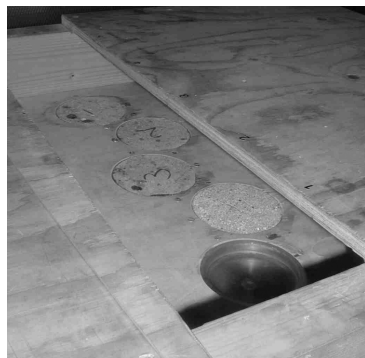


Berit Time, Tore Kvande, Kjell Terjesen og
Øyvind Sæter

Fukttransport i mineralske bygningmaterialer – materialelegenskaper

Sluttrapport fra prosjekt 6 i FoU-programmet
«Klima 2000»



Prosjektrapport 369
Berit Time, Tore Kvande, Kjell Terjesen og Øyvind Sæter
**Fukttransport i mineralske bygningsmaterialer –
materialeegenskaper**
Sluttrapport fra prosjekt 6 i FoU-programmet «Klima 2000»

Emneord: klimatilpasning, laboratorieundersøkelse,
yttervegg, puss, betong, lettbetong, mørtel, fukt

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0834-9

150? eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat: 100 g Kymultra
Omslag: 200 g Cyclus

© Copyright Norges byggforskningsinstitutt 2004

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndverkslovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med Norges byggforskningsinstitutt 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 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.byggforsk.no

Hovedsamarbeidspartnere

Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd, Husbanken, Statens bygningstekniske etat (BE), Finansnæringens Hovedorganisasjon (FNH), Statsbygg, Undervisningsbygg Oslo KF, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Bransjepartnere

Selmer Skanska AS, Jotun A/S, Optiroc AS, A/S Rockwool, Brødr. Sunde as, Glava A/S, Jackon AS, Icopal as, Isola as, Protan A/S, Moelven ByggModul AS, Scandiaconsult AS, Interconsult ASA, Aadnesen as, Dr. Techn. Kristoffer Apeland A/S, Isolitt as, Vartdal Plastindustri AS, Løvolds Industri AS

Norske fagmiljøer

Arkitekthøgskolen i Oslo (AHO), Meteorologisk institutt, Norges landbrukshøgskole (NLH), CICERO Senter for klimaforskning, Riksantikvaren, Standard Norge

Bransjeforeninger

Byggenæringens Landsforening (BNL), Isolasjonsprodusentenes forening (IPF), Takprodusentenes forskningsgruppe (TPF), Boligprodusentenes Forening, Byggevarerindustriens forening, Norges byggmesterforbund, Ventilasjons- og blikkenslagerbedriftenes landsforbund (VBL), Plastindustrifondet (PIF)

Forord

Arbeidet i denne prosjektrapporten er utført innenfor prosjekt 6 *Effekt av vindhastighet og temperaturvariasjon på fukttransport i bygningsmaterialer*. Prosjektet er en del av FoU-programmet *Klima 2000 – Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner*.

Programmets hovedmål er gjennom forskning og utvikling å oppdatere prinsipløsninger for konstruksjoner som både gir økt bestandighet mot og økt pålitelighet ved ytre klimapåkjenninger, samt kartlegge mulige virkninger av klimaendringer på det bygde miljø - og hvordan samfunnet best kan tilpasse seg endringene. Hensikten er å definere klarere kriterier og anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer, hovedsakelig knyttet til bygningers ytre klimaskjerm. Det skal i tillegg utvikles retningslinjer for hvordan de ulike aktører i plan- og byggeprosessen kan medvirke til å unngå at en bygning får skader eller ulemper som er forårsaket av fukt.

Programmet er et viktig ledd i arbeidet med å utvikle og revidere anvisninger i Byggforskserien og produktdokumentasjon i tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Programmet ledes av Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og gjennomføres i samarbeid med Forsvarsbygg Utbyggingsprosjektet, Norges forskningsråd, Husbanken, Statsbygg, Finansnæringsens Hovedorganisasjon, Undervisningsbygg Oslo KF, Statens bygningstekniske etat, og Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), samt 30 andre fagmiljøer og sentrale aktører i BAE-sektoren. Programmet som ble igangsatt i august 2000, og vil pågå frem til utgangen av år 2006, består av 14 ulike prosjekter.

Denne prosjektrapporten er et resultat av laboratorieprøving av fukttekniske egenskaper til noen utvalgte mineralske materialer. Arbeidet ble initiert av Stefan Jacobsen, mens de innledende forsøkene ble gjennomført i regi av Olav Lahus. I prosjektet har Optiroc AS vært en sentral samarbeidspartner.

Trondheim, april 2004

Tore Kvande
Programleder
Norges byggforskningsinstitutt

Berit Time
Prosjektleder, prosjekt 6
Norges byggforskningsinstitutt

Sammendrag

For å etablere grunnlaget for fukttekniske vurderinger ved hjelp av beregningsprogrammer er det gjennom FoU-programmet *Klima 2000* gjennomført en rekke laboratorieundersøkelser med formål å bestemme fukttekniske egenskaper for ulike bygningsmaterialer, samt prøve ut ulike prøvemethoder og –utstyr. I denne rapporten er presentert resultater fra måling av henholdsvis vandampovergangstall, vandampgjennomgang (permeans) og vannabsorpsjon for ulike mineralske materialer. Dette er nødvendige materialegenskaper i forbindelse med modellering av oppfuktning og uttørkingsevne i porøse bygningsmaterialer og ved bruk av fuktbergningsprogrammer. Følgende laboratorieprøvninger er gjennomført;

- ◆ *Bestemmelse av vandampovergangstall (k_p) avhengig av lufthastighet.* Dette er stasjonære forsøk som måler væsketransport i porøse bygningsmaterialer og avdampning (fukttransport) fra overflaten av materialet. Stasjonær fukttransport er målt gjennom relativt tynne prøvestykker som absorberer væske fra undersiden og avgir fukt (i dampform) fra oversiden. Prøvestykkene er til enhver tid vannmettet.
- ◆ *Bestemmelse av vandampgjennomgang/vandampmotstand (ekvivalent luftlagtykkelse – s_d -verdi).* Dette er stasjonære forsøk som måler vandampgjennomgangen i et materiale. Målingene er gjort i henhold til NS-EN ISO 12572.
- ◆ *Bestemmelse av kapillæritet.* Kapillæritet er bestemt ved måling av kapillær vannabsorpsjonskoeffisient, A_w , i henhold til prEN ISO 15148.

Resultatene fra målingene gjør oss i stand til å gjennomføre beregninger av fukttransport i alle aktuelle fukttilstander for noen vanlige puss og betong kvaliteter. Aktuelle beregningssituasjoner er for eksempel uttørking av nylig støpt betong og opptørking av en fasade som har vært utsatt for rennende vann eller slagregn.

De presenterte verdiene for materialers vandampovergangstall er gyldige for situasjoner der materialoverflaten er vannmettet, for eksempel etter en regnværsperiode. Denne perioden er normalt kortvarig. Resultatene for vandampgjennomgang (permeans) gjelder for materialer med luftfuktighet på over 50 % RF. Det er i det høye fuktområdet en ofte kan få kritiske situasjoner med hensyn på fukt, for eksempel ved biologisk vekst og frostsprengning. Generelt er det slik at vandampgjennomgangen for et materiale øker med økende fuktinnhold. Vannopptak gitt som A_w -verdier gjelder for materialer som står i kontakt med fritt vann.

Arbeidet med denne rapporten viste at måling av materialparametere kan være vanskelig og svært ressurskrevende. Spesielt gjelder dette bestemmelse av vandampovergangstall. Til tross for oppgraderinger av prøveapparatene viser resultatene at det er krevende å få apparatene til å gi helt stabile forhold. Dette har påvirket sikkerheten til måleresultatene. Prøvemethoden er ikke standardisert og vil ikke bli benyttet mer i det videre arbeidet i dette prosjektet.

Vandampovergangstallene som benyttes i de fleste fuktbergningsprogrammer er høyere enn verdiene som ble oppnådd ved måling i dette prosjektet.

For måling av vandampgjennomgangstall er målemethoden standardisert. Målemethoden er også akkreditert ved NBIs laboratorium i Trondheim. NBI har utført denne type målinger på blant annet plate- og rullprodukter i mange år. Målingene er mindre ressurskrevende enn for eksempel måling av vandampovergangstall, og ønsket nøyaktighet oppnås.

Vannopptak/ kapillaritet gitt som vannabsorpsjonstall A_w , bestemmes etter standardisert metode. Målingen er relativt enkel å gjennomføre og krever relativt små ressurser. Verdien brukes indirekte i fuktberegningsprogrammer.

Murte konstruksjoners egenskaper ved fukt- og regnpåkjenning er tema også for videre arbeid innenfor FoU-programmet Klima 2000. Temaet inngår sentralt i prosjekt 9 *Krav til fasadesystemer i forhold til slagregnpåkjenning*.

En viktig del av prosjekt 9 er å oppgradere eksisterende beregningsverktøy for fukttekniske analyser. NBI har sammen med Institutt for bygg, anlegg og transport ved NTNU inngått et samarbeid med Fraunhofer Institut für Bauphysik i Holzkirchen om en norsk versjon av fukt- og varme beregningsverktøyet WUFI. Verktøyet er pr. i dag det beregningsverktøyet som har flest brukere. Ved hjelp av beregningsverktøyet vil det bli gjennomført analyser av oppfuktings og uttørkingspotensial for blant annet murte fasader. Materialelegenskapene presentert i denne rapporten vil være viktige inngangsparametere i slike beregninger.

Innhold

FORORD	3
SAMMENDRAG	4
INNHold	6
1 INNLEDNING	7
1.1 FORMÅL OG OMFANG	7
1.2 KLIMAPÅKJENNING PÅ FASADER	7
1.3 UTTØR KING AV FERSK BETONG	9
1.4 LABORATORIEPRØVING	9
2 FUKTTRANSPORT I BYGNINGSMATERIALER	10
2.1 FUKTTRANSPORT I MATERIALER	10
2.2 FUKTTRANSPORT FRA EN MATERIALOVERFLATE TIL OMGIVELSENE	10
2.3 VANNDAMPTRANSPORT FRA ET MATERIALE TIL OMGIVELSENE	11
3 LABORATORIEFORSØK	14
3.1 GENERELT	14
3.2 BESTEMMELSE AV VANNDAMPOVERGANGSTALL	14
3.3 BESTEMMELSE AV VANNDAMPGJENNOMGANG	17
3.4 BESTEMMELSE AV KAPILLÆR VANNABSORPSJON	18
4 RESULTATER	20
4.1 VANNDAMPOVERGANGSTALL	20
4.2 VANNDAMPGJENNOMGANG	21
4.3 KAPILLÆR VANNABSORPSJON	22
5 VURDERING	24
5.1 VANNDAMPOVERGANGSTALL	24
5.2 VANNDAMPGJENNOMGANG	24
5.3 KAPILLÆR VANNABSORPSJON	25
6 VIDERE ARBEID	26
7 KONKLUSJON	27
LITTERATUR	28

1 Innledning

1.1 Formål og omfang

Hovedmålet med laboratorieundersøkelsene omhandlet i denne rapporten har vært å bestemme fukttekniske egenskaper for ulike mineralske materialer, samt prøve ut ulike prøvemetoder og -utstyr. En viktig del av arbeidet i FoU-programmet Klima 2000 (Lisø og Kvande et al. 2004) er å etablere grunnlaget for fukttekniske vurderinger ved hjelp av beregninger. Det er et mål å kunne beregne fukttransport i alle aktuelle fukttilstander til et bygningsmateriale. For å gjennomføre slike beregninger må karakteristiske egenskaper for de ulike materialene bestemmes. Denne rapporten gir et utvalg målte materialegenskaper for aktuelle materialer som grunnlag for beregninger av fukttransport i mineralske bygningsmaterialer.

Rapporten omhandler prøvinger for å;

- ◆ studere vindens effekt på uttørking av ulike vannmettede mineralske overflater,
- ◆ studere porøse materialers vanddampgjennomgangsevne,
- ◆ bestemme vannopptak for noen utvalgte porøse materialer.

Forskene omhandler målinger av fukttransport fra vannmettede overflater på noen vanlige puss og betong kvaliteter. Dette er en situasjon som opptrer i praksis i forbindelse med for eksempel uttørking av nylig støpt betong og opptørking av en fasade som har vært utsatt for rennende vann eller slagregn.

Rapporten inneholder også materialdata for vanddampgjennomgang og vannopptak for et utvalg vanlige pussmørtler.

1.2 Klimapåkjønning på fasader

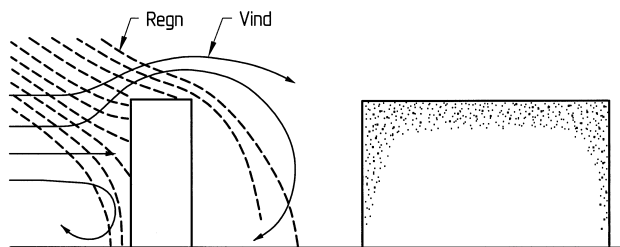
Kritiske klimapåkjønninger på fasader av porøse bygningsmaterialer er normalt varierende fukt- og temperaturforhold i kombinasjon med vind. Pussede og murte fasader er for eksempel spesielt sårbare for store regnmengder kort tid før en frostperiode. Det er derfor viktig å kartlegge hvordan overflater av ulike porøse bygningsmaterialer fuktes opp (mengde fukt som absorberes) og hvor fort en oppfuktet overflate kan tørke ut. Overflater fuktes opp ved regnvær over en lengre periode, ved lekkasjer og eventuell rengjøring. Tørking skjer i tillegg for nyoppført (fersk) puss/murverk.

Tradisjonelt er det skilt mellom utvendig moderat klima ("innlandsklima") og klima med mye slagregn ("kystklima") når det gjelder byggepraksis og også materialvalg for murte og pussede fasader. I praksis har dette gitt et grunnlag for ulik byggepraksis mellom Sør- og Østlandet og resten av landet (Kvande og Waldum 2002).

Etter de store nedbørsmengdene vi hadde på Sør- og Østlandet høsten 2000 har vi fått rapportert om fuktskader på bygninger som kan ha stått uten fuktskader i en årrekke. Det er her altså snakk om skader som ikke kan føres tilbake til direkte byggefeil. Det kan virke som om årsakene til fuktskadene rett og slett er at dagens konstruksjonsløsninger er for lite robuste til å takle de store nedbørsmengdene (Kvande og Waldum 2002).

De største slagregnmengdene på en fasade får en oppe og langs hjørnene, se figur 1. Basert på tidligere målinger har en kommet fram til at slagregntintensiteten i Bergen og omkringliggende områder, på de mest utsatte stedene på en bygning, kan komme opp i 25 – 30 l/m²h (Isaksen 1964). For noe mindre utsatte steder kan slagregnmengden komme opp i

8 – 10 l/m²h. Vindtrykket på veggen kan komme opp i 800 – 1 000 N/m² (800 – 1 000 Pa) (Dührkop et al. 1966).



Figur 1

Eksempel på oppfukning av fasade pga. slagregn (Geving og Thue 2002).

En viss andel av innfallende slagregn kan renne ned over den eksponerte flaten, se figur 2. Det er kledningsmaterialets absorpsjonsevne som avgjør hvor mye regnvann som suges opp i kledningen, og hvor stor andel som renner ned langs utsiden av kledningen. Avhengig av type fasademateriale kan i tillegg noe vann trenge gjennom kledningen og renne ned langs innsiden. For høye fasader og langvarig slagregn kan dette medføre en betydelig fukt påkjenning på de nederste delene av fasaden (Kvande et al. 2003a).



Figur 2

Bildene viser hvordan slagregn kan fukte opp en fasade

Mer om slagregn på fasader er presentert av Jelle og Lisø (2003). Rapporten tar for seg tilgjengelige vind-, nedbør- og slagregndata for Norge.

For murte konstruksjoner har *varigheten* av regnpåkjenningen større betydning enn *intensiteten* på slagregnet (Kvande et al. 2003b). I tillegg kan tiden fra oppfukning til første frostperiode være kritisk. For å unngå skader ved frysing av fuktig murverk må murverket

derfor ha tilstrekkelig frostmotstandsevne. Antall frysepunktpasseringer materialene utsettes for i løpet av et år gir et inntrykk av belastningen. Antallet avhenger i stor grad av hvor i landet bygningen er plassert, se tabell 1. Tabellen gir i tillegg en oversikt over årlig nedbør for de samme målestasjonene.

Tabell 1

Antall frysepunktpasseringer og årlig nedbør for noen utvalgte steder i Norge (Monsen og Olsen 2003).

Målestasjon	Fryse/tine sykler	Årlig nedbør, [mm]
Lillehammer (Sætherengen)	144	660
Oslo (Blindern)	160	763
Bergen (Florida)	124	2250
Ålesund (Vigra)	96	1310
Trondheim (Værnes)	320	892
Bodø	322	1020
Tromsø	152	1031
Karasjok	140	366

1.3 Uttørking av fersk betong

For praktiske formål er vanndampovergangstallet av betydning i forhold til uttørking av nystøpt betong. Nystøpt betong kan være vannmettet over en lengre periode enn mur- og pussflater. Målte vanndampovergangstall er direkte anvendelige for en slik situasjon.

1.4 Laboratorieprøving

Fukttekniske egenskaper for å beskrive et materiales oppfukting- og uttørkingsevne bestemmes ved laboratorieforsøk. Ved NBI sine laboratorier i Oslo er det bygd opp en prøveapparat som kan måle fordampning fra en vannmettet materialoverflate avhengig av vindhastighet og temperatur (vanndampovergangstall). Apparaturen ble opprinnelig lagd i anledning et tidligere prosjekt innen temaet. Det er gjennomført videreutvikling av apparaturen i dette prosjektet. Videre har en ved NBI sine laboratorier i Trondheim mulighet for å bestemme materialers vanndampgjennomgang/vanndampmotstand og kapillaritet.

2 Fukttransport i bygningsmaterialer

2.1 Fukttransport i materialer

Fukttransport i alle typer bygningsmaterialer og -komponenter skjer primært ved diffusjon, kapillærsuging, gravitasjon og konveksjon, eller ved en kombinasjon av to eller flere av disse mekanismene. I tabell 2 er de ulike transportmekanismene angitt nærmere. Dominerende transportmekanisme avhenger av type materiale og i hvilken fukttilstand materialet/komponenten befinner seg i.

Tabell 2

Fukttransportmekanismer og deres drivkrefter

Fase	Transportmekanisme	Drivkraft
Vanndamp	(Vanndamp)diffusjon	Forskjell i (vann)damptrykk i luft over et materiale/komponent
Vanndamp	Konveksjon	Forskjell i lufttrykk over et materiale/ komponent evt. forskjell i lufttrykk inne i en konstruksjon. Et typisk eksempel på dette er fuktig inneluft som transporteres ut i konstruksjonen på grunn av utettheter og som kondenserer på kaldere flater.
Væske	Gravitasjon	Tyngdekraft. Et typisk eksempel på hvordan denne drivkraften virker er lekkasjer fra taket og ned i konstruksjonen under.
Væske	Kapillærsug	Kapillærsug i porer skyldes adhesjonskrefter mellom vannet og poreoverflaten. Det fører til at vann kan trekkes inn i poren. Størrelsen på denne kapillærkraften er bestemt av vannets overflate-spenning, porediameter og kontaktvinkelen mellom vannet og poreoverflaten. Ved likevekt er vannet i ro og kapillærkraften like stor som porevannstrykket multiplisert med porens tverrsnittsareal.

2.2 Fukttransport fra en materialoverflate til omgivelsene

Fukttransporten mellom en materialoverflate og omgivelsene skjer primært ved konveksjon fra overflaten. Så lenge et materiale står i kontakt med vann og materialet er vannmettet på grunn av kapillærsug til overflaten vil fukttransporten fra overflaten til omgivelsene være relativt konstant. Fukttransporten avhenger av overflatens struktur/porøsitet, lufthastigheten på overflaten og vindretningen. Når overflaten ikke lenger er vannmettet og materialet begynner å tørke ut, vil kapillærsugingen opphøre og fukttransporten gjennom materialet vil være betydelig langsommere (diffusjon). Tilsvarende vil den transporterte fuktmengden mellom overflaten og omgivelsene avta.

Noen av resultatene rapportert i denne rapporten omhandler fukttransport fra en vannmettet overflate. Dette er en situasjon som opptrer i praksis i forbindelse med for eksempel uttørking av nylig støpt betong og opptørking av en fasade som har vært utsatt for rennende vann eller slagregn. Når fukttilførselen har opphørt vil en overflate være vannmettet i relativt kort tid. Dette betyr at resultatene fra forsøkene er gyldige for den relativt korte perioden av et uttørkingsforløp.

2.3 Vanndamptransport fra et materiale til omgivelsene

2.3.1 Definisjon

Vanndamptransport fra et materiale til omgivelsene blir ofte betegnet som vanndamptransport gjennom et grensesjikt (for eksempel sjiktet mellom en materialoverflate og den frie luftstrømmen rundt). En slik transport blir vanligvis beskrevet som:

$$F = k_p (p_{\text{overflate}} - p_{\text{luftstrøm}}) \quad [1]$$

hvor

F er vanndampfluksen (transportert mengde fuktighet fra overflaten) ($\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$),
 k_p er vanndampovergangstallet med damptrykk som potensial ($\text{kg}/(\text{m}^2\text{sPa})$),
 $p_{\text{overflate}}$ er damptrykket (Pa) på materialoverflaten,
 $p_{\text{luftstrøm}}$ er damptrykket (Pa) i luftstrømmen rundt.

Vanndampovergangstallet k_p er avhengig av lufthastigheten. Figur 3 viser denne sammenhengen for avdampning fra en vannflate rapportert i ulike kilder slik det er oppsummert av (Wadsø 1993).

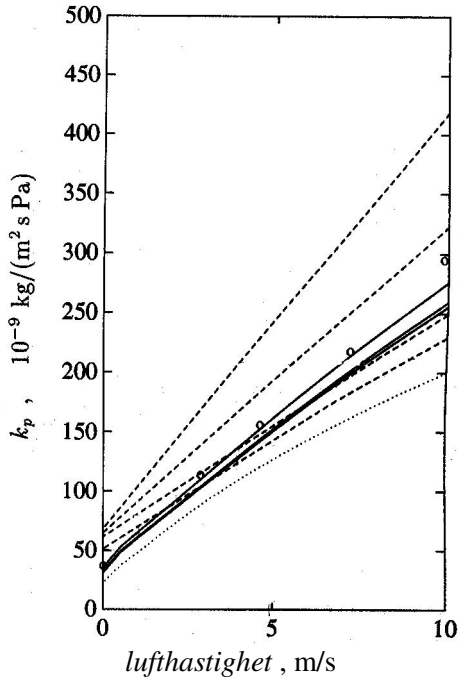
2.3.2 Måledata fra litteraturen

For evaluering av egne måleresultater er det søkt litteratur om målte og beregnede vanndampovergangstall for ulike overflater. (Wadsø, 1993) har samlet måledata fra ulike kilder, se figur 3, 4 og 5. Målingene som ligger til grunn for diagrammene, har det til felles at de er gjort i vindtunnel på relativt store overflater (størrelsesorden 0,3 m x 0,3 m) av vann eller vannmetta overflater, og alltid med luftstrømningen parallelt med prøvestykkens overflate.

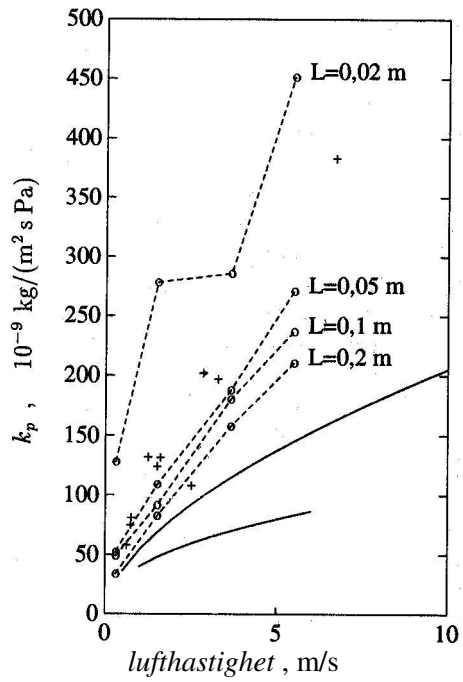
Figur 4 viser vanndampovergangstall fra vannmettede prøvestykker. Damptrykket på overflaten er vannmetningstrykket ved den aktuelle temperaturen under prøvingen. Koeffisientene referert til som (Schwarz 1971) brukes normalt til bygningsfysiske formål, for eksempel til fuktberegninger (Wadsø 1993). Men disse verdiene er lavere enn verdiene i figur 3 – 5, da de er målt på prøvestykker som ikke er parallelle med strømningsretningen.

Målinger presentert av Jacobsen og Aarseth (1999) er konvertert til samme enhet som Wadsø sine diagrammer, se figur 6. I konverteringen er forutsatt at prøvestykkens overflate var vannmettet, temperaturen i omgivelsen 20 °C og relativ luftfuktighet i vindtunnelen 50 % RF. Resultatene skulle således være direkte sammenlignbare med Wadsø's diagrammer. Målingene er for øvrig gjennomført i samme forsøksapparat som er brukt i dette prosjektet.

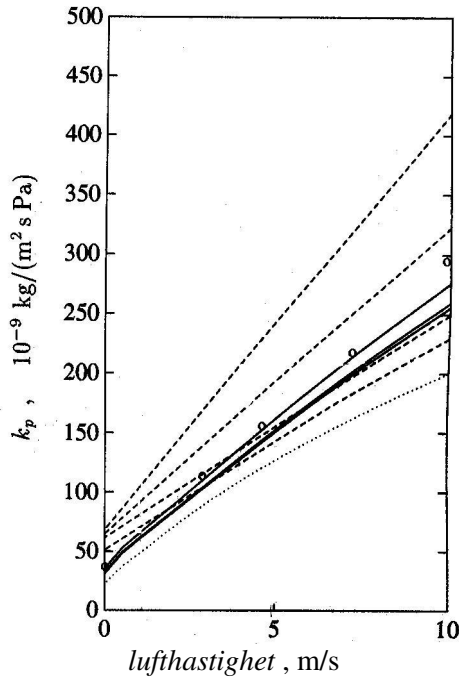
I figur 7 er vist beregnet vanndampovergangstall fra målinger etter koppmetoden (nå kjent gjennom NS-EN ISO 12572). Metoden er primært utviklet for å måle vanndampgjennomgang *gjennom* materialer, men korrigeringer for overgangsmotstanden på overflaten blir gjort. Det er verdt å merke seg at vanndampovergangstallet her ikke er basert på målinger på vannmetta prøver.



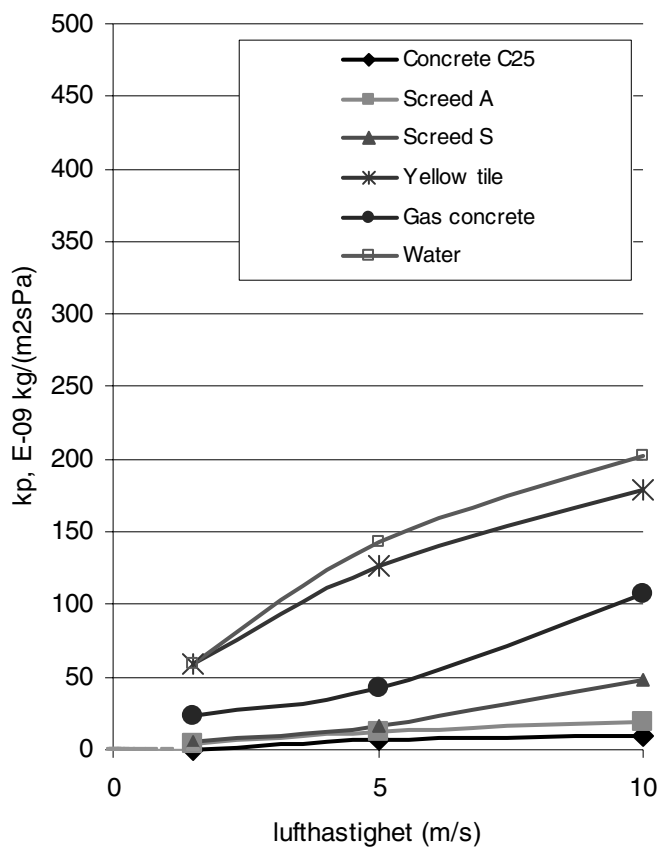
Figur 3
 Vanndampovergangstall (k_p) for fordampning fra en væskeflate som funksjon av lufthastighet slik det er framstilt i (Wadsø 1993). Måledata er hentet fra Carrier 1921 (.....), Hinchley og Himus 1924 (----), Lurie og Michailoff 1936 (- · - · -), og Leuven 1942 (—)



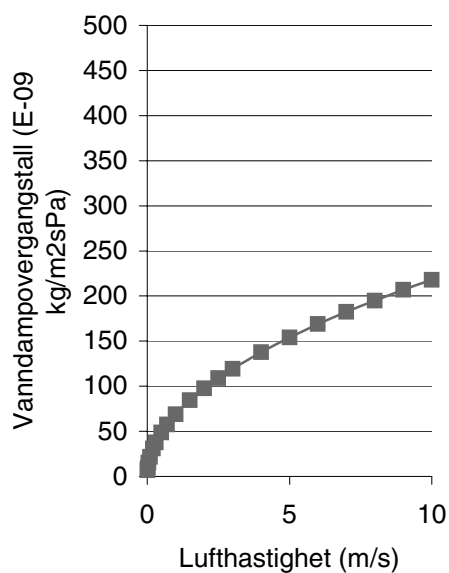
Figur 4
 Vanndampovergangstall (k_p) evaluert fra forsøk med tørking av våte prøvestykker slik det er framstilt i (Wadsø 1993). Måledata er hentet fra Shepherd et al. 1938 (+, sand), Jason 1958 (- · - · -), fiskefileter med forskjellig lengde, Schwarz 1971 (—), utendørs målinger på gassbetong, øverste kurve mot vinden, nederste kurve med vinden)



Figur 5
 Vanndampovergangstall (k_p) beregnet ut fra analogien med varmeovergangskoeffisienter slik det er framstilt i (Wadsø 1993). Måledata er hentet fra Jürgens 1924 (—, tre ulike overflateruheter, Frank 1929 (....., utendørs målinger), Wagener 1929 (o), Rowley et al. 1930 (- · - · -, overflatematerialer på vegg med ulik ruhet). Vanndampovergangstallet øker med økende overflateruhet.



Figur 6
 Vanddampovergangstall (k_p) for ulike porøse bygningsmaterialer etter målinger fra (Jacobsen og Aarseth 1999)



Figur 7
 Vanddampovergangstall (k_p) beregnet etter formler fra Welty (1983).

3 Laboratorieforsøk

3.1 Generelt

Det er gjennomført tre ulike laboratorieforsøk for å bestemme sentrale fukttekniske egenskaper for porøse materialer. De tre materialegenskapene er sammen med på å karakterisere materialers oppfukting og uttørkingsevne. Følgende laboratorieprøving er gjennomført;

- ◆ *Bestemmelse av vanddampovergangstall (k_p) avhengig av lufthastighet.* Dette er stasjonære forsøk som måler væsketransport i porøse bygningsmaterialer og avdampning (fukttransport) fra overflaten av materialet. Stasjonær fukttransport er målt gjennom relativt tynne prøvestykker som absorberer væske fra undersiden og avgir fukt (i dampform) fra oversiden. Prøvestykkene er til enhver tid vannmettet.
- ◆ *Bestemmelse av vanddampgjennomgang/vandampmotstand (ekvivalent luftlagtykkelse – s_d -verdi¹).* Dette er stasjonære forsøk som måler vanddampgjennomgangen i et materiale. Målingene er gjort i henhold til NS-EN ISO 12572.
- ◆ *Bestemmelse av kapillæritet.* Kapillæritet er bestemt ved måling av kapillær vannabsorpsjonskoeffisient, A_w , i henhold til prEN ISO 15148.

3.2 Bestemmelse av vanddampovergangstall

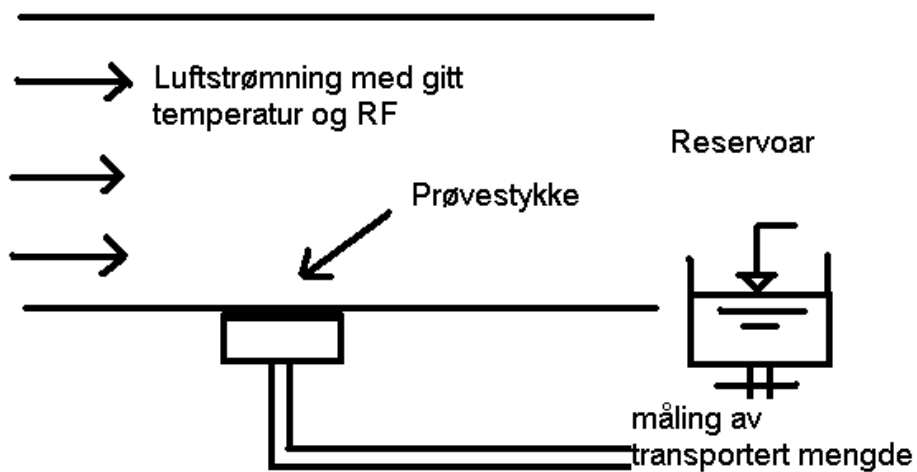
3.2.1 Prøveapparat

Figur 8 viser i prinsipp prøveapparatet. Prøveapparatet er en vindtunnel laget av kryssfinér, se figur 9. Turbulent luftstrøm i tunnelen oppnås ved at en vifte blåser luft gjennom sekskantede "honey-comb" celler. Slike celler er montert både ved inn- og utgang av vindtunnelen med innvendig bredde på 0,6 m, høyde 0,1 m og lengde 1 m. Fem holdere til tilsvarende mange prøvestykker er plassert på en rekke på tvers av strømningsretningen, se figur 10. Hver prøvestykkeholder har en diameter på 100 mm og prøvestykkene monteres med materialoverflaten i flukt med bunnen av vindtunnelen. Prøvestykkeholderne er laget av transparent pleksiglass. Prøvestykkeholderne er justerbare i vertikal retning fra undersiden av vindtunnelen.

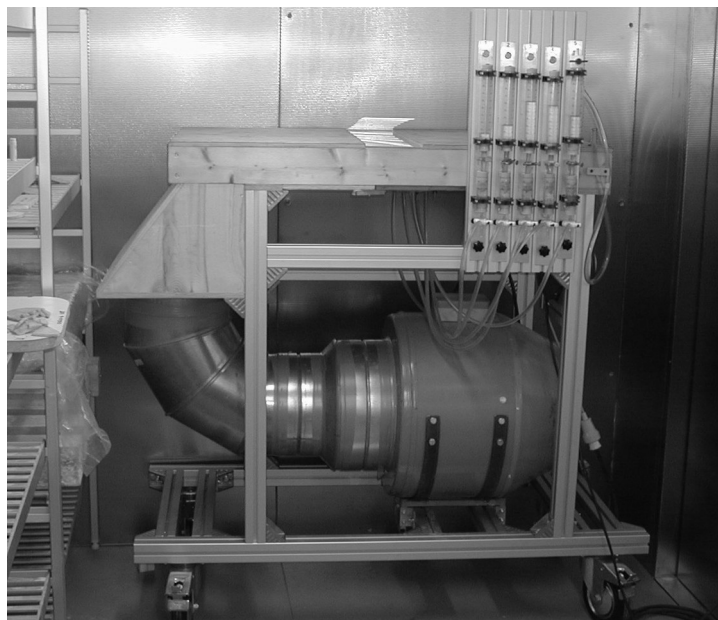
Vanntilførsel til prøvestykkene skjer slik at vannspeilet til enhver tid flukter med toppen av prøvestykket mens måling pågår, se figur 8. På denne måten oppnås at prøvestykkene er vannmettet under hele prøveperioden. Forskjellen i lufttrykk inne i og utenfor vindtunnelen er målt og funnet å være neglisjerbart. Fukttransporten fra en fri vannflate ble målt på samme måte som for prøvestykkene, dvs. i en åpen holder, se figur 10.

Vurdert ut fra tverrsnittet til vindtunnelen, vindhastigheten og beregnet Reynolds-tall antas strømmingen i forsøkene å være turbulent. Vanddampovergangstallet bestemmes ved å måle vannforbruket i reservoarene, se figur 9.

¹ Ekvivalent luftlagtykkelse, s_d , er en forholdsvis ny enhet for dampmotstand som blir mer og mer brukt både i Norge og i andre land. At et materialsjikt har en s_d -verdi på 0,5 m betyr at materialsjiktet har samme motstand mot vanddampdiffusjon som et 0,5 m tykt lag med stillestående luft.



Figur 8
Skisse som viser prøveprinsipp for måling av vanddampovergangstall



Figur 9
Prøveapparat. Luft trekkes inn gjennom sylindere nede på bildet. Prøvestykkene er plassert i kassen øverst på bildet. Øverst til høyre vises måleapparat som måler væskeforbruk (indirekte måling av fordampning).



Figur 10

Prøvestykker plassert i prøveapparat. Prøveholderen nærmest inneholder vann.

3.2.2 Prøveobjekter

Følgende materialer ble benyttet i forsøkene (proporsjonering av pussmørtlene er gitt orienterende basert på NS 3120 og kan avvike for de aktuelle produktene):

- ◆ *NA betong*: v/c-tall 0,7, $D_{100} = 8$ mm, $v_{pasta} = 0,302$
- ◆ *SV40 betong*: v/c-tall 0,38, silika 3 %, $D_{100} = 8$ mm, $v_{pasta} = 0,293$
- ◆ *Hydraulisk kalkmørtel*: hydraulisk kalk/tilslag (vekt) 100/500, $D_{100} = 5$ mm
- ◆ *M-mørtel Kl B (Optiroc)*: mursement/tilslag (vekt) 100/510, $D_{100} = 3$ mm
- ◆ *KC 35/65 (Optiroc)*: sement/kalk/tilslag (vekt) 35/65/520, $D_{100} = 3,5$ mm
- ◆ *KC 50/50 (Optiroc)*: sement/kalk/tilslag (vekt) 50/50/610, $D_{100} = 3,5$ mm

Prøvestykker av hvert materiale ble støpt i sylindere med indre diameter 100 mm. Etter herding i ca. 3 måneder for betong og kalkmørtel og 1 måned for de andre mørtlene ble det sagt til prøvestykker med 5 mm tykkelse.

3.2.3 Gjennomføring av forsøk

Et prøvestykke av hvert materiale ble montert i prøveapparatet i hver serie. Prøvestykkene ble limt til prøveholderen med silikon for å sikre at overgangen mellom prøvestykke og holder var tett og for å oppnå en én-dimensjonal fukttransport.

For alle materialene ble det gjennomført tre like serier. For hver serie ble det gjort målinger ved to forskjellige lufthastigheter, først ved 1,5 m/s og deretter ved 5 m/s. Ett prøvestykke av hvert materiale var representert i hver serie.

Lufthastigheten ble målt i en høyde 50 mm over prøvestykket med et håndmåleinstrument av typen Swema Air 300 med hastighetssensor SWA 31. Temperatur under målingene var 20 °C og relativ luftfuktighet var konstant 50 % RF.

3.3 Bestemmelse av vanddampgjennomgang

3.3.1 Prøvemethode

Vanddampgjennomgangstall (ekvivalent luftlagtykkelse – s_d -verdi) ble bestemt i henhold til NS-EN ISO 12572 - *Bygningsmaterialer - bestemmelse av egenskaper ved vanddampgjennomgang*. Metoden blir ofte omtalt som «koppmetoden».

Prøvestykket plasseres som et lokk på en kopp. Koppen er fylt med en mettet saltløsning. Ved bruk av mettet saltløsning oppnår en konstant relativ fuktighet (RF) i koppen. RF i koppen er forskjellig fra RF utenfor koppen. Dette bidrar til at det foregår en transport av fuktighet inn eller ut av koppen avhengig av om laveste RF er inne i eller utenfor koppen. Fukttransporten inn eller ut av koppen bestemmes ved å veie koppen ved bestemte intervall. Ved omregning av vektendringen av koppen kan vanddampgjennomgangstallet/ekvivalent luftlagtykkelse (s_d -verdi) bestemmes. Fukttransporten kan avhenge av forskjell i damptrykk (dvs. fuktinnhold i prøven), temperatur, lufthastighet over prøvestykket, luftlagtykkelsen mellom prøvestykket og saltløsningen samt densiteten til materialet som prøves.

Vanddamppermeans for et prøvestykke er gitt som:

$$W = \frac{g}{\Delta p_v} \quad [2]$$

hvor

W er vanddamppermeans,
 g er fuktfluksen,
 Δp_v er damptrykkforskjellen mellom saltløsningen i koppen og i lufta utenfor.

For resultatene i denne rapporten er ligningen korrigert for vanddampmotstanden i luftlaget inne i koppen, vanddampmotstanden i overflata på utsida av koppen samt for effekter i randen. For ytterligere beskrivelse hvordan dette er gjort, se NS-EN ISO 12572.

Prøvestykkene benyttet i forsøkene omhandlet i denne rapporten er sirkulære med diameter 174 mm. Prøvestykkene ble støpt i sylindrer og deretter saget ut i ønsket tykkelse. Det prøves på fem prøvestykker. I disse forsøkene holdt saltløsningen en luftfuktighet på 93 % RF. Temperaturen i rommet var 23 °C og luftfuktigheten var på 50 % RF.

Målemetoden og omregninger er ytterligere beskrevet i NS-EN ISO 12572 samt av Bergheim et al. (1998).

3.3.2 Prøveobjekter

Følgende materialer ble benyttet i forsøkene (proporsjonering av pussmørtlene er gitt orienterende basert på NS 3120 og kan avvike for de aktuelle produktene):

- ◆ *KC 35/65* (Leca Fasadepuss): sement/kalk/tilslag (vekt) 35/65/520, $D_{100} = 3,5$ mm
- ◆ *KC 50/50* (Trondheim Mørtelverk): sement/kalk/tilslag 50/50/610, $D_{100} = 2,8$ mm
- ◆ *C-mørtel Kl B* (Leca B-mørtel): sement/tilslag (vekt) 100/510, $D_{100} = 2,8$ mm
- ◆ *C-mørtel Kl B* (Trondheim Mørtelverk): sement/tilslag 100/510, $D_{100} = 2,8$ mm
- ◆ *C-mørtel Kl B m/lateks* (Trondheim Mørtelverk): sement/tilslag (vekt) 100/510, $D_{100} = 2,8$ mm, tilsatt styrenbutadien

Prøvestykker av hvert materiale ble støpt i sylindrer med indre diameter 200 mm. Etter herding i 4 uker ble det saget til prøvestykker hver med tykkelse 10 mm. For *KC 50/50* (Trondheim Mørtelverk) var det et problem å få saget til prøvestykkene uten at de sprakk. Kun ett prøvestykke av denne kvaliteten ble derfor målt.

3.4 Bestemmelse av kapillær vannabsorpsjon

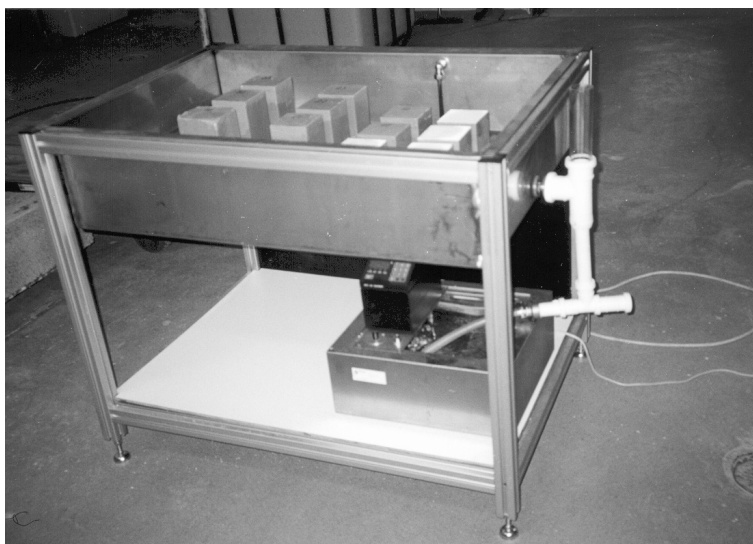
3.4.1 Prøvemethode

Ikke-stasjonære én-dimensjonale vannopptaksmålinger på forskjellige mineralske materialer er gjennomført. Målingene er utført i henhold til utkast til Europeisk Standard prEN ISO 15148 "Hygrothermal performance of building components and building elements. Determination of water absorption coefficient by partial immersion".

Målingene er gjort på kuber med testflate på 100 mm x 100 mm. Tykkelsen på prøvestykkene i dette arbeidet var 50 mm. Fire sider var forseglet med epoxy-lim for å oppnå én-dimensjonale forhold. Toppen og bunnflaten var ikke forseglet. Eksempel på prøving er vist i figur 11 og 12. Figur 13 viser prinsippskisse av prøveoppsett slik det er vist i prEN ISO 15148.

Under prøvingen ble vann-nivået holdt konstant på $5 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ over bunnen av prøvestykkene. Lufttemperaturen under prøveperioden var innenfor den tillatte temperaturvariasjonen ($18 - 28 \text{ }^\circ\text{C}$, $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ variasjon i løpet av testen). Relativ luftfuktighet i omgivelsen under prøving ble ikke målt. Luftfuktighet skal i henhold til metodebeskrivelsen være mellom 40 og 60 % RF).

Vannopptaket registreres ved å ta prøvestykket opp av badet og veie det. Dette gjøres i henhold til standardens prosedyrer.

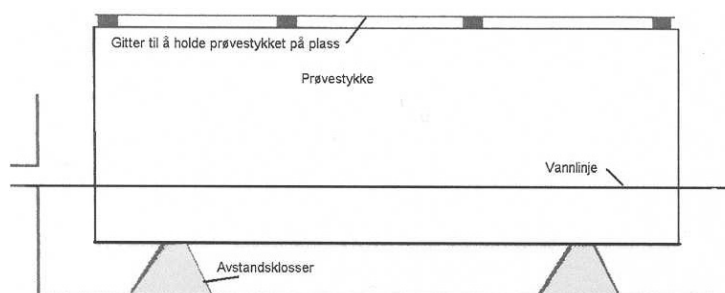


Figur 11

Apparatur som tilfredsstillter kravene i prEN ISO 15148



Figur 12
Eksempel på prøvestykker delvis nedsenket i vannbad



Figur 13
Prinsippskisse av prøveapparat i henhold til prEN ISO 15148

3.4.2 Prøveobjekter

Følgende materialer ble benyttet i forsøkene utført av Solberg (2001) (proporsjonering av pussmørtlene er gitt orienterende basert på NS 3120 og kan avvike for de aktuelle produktene):

- ◆ *KC 35/65* (Leca Fasadepuss): sement/kalk/tilslag (vekt) 35/65/520, $D_{100} = 3,5$ mm
- ◆ *KC 50/50* (Trondheim Mørtelverk): sement/kalk/tilslag 50/50/610, $D_{100} = 2,8$ mm
- ◆ *C-mørtel Kl B* (Leca B-mørtel): sement/tilslag (vekt) 100/510, $D_{100} = 2,8$ mm
- ◆ *C-mørtel Kl B m/lateks* (Trondheim Mørtelverk): sement/tilslag (vekt) 100/510, $D_{100} = 2,8$ mm, tilsatt styrenbutadien

Målingene ble gjennomført som studentarbeid i regi av Klima 2000 høsten 2001 (Solberg 2001).

I tillegg er det rapportert vannabsorpsjonsmålinger på gassbetong med densitet 500 kg/m^3 fra tidligere interne arbeider ved NBI (Time 2001).

4 Resultater

4.1 Vanndampovergangstall

Resultatene fra målingene er presentert som vanndampovergangstall i tabell 3. De oppgitte verdier er ikke nødvendigvis likevektsverdier, da det for enkelte prøver var vanskelig å oppnå tilstrekkelig likevekt. Avviket for samme materiale mellom de enkelte seriene gjenspeiler også til dels store variasjoner i resultat.

Tabell 3

Måleresultater fra forsøkene presentert som vanndampovergangstall med enhet E-09 kg/m²sPa

Materiale	Serie nr.	Vindhastighet	
		1,5 m/s	5 m/s
NA betong	1	9,7	9,5
	2	5,4	5,0
	3	9,2	6,2
	Gjennomsnittsverdi	8,1	6,9
	Standardavvik	2,4	2,3
SV40 betong	1	2,8	3,8
	2	1,8	2,5
	3	3,7	2,9
	Gjennomsnittsverdi	2,8	3,0
	Standardavvik	1	0,7
Hydraulisk kalkmørtel	1	30	11
	2	62	67
	3	65	54
	Gjennomsnittsverdi	52	44
	Standardavvik	20	29
M-mørtel KI B (Optiroc)		46	49
		51	52
		47	49
	Gjennomsnittsverdi	48	50
	Standardavvik	3	2
KC 35/65 (Optiroc)		45	75
		53	59
		48	61
	Gjennomsnittsverdi	49	65
	Standardavvik	4	9
KC 50/50 (Optiroc)		48	79
		57	75
		45	66
	Gjennomsnittsverdi	50	73
	Standardavvik	6	7
Væskeflate (vannspeil)	1	88	160
	2	37	120
	3	78	150
	4	48	139
	5	52	114
	6	46	108
	7	51	130
	8	56	155
	9		139
	Gjennomsnittsverdi	56	135
Standardavvik	18	18	

4.2 Vanndampgjennomgang

Resultatene fra målingene av vanndampgjennomgang (ekvivalent luftlagtykkelse – s_d -verdier) er resultater fra et studentarbeid gjennomført innen Klima 2000 og er første gang presentert av Solberg (2001). Resultatene er kort oppsummert i tabell 4.

Tabell 4
Måleverdier for vanndampgjennomgang

Materiale	Tykkelse [mm]	Ekvivalent luftlagtykkelse s_d -verdi [mm] ± ett standardavvik	Vanndamp- motstand $\times 10^9$ [m ² sPa/kg]	Vanndamp- motstands faktor, μ * [-]
C-mørtel KI B (Leca B-mørtel)	10	207 ± 10	1,0	21
C-mørtel KI B** (Trondheim Mørtelverk)	9,5	332 ± 23	1,7	35
KC 35/65 (Leca Fasadepuss)	10	152 ± 12	0,8	15
KC 50/50 *** (Trondheim Mørtelverk)	10	93	0,5	9
C-mørtel KI B m/lateks (Trondheim Mørtelverk)	10	375 ± 12	1,9	38

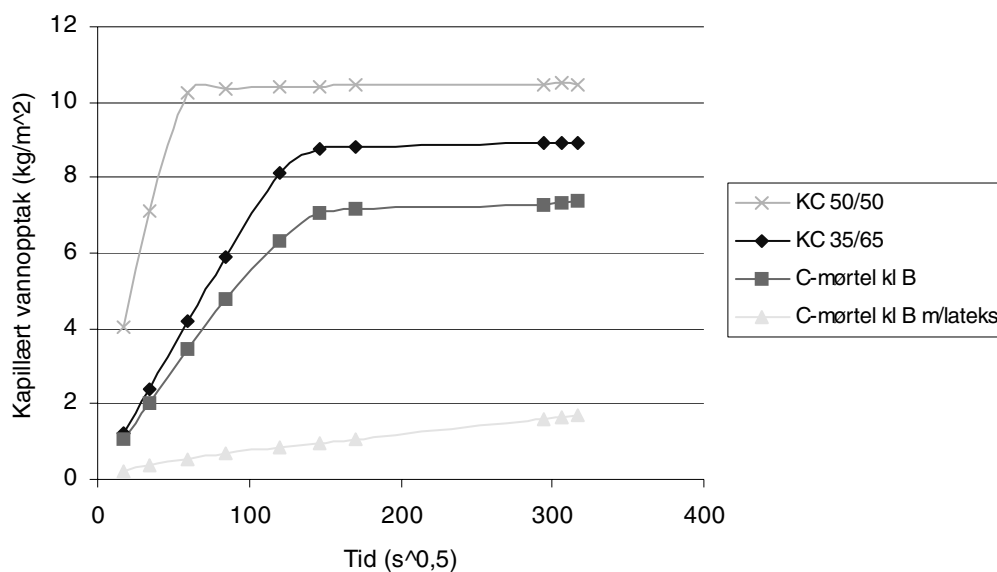
* Vanndampmotstandsfaktor, μ , er en betegnelse som brukes mer og mer for materialer som opptrer med forskjellige tykkelser. Denne størrelsen er definert som forholdet mellom vanndamppermeabiliteten til luft dividert med vanndamppermeabiliteten til det aktuelle materialet. For eksempel vil et materiale med $\mu = 100$ yte 100 ganger større motstand mot vanndampdiffusjon enn et stillestående luftsjikt med samme tykkelse. Ønsker man vanndampdiffusjonsmotstanden til en bestemt tykkelse av materialet, et materialsjikt, finner man ekvivalent luftlagtykkelse (s_d -verdi) ved å multiplisere vanndampmotstandsfaktoren, μ , med den aktuelle materialtykkelsen.

** supplerende måling til de presentert av Solberg (2001)

*** bare ett prøvestykke er målt. De andre prøvestykkene sprakk under preparering.

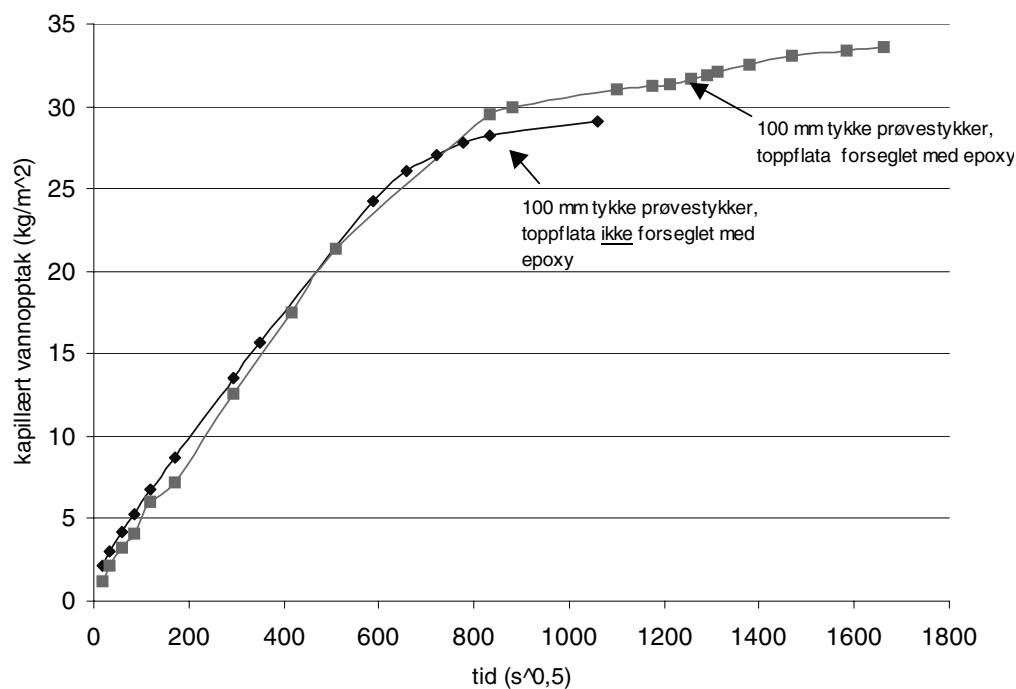
4.3 Kapillær vannabsorpsjon

Kapillært vannopptak er presentert i figur 14 – 16 og tabell 5.



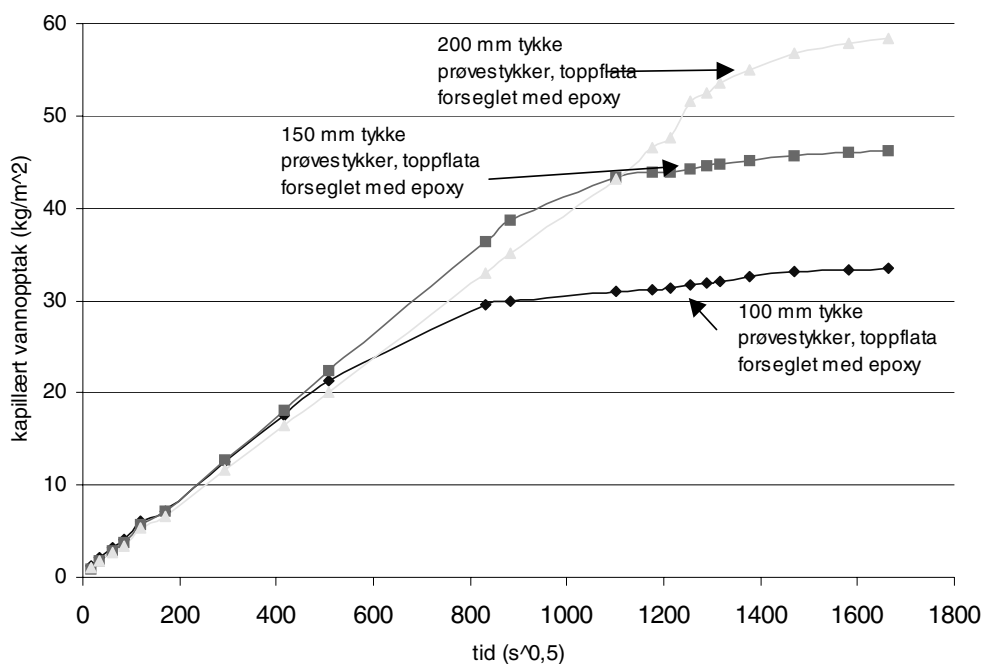
Figur 14

Kapillært vannopptak for 4 ulike pusstyper. For de tre øverste kurvene har væske nådd toppflaten av prøven etter henholdsvis 1 og 4 timer. For den nederste kurven har ikke væske nådd toppflaten av prøven da målingen ble avsluttet.



Figur 15

Kapillært vannopptak som funksjon av tid for 100 mm tykke prøvestykker av gassbetong.

**Figur 16**

Kapillært vannopptak som funksjon av tid for prøvestykker av gassbetong med ulik tykkelse og toppflaten forseglet.

Kapillær vannabsorpsjonskoeffisient beregnes i henhold til prEN ISO 15148 på følgende måte:

$$A_w = \frac{m_f - m_0}{\sqrt{t_f}} \quad [3]$$

hvor

- m_f er vekta av prøvestykket ved tidspunkt f (kg/m^2),
- m_0 er vekta av prøvestykket ved start (kg/m^2),
- t_f er tida (s).

Tabell 5

Måleresultater for kapillært vannopptak gitt i henhold til prEN ISO 15148

Materiale	Tykkelse på prøvestykke [mm]	Kapillær vannabsorpsjonskoeffisient A_w [$\text{kg/m}^2\text{s}^{1/2}$]	Bestemt ved t_f
C-mørtel KI B (Leca B-mørtel)	50 mm	0,05	4 timer
KC 35/65 (Leca fasadepuss)	50 mm	0,07	4 timer
C-mørtel KI B m/lateks (Trondheim Mørtelverk)	50 mm	0,005*	24 timer
KC 50/50 (Trondheim Mørtelverk)	50 mm	0,17	1 time
Gassbetong	100 mm	0,041*	24 timer
Gassbetong**	100 mm	0,040*	24 timer
Gassbetong**	150 mm	0,044	72 timer
Gassbetong**	200 mm	0,039	72 timer

* Verdien skal ifølge standard oppgis som A_{24}

** Toppflata på prøvestykkene er forseglet med epoxy-lim

5 Vurdering

5.1 Vanndampovergangstall

Målingene som er presentert i tabell 3, viser lavere verdier sammenlignet med tidligere rapporterte verdier av Jacobsen og Aarseth (1999) og Wadsø (1993), se kapittel 2. Våre måledata har til dels store variasjoner for et og samme material fra serie til serie, her synliggjort ved et standardavvik. Avviket er størst for den hydrauliske kalkmørtelen (standardavviket representerer 38 % og 66 % ved henholdsvis 1,5 m/s og 5 m/s). Standardavviket for de andre materialene representerer avvik fra 4 % til 36 %. Resultatene fra målingene viser videre at for noen materialer er det tilnærmet ingen forskjell i vanndampovergangstallet ved de to vindhastighetene 1,5 m/s og 5 m/s. Bare fra den frie væskeflaten har en oppnådd en betydelig forskjell i vanndampovergangstall, dvs. en dobling (fra 56 til $135 \cdot 10^{-9}$ kg/m²sPa) i vanndampovergangstall fra 1,5 m/s til 5 m/s. Årsaker til de store avvikene kan skyldes forhold knyttet til materialene, dvs. prøvestykkene, så vel som i prøveutstyr og prosedyrer. Prøvingsapparatene har blant annet avleserutstyr som er forholdsvis grovt i forhold til de små mengdene fuktighet/væske det her er snakk om. Vi registrerer at for de laveste vanndampovergangstallene er avvikene prosentvis størst.

Laboratorieforsøkene for å bestemme vanndampovergangstall viste seg svært ressurskrevende å gjennomføre. Til tross for oppgraderinger av prøveapparatene viser resultatene at det er krevende å få apparatene til å gi helt stabile forhold. Dette har påvirket sikkerheten til måleresultatene.

Beregninger viser små forskjeller i fukttransport (fuktfluks) under normale forhold ved å endre vanndampovergangstallet fra 50 til $500 \cdot 10^{-9}$ kg/m²sPa. Ved "tørre" forhold som oppnås etter relativt kort tid for en veggflate som har blitt fuktet opp av nedbør, er det tilnærmet ingen forskjell i fukttransport. Tiden en overflate er vannmettet er svært kort sammenlignet med tiden en overflate er "tørr", og vanndampovergangstallet beregnet ut fra disse målingene har derfor relevans bare i korte perioder.

I forbindelse med vurderinger av innvendige overflaters betydning for fuktbufring kan vanndampovergangstallet ha en viss betydning i forhold til hvor store mengder fuktighet som vil magasineres. Det finnes ikke en entydig definisjon på begrepet fuktbufring, men med begrepet menes et materials evne til å ta opp og avgi fuktighet som funksjon av tid. Begrepet brukes i situasjoner hvor det er ønskelig å benytte egenskaper i et materiale til å dempe svingninger i relativ luftfuktighet i et rom.

5.2 Vanndampgjennomgang

Resultatene inkludert ett standardavvik viser at det er oppnådd jevne måleresultater. Standardavviket er i størrelsesorden 5 – 10 %.

Dersom verdiene sammenlignes med tilsvarende verdier for et 10 mm tykt betongsjikt med tilsvarende fuktighet (s_d -verdi ~ ca. 1000 mm) ser vi at den mest åpne pussen KC 50/50 er omtrent 10 ganger mer dampåpen enn betongen. KC 35/65, en puss med en noe større andel sement, er omtrent 7 ganger mer dampåpen. Videre er en ren C-mørtel Kl B 3 – 5 ganger mer dampåpen, mens C-mørtel Kl B m/lateks er omtrent 2,5 ganger mer dampåpen enn tilsvarende tykkelse betong.

Måling av vanndampgjennomgangstall – s_d -verdier for ulike typer puss viste at et 10 mm tykt puss-sjikt av de prøvde typene kan karakteriseres som dampåpne. I forhold til produktgruppen vindspærre hvor NBI har anbefalt verdi for dampåpenhet kan alle de prøvde

pusstypene karakteriseres som dampåpne. NBI anbefaler en maksimal s_d -verdi på 0,5 meter for vindsperrer.

Målemetoden er akkreditert ved NBIs laboratorium i Trondheim. Usikkerheten i målingene ligger i størrelsesorden 8 – 12 %.

5.3 Kapillær vannabsorpsjon

Måleresultatene viser at KC 50/50 har den største kapillære vannabsorpsjonskoeffisienten etterfulgt av C-mørtel K1 B samt KC 35/65 som har tilnærmet like verdier. C-mørtel K1 B m/lateks har et betydelig lavere kapillært vannopptak. Ved 24 timer hadde enda ikke væske nådd toppflaten av prøven.

Måling av vannopptak gitt som A_w -verdier ($\text{kg/m}^2\text{s}^{0.5}$) for de ulike typene puss gir resultater som korresponderer med de målte vanndampgjennomgangstallene. Det er å forvente at pussmørtlene med lavest s_d -verdi, dvs. de som er mest dampåpne, også har høyest vannopptak, dvs. høyest A_w -verdi. KC 50/50 har lavest s_d -verdi og høyest A_w -verdi, med KC 35/65, C-mørtel K1 B og C-mørtel K1 B m/lateks deretter.

Målte fukttekniske egenskaper for pussmørtlene forklarer hvorfor Kvande og Waldum (2002) oppnår regntett pussbehandling ved bruk av en C-mørtel K1 B eller en M-mørtel K1 B som grunningsjikt siden disse mørtlene er mindre dampåpne og har lavere vannopptak enn mørtler tilsatt kalk.

Målingene på gassbetong er gjort på prøvestykker med forskjellige tykkelser og både med og uten forsegling på toppflata. Verdiene for gassbetong for alle typer prøvestykker er i samme størrelsesorden, noe som indikerer at tykkelsen på prøvestykket og behandling av toppflata har liten betydning for beregnet verdi for A_w .

6 Videre arbeid

Murte konstruksjoners egenskaper ved fukt- og regnpåkjønning er tema også for videre arbeid innenfor FoU-programmet Klima 2000. Temaet inngår sentralt i prosjekt 9 *Krav til fasadesystemer i forhold til slagregnpåkjønning*.

En viktig del av prosjekt 9 er å oppgradere eksisterende beregningsverktøy for fukttekniske analyser. NBI har sammen med Institutt for bygg, anlegg og transport ved NTNU inngått et samarbeid med Fraunhofer Institut für Bauphysik i Holzkirchen om en norsk versjon av fukt- og varme beregningsverktøyet WUFI. Verktøyet er pr. i dag det beregningsverktøyet som har flest brukere. Ved hjelp av beregningsverktøyet vil det bli gjennomført analyser av oppfuktings og uttørkingspotensial for blant annet murte fasader. Materialelegenskapene presentert i denne rapporten vil være viktige inngangsparametere i slike beregninger.

7 Konklusjon

I denne rapporten er presentert resultater fra måling av henholdsvis *vanndampovergangstall*, *vanndampgjennomgang* (s_d -verdier) og *vannabsorpsjon* for ulike mineralske materialer. Dette er materialegenskaper som behøves i forbindelse med modellering av fukttransport i porøse bygningsmaterialer og ved bruk av fuktregningsprogrammer. Resultatene fra målingene gjør oss i stand til å gjennomføre beregninger av fukttransport i alle aktuelle fukttilstander for noen utvalgte aktuelle bygningsmaterialer.

De presenterte verdiene for materialers vanndampovergangstall er gyldige for situasjoner der materialoverflaten er vannmettet, for eksempel etter en regnværsperiode. Denne perioden er normalt kortvarig. Resultatene for vanndampgjennomgang gjelder for materialer med luftfuktighet på over 50 % RF. Det er i det høye fuktområdet en ofte kan få kritiske situasjoner med hensyn på fukt, for eksempel ved biologisk vekst og frostsprengning. Generelt er det slik at vanndampgjennomgangen for et materiale øker med økende fuktinnhold. Vannopptak gitt som A_w -verdier gjelder for materialer som står i kontakt med fritt vann.

Arbeidet med denne rapporten viste at måling av materialparametere kan være vanskelig og svært ressurskrevende. Spesielt gjelder dette bestemmelse av vanndampovergangstall. Til tross for oppgraderinger av prøveapparatene viser resultatene at det er krevende å få apparatene til å gi helt stabile forhold. Dette har påvirket sikkerheten til måleresultatene. Prøvemethoden er ikke standardisert og vil ikke bli benyttet mer i det videre arbeidet i dette prosjektet.

Vanndampovergangstallene som benyttes i de fleste fuktregningsprogram er høyere enn verdiene som ble oppnådd ved måling i dette prosjektet.

For måling av vanndampgjennomgang/vanndampmotstand er målemethoden standardisert. Målemethoden er også akkreditert ved NBI's laboratorium i Trondheim. NBI har utført denne type målinger på blant annet plate- og rullprodukter i mange år. Målingene er mindre ressurskrevende enn for eksempel måling av vanndampovergangstall, og ønsket nøyaktighet oppnås.

Vannopptak/ kapillaritet gitt som vannabsorpsjonstall A_w , bestemmes etter standardisert metode. Målingen er relativt enkel å gjennomføre og krever relativt små ressurser. Verdien brukes indirekte i fuktregningsprogrammer.

Litteratur

- Bergheim, E., Geving S., and Time, B. (1998)
Hygroscopic material properties, Water vapour permeability and hygroscopic sorption curves for materials used in a test house, Project report **234**, Norwegian Building Research Institute 1998
- Dührkop, H., Saretok, V., Sneck, T. og Svendsen, S. D. (1966)
Mørtel – Mur – Puss, Håndbok **20**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1966
- Geving, S. og Thue, J.V. (2002)
Fukt i bygninger. Håndbok **50**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 2002
- Isaksen, T. (1964)
Fugeutforming og slagregngjennomgang. Særtrykk **93**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 1964
- Jacobsen, S. og Aarseth, L.I. (1999)
Effect of wind on drying from wet porous building materials surfaces – A simple model in steady state, Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol. 32, January-February 1999, pp 38-44
- Jelle, B.P. og Lisø, K.R. (2003)
Slagregn - klimadata og grunnlag for beregninger. Delrapport fra prosjekt 11 i FoU-programmet "Klima 2000". Prosjektrapport **344**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 2003
- Kvande T. og Waldum A.M. (2002)
Erfaringar med puss som vern ved regnpåkjennning, Delrapport frå prosjekt 9 i FoU-programmet "Klima 2000", Prosjektrapport **320**, Norges byggforskningsinstitutt 2002
- Kvande, T., Lisø, K.R. og Time, B. (2003a)
Luftede kledninger, klimapåkjenninger, erfaringer og anbefalinger, Rapport **115**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 2003
- Kvande, T., Lisø, K.R. og Waldum A.M., (2003b)
Rehabilitering av tak og teglfasader. HM Kongens Garde Huseby Leir, Rapport **116**, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 2003
- Lisø, K.R. og Kvande, T. et al. (2004)
Klima 2000- Klimatilpasning av bygningskonstruksjoner – Program 2000 – 2006. Programbeskrivelse, rev. dato 13.03.2004, Norges byggforskningsinstitutt, Oslo 2004
- Monsen, L. og Olsen, E. (2003)
Tilstandsvurdering Jugendstilhus i Ålesund. Skademekanismer og utbedringsalternativer, Hovedoppgave, Institutt for bygg, anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim 2003
- NS 3120
Murmørtler. Egenskaper og klassifisering. Norges Standardiseringsforbund, 1. utg., Oslo 1988

NS-EN ISO 12572

Byggematerialers og –produkters hygrottermiske egenskaper. Bestemmelse av egenskaper. Bestemmelse av egenskaper ved vanndampgjennomgang (ISO 12572:2001). Norges Standardiseringsforbund, 1.utg. oktober 2001.

PrEN ISO 15148

Building materials – Determination of moisture permeability – Principles of testing : Part 2 Liquid water transport, CEN/TC 89 WG10 N189 30/09/97

Schwarz, B. (1971)

Die Wärme- und Stoffübertragung an Außenwandoberflächen, Berichte aus der Bauforschung Heft 79, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1971

Solberg, V. (2001)

Vanndampgjennomgang og vannabsorpsjon på puss-systemer, Institutt for bygg- og anleggsteknikk, NTNU, Fordypningsprosjekt 2001

Time, B. (2001)

Assignment Report- Measurements of water intake for aerated concrete, NBI-report E 8624, 13.08.2001, Norwegian Building Research Institute 2001

Wadsø, L. (1993)

Studies of Water Vapor Transport and Sorption in Wood , Doctoral Dissertation, Report TVBM-1013, Building Materials, Lund University, Lund 1993

Welty, J. R., Wicks, C. E. and Wilson, R. E. (1983)

Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer, third edition, John Wiley & Sons, 1983