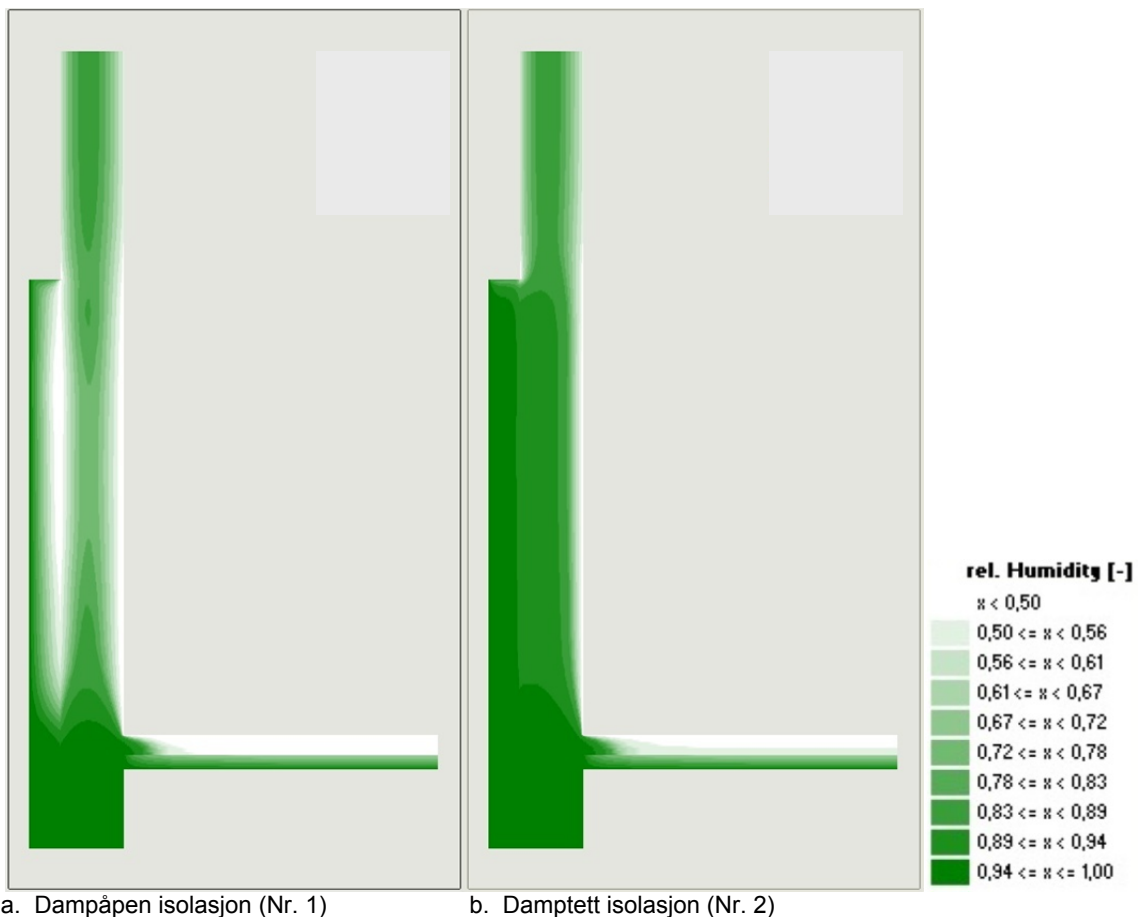


Fig. 2.2.5

RF-fordeling i veggen etter ett års beregning (dvs. 1. januar år 2). RF er gitt ubenevnt (0-1), der 1,0 tilsvarer 100 %.

2.2.7 Vurderinger

Resultatene viser klart at det å bruke en dampåpen utvendig isolasjon av type Isodren gir en høyere tørkehastighet sammenlignet med standard damptett EPS-isolasjon. I tillegg oppnås også et lavere fuktnivå når konstruksjonen når likevektsnivå flere år etter rehabiliteringen. Det er imidlertid flere faktorer som påvirker denne effekten. Innetemperaturen er en av de viktigste faktorene. Hvis kjelleren er uoppvarmet er den ekstra uttørkingshastigheten liten, eller det er ingen effekt i det hele tatt. Med en noe høyere innetemperatur enn i vanlige oppvarmede rom (f.eks. 26 °C) kan uttørkingshastigheten økes vesentlig, og er slikt sett et mulig tidsbegrenset tiltak i perioden etter rehabilitering. Denne effekten er opplagt siden metoden er basert på tørking gjennom isolasjonen på grunn av en damptrykkforskjell forårsaket av temperaturforskjellen over isolasjonen – jo større temperaturforskjell, jo hurtigere uttørking.

Man skulle kanskje da tro at det å benytte større isolasjonstykkelse ville gi hurtigere uttørking, på grunn av noe høyere temperaturforskjeller over isolasjonen, men resultatene viste derimot en tregere tørking når isolasjonstykkelsen ble økt fra 100 til 200 mm. Dette kan forklares med at når isolasjonstykkelsen dobles da dobles også dampmotstanden til isolasjonen. Dette viste seg altså ha større betydning enn den økte temperaturforskjellen i dette tilfellet (når $\mu = 4,4$). Hvis ekstra isolasjonstykkelse ikke er nødvendig av energihensyn kan det se ut til at 100 mm isolasjon er tilstrekkelig for å få den ønskede uttørkingseffekten.

En annen faktor som virker inn på tørkehastigheten er en eventuell utforing på innsiden. Hvis en 50 mm isolert utforing med et platemateriale som f.eks. sponplate er plassert på innsiden oppnår tilnærmet ingen ekstra uttørking. Dette er delvis forårsaket av at med ekstra isolasjon på innsiden blir temperaturredifferansen over den utvendige isolasjonen mindre. I tillegg blir uttørkingen mot

innelufta kraftig redusert. Vi ser også delvis denne effekten for uisolerte utføring, selv om isolerte utføring klart reduserer den ekstra tørkeeffekten mest.

Man skulle kanskje forvente at når veggen ikke er isolert utvendig over bakken ville dette senke temperaturen i betongveggen (også under bakkenivå på grunn av kuldebroeffekt) og dermed gi en lavere temperaturdifferanse over isolasjonen, som igjen ville redusere tørkehastigheten. Resultatene viste imidlertid ingen signifikant forskjell i tørkehastighet ved høyde $H = 1000$ mm (600 mm under bakkenivå) mellom beregningstilfellet som ikke var isolert over bakken og det som var isolert helt opp.

2.2.8 Konklusjoner

De beregningsmessige analysene vist i dette kapitlet har vist at å benytte dampåpen utvendig isolasjon kan hjelpe til å gi en hurtigere uttørring ved rehabilitering av en fuktskadet kjellervegg. Det er viktig at kjelleren er oppvarmet (i det minste til en viss grad) for å oppnå denne effekten. Montering av innvendig utføring (spesielt hvis den er isolert) bør ikke gjøres før veggen er tilstrekkelig tørr. Studien viser også at vanlig EPS er såpass damptett at man har tilnærmet ingen slik positiv effekt.

2.3 Feltmåling 1 – Sparemur fra 1920

2.3.1 Generelt

Formålet med dette feltmåleprosjektet var å følge opp den potensielle uttørringen i en eldre kjellermur i perioden etter rehabilitering med utvendig dampåpen isolasjon. Det aktuelle huset ble bygd rundt 1920 og ligger i Hagebyen i Oslo, se figur 2.3.1. Kjellerveggen består av 400 mm betong (type sparemur), og kjelleren er en uoppvarmet kjeller for lagerformål. I løpet av årene hadde man opplevd problemer med avskalling av puss og maling på veggen på grunn av fukt som hadde trengt gjennom utenfra eller blitt sugd opp gjennom fundamentet, slik som vist i figur 2.3.2.



Fig. 2.3.1
Måleobjekt 1 – Hagebyen i Oslo



Fig. 2.3.2
Eksempler på skader på innvendig overflate i kjelleren på grunn av inntrengende fukt utenfra.

I mars 2010 ble det gjennomført utvendig oppgraving, lagt nye drenerør, montert 100 mm utvendig dampåpen EPS-isolasjon av type Isodren ($\mu = 4,4$) under bakkenivå før nye drenerende masser ble fylt tilbake. Oppbygningen av den rehabiliterte veggkonstruksjonen er vist i figur 2.3.3. Merk at figuren ikke viser beslaget som monteres på toppen av isolasjonen for å hindre vanninntrenging fra toppen, samt fiberduken på utsiden av isolasjonen som skal hindre at finstoff trenger inn i isolasjonen. Det er verdt å merke seg at Isodrenisolasjonen markedsføres som en drenerplate (isolasjon med drenerende effekt), dvs. det skal ikke være nødvendig med en grunnmursplate på utsiden av isolasjonen for å hindre vanninntrenging i isolasjonen.

2.3.3 Måleoppsett

Måling av RF ble gjennomført i to høyder over golvet ($H = 100$ mm og 1000 mm), og i forskjellige dybder, se figur 2.3.3 og 2.3.4. Hull ble boret til den ønskede dybden, og RF-sensorene (type Humiguard) ble forseglet nært måledybden i tillegg til forsegling ved betongoverflaten. RF og temperatur ble målt manuelt med 1-2 måneders intervaller mellom hver måling. For å kontrollere at RF-målingene viste korrekte resultater gjennomførte vi også tilsvarende målinger med treprober i borhull i samme dybder og høyder. Resultatene fra sistnevnte er ikke vist her, men samsvarer rimelig bra med RF-målingene med Humiguard-sensorer. Innetemperatur- og RF ble dessuten logget kontinuerlig ved hjelp av en mini-logger.

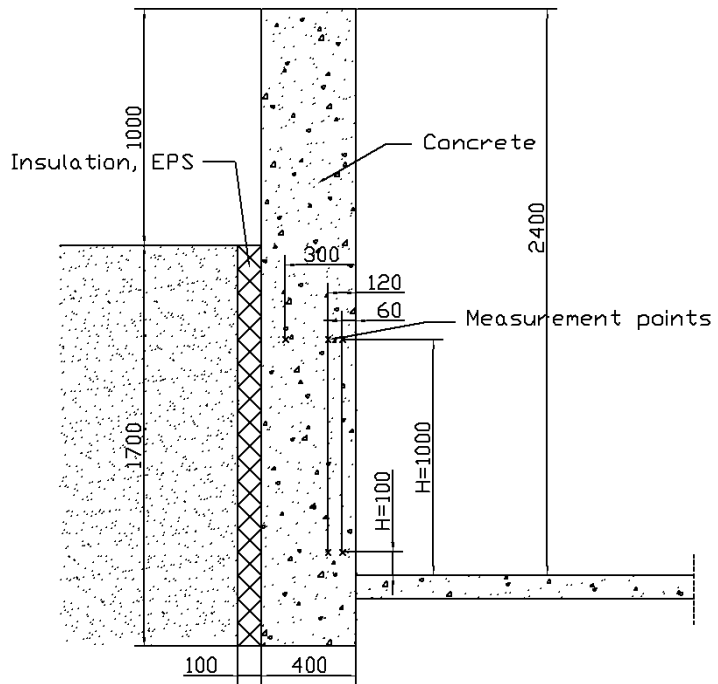


Fig. 2.3.3
Kjellervegg med målepunkter (etter rehabilitering).



Fig. 2.3.4
Oversikt over plassering av alle sensorene.

2.3.4 Resultater og vurderinger

Målt RF i forskjellig dybde og høyde er vist i figur 2.3.5. Vi ser at det skjer ingen tørking i det hele tatt de første 7 månedene; i bunnen av veggen observerer vi faktisk noe oppfukning. Årsaken til dette er trolig relatert til nivået for innvendige lufttemperaturer. Kjelleren var i hele måleperioden uoppvarmet, noe som ga relativt lave vintertemperaturer i kjelleren som vist for det første året i figur 2.3.6. Dermed får vi svært lave temperaturforskjeller over isolasjonen, og liten utadrettet uttørking.

I perioden oktober 2010 til mars 2011 ser vi imidlertid av figur 2.3.5 en viss reduksjon i RF. Dette kan samsvare med at det i denne perioden måles den største målte temperaturforskjellen over isolasjonen for hele måleperioden.

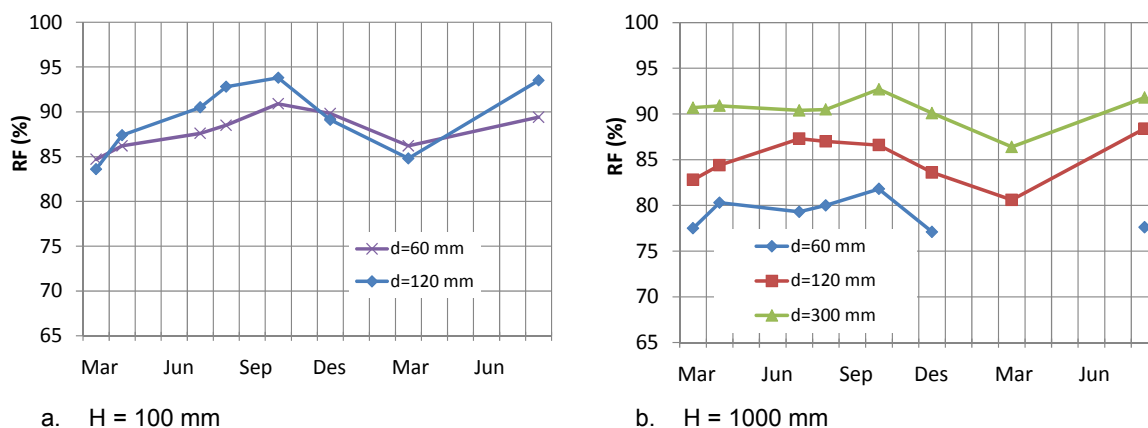


Fig. 2.3.5 RF i forskjellige høyder og dybder i kjellervegger i perioden mars 2010-august 2011.

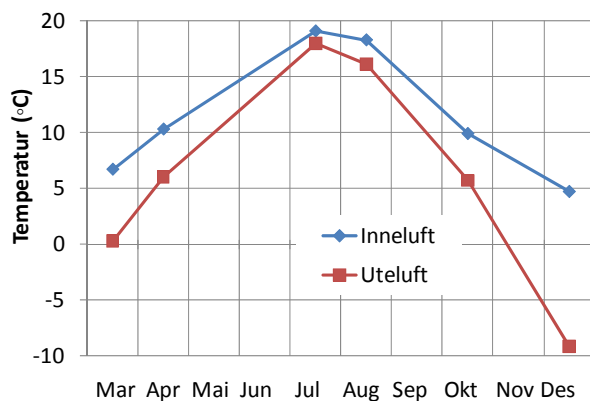


Fig. 2.3.6 Temperatur i inne (kjeller)- og utelufta i perioden mars-desember 2010.

Det faktum at vi observerer en økning i RF i nedre deler av veggen (og delvis også i øvre del) på høsten kan ha flere forklaringer. Det kan f.eks. skyldes kapillært oppsug fra bunnen av fundamentet på grunn av ekstra vannbelastning eller økt grunnvannsstand om høsten. En annen mulig forklaring er at man om sommeren/høsten kan få en viss innadrettet vanddamprtransport gjennom isolasjonen når temperaturforskjellen mellom inne og ute er liten og RF i grunnen er høyere enn RF i veggen. En siste påvirkende faktor er årstidsvariasjoner i inneluftas RF; om vinteren er RF relativt lav (ca. 55–60 % RF) mens den er høyere om sommeren (ca. 65–80 % RF). Til en viss grad vil veggens RF (i hvertfall indre del) følge inneluftas årstidsvariasjoner. Lignende sesongvariasjoner ser vi også av beregningsresultatene vist i figur 2.2.3 og 2.2.4.

Det må imidlertid bemerkes at veggen i utgangspunktet (pr mars 2010) ikke var veldig oppfuktet, med en start-RF mellom ca. 77 og 91 %. Dersom RF i utgangspunktet hadde vært i området

95–100 % ville man trolig kunne sett en viss utadrettet uttørking selv med den lave temperatur-differansen som er målt.

2.3.5 Konklusjon

Dette feltforsøket synes å bekrefte konklusjonene fra beregningene i kap. 2.2 med hensyn på den store betydningen av innetemperaturen. Dvs. at for å oppnå en ekstra uttørkingseffekt av den dampåpne utvendige isolasjonen må kjelleren være oppvarmet (i det minste til en viss grad).

2.4 Feltmåling 2 – Hulmur i tegl fra 1930

2.4.1 Generelt

Formålet med dette feltmåleprosjektet var å følge opp den potensielle uttørkingen i en eldre kjellermur i perioden etter rehabilitering med utvendig dampåpen isolasjon. Bygningen som ligger i Trondheim er opprinnelig en enebolig som ble bygd ca. 1930, se figur 2.4.1. Bygningen var under rehabilitering i 2009/2010 for å tas i bruk som barnehage etter rehabilitering. Kjellerytterveggene er hulmur i tegl, med ca. 11 cm tykkelse på hver vange, og ca. 11 cm tykkelse på luftrom mellom vengene. Total tykkelse på kjellerytterveggen er ca. 33 cm. Bygningen ligger i en slak skråning, og de omliggende masser har stort innslag av leire.



Figur 2.4.1
Måleobjekt 2 – Enebolig/barnehage i Trondheim.

I september 2009 ble det gjennomført oppgraving rundt bygningen, etablert ny drenering og montert 100 mm dampåpen EPS-isolasjon av type Isodren ($\mu = 4,4$) under bakkenivå på utsiden av kjellerytterveggen og deretter en grunnmursplate mot grunnen, og til slutt gjenfylling med eksisterende masser, se figur 2.4.2 og 2.4.3. Det er verdt å merke seg at Isodrenisolasjonen markedsføres som en drensplate (isolasjon med drenerende effekt), det vil si det skal ikke være nødvendig med en grunnmursplate på utsiden av isolasjonen for å hindre vanninntrenging i isolasjonen. Her er altså grunnmursplaten montert som en tilleggssikkerhet.



Figur 2.4.2
Montering av Isodren-platen.



Fig. 2.4.3
Etter montering av utvendig grunnmursplate og innpussing av toppbeslag (gult plastbeslag).

2.4.2 Måleoppsett

Ved befaring september 2009 ble det gjort fuktindikatormålinger fra innvendig side av kjelleryttervegg. Fuktindikatormålingene og visuelle observasjoner viste at kjellerytterveggen i en bod trolig var fuktigere enn de andre veggene. Det ble derfor besluttet å instrumentere den ene veggen i boden som vist i figur 2.4.4. Siden fuktskaden i boden var relativt lokal, og den gikk relativt høyt opp på veggen, ble det vurdert at hovedårsaken trolig skyldtes vanninntrenging fra utvendig side av veggen og ikke fuktoppsuging fra fundamentet.

En annen årsak til at målingene ikke viser noen tydelige tegn til uttørking kan være at innvendig overflate ble dekket med en utføret sponplate. Beregningene i kap. 2.2 viser at dette forsinker uttørkingen av veggen noe. En tredje årsak kan være at det tidligere fuktproblemet faktisk skyldes fukttoppsug fra fundamentet, og ikke vanngjennomtrengning utenfra som antatt. Det vil i såfall kunne bety at rehabiliteringen ikke har stoppet fukttilførselen, og at fukten som tørker ut kontinuerlig blir erstattet med ny fukt nedenfra.

2.4.4 Konklusjon

Det er vanskelig å trekke noen klare konklusjoner fra disse målingene. Målingene kan imidlertid illustrere at effektiviteten ved å benytte utvendig dampåpen utvendig isolasjon bygger på flere forutsetninger, noe som også er diskutert i kap. 2.2 og 2.3. I tillegg til at innetemperaturen bør være relativt høy, synes det klart at uttørkingsprosessen kan ta lang tid hvis veggen i utgangspunktet har et fuktighetsnivå som ligger høyt over det hygroskopiske området. I tillegg er det verdt å gjøre oppmerksom på at dersom fuktskaden skulle skyldes kapillært oppsugd fukt, vil denne rehabiliteringsmetoden trolig ha begrenset effekt. I tillegg er det viktig å ikke montere innvendig utføring før veggen er tilstrekkelig tørr.

3. Innvendig grunnmursplate og utforing

3.1 Generelt

En rehabiliteringsmetode som benyttes endel er basert på at en grunnmursplate monteres på innvendig side av grunnmuren før en utforing som kan være isolert monteres, se figur 3.1.1. Isola as markedsfører en slik løsning i Norge. Hovedhensikten med grunnmursplaten er da å beskytte utforingen mot direkte oppfukning fra grunnmuren. I tillegg danner grunnmursplaten (som er montert med knastene mot eksisterende mur-/betongvegg) en luftspalt mot grunnmuren, og ved å åpne denne i topp og bunn har eventuell fukt i grunnmuren en viss teoretisk uttørkingsmulighet mot innelufta delvis ved ren vandampdiffusjon og delvis ved luftgjennomstrømning. Med i systemet er spesielle listeprofiler (golv og taklist) som skal sørge for åpninger ved golv og himling.

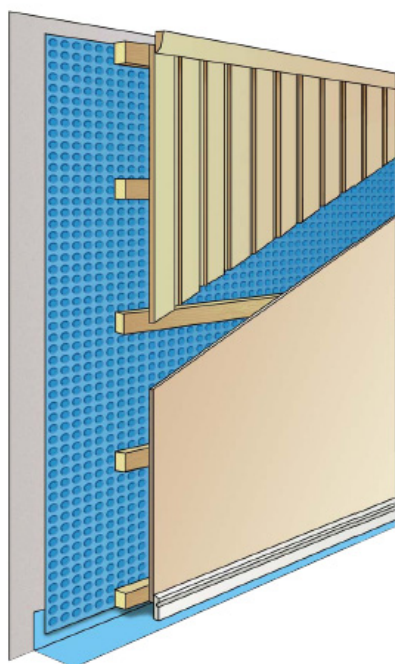


Fig. 3.1.1
Montering av grunnmursplate med knaster på innsiden av kjellerveggen, med innvendig utlekting og kledning.
Kilde: Isola as

Forutsetninger for bruk av systemet er i henhold til Isola as:

- Opptil 100 % relativ fuktighet i veggen, ikke synlig vann
- Isolasjonstykkelse i veggen bør begrenses til 50 mm
- Bruk av systemet fjerner ikke behovet for eventuell omlegging av dreneringsrør.

Begrensningen på 50 mm isolasjon er for å unngå kondensproblemer på innsiden av grunnmursplaten. Hensikten med beregningene og laboratoriemålingene vist i dette kapitlet var derfor å analysere risikoen for kondens eller høy RF på innsiden av grunnmursplaten som kan gi muggvekst ved forskjellige oppbygninger av utforing, kjellervegg og grensebetingelser (klimaforhold inne og ute). Spesielt har det vært interessant å se på muligheten av å benytte tykkere isolasjon enn 50 mm. Det må bemerkes at forholdene på utsiden av grunnmursplaten (luftspalten mellom grunnmursplate og grunnmur) ikke har vært et tema i denne rapporten. For en mer omfattende vurdering av denne rehabiliteringsmetoden, se (Geving og Blom, 2012)

3.2 Fuktberegninger

3.2.1 Generelt

Fuktberegninger ble gjennomført med programmet WUFI Pro 4.2 (WUFI, 2011). WUFI er et beregningsprogram for koblet ikke-stasjonær, en-dimensjonal varme- og fukttransport. Programmet inkluderer fukttransport ved hjelp av vandampdiffusjon og kapillærtransport og tar hensyn til fuktkapasiteten til materialene. En detaljert beskrivelse av beregningsoppsettet og resultatene er gitt i (Martinsen, 2010).

3.2.2 Konstruksjon og materialer

Formålet med beregningene er å vurdere risikoen for kondens og muggvekst på innsiden av en grunnmursplate plassert på innsiden av en eksisterende og gjerne eldre type grunnmur. Siden den delen av veggen som er over bakken vil bli kaldest om vinteren, og dermed har størst risiko for kondens og høy RF, ble det valgt å kun se på denne delen. Dermed var det også mulig å forenkle beregningene til et en-dimensjonalt problem, noe som reduserer beregningsarbeidet vesentlig.

Videre synes det opplagt at risikoen for kondens er størst hvis den eksisterende veggen har liten varmemotstand, f.eks. kun består av betong med liten tykkelse. Det ble likevel valgt å definere en referansevegg hvor den opprinnelige veggen har en viss varmemotstand, dvs. vi tok utgangspunkt i en eldre betongvegg med 50 mm treullsement på innsiden ($\lambda = 0,08 \text{ W/mK}$). Byggeforskriftene fra 1949 fastsatte for første gang krav til minimums varmeisolering av kjelleryttervegger som medførte at denne løsningen ble svært vanlig etter 1949. Referansekonstruksjonen (etter rehabilitering) er vist i figur 3.2.1.

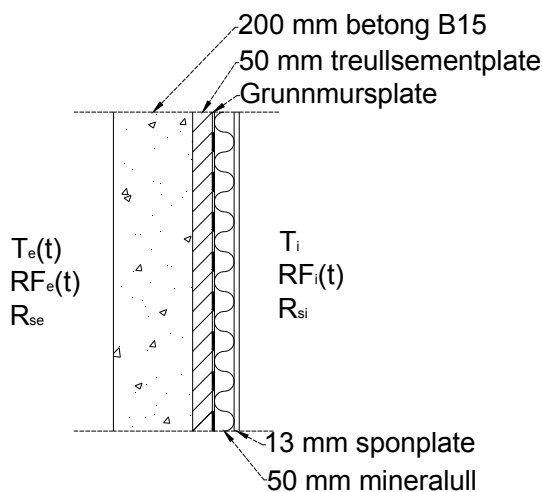


Fig. 3.2.1
Referansevegg

Noen andre konstruksjonsvarianter og materialer ble vurdert i en parameterstudie:

- Tykkere innvendig isolasjon (100 og 150 mm)
- Dampmotstand (S_d -verdi) på innvendig kledning
- Varmemotstand i grunnmuren

Dampmotstand på innvendig kledning på $S_d=1,0 \text{ m}$ tilsvarer en 13 mm tykk sponplate med en akryl-lateksmaling som overflatebehandling (referansevegg). S_d -verdier på 0,5 m og 2,0 m representerer henholdsvis en dampåpen og en damptett overflatebehandling av sponplata. S_d -verdi på 70 m tilsvarer 0,15 mm PE-folie mellom isolasjon og sponplate. I tillegg er det vurdert en dampbrems med variabel dampmotstand. Dette er et kommersielt tilgjengelig produkt som har variabel dampmotstand etter hvilket RF-nivå den befinner seg i. Dampbremsen i disse

beregningene har en S_d -verdi på 3,5 m ved RF på 30 %, og en S_d -verdi på 1 m ved en RF på 70 %. Dette skal begrense oppfukning på vinterstid, da RF i innelufta er lav, og tillate uttørking på sommerstid da RF er høy.

Følgende varianter for varmemotstander for grunnmuren er benyttet:

- $R = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$, tilsvarer 200 mm betong
- $R = 0,43 \text{ m}^2\text{K/W}$, tilsvarer 200 mm betong og 50 mm treullsement (referansevegg)
- $R = 0,63 \text{ m}^2\text{K/W}$, tilsvarer 250 mm lettklinkerblokker
- $R = 1,88 \text{ m}^2\text{K/W}$, tilsvarer 250 mm lettklinkerblokker og 50 mm mineralull

3.2.3 Basis inputparametre

Inneklima

Fukttilskuddet i lufta er brukt som mål på fuktbelastningen inne. Fukttilskuddet er definert som differansen i vanddampkonsentrasjon mellom inne- og utelufta i g/m^3 . Fukttilskuddet avhenger av utetemperaturen, og den valgte verdien er basert på målinger og forslag til konservative dimensjoneringsverdier dokumentert i (Geving, Holme og Jenssen, 2008). Som en standardverdi for fukttilskudd er det brukt en verdi på 4 g/m^3 for vinterforhold (utetemperatur under $5 \text{ }^\circ\text{C}$) og $1,5 \text{ g/m}^3$ for sommerforhold (utetemperatur over $15 \text{ }^\circ\text{C}$), med lineær interpolasjon for temperaturer mellom $5\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette representerer en konservativ dimensjoneringsverdi for vanlige oppholdsrom (stue), det vil si verdien er høyere enn hva man gjennomsnittlig vil forvente for norske boliger (ca. 90 % av stuer i norske boliger vil ha lavere fukttilskudd enn dette). Fukttilskuddets avhengighet av utetemperaturen er vist i figur 3.2.2, og overnevnte forløp er der definert som "Middels". I parameterstudiene ble det også gjennomført beregninger med høyere og lavere fukttilskudd, hvorav "Høyt" i henhold til figur 3.2.2 vil representere et bad, vaskerom eller liknende og "Lavt" trolig vil representere et gjennomsnittlig oppholdsrom med ordinær ventilasjon.

Innetemperaturen er som standard satt til $22 \text{ }^\circ\text{C}$, det vil si vi forutsetter at kjellerrommet er tatt i bruk som oppholdsrom.

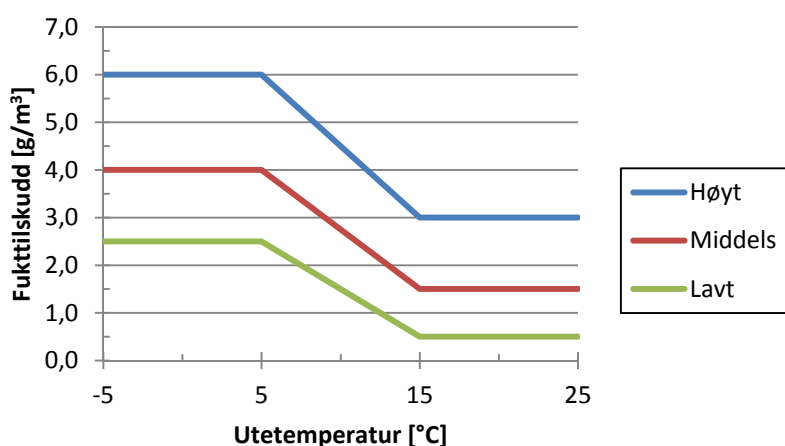


Fig 3.2.2

Fukttilskudd er benyttet som mål på inneluftas luftfuktighet. "Middels" er benyttet som standard i beregningene.

Uteklima

Som utvendige klimadata for den delen av konstruksjonen som er over bakken er det benyttet som standard et såkalt Moisture Design Reference Year (MDRY) fra Oslo. MDRY er klimadata på timebasis som er valgt ut for å representere en fuktbelastning som er mer kritisk enn gjennomsnittsklimaet. I tillegg er det i parameterstudiene gjort beregninger med MDRY fra Trondheim og Røros. I beregningene er nedbør neglisjert, og konstruksjonen er nordvendt.

Materialdata

Materialdata er hovedsakelig modellert ved bruk av databasen som følger med WUFI.

Startfukt

Startfuktnivået i utforingen kan ha en viss betydning på resultatene. I de en-dimensjonale beregningene er ikke treverket i utforingen tatt med, selv om det er de som inneholder noe vesentlig fukt. Det er derfor forutsatt at treverkets fuktinnhold (satt til 16 vekt-%) er jevnt fordelt i mineralulla, tilsvarende ca. $6,7 \text{ kg/m}^3$.

3.2.4 Muggvekstkriterier

Beregningsresultatene kan evalueres ut fra risikoen for at kondens inntreffer (RF = 100 %) og/eller ut fra risikoen for opptreden av muggvekst. Muggvekst er typisk avhengig av nivået på RF. Når RF er under 80 % sier vi forenklet at det ikke er noen risiko for muggvekst. Jo høyere RF over 80 %, jo høyere er risikoen for vekst. I denne rapporten er en av evalueringsmetodene derfor å vise forløp av RF over en treårsperiode for grensesnittet mellom grunnmursplate og mineralull.

Vi vet imidlertid at temperaturen også innvirker ganske kraftig på risikoen for muggvekst, eksempelvis er det vanlig å si at under $0 \text{ }^\circ\text{C}$ skjer det ingen muggvekst og at risikoen øker når temperaturen øker (når temperaturen kommer over ca $40 \text{ }^\circ\text{C}$ begynner imidlertid risikoen å falle). På grunnlag av temperatur og RF beregnes derfor for hvert beregningstilfelle et teoretisk *muggvekstpotensial* som oppgis i enheten ”maksdøgn”. Muggvekstpotensialet for en periode for ett år fremkommer forenklet slik:

- Maksimal veksthastighet finner sted ved RF over 95 % og temperaturer mellom $30\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$. Ett døgn med slike forhold tilsvarer da 1 maksdøgn (det vil si 1 døgn med maksimalt gunstige forhold for muggvekst).
- Ved lavere RF og temperatur vil veksthastigheten være lavere, eksempelvis vil veksthastigheten ved 90 % RF og $20 \text{ }^\circ\text{C}$ kun være ca. 20 % av den maksimale veksthastigheten. Ett døgn under slike forhold vil da være ekvivalent med 0,2 maksdøgn. Fem slike dager vil tilsvare $5 \times 0,2 = 1$ maksdøgn.
- For den valgte perioden, for eksempel ett år, kan vi da summere muggvekstpotensialene for hvert enkelt døgn og vi får en årsverdi som kan brukes i intern sammenligning mellom forskjellige beregningstilfeller. Se nærmere forklaring i (Martinsen, 2010).

3.2.5 Parametervariasjoner

Det ble gjennomført totalt 26 beregningstilfeller som er vist i tabell 3.2.1 og 3.2.2.

Tab. 3.2.1

Beregningstilfelle 1-14. Standardparametre i fet skrift.

Parametre		Variant													
	Verdi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Innvendig isolasjon	50 mm	x	x	x	x							x	x	x	x
	100 mm					x	x	x	x						
	150 mm									x	x				
S _d -verdi på innvendig kledning	0,5 m											x			
	1,0 m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	2,0 m												x		
	Varierende													x	
Fukttilskudd	2,5 g/m ³														
	4,0 g/m³	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	6,0 g/m ³														
Varmemotstand i grunnmuren	0,10 m ² K/W		x			x									
	0,43 m²K/W	x					x					x	x	x	x
	0,63 m ² K/W			x				x		x					
	1,88 m ² K/W				x				x		x				
Uteklima	Oslo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Trondheim														
	Røros														
Dybde under terreng	Over	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	1250 mm														

Tab. 3.2.2

Beregningstilfelle 15-26. Standardparametre i fet skrift.

Parametre		Variant													
	Verdi	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Innvendig isolasjon	50 mm	x	x						x	x		x			
	100 mm			x	x	x	x	x			x		x		
	150 mm														
S _d -verdi på innvendig kledning	0,5 m														
	1,0 m	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	2,0 m														
	Varierende														
Fukttilskudd	2,5 g/m ³	x		x		x	x	x							
	4,0 g/m³								x	x	x	x	x		
	6,0 g/m ³		x		x										
Varmemotstand i grunnmuren	0,10 m ² K/W					x									
	0,43 m²K/W	x	x	x	x				x	x	x	x	x		
	0,63 m ² K/W						x								
	1,88 m ² K/W							x							
Uteklima	Oslo	x	x	x	x	x	x	x				x	x		
	Trondheim								x						
	Røros									x	x				
Dybde under terreng	Over	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
	1250 mm											x	x		

3.2.6 Resultater og vurderinger

Generelt

Muggvekstpotensialet for grensesnittet grunnmursplate/mineralull er vist for alle beregningstilfellene i figur 3.2.3. Figuren viser muggvekstpotensialet beregnet for hvert år over en total beregningsperiode på tre år.

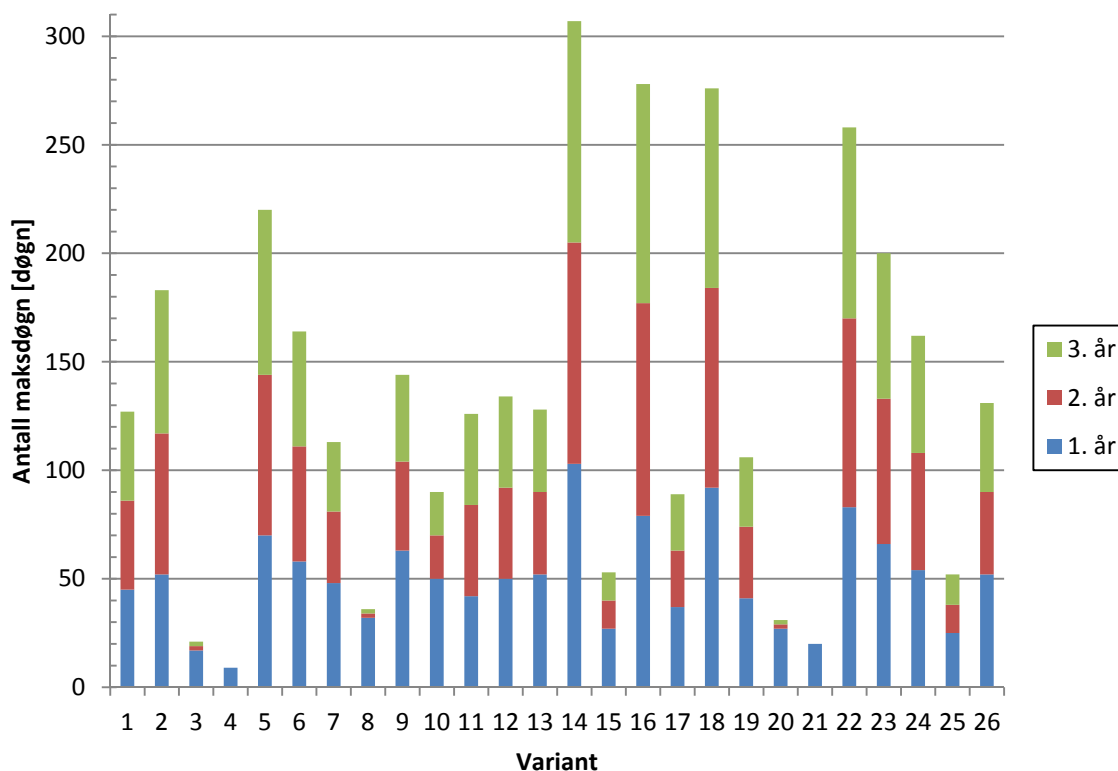


Fig. 3.2.3
Muggvekstpotensialet for alle beregningstilfellene.

Muggvekstpotensialet er egnet til intern sammenligning i en parameterstudie, men angir likevel ingen grense for hva som er skadelig muggvekst. For å ha noe å sammenligne med ble det derfor valgt å beregne muggvekstpotensialet for en innvendig isolert kjelleryttervegg av 200 mm betong uten knasteplate. Under terreng er den kun isolert med 50 mm mineralull, og over med 150 mm, og med innvendig kledning av sponplate ($S_d = 1,0$). Dette er en veggtype som av SINTEF Byggforsk vurderes til å være i "grenseland" med hensyn på kondens- og muggvekstrisiko. Det vil si at den er ikke en ideell løsning, men den vurderes som akseptabel (ved innredning av eksisterende kjellere uten skader) hvis innluftas luftfuktighet ikke blir for høy. Muggvekstpotensialet ble beregnet for grensesnittet betong/mineralull og funnet å være lik ca. 20 maksdøgn for ett år både over og under bakken. Ved beregning over tre år ble det funnet at muggvekstpotensialet for alle årene var tilnærmet likt, det vil si summert over tre år ble muggvekstpotensialet ca. 60 maksdøgn. 60 maksdøgn over tre år kan derfor trolig benyttes som en grenseverdi, dvs. er muggvekstpotensialet under er løsningen relativt sikker.

Vi ser at de fleste beregningstilfellene har høyere muggvekstpotensial over 3 år enn 60 maksdøgn. Det gjelder også referansetilfellet nr. 1 som bare har 50 mm isolasjon i utføringen (127 maksdøgn). Dette skyldes trolig at det som standard regnes med en relativt høy luftfuktighet i innlufta som standard, et fukttilskudd på 4 g/m^3 om vinteren er en forholdsvis konservativ dimensjoneringsverdi. For tilfelle nr. 15 hvor det benyttes et fukttilskudd på $2,5 \text{ g/m}^3$ om vinteren er man eksempelvis nede i 52 maksdøgn. I godt ventilerte oppholdsrom vil eksempelvis et fukttilskudd på $2,5 \text{ g/m}^3$ trolig være riktigere enn $4,0 \text{ g/m}^3$, mens i mer fuktbelastede rom som bad og vaskerom kan det være for lite.

Beregningsvariantene nr. 3, 4, 8, 15, 20, 21 og 25 kan imidlertid ut fra grensekriteriet på 60 maksdøgn betegnes som ”sikre” løsninger. Det vil si at dersom eksisterende grunnmur har en varmemotstand tilsvarende eller bedre enn ca. 250 mm lettklinkerblokk er det uproblematisk å benytte 50 mm varmeisolasjon i utforingen. Dersom eksisterende grunnmur har en varmemotstand tilsvarende eller bedre enn 250 mm lettklinkerblokk + 50 mm varmeisolasjon er det også uproblematisk å benytte 100 mm varmeisolasjon i utforingen. Merk imidlertid at disse konklusjonene gjelder for Oslo-klima, eksempelvis kan vi se av figur 3.2.3 at muggvekstpotensialet for Trondheimklima (nr. 22) er fordoblet sammenlignet med Osloklima (nr. 1).

Merk også at følgende faktorer er *spesielt ugunstige* med hensyn på beregnet muggvekstpotensial:

- Svært lav varmemotstand for eksisterende grunnmur, for eksempel kun betong (nr. 2 og 5). Det kan medføre at til og med 50 mm varmeisolasjon i utforingen er for mye for slike konstruksjoner.
- Bruk av dampsperre (nr. 14). Beregningene viser klart at et damptett sjikt på varm side er ugunstig, i hvertfall når det er forutsatt at treverket i utforingen ikke er spesielt tørket før montering av dampsperre.
- Høy innvendig luftfuktighet (nr. 16 og 18). Det kan medføre at til og med 50 mm varmeisolasjon i utforingen er for mye for i bad, vaskerom og liknende, alternativt at man må forsikre seg ekstra nøye om at ventilasjonen er god i slike rom.

Effekt av grunnmurens varmemotstand

RF på innsiden av grunnmursplaten for varierende varmemotstand er vist i figur 3.2.4 for 50 mm varmeisolasjon i utforingen. Vi ser at for variantene med lav varmemotstand i eksisterende grunnmur (nr. 1 og 2) er RF = 100 % i store deler av vintersesongen, noe som bidrar til det relativt høye muggvekstpotensialet. For variant 3 og 4 som har relativt høy varmemotstand i eksisterende grunnmur ser vi at RF etter de første par månedene stort sett holder seg under 80 % RF. Muggvekstpotensialet for disse to variantene er derfor for henholdsvis år 2 og 3 tilnærmet lik null.

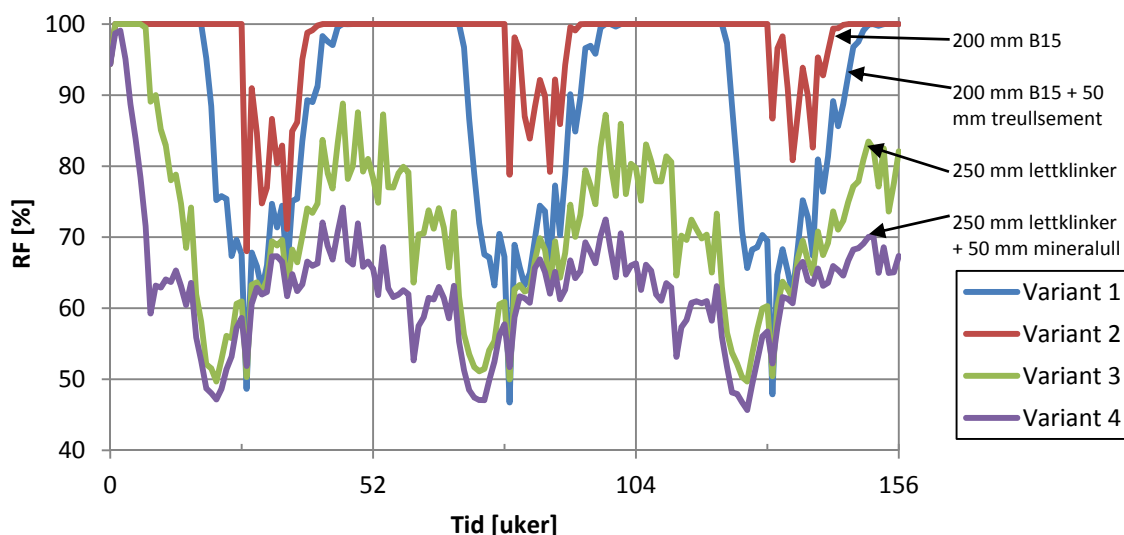


Fig 3.2.4
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for beregningstilfelle 1 – 4 (50 mm mineralull i utforing).

Dersom isolasjonstykkelsen i utforingen økes til 100 mm vil RF på innsiden av grunnmursplaten øke til dels kraftig. I figur 3.2.5 vises dette for beregningstilfelle 7–8. Merk at her er ikke variantene med lavest varmemotstand tatt med, som opplagt nok får RF = 100 % over enda lengre periode enn vist i figur 3.2.4

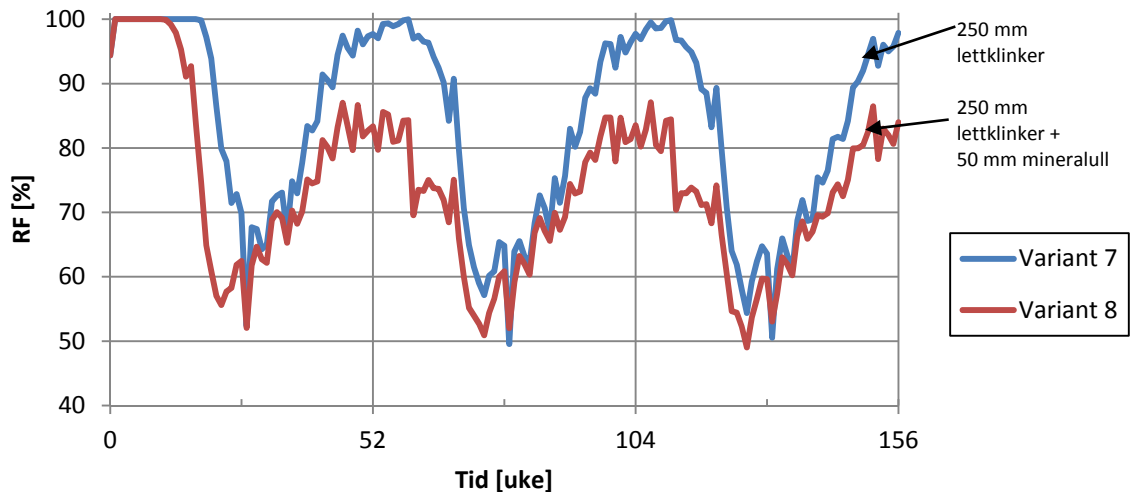


Fig 3.2.5
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for beregningstilfelle 7-8 (100 mm mineralull i utforing).

Effekt av inneluftas fuktinnhold

Dersom inneluftas fuktinnhold er relativt lav er det interessant å se om fuktforholdene blir mer akseptable i utforingen, også med 100 mm isolasjon. Figur 3.2.6 og 3.2.7 viser forløpet til RF ved 100 mm isolasjon i utforingen og et fukttilskudd på $2,5 \text{ g/m}^3$ om vinteren. Vi ser av figur 3.2.6 at det er kondenseringsforhold store deler av vinteren for grunnmurene med minst varmemotstand (nr. 17 og 19), mens RF er mer akseptabel for grunnmurene med høy varmemotstand (nr. 20 og 21) etter de første par månedene. Muggvekstpotensialet for disse to sistnevnte variantene er derfor for år 2 og 3 tilnærmet lik null, dvs. det beregnede muggvekstpotensialet vist i figur 3.2.3 skyldes kun de første månedene og effekten av relativt høy startfukt. Effekten av nivået på fukttilskuddet er videre illustrert nærmere i figur 3.2.8 for tre nivåer av fukttilskudd og 50 mm isolasjon i utforingen.

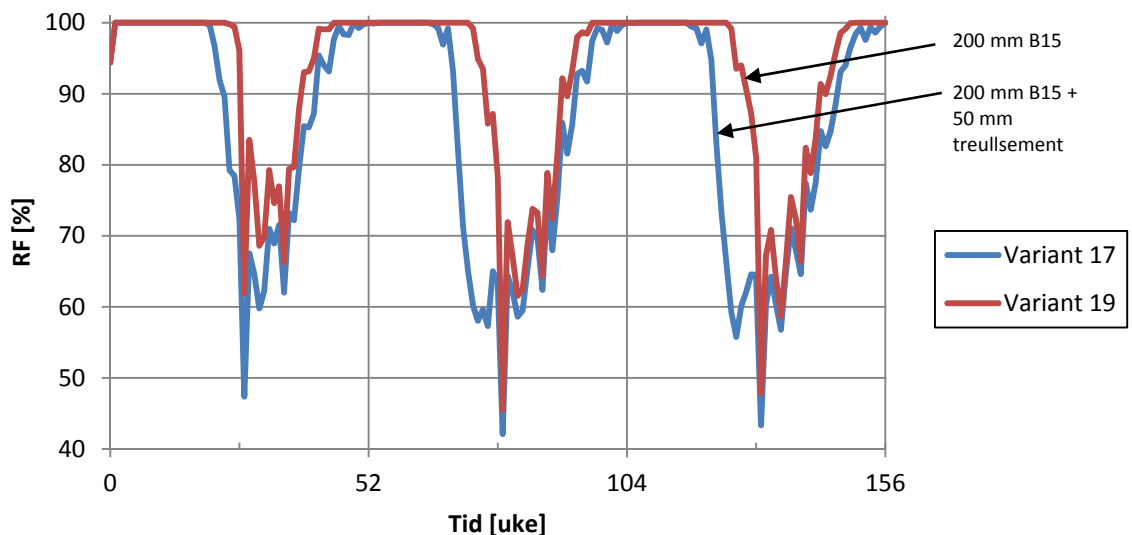


Fig 3.2.6
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for 100 mm mineralull i utforing, lavt fukttilskudd og grunnmurer med liten varmemotstand.

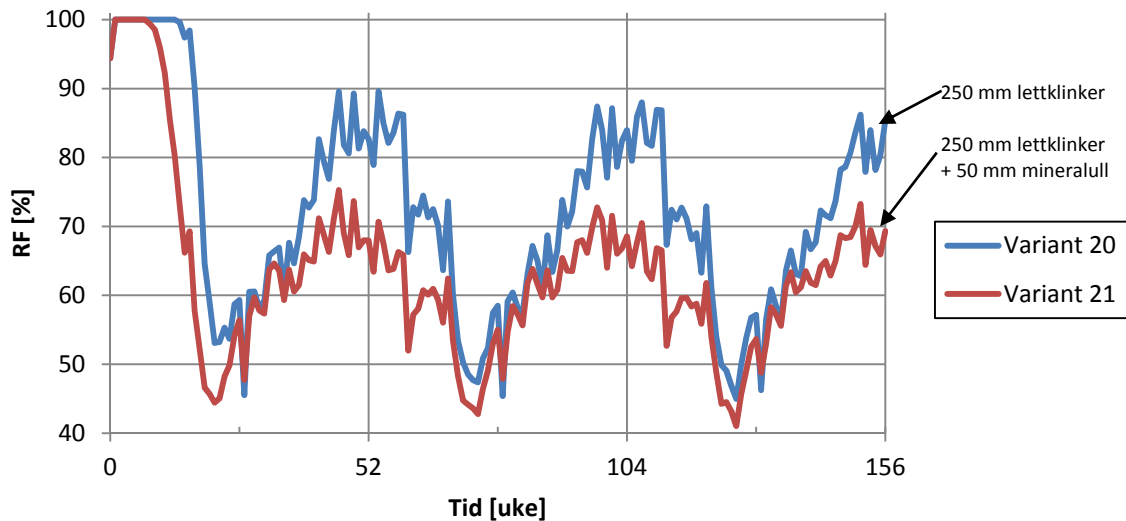


Fig 3.2.7
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for 100 mm mineralull i utforing, lavt fukttilskudd og grunnmurer med høy varmemotstand.

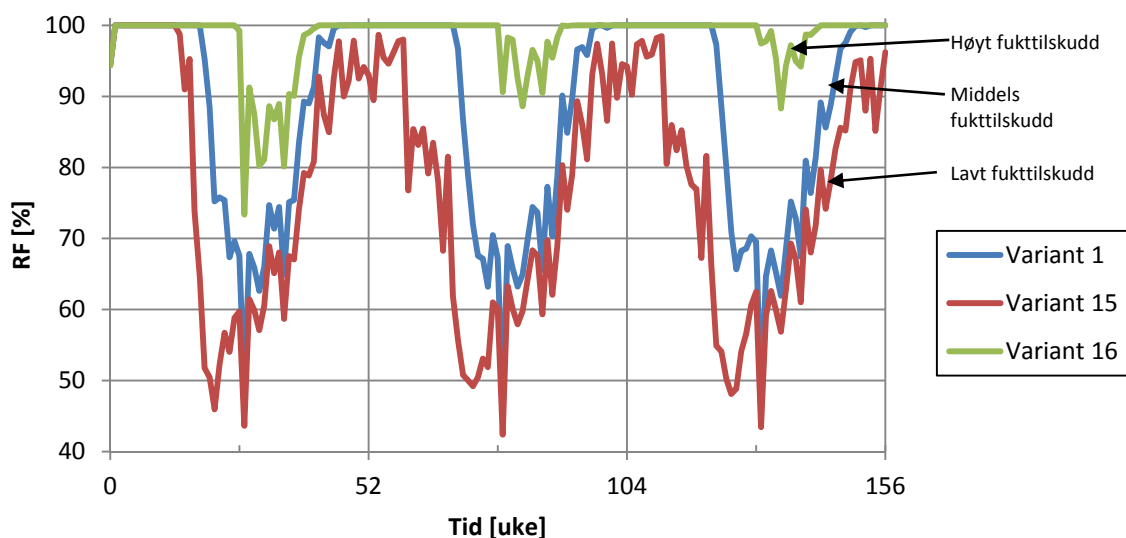


Fig 3.2.8
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for 50 mm mineralull i utforing, grunnmur med relativt lav varmemotstand (treullsementplate) og varierende fukttilskudd.

Effekt av dampmotstand til innvendig kledning

Effekten på RF-forløpet av varierende dampmotstand på innvendig kledning er vist i figur 3.2.9. Vi ser av figuren at RF er relativt lik for beregningstilfeller nr. 1, 11, 12 og 13 (som har lav S_d -verdi mellom 0,5 m – maks 3,5 m). Vi ser at varianten med den laveste S_d -verdien (nr. 11) tørker raskest det første året. Varianten med varierende S_d -verdi fuktes noe senere og mindre opp om høsten/vinteren – noe som er å forvente siden den vil ha høyere S_d -verdi enn de andre om vinteren (opp mot 3,5 m) og dermed vil redusere vandampdiffusjonen fra innelufta.

For nr. 14 som er varianten med plastfolie på innsiden ser vi derimot at RF er svært høy hele tiden, noe som må skyldes at startfukten i utforingen ikke har mulighet til å tørke mot innelufta. Det er verdt å merke seg at med lavere startfukt ville trolig varianten med plastfolie også hatt et lavere RF-forløp.

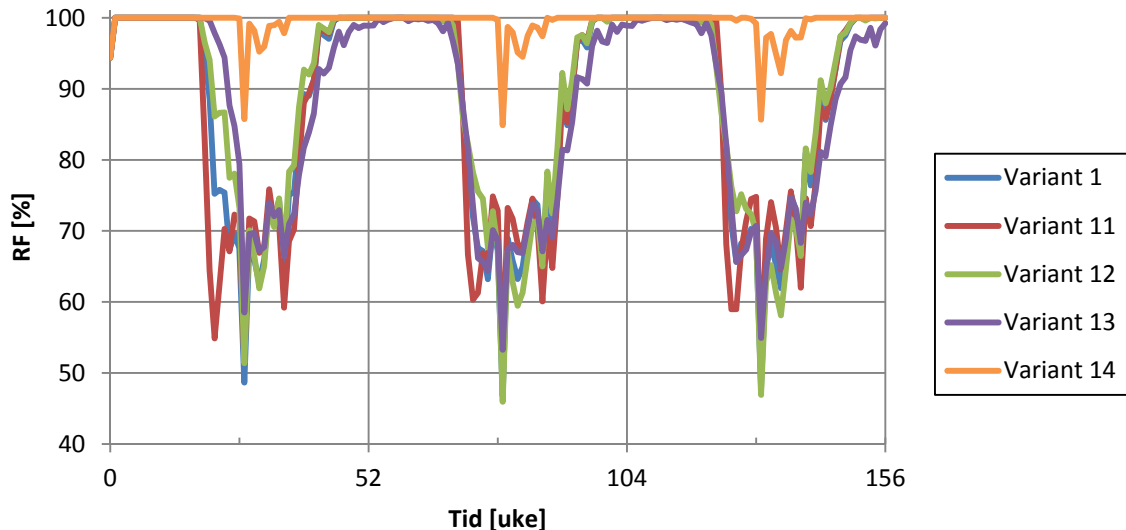


Fig 3.2.9
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for 50 mm mineralull i utforing, grunnmur med relativt lav varmemotstand (treullsementplate) og varierende dampmotstand på innvendig kledning.

Effekt av utvendig klima

Effekten på RF-forløpet av varierende utvendig klima er vist i figur 3.2.10. Som vi ser er effekten overraskende stor for konstruksjonstypen 50 mm isolasjon i utforing og grunnmur med relativt lav varmemotstand (treullsementplate). Vi ser at Røros og Trondheim har vesentlig høyere RF over året enn Oslo klima, og at for Røros er RF nær 100 % nesten hele året. At Røros har høyere RF enn Trondheim kan virke motstridende når figur 3.2.3 viser at Trondheim har det største muggvekstpotensialet, men det skyldes trolig at temperaturen på Røros tidvis er så lav at det ikke skjer noen vekst – selv om RF er svært høy. I tabell 3.2.1 er noen relevante data for MDRY'ene oppsummert som kan være med å forklare de store forskjellene. Vi ser for eksempel at selv om MDRY-filene for Oslo og Trondheim har relativt lik årsmiddeltemperatur har Oslo vesentlig høyere sommertemperaturer. Dette vil trolig bidra til en bedre innadrettet uttørring på sommerstid. I tillegg ser vi at Trondheim har vesentlig høyere RF, noe som også vil gi litt høyere fuktinnhold i innelufta sammenlignet med Oslo. Vi ser samtidig at Røros har vesentlig lavere temperatur enn både Trondheim og Oslo.

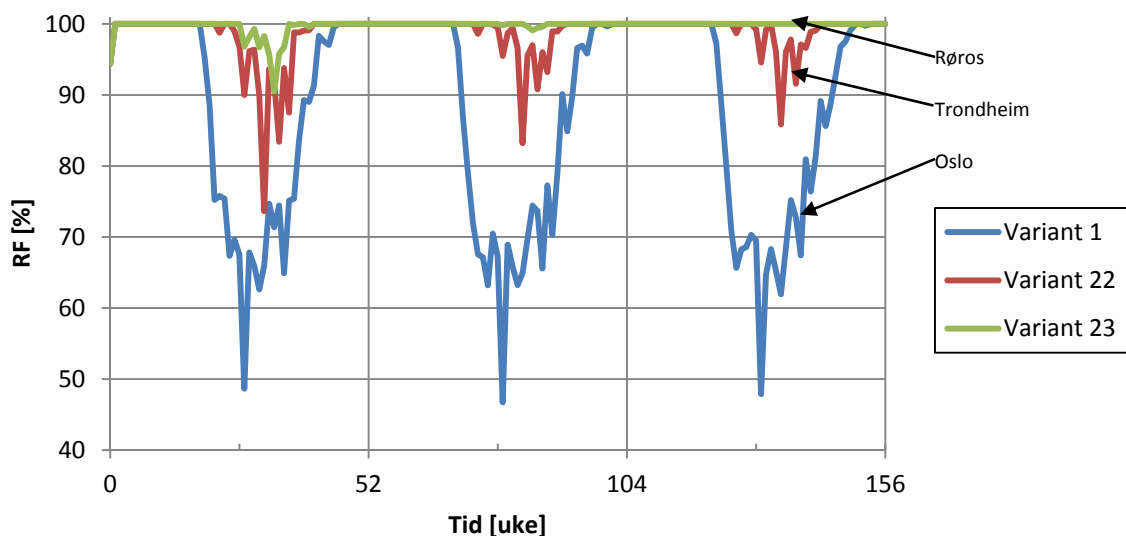


Fig 3.2.10
RF i grensesnitt grunnmursplate/mineralull for 50 mm mineralull i utforing, grunnmur med relativt lav varmemotstand (treullsementplate) og varierende uteklima.

Tab. 3.2.1

Oppsummering av klimadata for MDRY for Oslo, Trondheim og Røros.

		Oslo	Trondheim	Røros
Temperatur	Årsmiddel	6,4 °C	5,1 °C	-1,0 °C
	Minste månedsmiddel	-2,9 °C (januar)	-2,2 °C (mars)	-14,6 °C (desember)
	Største månedsmiddel	18,2 °C (juli)	13 °C (juli)	11,8 °C (juli)
RF	Årsmiddel	74,8 %	88,6 %	86,8 %

3.2.7 Konklusjoner

Følgende hovedkonklusjoner ble trukket:

- Tykkere innvendig isolasjon øker kondensfaren og muggvekstrisikoen i utforingen. For mange tilfeller ser det ut til at ca. 50 mm isolasjon kan være akseptabelt, men det er nok endel tilfeller hvor man bør bruke mindre eller ingen isolasjon.
- Dersom eksisterende grunnmur har en relativt høy varmemotstand, f.eks. består av lettklinker eller helst inneholder et isolasjonssjikt tilsvarende 50 mm varmeisolasjon, vil akseptabel tykkelse på isolasjon i utforingen trolig ligge i området 50–100 mm. Dersom grunnmuren har relativt lav varmemotstand bør man vurdere mindre isolasjon enn 50 mm, eventuelt ingen isolasjon.
- Utbedringsmetoden er følsom for nivå på innvendig luftfuktighet. Jo høyere innvendig luftfuktighet, jo mindre isolasjonstykkelse kan aksepteres ut fra risiko for kondens eller høy RF. I potensielt kraftig fuktbelastede rom som bad og vaskerom bør metoden brukes med forsiktighet, i hvertfall bør det vurderes om isolasjon bør sløyfes helt eller delvis i utforingen. I godt ventilerte kjellerrom (helst mekanisk ventilerte) vil man ha større toleranse for større isolasjonstykkelse.
- Resultatene viste at dampspærre mellom kledning og isolasjon bør unngås for denne utbedringsløsningen. Dampmotstanden til den innvendige kledningen hadde imidlertid relativt liten betydning når den holdt seg innenfor vanlig område man forventer med bruk av trebaserte kledninger/plater med relativt dampåpen overflatebehandling.
- Utvendig klima ble funnet å ha stor betydning for risikoen for kondens og risiko for muggvekst. Jo kaldere uteklimate om vinteren, jo større var risikoen for kondens eller høy RF. I slike kalde strøk bør man derfor vurdere mindre isolasjon enn 50 mm, eventuelt ingen isolasjon.
- Risiko for kondens eller høy RF i utforingen er høyest over terrengnivå.

Ut fra overnevnte synes det klart at akseptabel isolasjonstykkelse i utforingen vil ligge et sted mellom 0 mm til 100 mm. Ved valg av isolasjonstykkelse bør følgende faktorer tas med i vurderingen:

- Varmemotstand til eksisterende grunnmur, dvs. med høy varmemotstand kan isolasjonstykkelsen økes.
- Luftfuktigheten i det aktuelle rommet, dvs. med høy luftfuktighet bør isolasjonstykkelsen reduseres. Både ventilasjonsforhold og fuktproduksjon bør vurderes i denne sammenhengen.
- Uteklimate, dvs. for kalde klima bør isolasjonstykkelsen reduseres.

Ved valg av isolasjonstykkelser opp mot 100 mm anbefales det imidlertid at det gjøres en egen fuktteknisk vurdering.

3.3 Laboratoriemålinger

3.3.1 Generelt

Systemet til Isola as som vist i figur 3.1.1 ble benyttet i en del av et lite forsøkshus hos SINTEF Byggforsk Oslo. Hensikten med målingene var å vurdere systemets fukttekniske funksjon, spesielt med tanke på risiko for kondens og høy relativ fuktighet på innsiden.

3.3.2 Oppbygging av veggen

Figur 3.3.1 viser forsøkshuset. Det er kortveggen til høyre i bildet som ble bygd med system Platon Multi. Innvendige grunnflate i rommet er 1,2 x 3,6 m. Romhøyde varierer fra 2,4 m til 2,7 m, med 1,2 m under terreng. Veggen er bygd opp som følger, regnet utenfra (se også figur 3.3.2):

- Drenerende masser
- 150 mm betongvegg
- Platon multi knasteplate
- 50 mm stående lekter, c/c 600 mm
- 50 mm Glava mineralull mellom lektene
- 9 mm gipsplater



Fig. 3.3.1
Forsøkshus med gavlvegg som under terreng er innvendig isolert med en Platon Multi plate, se figur 3.3.1. 1,2 m av veggen er under terrengoverflate.

Knasteplatene har 5 mm høye knaster. Oppe og nede ble det etablert ca. 5 mm spalter for lufting av hulrommet mellom betongveggen og knasteplaten. Betongveggen ble støpt 29.6.2010. Totalt vanninnhold var 177 l/m³, som gir et v/c-tall på 0,60.

Forsøksrommet ble varmet opp av en elektrisk, termostatstyrt panelovn. Termostaten ble innstilt på 21 °C. I tillegg ble det installert en frittstående dampbefukter i rommet, samt en bordvifte som skulle gi en jevn fordeling av fuktigheten i rommet.

Målingene og befuktingen av rommet startet i midten av november 2010. Fram til midten av februar 2011 hadde rommet et klima ca. 23°/45 % RF, avbrutt av perioder med stans i befuktingen. I perioden fram til 1.5.2011 ble befuktingen senket til ca. 40 % RF. Se figur 3.3.3. Figuren viser også befukterens fukttilskudd i rommet i g/m³ i hele perioden.

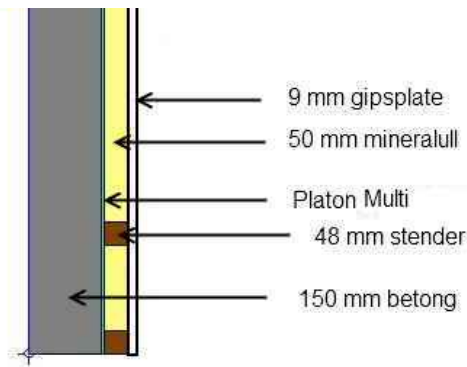


Fig. 3.3.2
Horizontalsnitt i kjelleryttervegg. Vegg er 2,4 m høy, og 1,2 m er under terreng.

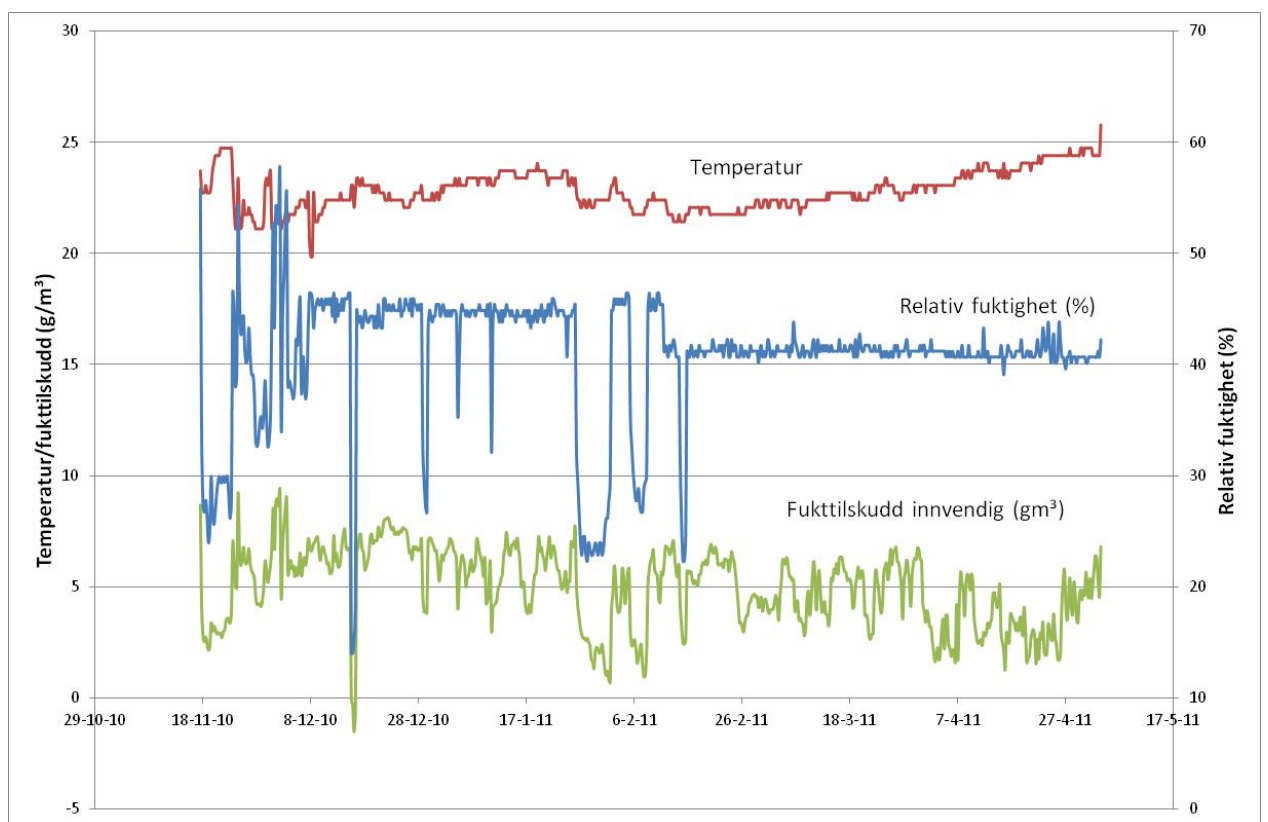


Fig. 3.3.3
Lufttemperatur, relativ fuktighet og innvendig fukttilskudd (g/m³)

Temperaturmålinger ble gjennomført med termoelementer knyttet til datalogger for registrering hver time. Termoelementene er plassert i et vertikalt snitt midt mellom to stendere, med høyde over gulvnivå som angitt i tabell 3.3.1.

Tabell 3.3.1
Plassering av termoelementer

Plassering	Høyde over gulvnivå (m)
Limt mot romside av knasteplate	0,2 m
Limt mot romside av knasteplate	1,2 m
I luftspalte mellom knasteplate og betong	2,3 m
I innløp til luftspalte oppe	2,4 m
I innløp til luftspalte nede	0,02 m
På kald side av betongvegg	0,2 m
På kald side av betongvegg	1,2 m

Fuktmålinger ble utført med prefabrikkerte, sylindriske bøkedybler med elektroder for motstandsmåling (BMT, 2011). Dyblene ble boret 30 mm inn i betong og limt til innvendig overflate av knasteplatene i høyde 0,2 m og 2,2 m. Dybler i stendere ble boret inn 30 mm på siden av lektene, 10 mm fra knasteplate og i høyder 0,2 m, 1,2 m og 2,2 m. Alle høyder er målt fra gulvet.

3.3.3 Resultater

Figur 3.3.4 viser svært høy fuktighet i bøkedybler som er limt mot knasteplatene, langt over 20 vekt-% i mesteparten av måleperioden. Fuktinnholdet i dyblene synker etter at relativ luftfuktighet ble noe redusert. På slutten av perioden er fuktinnholdet under 20 vekt-%.

Figur 3.3.5 viser fuktinnhold i dybler boret inn i betongen bak knasteplatene. Fuktinnholdet stiger i hele perioden, unntatt i en periode med stans i befuktningssystemet.

Figur 3.3.6 viser fuktinnhold i trestender. Det er høyest fuktinnhold i det nederste målepunktet, 0,2 m over golv. Fuktinnholdet avtar i siste del av prøveperioden. Fuktinnholdet i dette målepunktet avtar kraftig under stans i befuktningen. Dette kan skyldes utettheter i borehullet.

Figur 3.3.7 viser temperaturforhold i ulike sjikt i måleperioden. Det er lavest temperatur midt på vegg (1,2 m over golv). Høyere opp er det varmere, trolig på grunn av inneluft som trekkes inn bak knasteplate.

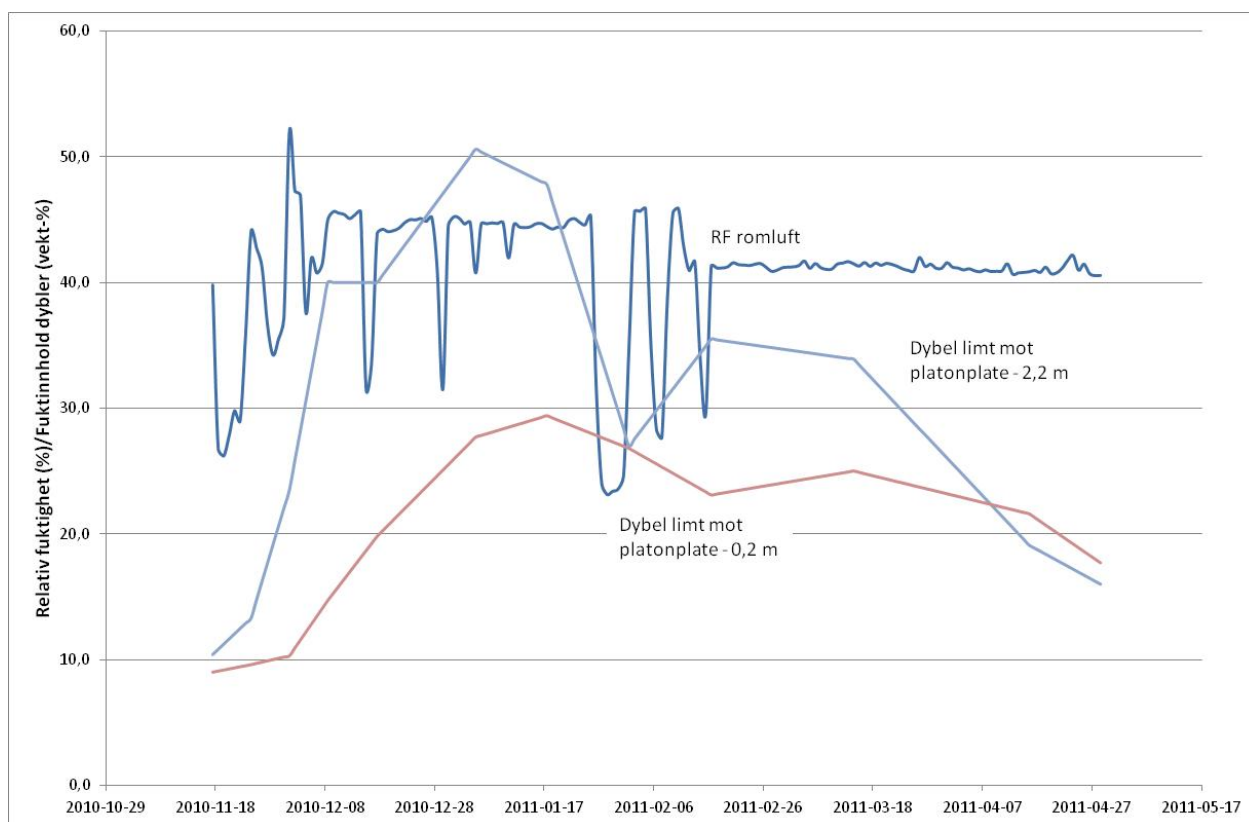


Fig. 3.3.4 Fuktinnhold bøkedybler limt på innsiden av knasteplate. Dybel-plassering er i meter over gulvoverflate

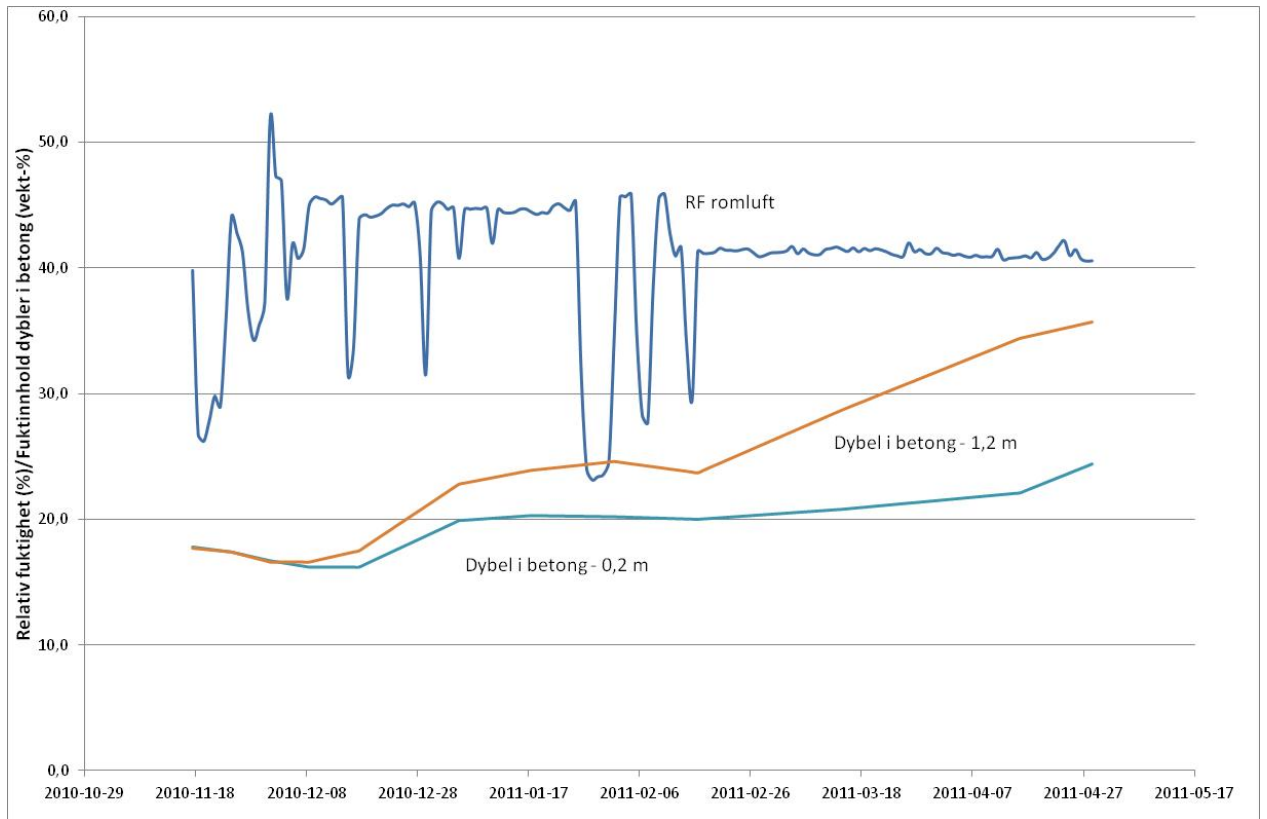


Fig. 3.3.5
Fuktinnhold bøkedybler boret inn i innvendig betongoverflate. Dybel-plassering er i meter over gulvoverflate.

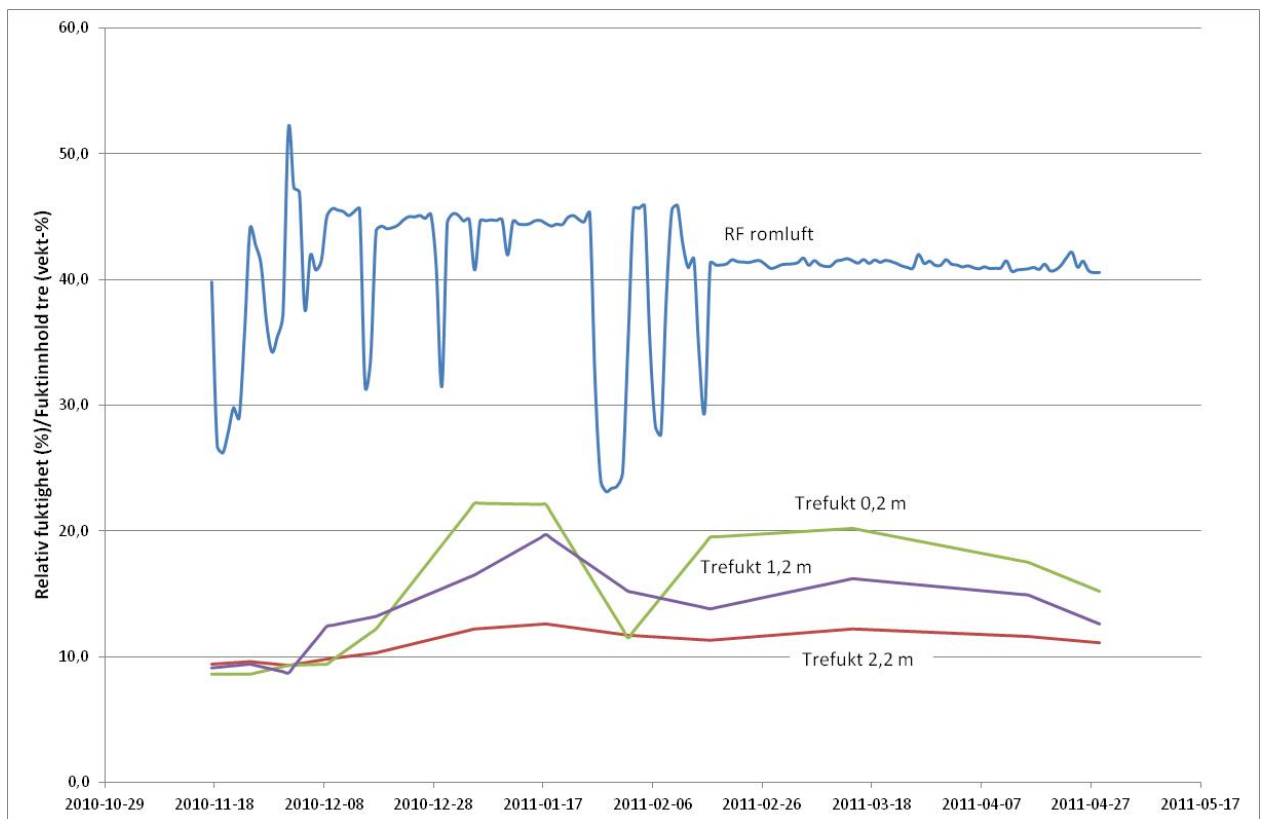


Fig. 3.3.6
Fuktinnhold bøkedybler boret inn i stender. Dybel-plassering er i meter over gulvoverflate.

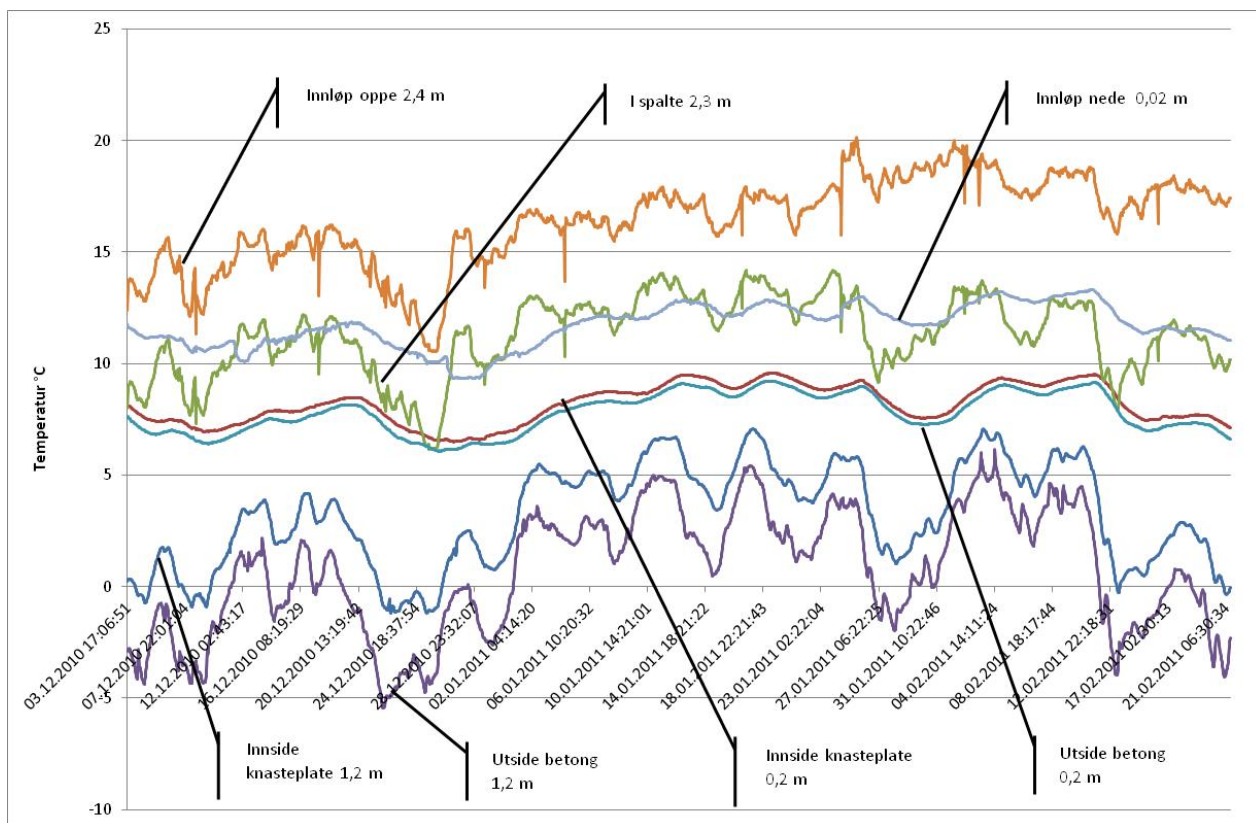


Fig. 3.3.7
Temperaturforhold i ulike sjikt i måleperioden. Angitte høyder er avstand til gulvoverflate. Innside og utside viser til varm og kald side av aktuelt materiale. Innløp er lufttemperatur i spalte mellom betongvegg og knasteplate

3.3.4 Vurdering

I løpet av prøveperioden har veggkonstruksjonen blitt utsatt for romklima med høy fuktighet. Det har ført til høye fuktnivåer både i trestender og på betongoverflate. Det er ikke dokumentert kondens i konstruksjonen.

Rommet har hatt et fukttilskudd varierende fra ca. 7 og 3 g/m³. Tilskuddet er beregnet som forskjellen mellom absolutt fuktinnhold i inneluft og uteluft. Over 4 g/m³ er en ganske ekstrem fuktbelastning. I følge målinger (Geving m.fl., 2008) er gjennomsnittlig fukttilskudd i oppholdsrom sjelden over 2 g/m³. 90%-percentil er sjelden over 3 g/m³. Samtidig tilsvarer 6 g/m³ fukttilskudd fuktklasse 3 i ISO 13788 *Hygrothermal performance of building components*.

Laveste temperatur på innsiden av knasteplaten i høyde 1,2 m over golv er -1,2 °C, se fig. 7. Laveste temperatur på betongoverflaten i samme høyde er -5,5 °C. I gjennomsnitt i er temperaturforskjellen mellom innside knasteplate og utside betong 2,5 grader, beregnet for høyden 1,2 m over golv i perioden 3.12.2010 til 21.2.2011. Samme gjennomsnittlige temperaturforskjell for høyden 0,2 m over gulvnivå er 0,5 grader.

Temperaturmålingene tyder på at luftskiftet i spalten mellom knasteplate og betongvegg er lite. Et lavt luftskifte er også sannsynlig på grunn av et lite drivtrykk ("skorsteinseffekt" på ca. 1 Pa) og stor strømningsmotstand i spalten. Både knastene og liten spaltebredde gir stor strømningsmotstand.

Figur 3.3.8 viser beregnet forløp av temperatur og fuktighet i konstruksjonen. Beregningene er gjennomført med WUFI Pro 5, og gjelder for en høyde 1,2 m over golv. Fukttilskudd er 2 g/m³. Som utvendig temperatur (utvendig grensebetingelse) er det benyttet målt overflatetemperatur på betongveggen.

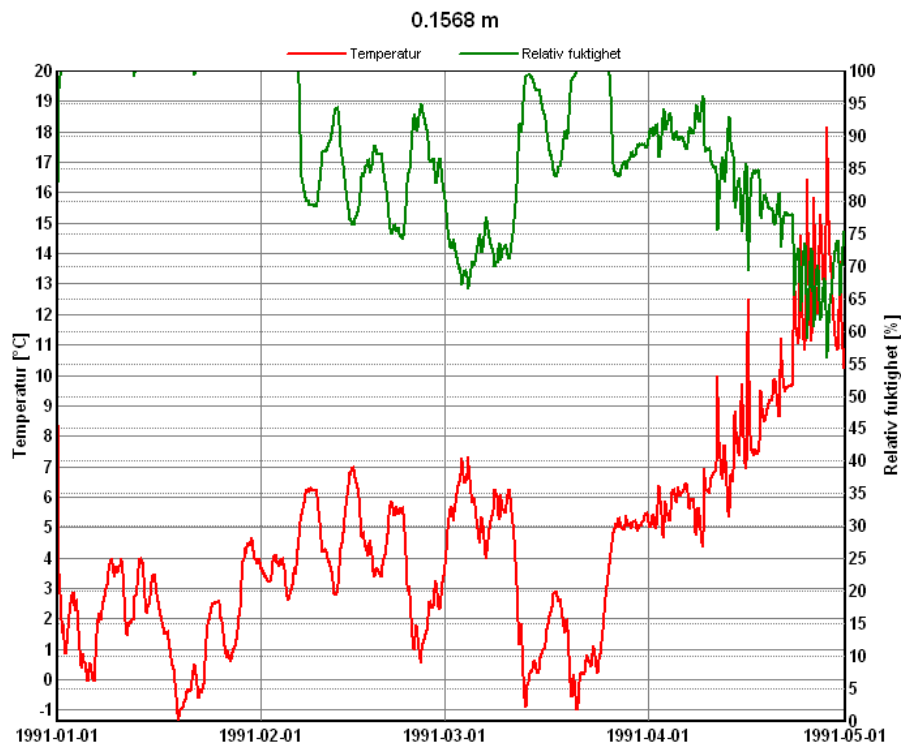


Fig. 3.3.8
Beregnet temperatur og RF i sjiktet mineralull/knasteplate. Fuktklasse 1 etter ISO 13788 (fukttilskudd 2 g/m^3 i vinterhalvåret). Beregningene gjelder for nivå 1,2 m over golvoverflate. Grensebetingelser ved beregningene (romtemperatur og jordtemperatur på utsiden av veggen) er målt.

Beregningene viser kondens i ytre deler av isolasjonsmaterialet i kalde perioder. Hvis en uisolert betongvegg skal kles innvendig med en knasteplate, tyder beregninger på at det ikke bør være isolasjon på innsiden, i hvert fall i rom med mye fuktproduksjon og mangelfull ventilasjon.

På varm side av prøveveggen er det ingen dampsperre eller dampbrems. Simuleringer i WUFI Pro 5.0 viser helt tilsvarende resultat som i figur 3.3.8 ved bruk av dampbrems med dampmotstand ($s_d = 5 \text{ m}$).

Prøveveggen har ikke noe isolasjon på kald side av knasteplaten. Som vist i kap. 3.2, vil kondensfaren ved innvendig isolering reduseres betraktelig hvis eksisterende vegg har noe isolasjon, for eksempel lettklinkerblokker eller treullsementplater.

3.3.5 Konklusjon

Det er gjennomført temperatur- og fuktmålinger i en yttervegg mot terreng som innvendig er kledd med Platon Multi knasteplate, 50 mm isolasjon og en gipsplate. I prøveperioden ble veggen eksponert for et klima ca. $23 \text{ }^\circ\text{C}$ og 40-45 % RF. Det ble målt høye fuktnivåer (> 20 vekt-%) både i trestender og på betongoverflate.

Målingene i prosjektet tyder på at luftskiftet i spalte mellom knasteplate og betong er lavt. Det må bemerkes at målingene ble gjennomført med svært høyt fuktinnhold i rommet. Beregninger utført med samme konstruksjon og utetemperatur, men med lavere og mer normal luftfuktighet innendørs, viser at det er fare for kondens i kalde perioder også ved et normalt inneklime. En ny måling med lavere luftfuktighet i rommet vil kunne bekrefte/avkrefte beregningene og fare for kondens.

Hvis en uisolert betongvegg skal kles innvendig med en knasteplate, tyder beregninger på at det ikke bør være isolasjon på innsiden, i hvert fall i rom med fuktproduksjon og mangelfull

ventilasjon. Isolasjon på romsiden av knasteplaten kan imidlertid være aktuelt dersom betongveggen har noe isolasjon.

3.4 Oppsummering

I kapittel 3.2 og 3.3 er det gjennomført hhv en beregningsstudie og et laboratorieforsøk hvor risikoen for kondens og eventuell høy RF på innsiden av knasteplaten er vurdert. Begge undersøkelsene konkluderer med at når eksisterende vegg er av uisolert betong (meget lav varmemotstand) bør man være forsiktig med å plassere isolasjon på innsiden av knasteplaten, i hvertfall hvis man ikke er sikker på at innelufta er meget tørr (lav fuktproduksjon og god ventilasjon). Beregningsstudien i kap. 3.2 viser imidlertid at det i mange tilfeller kan være akseptabelt å isolere utforingen med 50 mm (og kanskje i visse tilfeller helt opp til 100 mm), dersom visse forhold er gunstige. Gunstige forhold er dersom eksisterende vegg har høy varmemotstand, innvendig luftfuktighet er lav og uteklimaet ikke er for kaldt.

4. Elektrosmose

4.1 Generelt

Elektrosmose er en metode som benyttes endel i forbindelse med utbedring av fuktproblemer knyttet til innervegger. Prinsipiell virkemåte er illustrert i figur 4.1.1. Elektroder (anoder) i form av plugg eller kabelsystem bores/slisses inn i veggen, mens en katode i form av jordspyd slås ned i bakken utenfra eller bores ut i jord gjennom veggen. Ved påsatt strøm (såkalt pulset likestrøm er vanlig) vil det gå en vannstrøm fra positiv elektrode til negativ. En nærmere gjennomgang av teori og muligheter/begrensinger er gitt i (Geving og Blom, 2012).

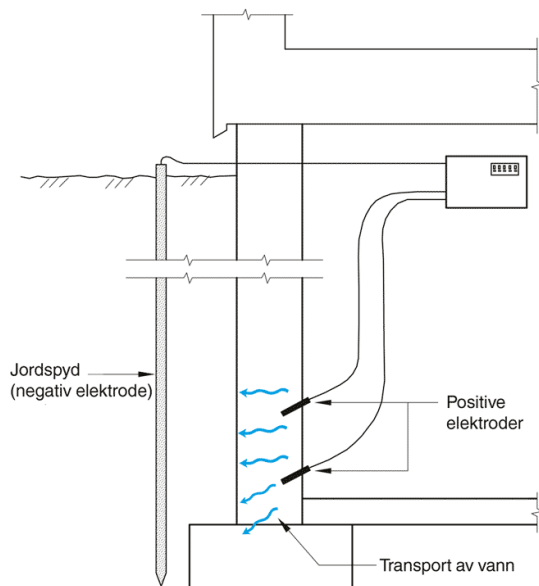


Fig. 4.1.1
Prinsipiell virkemåte til elektrosmosemetoden. Kilde: Byggforskserien

Det markedsføres flere elektrosmose-systemer i Norge i dag. Det systemet som er undersøkt i dette prosjektet, det såkalte EPT-systemet, markedsføres av EPT AS. Systemet er patentert i flere land og er basert på såkalt pulset likestrøm. Anodene er basert på et kabelsystem som slisses inn i innvendig overflate og deretter pusses over med en spesialmørtel, mens katoden vanligvis monteres ved å bore hull fra innsiden og ut i grunnen.

Hensikten med målingene vist i kapittel 4.2 var å analysere uttørkingshastigheten til en opprinnelig fuktskadet kjellervegg, hvor eneste utbedring var å montere EPT-systemet. I utgangspunktet ble det gjennomført to feltforsøk, men i det ene forsøket viste det seg i ettertid at anodene var kortsluttet mot jord slik at anlegget i løpet av vår tilmålte måletid i praksis ikke var i drift. Dette forsøket er derfor ikke nærmere omtalt her.

4.2 Feltmåling 3 – Sparemur fra 1920

4.2.1 Generelt

Formålet med dette feltmåleprosjektet var å følge opp den potensielle uttørkingen i en eldre kjellermur i perioden etter installering av et elektrosmose system. Systemet som ble benyttet er basert på såkalt pulset likestrøm, og markedsføres av EPT AS. Det aktuelle huset ble bygget rundt 1920 og ligger i Havebyen i Oslo, se figur 4.2.1. Kjellerveggen består av ca. 550 mm betong (type sparemur), og kjelleren brukes til lagerformål og delvis møtelokale. I løpet av årene har man

opplevd problemer med avskalling av puss og maling på veggen på grunn av fukt som hadde trengt gjennom utenfra eller blitt sugd opp gjennom fundamentet, slik som vist i figur 4.2.4.



Fig. 4.2.1
Måleobjekt 3 – Havebyen Oslo

Ved årsskiftet 2009/2010 ble elektroosmosesystemet montert, men ble først startet opp i mars 2010. Ingen utvendige tiltak ble gjennomført. Figur 4.2.2 og 4.2.3 viser henholdsvis utvendige forhold rett utenfor måleområdet og høydeangivelser for rommet og utvendig grunn.



Fig. 4.2.2
Utsiden av måleområdet.

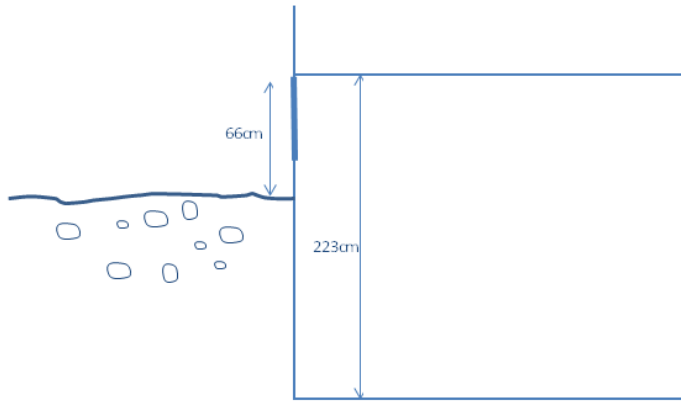


Fig. 4.2.3
Høydeangivelser.

4.2.2 Måleoppsett

Måling av fuktighet ble gjennomført i tre høyder over golvet ($H = 0,3$ m, $0,6$ m og $1,1$ m) og i forskjellige dybder. Måleperiode var mars 2010 til august 2011. RF ble kun målt i dybde $d = \text{ca. } 200$ mm for $H = 0,3$ og $1,1$ m, mens treprober ble benyttet i dybde $d = 100$ mm, 220 mm og 390 mm for alle de tre høydene. Treprobene som ble benyttet var små sylindre i bøk, med diameter 10 mm og lengde 40 mm, med elektroder for elektrisk motstandsmåling (BMT, 2011). Hull ble boret til den ønskede dybden, og RF-sensorene (type Vaisala) og treprobene ble forseglet nært måledybden i tillegg til forsegling ved innvendig overflate. RF og temperatur ble målt manuelt med 1–3 måneders intervaller mellom hver måling. Oversikt over montering av sensorene er vist i figur 4.2.4. Vi kan også se i figuren hvor elektrosmosesystemets anoder (kabelsystem) er slisset inn i vegg i høyde $H = 0,2$ m og $1,0$ m, og deretter dekket med spesialmørtel.

Da sensorene ble montert ble det også tatt ut prøvestykker av kjellerytterveggen i høyde ca. $0,2$ m over golvet for måling av absolutt fuktinnhold ved tørke-veie-metoden. Totalt tre prøvestykker ble tatt ut i forskjellig dybde. Følgende fuktnivåer ble målt; dybde $0\text{--}120$ mm = $3,8$ vekt-%, dybde $120\text{--}260$ mm = $0,1$ vekt% og dybde $280\text{--}340$ mm = $3,6$ vekt%. Det antas at det lave fuktinnholdet i dybde $120\text{--}260$ mm skyldes at det lå en større stein i denne dybden.



Fig.4.2.4
Plassering av målesensorer i veggen.

4.2.3 Resultater og vurderinger

Både målingene av RF og med treprober viser ingen tegn til uttørking av veggen. RF-målingene i høyde $H = 0,3$ og $1,1$ m ligger konstant nær 100 %, med unntak av en kortvarig periode med tørrere forhold i juli 2010 i høyde $H = 1,1$ m hvor RF gikk ned til ca. 77 %. I august var imidlertid RF opp på 100 % igjen.

Tilsvarende som for RF-målingene viser alle målingene med treprober svært høye fuktnivåer, det vil si en trefuktighet som ligger mellom ca 30 – 65 vekt-%. Fibermetningspunktet til treverk ligger på ca. 30 vekt-%, dvs. verdier over dette tilsvarer at RF er ca 98-100%. I høyde $H = 0,3$ og $0,6$ m er fuktnivået relativt likt og det er liten forskjell mellom trefuktigheten i de forskjellige dybdene. Fuktnivået i treprobene er vist for høyde $H = 0,3$ m i figur 4.2.5. Forløpet for $H = 0,6$ m er relativt likt. Forløpet i høyde $H = 1,1$ m skiller seg noe fra dette ved at trefuktigheten i de to ytterste dybdene fremviser de høyeste fuktnivåene (rundt ca. 60 vekt-%), mens den innerste dybden viser de laveste fuktnivåene (rundt ca. 30-40 vekt-%). For de andre høydene fant vi ingen tydelig sammenheng om at ytterste måledybde er mer fuktig enn den innerste måledybden.

Måleresultatene viser klart og tydelig at veggen har vært og fremdeles er oppfuktet til godt over det hygroskopiske området. Det er imidlertid overraskende at vi ikke ser klare tegn til uttørking av veggen over måleperioden. Elektroosmoseanlegget skal ha vært i funksjon i hele måleperioden. Siden innerste målepunkt er i dybde $d = 100$ mm kan vi selvfølgelig ikke se bort fra at man har en uttørkingseffekt nærmere den innvendige overflaten, men dette er ikke undersøkt.

Dersom vi forutsetter at elektroosmoseanlegget har vært korrekt montert og oppsatt, kan vi se for oss flere mulige årsaker til at vi ikke kan observere noen uttørking. Mulige årsaker til dårlig effektivitet av elektroosmoseanlegg er nærmere omtalt i (Geving og Blom, 2011). Man kan også se for seg at vannpåkjenningen utenfra er så stor, og murveggen eventuelt så utett, at selv om det skulle skje en viss utadrettet fuktransport ved hjelp av elektroosmose så er den ikke stor nok til å motvirke den innadrettede fuktransporten. Og som nevnt ovenfor ble det altså ikke målt nær overflaten – slik at vi ikke har mulighet til å fastslå om det har skjedd en uttørking der eller ikke.

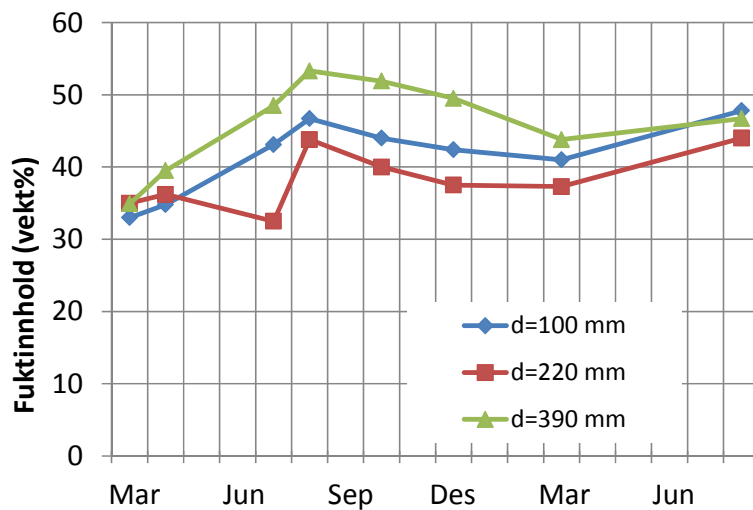


Fig. 4.2.5
Trefuktighet i treprobene i høyde H = 0,3 m for forskjellige dybder.

4.2.4 Konklusjon

Det synes klart at for dette prosjektet har virkningen av elektroosmoseanlegget vært liten eller helt fraværende, i hvertfall med hensyn på uttørking langt inne i veggen (100 mm og dypere). Det er imidlertid vanskelig å trekke noen klare konklusjoner av disse målingene med hensyn på systemets generelle virkning. Målingene indikerer at systemet trolig ikke er effektivt ved mye vann i kombinasjon med store utettheter og porer i veggen.

5. Referanser

BMT, 2011. <http://www.bmtinstruments.dk>

Geving, S. og P. Blom, 2012. *Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger. Delrapport 1 – Litteraturundersøkelse og generelle anbefalinger*. Prosjektrapport 83, SINTEF Byggforsk, Oslo.

Geving, S., J. Holme og J.A. Jenssen, 2008. *Indoor air humidity in Norwegian houses*. Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, June 16-18, Copenhagen, pp. 801-808.

Martinsen, E. 2010. *Utbedring av fuktskadede kjelleryttervegger. Beregningsmessig analyse av parametre relatert til uttørkingsforløp og muggsoppvekst*. Masteroppgave, Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), Trondheim.

Martinsen, E. 2009. *Fuktskadede kjelleryttervegger. Skadetype, undersøkelse og utbedringsmetoder*. Prosjektoppgave, Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), Trondheim.

Nilsen, R., Norstein og Sellevoll. 2006. *Boligstatus 2006:1. Anticimex boligstatistikk*. Anticimex as, Oslo.

SINTEF TG 2379, 2009. Isodren drensplate. SINTEF Teknisk godkjenning nr. 2379. <http://www.sintefcertification.no/>

WUFI, 2011. <http://www.wufi-pro.com>

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

