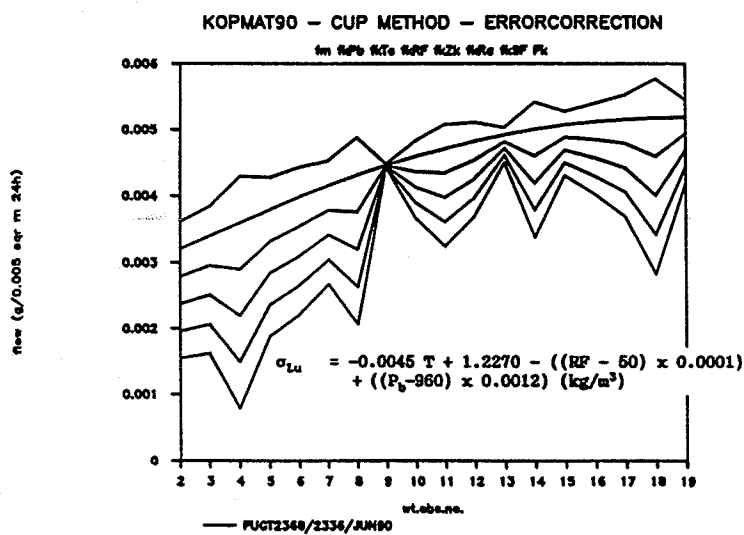


fugtfysik

kopmetoden - kritisk analyse og metodeudvikling

HANS BRUNO LUND



JULI 1990

THE TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BUILDING MATERIALS LABORATORY

INDHOLD

SUMMARY	i
KURZFASSUNG	iii
INTRODUKTION	v
SAMMENFATNING	vii
 1 KOPMETODEN	 1
1.01 KOPMETODENS IDEGRUNDLAG	1
1.02 DE FIRE STANDARDFORMLER	1
1.03 KURVEANALYSER	2
 2 BAROMETERTRYKKET SOM FEJLKILDE	 5
2.01 KONSTATERING AF FÆNOMENET	5
2.02 FORKLARING PÅ FÆNOMENET	6
2.03 US ROUND ROBIN 1985	6
2.04 NORDISK ROUND ROBIN 1985	6
2.05 PROBLEMETS OMFANG	6
2.06 STIFT ELLER ELASTISK MATERIALE	7
 3 LUFTLAGET I KOPPEN SOM FEJLKILDE	 7
3.01 ANN-CHARLOTTE ANDERSSON OG GÖRAN HEDENBLAD	7
3.02 LUFTLAGET I KOPPEN SOM FEJLKILDE	7
3.03 LUFTLAGET I KOPPEN EN DOBBELT FEJLKILDE	8
3.04 BAROMETERTRYK OG LUFTLAG - KOPMETODENS STØRSTE FEJLKILDER	9
3.05 GIPS TRANSPORTERER LANGT MERE FUGT END ANTAGET	9
3.06 BEREGNING AF MODSTANDEN I ET LUFTLAG PÅ 1 CM	10
 4 ANDRE FEJLKILDER	 10
4.01 SPRØJT SOM FEJLKILDE	10
4.02 UDBØJNING SOM FEJLKILDE	11
4.03 KOPFORSØG MED ELLER UDEN VAT	11
4.04 VINDHASTIGHEDEN OVER KOPPERNE SOM FEJLKILDE	12
4.05 VANDDAMPDIFFUSIONSKOEFFICIENTEN SOM FEJLKILDE	12
4.06 RANDEFFEKTEN SOM FEJLKILDE	13
4.07 KOMPRESSIONSEFFEKTEN SOM FEJLKILDE	13
4.08 OVERGANGSMODSTANDE I KOPPEN SOM FEJLKILDER	14
4.09 DÅRLIGE MÅLEINSTRUMENTER SOM FEJLKILDER	14
 5 FRA STATISK TIL DYNAMISK FUGTTTRANSPORT	 14
5.01 FLOWKURVEANALYSER	14
5.02 TIDSINTERVAL SOM FEJLKILDE	15
5.03 BRUDSTYKKER AF EEN OG SAMME FLOWKURVE	15
5.04 FALDENDE OG STIGENDE FLOWKURVER	17

6	MOISTURE DYNAMICS	17
6.01	LIGEVÆGTSTILSTANDEN EN UNDTAGELSE I PRAKSIS	17
6.02	MOISTURE DYNAMICS	18
6.03	MATERIALESTRUKTUR OG FUGTTTRANSPORT	18
6.04	FICK'S LOV FRA 1855	19
6.05	GYPROC AB - MÅLING AF VANDDAMPDIFFUSIONSMODSTAND	22
6.06	GYPROC AB - ENDNU ET BROGET BILLEDE AF FLOWKURVER	23
6.07	FLOW OG IKKE Z_p SOM PRIMÆR MÅLEENHED FREMOVER	24
6.08	KONTINUERLIG FLOWMÅLING	24
7	KOPMETODEN OG KOPLYSE	25
7.01	KOPLYSES IDEGRUNDLAG	25
7.02	METODE, Udstyr OG PROGRAM	26
7.03	KOPLYSE'S BEGRÆNSNINGER	26
8	METODE- OG PROGRAMUDVIKLING	27
8.01	BEHOV FOR EN REVIDERET KOPMETODE	27
8.02	MÅLSÆTNING FOR EN REVIDERET KOPMETODE	28
8.03	BAROMETERTRYKKET - DET MÅLETEKNISKE PROBLEM	28
8.04	BAROMETERTRYKKET - DEN VALGTE LØSNING	28
8.05	KOPMETODEN - FRA FEJLKILDER TIL METODEUDVIKLING	29
9	KOPMAT90 - METODEUDVIKLING	30
9.01	METODENS IDEGRUNDLAG	30
9.02	TRIN 01 - BEREGNING AF MASSEÆNDRING	33
9.03	TRIN 02 - KORREKTION FOR BAROMETERTRYK (1)	34
9.04	TRIN 03 - KORREKTION FOR TEMPERATUR	36
9.05	TRIN 04 - KORREKTION FOR RELATIV FUGTIGHED (RF)	39
9.06	LUFTLAGSMODSTANDEN I KOPPEN Z_{Lu}	41
9.07	OVERGANGSMODSTANDENE Z_{Ne} OG Z_{Op}	43
9.08	VINDHASTIGHEDEN OVER KOPPEN	43
9.09	BAROMETERTRYKKETS INDFLYDELSE PÅ δ_{Lu}	45
9.10	TRIN 05 - KORREKTION FOR KOPMODSTANDE	46
9.11	TRIN 06 - KORREKTION FOR RAND- OG KOMPRESSIONSEFFEKT	49
9.12	ÅBNE OG TÆTTE MATERIALER	53
9.13	KORREKTION FOR BAROMETERTRYK - BEREGNINGSPRINCIP	55
9.14	BAROMETERTRYKKET OG LUFTENS VÆGTFYLDE	56
9.15	BAROMETERTRYKKET - ET GENNEMREGNET EKSEMPEL	61
9.16	TRIN 07 - VALG AF MEST TROVÆRDIG FLOWKURVE	66
9.17	TRIN 08 - KORREKTION FOR BAROMETERTRYK (2) OG FORSØGSRESULTAT ...	67
9.18	TRIN 09 - SUPPLERENDE RESULTATDATA	68
9.19	SAMMENFATNING I FORMLER	70
10	KOPMAT90 - PROGRAMUDVIKLING	78
10.01	PROGRAMMET OPBYGNING	78
10.02	DE ENKELTE PROGRAMTRIN	79
10.03	KOPMAT90 - EKSEMPEL 1	81
10.04	KOPMAT90 - EKSEMPEL 2	82
10.05	KOPMAT90 - EKSEMPEL 3	83

11	FORSKNING OG SYSTEMATISK PRODUKTUDVIKLING	88
	SYMBOLLISTE	90
	LITTERATURLISTE	99
	NOTER TIL BILAG	107
	BILAG	

SUMMARY

Damages caused by moisture goes into billions even in a small country like Denmark with only 5 million inhabitants.

A main reason is that moisture appears where we don't expect it.

One acceptable explanation could be that our methods for measuring moisture transport through our materials and constructions are inadequate, and in fact they are.

If we can't measure moisture transport with a reasonable degree of accuracy, we can't expect our materials and constructions to be any better.

Since the mid-thirties the so-called CUP METHOD has been used world-wide as the foremost method for measuring moisture transport through materials of almost any kind from building materials to packings and paints.

The present work has analysed and evaluated the method finding errors up to 100 or 200% when moisture transport measurements are carried out on open or closed materials respectively.

This means for instance that the moisture flow through gypsum constructions easily could be twice the values reported in the literature which in this case might be a quality not a problem.

But we have a problem when the traditional cup method tells us that a material shows no moisture flow and the statement is wrong.

The effect of variations in the barometric pressure during moisture flow measurements with the cup method on closed and stiff materials was found in April 1989 and quantified during the project. It showed to be a non recognized but prime source to errors.

In spring this year we received a US-report /110/ telling us that Wilkins and Pullan have reported on the same effect in december 1988 /117/.

Not taking the barometric pressure into account is supposed to be the reason for failing results from calibration efforts on a range of different materials carried out by 12 respectively 10 laboratories in the United States and in Scandinavia in 1985.

During the project several new sources of errors in the cup method were identified and quantified and it was even shown that the basic concept of the cup method - the steady rate of weight gain or loss - cannot be obtained when we measure moisture flow through open materials.

We also looked into the old and wellknown errors and the quantification of these errors and it was an interesting but surprising finding that most of them are described in the literature of moisture physics but without having found their way into the international standard specifications for the use of the cup method.

A conclusion of the above findings is that many values in the world literature on the water vapor permeability or the water vapor resistance of materials of different kinds are if not wrong then at least vitiated by considerable errors and has to be revised.

A further conclusion is that moisture physics has to move from its present static approach to a more dynamic and the concept MOISTURE DYNAMICS was introduced.

During the project we also looked upon Fick's law from 1855 with the question: Is this basic but simple law of diffusion sufficient to handle the flow problems we face in our modern and very complex materials and constructions?

Finally we took upon us to try to develop a new and as we hope approved cup method CUPMAT90 with a corresponding program taking all our error-findings into the calculations of the moisture flow and the moisture resistance values.

We hope that the approved method will be of value to researchers and product development people within different fields of activities with moisture flow as their common problem and interest.

KURZFASSUNG

Schäden, die durch Feuchtigkeit verursacht sind, laufen - selbst in einem kleinen Land wie Dänemark - in den Milliarden.

Eine Ursache ist, daß Wasser und Wasserdampf sich oft dort befinden, wo man es am wenigsten erwartet.

Eine Erklärung könnte sein, daß unsere Methoden zur Meßung von Wasser- und Wasserdampftransport durch unsere Materialien und Konstruktionen nicht genau genug sind.

Dies ist tatsächlich der Fall.

Wenn wir die Feuchtigkeitsbewegungen nicht korrekt messen können, dann können wir auch nicht optimale Produkte und Konstruktionen erwarten.

Seit Mitte der dreißiger Jahren ist die sogenannte CUP METHOD die weltweit am meisten benutzte Methode zur Messung von Wasser- und Wasserdampfdurchlässigkeit von Materialien verschiedenster Art, von Bau- und Konstruktionsmaterialien über Verpackungen bis zur Anstrich- und Rostschutzfarben.

In der hier vorliegenden Arbeit ist die CUP METHOD kritisch analysiert und bewertet worden mit dem Ergebnis, daß die Methode mit Fehlern schwankend von 100 bis 200% behaftet ist, je nachdem ob die Messungen auf offenen oder dichten Materialien durchgeführt werden.

Das bedeutet u.a., daß der Feuchtigkeitstransport durch z.B. Gipsplatten leicht das zweifache der Literaturwerte annehmen kann, was aber nicht unbedingt ein Problem sein muss, vielleicht sogar eher das Gegenteil.

Ein Problem liegt aber vor, wenn wir messen, daß ein Produkt, z.B. eine Dampfsperre oder eine Dachfolie, unbedingt Wasser- und Wasserdampfdurchlässig ist, und dies nicht der Fall ist.

Der Einfluß von Variationen im Barometerdruck während der Meßperiode wurde im April 1989 als eine bisher nicht erwähnte aber sehr wesentliche Fehlerquelle der CUP METHOD gefunden und später quantifiziert.

Im Frühling 1990 wurde uns ein US-Rapport zugeschickt /110/, der zeigte, daß Wilkins und Pullan im Dezember 1988 über dieselbe Fehlerquelle berichtet haben /117/.

Bei dichten, steifen Materialien sind Fehler von 200% oder mehr möglich.

Fehlende Rücksichtnahme auf den Barometerdruckeffekt ist vermutlich die Ursache für unzufriedene Ergebnisse von Samkalibrierungsversuche (ROUND ROBINS) auf Materialien verschiedenster Art, die von 12 Laboratorien in den Vereinigten Staaten und 10 Laboratorien in Skandinavien im Jahre 1985 durchgeführt wurden.

Während des Projektes wurde weitere neue Fehlerquellen der CUP METHOD identifiziert und quantifiziert, und es wurde u.a. gezeigt, daß das Grundkonzept der Methode in Wirklichkeit überhaupt nicht befriedigt werden kann, wenn auf offenen Materialien gemessen wird.

Bekannte Fehlerquellen wurden nochmals überprüft, und es ist hier erstaunlich feststellen zu müssen, daß sie wohl eingehend in der Fachliteratur beschrieben sind, ohne den Weg zu den internationalen Normen und Anweisungen gefunden zu haben.

Eine Konklusion der hier vorliegenden Arbeit ist somit, daß viele weltweit angegebene Werte über Wasser- und Wasserdampfdurchlässigkeit oder Widerstandswerte verschiedener Materialien und Konstruktionen wenn nicht direkt falsch, dann doch mit erheblichen Mängeln und Fehlern behaftet sind und deshalb revidiert werden müssen.

Eine weitere Konklusion wurde, daß die Bauphysik sich mehr in Richtung dynamischer statt stationäre Studien der Feuchtigkeit bewegen muss, und MOISTURE DYNAMICS wurde als richtungsweisendes Konzept skizziert.

Es wurde auch gezeigt, daß das Diffusionsgesetz von Fick (1855) eine Erweiterung bedarf, wenn es die Komplexibilität moderner Materialien und Konstruktionen zum Ausdruck bringen soll.

Schließlich wurde als Gesamtergebnis eine neue und erweiterte Methode KOPMAT90 entwickelt, die sämtliche Fehlerquellen der bisherigen CUP METHOD berücksichtigt.

Wir hoffen, daß KOPMAT90 in Zukunft benutzt wird von Fachläuten der Forschung und der Industrie, die Feuchtigkeit und Feuchtigkeitstransport als gemeinsames Problem- und Interessengebiet haben.

INTRODUKTION

Som arbejdets titel angiver, så er emnet for det her foreliggende projekt den gennem mere end 50 år mest udbredte og mest benyttede metode til måling af vidt forskellige materialers fugtmekaniske egenskaber, nemlig den såkaldte KOPMETODE.

Projektet omfatter en kritisk analyse af metoden med henblik på kortlægning og kvantificering af kendte og nye fejkilder, og førte i øvrigt til udvikling af en ny og udvidet kopmetode KOPMAT90 med tilhørende databehandlingsprogram, der ligeledes fik betegnelsen KOPMAT90.

Projektet beskriver således ikke den traditionelle kopmetode og heller ikke målinger ved hjælp af denne metode. Her henvises læseren til litteraturlisten, specielt til 4 rapporter fra Laboratoriet for Bygningsmaterialer /08/, /114/, /115/ og /116/.

Projektet kommer kun ind på fugtforskningens teori der, hvor vi har fundet anledning til at kommentere iagttagede teoretiske problemer, hvorfor læseren henvises til f.eks. Anders Nielsens to bøger /83/ og /84/ samt til publikationer som /03/, /24/, /86/, /97/, /111/ eller /112/ for blot at nævne nogle eksempler.

I rapporten, der nødvendigvis måtte være rimeligt kortfattet, henvises der ofte - og med sideangivelse (45), (74) osv. - til mine egne personlige arbejdsnotater, litteraturlistens henvisning nr. 76.

Det her foreliggende arbejde er en videreførelse af projektet "Fugt i Byggematerialer", der blev støttet af Statens teknisk-videnskabelige Forskningsråd (STVF) over Forskningsprogrammet for teknologisk udvikling (FTU) og gennemført i årene 1987-89.

Iagttagelsen af barometereffekten som en hidtil overset men væsentlig fejkilde ved kopmetoden førte til fornyet støtte fra STVF til projektet "Undersøgelse af atmosfæretrykkets indflydelse på koppens vægtændring i forbindelse med kopmetodens anvendelse til måling af fugttransportkoefficienter i bygningsmaterialer", der blev påbegyndt i slutningen af 1989, og hvis væsentligste resultater er indeholdt i den her foreliggende rapportering.

Kortlægning og kvantificering af den nye fejkilde fandt også støtte hos Legatet Omnia-Fonden til delprojektet "Kortlægning af overset fejkilde ved kopmetoden til måling af fugttransportkoefficienter i byggematerialer, emballager mv."

Også Fællesmarkedets Community Bureau of Reference (BCR) viste interesse for den igangværende kortlægning af kopmetodens fejkilder, og Laboratoriet for Bygningsmaterialer kom med som deltager i intercomparison-projektet "Water Vapour permeability of insulating materials" /21/ og /22/.

En tilsvarende interesse blev vist hos Dansk Standardiseringsråd samt hos de øvrige nordiske standardiseringsorganisationer Byggstandardiseringen, Byggnadsämnesindustriföreningen og Norges Byggstandardiseringsråd med anbefaling om NORDTEST-støtte til LBM-projektet "NORDTEST-metoder i CEN standard for bestemmelse af fugttransportkoefficienter med kopmetoden" til følge /94/.

Under projektperioden har der ligeledes været gennemført et samarbejdsprojekt med GYPROC AB, Malmö. Også dette arbejde har haft stor betydning for realisering af den samlede projektmålsætning.

Jeg vil gerne benytte denne lejlighed til at takke for den modtagne økonomiske støtte uden hvilken, det her rapporterede forskningsprojekt ikke havde kunnet gennemføres.

Også tak til mine arbejdskolleger på LBM, det være sig teknisk og administrativt personale eller laboratoriets lærere og forskere for hjælp og inspiration af den ene og den anden art.

En specielt tak til Kurt Kielsgaard Hansen, Anders Nielsen og Carsten Bredahl Nielsen for deres aldrig svigtende interesse i projektet.

En tilsvarende tak skal gå til Vagn Korsgaard og Carsten Rode Pedersen fra Laboratoriet for Varmeisolering, DTH; Per-Olof Mattsson og Rolf Öhman, GYPROC AB; Vagn Nygaard, GYPROC A/S samt til Göran Hedenblad, Lunds Tekniska Högskola og Bengt Svennerstadt, Sveriges Lantbruksuniversitet.

SAMMENFATNING

Det foreliggende arbejde har titlen: Kopmetoden - kritisk analyse og metodeudvikling og falder som sådan naturligt i to dele.

Den første beskæftiger sig med den kritiske analyse, dvs. kortlægning og begyndende kvantificering af kopmetodens desværre mange fejlkilder og omfatter kapitlerne 1 - 7. I denne del kommer vi også ind på emner som Moisture Dynamics og Fick's lov.

Den anden, der omfatter kapitlerne 8 - 11, beskæftiger sig med udvikling af en ny og forhåbentlig bedre kopmetode med udgangspunkt i de erfaringer, der er indhøstet under første halvdel af projektet.

Kopmetodens idégrundlag defineres (1.01), og vi kommer kort ind på metodens 4 standardformler (1.02) og på de kurveanalyser, der har været et væsentligt værktøj i arbejdet (1.03).

I april 1989 må vi konstatere, at barometertrykket tilsyneladende er en meget væsentlig, men hidtil upåagtet fejlkilde ved kopmetoden (2.01). Professor Vagn Korsgaard forklarer fænomenet (2.02), og det får os til at tænke på manglende kendskab til denne fejlkilde som årsag til utilfredsstillende forsøg på samkalibrering i USA og i Skandinavien i 1985 (2.03 og 2.04). Fejlkilden er meget betydelig, idet der vil kunne opnås fejlfaktorer på 3 - 5 ved måling på tætte, stive materialer (2.05). Ved åbne materialer er barometereffekten helt uden betydning (2.06).

I foråret 1990 modtager vi en rapport fra USA /110/, hvori det fremgår, at Wilkins og Pullan har gjort den samme iagttagelse omkring barometereffekten, blot nogle måneder før os, nemlig i december 1988 /117/.

Inspireret af Ann-Charlotte Anderssons arbejder og en samtale med Göran Hedenblad fra Lunds Tekniska Högskola påbegyndes i juni 1989 en systematisk kvalitativ og kvantitativ kortlægning af andre til dels kendte til dels nye fejlkilder ved kopmetoden (3.01).

Luftlaget i koppen bekræftes som en meget betydelig fejlkilde ved måling på åbne materialer, hvor der let opnås fejlprocenter på op til 100 (3.02).

Ændringer i luftlagets tykkelse under måling på ligeledes åbne materialer konstateres som en ny og upåagtet fejlkilde. Denne nye fejlkilde betyder bl.a., at selve idégrundlaget i kopmetoden ikke er opfyldt, når der måles på åbne materialer (3.03).

Herefter kunne barometereffekten og luftlaget i koppen betragtes som kopmetodens to væsentligste fejlkilder (3.04).

Effekten af tykkelsen af luftlaget, og ændringer i denne under forsøgsperioden, blev efterprøvet på gipsplader med den konklusion, at disse er langt mere åbne end tidligere antaget, hvilket imidlertid næppe er at betragte som en dårlig egenskab, snarere tværtom (3.05).

Endelig kunne tidligere målinger af modstanden i et luftlag på 1 cm, udført af Erik Nilsson og Charles M. Hansen, bekræftes gennem vores egne forsøg (3.06).

Sprøjt af vand op på undersiden af prøveemnet under måleperioden betyder kortperiodisk reduktion af de målte Z_p -værdier på op til 35% (4.01).

Udbøjning af prøveemnet p.g.a. fugtpåvirkninger giver anledning til to nye, men helt ubetydelige fejlkilder (4.02).

Kopforsøg med eller uden vat i kopperne til forhindring af sprøjt er en fejlkilde, idet kopper med vat kunne vise op til 45% højere Z_p -værdier. En af Kurt Kielsgaard Hansen foreslået løsning synes at give de mest sikre måleresultater (4.03).

Vindhastigheden over kopperne blev også kortlagt og kvantificeret. En forøgelse af vindhastigheden fra 3 til 10 m/s betød et fald i de målte Z_p -værdier på 7% for kopper med vat og 4% for kopper uden vat (4.04).

Vi så kort på en hos DIN omtalt fejlkilde, hvorefter diffusionskoefficienten for vanddamp i luft påvirkes af variationer i barometertrykket (ikke at forveksle med den tidligere omtalte barometereffekt). Fejlkilden er meget beskeden (4.05).

Derimod er randeffekten, der er omhyggeligt behandlet i litteraturen, en væsentlig fejlkilde, specielt ved relativ tykke prøveemner, hvor den ved en prøveemnetykkelse på omkring 12 mm andrager ca. 16%. Randeffekten bliver dermed kopmetodens tredjestørste fejlkilde efter barometereffekten og luftlaget (4.06).

Kompressionseffekten, der hænger sammen med randeffekten, kom til som en ny fejlkilde i 1990. Den vil ved tykke og bløde prøveemner vel maksimalt kunne andrage 5% (4.07).

Overgangsmodstandene i koppen er som randeffekten behandlet indgående i litteraturen, og de skal naturligvis medtages i det samlede kompleks af fejlkilder (4.08).

Endelig er der naturligvis de fejlkilder, der kan føres tilbage til dårligt vedligeholdte og ikke kalibrerede instrumenter samt logiske og operationelle fejl i de dataprogrammer, der benyttes til opsamling og bearbejdning af kopforsøgets mange enkeltdata (4.09).

I oktober 1989 påbegyndtes en række flowkurveanalyser med udgangspunkt i data fra kopforsøg udført i 1988. Det sås overraskende, at de optegnede kurver ikke havde det forventede forløb, idet Z_p -værdierne faldt og a - og flowværdierne steg frem gennem forsøgsperioderne for de enkelte kopper (5.01).

Da det lineært forløbende flow nu synes at være undtagelsen frem for reglen i kopmetoden, kommer tidsintervallet mellem de enkelte vejninger ind som en ikke uvæsentlig og ny fejlkilde (5.02).

De ikke lineært forløbende flowkurver førte derefter til den arbejdshypotese, at de iagttagede kurver i virkeligheden er brudstykker af een og samme fugtflowkurve (5.03).

Fortsatte analyser af a -, Z_p - og flowkurver viste i øvrigt, at de kunne opdeles i to hovedgrupper, alt efter hvilken type af kopforsøg, der var tale om (5.04).

Arbejdshypotesen om een og samme fugtflowkurve (5.03) samt det forhold, at lineært forløbende kurver for a , Z_p og flowet skulle vise sig at være undtagelsen og ikke reglen i kopforsøg førte til begrebet eller konceptet MOISTURE DYNAMICS, omfattende en total kortlægning af et materiales flowdynamiske egenskaber (6.02).

Forudsætningerne herfor var imidlertid flere: For det første burde Fick's lov fra 1855 - gennem indførelse af en sammensat damppermeabilitetskoefficient - tilpasses til den særdeles komplekse struktur, som vi møder i vores materialer og konstruktioner (6.02, 6.03 og 6.04).

For det andet savner man en teoretisk fugttransportmodel som referenceramme til denne komplekse materialestruktur (6.02 og 6.03).

Endelig burde man gå over til flow og ikke Z_p som primær måleenhed (6.07) og i øvrigt i kombination med kontinuerlig flowmåling, hvor koppen forbliver på vægten gennem hele forsøgsperioden, og vægtændringerne automatisk overføres til dataopsamlingsprogrammet og med korte tidsintervaller (6.08).

Forsøg udført for GYPROC AB, Malmö viste endnu en gang, at der var problemer med selve idégrundlaget i kopmetoden, idet det kun var opfyldt ved omkring 25% af ialt 122 kopmålinger (6.05 og 6.06).

I sin nuværende udformning var kopmetodens begrænsninger dermed så iøjnefaldende (7.01 - 7.03), at der ved årsskiftet 1989/90 måtte tages skridt til udvikling af en ny metode der, udover at kunne klare barometereffekten, ville være i stand til at udnytte den viden om fugttransport, målt ved hjælp af kopmetoden, der var opbygget gennem 1989 (7.03 - 8.03).

En sådan metodeudvikling krævede imidlertid en løsning på et måleteknisk problem i forbindelse med barometertrykeffekten. Løsningen kom i form af en arbejdshypotese om kontinuerligt forløbende flowkurver (8.03 - 8.04).

Resultatet af metodeudviklingen blev KOPMAT90, der er en udvidet og forhåbentlig forbedret kopmetode, som imidlertid benytter stort set det samme udstyr som hidtil (kapitel 9).

I 9 beregningstrin omfattende omkring 60 beregninger med tilhørende formler korrigerer KOPMAT90 den målte masseændring (det målte flow) for samtlige indtil nu kortlagte og kvantificerede fejlkilder ved kopmetoden, og det er uden tvivl alle væsentlige fejlkilder (9.01).

I trin 01 beregnes masseændringen (det målte flow) på helt traditionel vis (9.02). Derefter foretages i trin 02 en første korrektion for barometereffekten (9.03). Variationer i målekammerets temperatur har indflydelse på kopmetodens drivende potentiale, og der korrigeres for denne fejlkilde i trin 03 (9.04). Derefter følger i trin 04 korrektion for variationer i målekammerets RF, der ligeledes er bestemmende for det drivende potentiale (9.05). I trin 05 korrigeres den målte masseændring (det målte flow) for de såkaldte kopmodstande, der omfatter overgangsmodstanden fra vandoverfladen til luftlaget i koppen, selve luftlaget og variationer i dette, barometertrykkets indflydelse på dampdiffusionskoefficienten for vanddamp i luft, overgangsmodstanden mellem luftlaget i koppen og prøveemnets underside samt overgangsmodstanden fra prøveemnets overside til den omgivne luft i målekammeret (9.10). Derefter følger korrektion for rand- og kompressionseffekt i trin 06 (9.11).

Det efter disse korrektioner resulterende flow danner nu udgangspunkt for KOPMAT90's valg af den mest troværdige korrektion for barometereffekten. Det sker i to omgange. Først i trin 07 på basis af en kurveanalyse (9.16) og derefter i trin 08, der er en efterkorrektion, og som samtidig beregner det endelige forsøgsresultat (9.17). Supplerende resultatdata beregnes i trin 09 (9.18).

I kapitel 9 går vi også lidt mere i dybden med hensyn til kopmodstandene (9.06 - 9.09) og barometereffekten (9.13 og 9.14), og vi ser på nogle modeller af størrelsesordenen for de forskellige fejlkilder ved mere eller mindre tætte eller åbne materialer (9.12).

Endelig sammenfattes de i KOPMAT90 benyttede formler (9.19).

Parallelt med selve metoden er der udviklet et databehandlingsprogram, der ligeledes har fået betegnelsen KOPMAT90 (kapitel 10).

Programmets opbygning, der naturligvis er et spejlbillede af metoden, beskrives (10.01), og der vises en liste over de enkelte programtrin (10.02).

Derefter følger 3 beregningseksempler, dels for et ret tæt materiale (10.03), dels for et åbent materiale (10.04) og endelig for et meget tæt materiale (10.05).

Som afslutning kommer vi kort ind på emnet forskning og systematisk produktudvikling (kapitel 11).

1 KOPMETODEN

1.01 KOPMETODENS IDEGRUNDLAG

Kopmetoden er stationær fugttransport mellem to damptryk målt som vægtændring af koppen som funktion af tiden. Det enkelte forsøg afsluttes, når denne vægtændring er konstant over et vist antal målinger. Konstant vægtændring betyder en ret linie i et koordinatsystem med tiden som x-akse og koppers masseændring som y-akse /116/.

1.02 DE FIRE STANDARDFORMLER

I dette afsnit benyttes følgende begreber og symboler:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Faktor for omregning fra SI-enhed s til min	60
Faktor for omregning fra SI-enhed kg til g	1000
Prøveemnets areal (m ²)	A
Hældningskoefficienten for masseændringskurven (g/min)	a
Koppers masseændring mellem to vejninger (g)	dm
Tidsinterval, specielt tidsintervallet mellem to på hinanden følgende vejninger (min)	dt
Vanddamps mætningstryk (Pa)	P _s
Den relative fugtighed inde i koppen (dim.løs)	RF _i
Den relative fugtighed i målekammeret (dim.løs)	RF _u
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand, hvor damptrykket er drivende (Pa s m ² /kg)	Z _p

De to første standardformler i KOPMETODEN er:

$$(1) \quad Z_p = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{\frac{dm}{dt}}$$

$$(2) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

Da vi imidlertid ofte omregner masseændringen (flowet) til g pr. 0.005 m² og døgn (1 døgn = 1440 min), bliver den tredje standardformel:

$$(3) \quad \dot{m} = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times 1440}{Z_p}$$

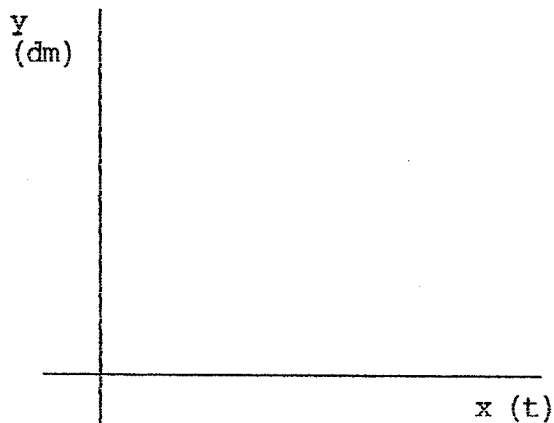
Det er potentialet $(RF_i - RF_u) P_s$, der "driver" en hvis fugtmængde gennem prøveemnets areal A inden for et bestemt tidsinterval, og størrelsen af denne fugtmængde er bestemt af det pågældende materiales fugttransportegenskaber, der kommer til udtryk i størrelsen Z_p .

Endelig har hældningskoefficienten a for masseændringskurven en stor betydning i en række situationer:

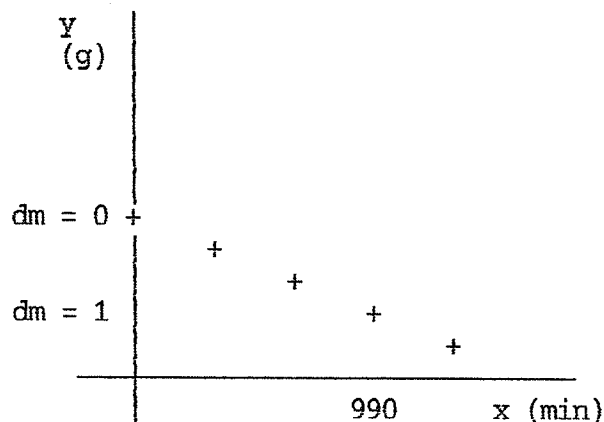
$$(4) \quad a = \frac{\dot{m}}{dt}$$

1.03 KURVEANALYSE

Den konstante vægtændring betyder som sagt en ret linie i et koordinatsystem med tiden som x-akse og koppens masseændring som y-akse:



I LBM's KOPMETODE, sådan som den kommer til udtryk i det tilhørende databehandlingsprogram KOPLYSE, har man for vådkopforsøget, der er det mest benyttede, valgt at placere nulpunktet for masseændringen (= forsøgets start) et stykke oppe af y-aksen. Vi får derfor, som forsøget skrider frem, en ret linie med negativ værdi for a . Antager vi, at den samlede masseændring efter 990 min blev på 1 g, så ville vi ved konstant masseændring mellem de enkelte måletidspunkter få:



Det giver en hældningskoefficient for masseændringskurven på:

$$(5) \quad -a = -dy/dx = -dm/dt = \text{konstant}$$

eller i vores konkrete eksempel:

$$(6) \quad -a = -1/990 = -0.001010$$

Bemærk, at med den relativt lille masseændring i forhold til et betydeligt antal min, så er det i kopmetoden ikke praktisk muligt at optegne kurver i målestok-korrekt forhold mellem x- og y-aksens værdier.

Antager vi endvidere, at koppens masse ved forsøgets start (y_0) var 200 g, så kan koppens masse efter f.eks. 891 min (y_1) naturligvis beregnes som:

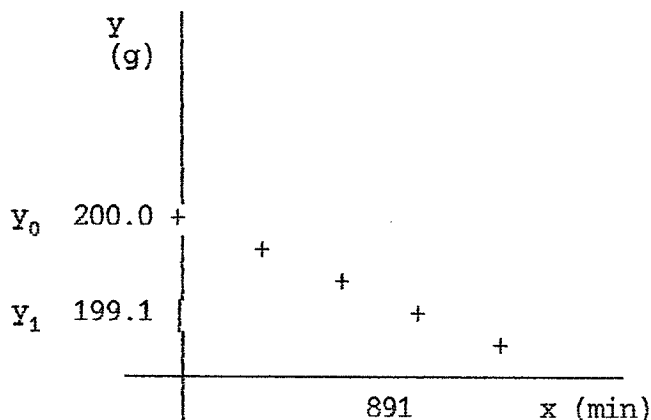
$$(7) \quad y_1 = -ax + b$$

hvor vi i vores eksempel får:

$$y_1 = -0.001010 \times 891 + 200$$

$$(8) \quad y_1 = 199.1 \text{ g}$$

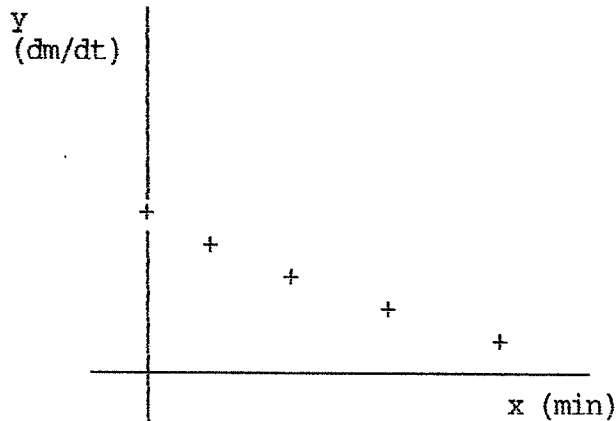
eller i kurvebillede:



Under projektet blev der, som vi senere skal se, også brug for kurver, hvor vi primært betragtede ændringen i flowet over tiden.

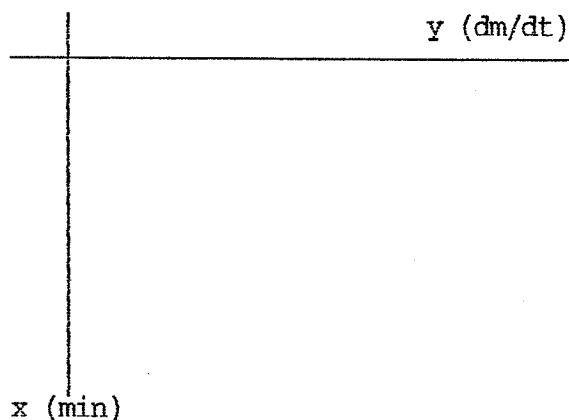
Her benyttede vi et koordinatsystem med flowet (flowændringen) (dm/dt) og ikke masseændringen dm op ad y-aksen.

Disse kurver skulle i øvrigt i langt de fleste tilfælde vise sig at have et ikke lineært forløb:

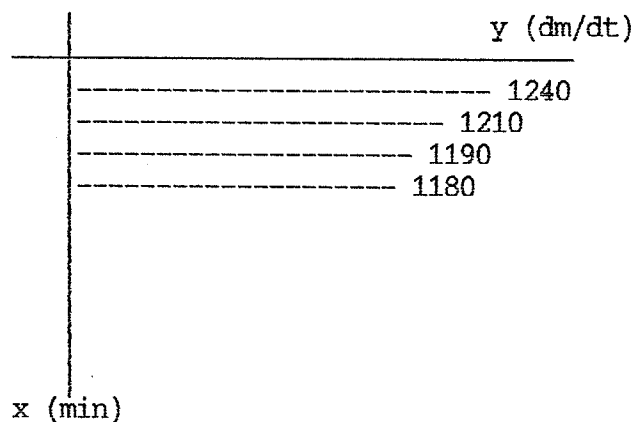


Da vi imidlertid benyttede Word Perfect som tekstbehandlingssystem, var det mere hensigtsmæssigt at optegne og udskrive kurverne på den anden måde.

Koordinatsystemet blev drejet 90° med uret:



Derefter blev de målte flow, der alle var omregnet til mg pr. 0.005 m^2 og 1440 min, afsat under hinanden, begyndende med flowet til vejetidspunkt 2, derefter flowet til tidspunkt 3 og under anvendelse af stiplede linier:



Forskellen i længden af de stiplede linier er et udtryk for forskellen i de målte flowværdier, men selve længden var naturligvis afkortet.

Endelig blev selve koordinatsystemet fjernet:

```

----- 1240
----- 1210
----- 1190
----- 1180

```

Efter det samme princip blev der også optegnet kurver for udviklingen af hældningskoefficienten a og den samlede målte modstand Z_p frem gennem en række kopførsøg. Eksempler på sådanne kurver er vist i [bilag 7].

Lad os efter disse indledende bemærkninger gå over til at se på KOPMETODENS fejlkilder.

2 BAROMETERTRYKKET SOM FEJLKILDE

2.01 KONSTATERING AF FÆNOMENET

I foråret 1989 blev der kørt en række forsøgsserier med bl.a. HYPALON, der er en en-lags-tagdækning på basis klorsulfoneret polyethylen. Det var svært at opnå et veldefineret flow gennem dette meget tætte materiale.

Den 03/04 blev flowforløbet for HYPA1570, kop 01 til kop 06 optegnet med tiden som x-akse og masseændringen som y-akse. Det viste sig, at samtlige 6 kopper fulgte et ensartet og bemærkelsesværdigt svingningsforløb (1 og 2359) samt [bilag 1].

Efter udelukkelsesprincippet faldt tanken på svingninger i barometertrykket som mulig årsag (1).

Med udgangspunkt i de for forsøgsperioden aktuelle barometertryk, målt af Danmarks Meteorologiske Institut (2), blev flow- og barometerdata for HYPA1570, kop 04 optegnet. Disse data viste et tydeligt symmetrisk forløb, men i modfase (3 og 2360) samt [bilag 2].

Multipliserer man den målte masseændring i mg med en faktor 4, så træder symmetrien endnu tydeligere frem (2360A) samt [bilag 3].

Også HYPA 1570, kop 16, hvor emnet var vendt, og hvor det var muligt at konstatere et veldefineret flow, viste samme symmetriske forløb og ligeledes i modfase (4) samt [bilag 4].

I samme serie indgik også kopper med materialet HYGRDIODE, der er en dampbremse /60/. Tørkoppen HYGR 1570, kop 11 viste på trods af et markant flow det samme billede men i fase, hvilket var forventet, da tør- og vådkopper har modsat rettede flow (5).

2.02 FORKLARING PÅ FÆNOMENET

Prof. Vagn Korsgaard fra vores naboinstitut, Laboratoriet for Varmeisolering, havde den rigtige indfaldsvinkel til fænomenet: Hvis trykket stiger, og hvis prøveemnet er så stift, så det ikke kan give efter, så er luftens densitet inde i koppen lavere end udenfor, og vi har et luftskib (1L).

2.03 US ROUND ROBIN 1985

Det konstaterede fænomen førte tankerne hen på en i USA i 1985 gennemført ROUND ROBIN, hvor 12 laboratorier forgæves havde forsøgt at opnå tilfredsstillende resultater af en samkalibrering efter amerikansk kopmetode-standard ASTM E 96-80 og med 1 mil Mylar, 5.5 mil high density polyethylene (HDPE) samt 5.5 mil Teflon som prøvematerialer /42/. Spørgsmålet måtte derfor lyde: Kan man tænke sig, at manglende kendskab til variationer i barometertrykket som fejlkilde kan have været årsag til de utilfredsstillende måleresultater? (15C).

2.04 NORDISK ROUND ROBIN 1985

Nøjagtigt det samme oplevede man under en nordisk ROUND ROBIN i 1985, hvor 10 laboratoriers koordinerede målinger på træfiberplade, vindpap og polyethylenfolie udviste meget utilfredsstillende spredninger på måleresultaterne /43/.

2.05 PROBLEMETS OMFANG

Med udgangspunkt i de aktuelle barometertryk fra marts 1989 (2) blev der gennemregnet række eksempler for at få et første indtryk af problemets omfang (16).

Ved åbne materialer som f.eks. gipsplader eksisterer det naturligvis overhovedet ikke, idet vi her har et flow gennem vores prøveemne af størrelsesordenen 2000 mg pr. døgn = 1000 mg pr. vejning ved to vejninger dagligt. Selv ved store variationer i barometertrykket mellem disse vejninger vil fejlen højst blive på nogle få mg og dermed promiller.

Tager vi derimod et tæt, stift materiale i kombination med en kort samlet forsøgsperiode, så kan man uden vanskelighed risikere at måle en Z_p -værdi på 110×10^9 (Pa s m²/kg) hos et materiale, der i virkeligheden yder en modstand mod fugttransport svarende til 404×10^9 (Pa s m²/kg) (35).

Det modsatte er selvsagt også muligt, og her ville man så overvurdere materialets modstandsevne over for fugttransport med en faktor på 3 - 4, hvilket uden tvivl vil kunne give anledning til problemer i praksis, f. eks. i forbindelse med varedeklarationer, dimensionering for fugtmodstand osv.

I foråret 1990 modtager vi i øvrigt (se SUMMARY, KURZFASSUNG og SAMMENFATNING) en rapport fra USA /110/, hvori det fremgår, at Wilkins og Pullan har gjort den samme iagttagelse omkring barometereffekten, blot nogle måneder før os, nemlig i december 1988 /117/.

Deres illustration er vist i [bilag 9].

2.06 STIFT ELLER ELASTISK MATERIALE

Barometertrykket som fejlkilde kommer kun ind i billedet ved måling på tætte materialer, der samtidig også er stive. Er materialet helt eftergivende over for variationer i barometertrykket, så bortfalder denne fejlkilde.

Det gav et nyt problem: Hvordan måler man prøveemnets ud- eller indbøjningsgrad under forløbet af et kopforsøg? (45).

Denne problemstilling førte til et sæt nye, midlertidige arbejdsformler (48 og 332) og derefter til begrebet stivhedsgrad eller S-faktor (189).

Problemet fandt imidlertid - som vi skal se - først en egentlig operationel løsning på et senere tidspunkt (afsnit 8.03 og 8.04).

3 LUFTLAGET I KOPPEN SOM FEJLKILDE

3.01 ANN-CHARLOTTE ANDERSSON OG GÖRAN HEDENBLAD

I begyndelse af juni 1989 påbegyndtes en systematisk kvalitativ og kvantitativ kortlægning af andre til dels kendte til dels nye fejlkilder ved kopmetoden.

For de kendte fejlkilders vedkommende er det karakteristisk, at de stort set kun er beskrevet i den teoretiske fugtlitteratur, men uforståeligt nok endnu ikke har fundet fornøden indpas i hverken normer for eller vejledninger i brugen af kopmetoden, og hverken her hos os eller i udlandet.

Udgangspunktet for kortlægningen af kopmetodens fejlkilder var i øvrigt et litteraturstudie med speciel vægt på de af Ann-Charlotte Andersson udførte arbejder (74) /02/ og /03/.

Det blev imidlertid en samtale med Göran Hedenblad fra Lunds Universitet, der satte fokus på luftlaget i koppen som det første emne for vores undersøgelser.

3.02 LUFTLAGET I KOPPEN SOM FEJLKILDE

I tre forsøgsserier med gipsplader som prøveemner (GIPS1950, GIPS2050 og GIPS2150) kortlægges i juli og august 1989 størrelsesordenen af de fejl, der begås, når der ved kopforsøg ikke tages hensyn til den mængde vand, der fyldes i koppen, og dermed heller ikke til tykkelsen af luftlaget.

Resultatet af disse forsøg var meget overbevisende.

En gipsplade, der målt i en kop med 50 ml vand havde en Z_p -værdi på f.eks. 0.52×10^9 (Pa s m²/kg) udviste kun $Z_p = 0.33 \times 10^9$ (Pa s m²/kg), hvis der var 150 ml vand i koppen. LBM-koppens data fremgår af afsnit 9.06.

I to tilfælde var der endog tale om en halvvering af den målte Z_p -værdi, nemlig henholdsvis fra 0.51 til 0.26 og fra 0.52 til 0.25×10^9 (Pa s m²/kg).

Det er fejlprocenter på op til 50 eller endog 100, alt efter hvilken måling man tager som udgangspunkt (178B).

3.03 LUFTLAGET I KOPPEN EN DOBBELT FEJLKILDE

Supplerende til undersøgelsen af luftlaget i koppen kunne det konstateres, at fejlkilden i virkeligheden er dobbelt:

Dels effekten af mere eller mindre vand i koppen, der jo bestemmer luftlagets tykkelse (h_{lu}) og dermed størrelsen af Z_p -, a- og flowværdierne.

Men samtidig også effekten af, at h_{lu} ændrer sig i måleperioden (og i særdeleshed ved materialer med lave Z_p -værdier = stort flow).

Når tykkelsen af luftlaget øges, efterhånden som vandmængden i koppen mindskes, så øges Z_p med stadig lavere værdier for a og dermed for flowet til følge (69C).

I juli/august 1989 blev der kørt endnu en måleserie (GIPS2150) med gipsplader som prøveemner for at studere effekten af ændringer i luftlagets tykkelse som en yderligere - og i lighed med barometertrykket hidtil upåagtet - fejlkilde som tilføjelse til den, der hidrører fra luftlagets absolutte tykkelse.

Som ventet kunne vi konstatere stigende Z_p -værdier frem gennem forsøget:

Z_p

og tilsvarende faldende a- og flow-værdier:

a

Denne iagttagelse fik - som vi senere skal se - stor betydning for arbejdets videre forløb.

Den betød nemlig bl.a., at selve

Idégrundlaget i KOPMETODEN
 ikke er opfyldt, når der
 måles på åbne materialer

som f.eks. gipsplader.

Her opnår vi nemlig ikke det ønskede konstante flow, udtrykt som:

$$a$$

eller:

$$(9) \quad -a = -dy/dx = -dm/dt = \text{konstant}$$

men derimod:

$$(10) \quad -a = -dy/dx = -dm/dt = \text{variabel} = \text{faldende}$$

Den første del af den dobbelte luftlagsfejlkilde, der skyldes luftlagets absolute tykkelse, kan begrænses ved de kopforsøg, der typisk gennemføres på en mindre fintfølende vægt (måling på åbne materialer) ved at komme mere vand i koppen ved forsøgets start og dermed få et mindre luftlag (se også afsnit 5.01).

Ved måling på mere tætte materialer, der typisk bør gennemføres på en mere fintfølende vægt, er det ikke muligt blot at fylde koppen op p.g.a. vægtens lavere belastningsgrænse.

Den anden - der hidrører fra ændringen i luftlagets tykkelse - har man af forståelige grunde ingen indflydelse på.

En foreløbig konklusion på dette sted er, at lineært forløbende kurver for a -, Z_p - eller flow således snarere er undtagelsen end reglen, når der måles med kopmetoden.

3.04 BAROMETERTRYK OG LUFTLAG - KOPMETODENS STØRSTE FEJLKILDER

Kopmetodens største fejlkilder kunne derefter sammenfattes således: Barometertrykket ved tætte, stive materialer (fejl-% op til 200 eller mere) og luftlaget ved åbne materialer (fejl-% op til 100) (178A).

3.05 GIPS TRANSPORTERER LANGT MERE FUGT END ANTAGET

I august 1989 køres så en ny serie med gipsplader (GIPS2350) med 18 ml vand i kop 01, 36 ml i kop 02, osv. op til kop 12, der påfyldes 216 ml vand ved forsøgets start.

Resultatet viste den forventede sammenhæng mellem tykkelsen af luftlaget i koppen (lidt vand = tykt luftlag) og de målte Z_p -værdier begyndende med $Z_p = 0.46 \times 10^9$ (Pa s m²/kg) for kop 02 (kop 01 løb tør under forsøget) og sluttende med $Z_p = 0.32 \times 10^9$ (Pa s m²/kg) for kop 12 (242).

Udfra disse data kan der i øvrigt - for luftlag gående mod nul - skønnes en Z_p -værdi for selve gipspladen på kun 0.25×10^9 (Pa s m²/kg) (339).

Det betyder, at gipsplader er et langt mere åbent materiale end antaget udfra tidligere Z_p - og flowmålinger.

Denne egenskab ved en gipsplade er imidlertid næppe at betragte som en dårlig egenskab, snarere tværtom.

Jeg tænker her på en række udviklingsprojekter fra midten af 60'erne, hvor gips kom til at erstatte cement som bindemiddel i nye pudstyper for på denne måde at opnå vægge, der bedre kunne ånde, specielt i en tid, hvor hele udviklingen gik i retning af flere og flere kunststofprodukter overalt i vores boliger med stadig ringere indeklima til følge /67/ og /68/.

Mere åbne pudsmaterialer havde naturligvis en hel speciel interesse i lande med et meget fugtigt klima /69/.

Men også for håndværkerne, der hele tiden havde hudkontakt med materialerne, var overgangen til gipsbaserede produkter et absolut fremskridt /70/.

3.06 BEREGNING AF MODSTANDEN I ET LUFTLAG PÅ 1 CM

Fra serie GIPS2350 har vi følgende: En forøgelse af luftlagets tykkelse fra 1.05 cm (kop 11) til 1.77 cm (kop 09) = 0.72 cm gav en forøgelse af Z_p fra 0.322×10^9 (Pa s m²/kg) (kop 11) til 0.362×10^9 (Pa s m²/kg) (kop 09) = 0.04 (Pa s m²/kg) (342).

E. Nilsson og Ch. M. Hansen /86/ angiver air gap resistance for et luftlag på 3.66 cm til at være 2.17×10^9 (cm² s Pa/kg), hvilket omregnet giver 0.217×10^9 Pa s m²/kg).

Efter Nilsson og Hansen skulle vi således for vores luftlag på 0.72 cm have fået værdien $(0.217/3.66 \times 0.72) = 0.0427 \times 10^9$ (Pa s m²/kg), og vi fik 0.040 (Pa s m²/kg).

For et luftlag på 1 cm får Nilsson og Hansen således 0.059×10^9 (Pa s m²/kg), hvor vi finder 0.056×10^9 (Pa s m²/kg), hvilket må siges at være en rimelig god overensstemmelse (255).

4 ANDRE FEJLKILDER

4.01 SPRØJT SOM FEJLKILDE

Samtidig med undersøgelsen af luftlaget som fejkilde blev der også set på den effekt, som et utilsigtet sprøjt (vandet slår op på undersiden af emnet) nødvendigvis måtte få på de målte Z_p -værdier (69C).

Større eller mindre sprøjt førte til en kortperiodisk reduktion af Z_p -værdierne spændende fra nogle få og op til 35% (69B).

Der er således tale om en fejlkilde, som man absolut må være opmærksom på og derfor tilrettelægge forsøgene således, at sprøjt undgås i størst muligt omfang.

4.02 UDBØJNING SOM FEJLKILDE

I maj/juni 1989 blev der kørt en forsøgsserie (POLY1750) med polyethylenfolie.

Under forsøgsperioden antog emnerne på POLY1750, kop 01 og 03 mere og mere en udspilet ballonform (130).

Det giver naturligvis rent teoretisk to supplerende fejlkilder. Den opståede ballonform betyder, at emnets areal er blevet forøget. Denne fejlkilde er naturligvis ubetydelig og kunne beregnes til max. 0.5% (130).

Forøges emnets areal, så bliver dets tykkelse mindre. Også denne fejlkilde har kun teoretisk interesse med ligeledes max. 0.5% (132).

4.03 KOPFORSØG MED ELLER UDEN VAT

På LBM - og sikkert også andre steder - har man gjort brug af vat i kopperne for på denne måde at nedsætte risikoen for sprøjt på emnernes kopvendte side under forsøgsperioden /50/.

I september 1989 blev der kørt en serie (GIPS2450) for at undersøge, om der ved samme vandmængde (men med eller uden vat) var forskel på de målte Z_p -værdier.

Det viste sig at være tilfældet. Kopper med vat udviste væsentligt højere Z_p -værdier sammenlignet med kopper uden vat, f.eks: 0.45 mod 0.31, 0.42 mod 0.31 og 0.37 mod 0.26 x 10⁹ (Pa s m²/kg) (359).

En efterfølgende serie (GIPS2550) viste samme billede: Markant højere Z_p -værdier for kopper med vat, men til gengæld kunne der nu konstateres en gradvis udligning for de to typer kopper efter en forsøgsperiode på 3 døgn (399) (se også afsnit 4.04).

Vat eller ikke måtte forblive et åbent spørgsmål. Kopper med vat synes at udvise en mindre spredning i måleresultaterne, og vat forhindrer sprøjt.

Men er man ikke omhyggelig ved kopmonteringen, så kan der let opstå en vandtransporterende vatvæge, især da man jo, som det ses, bør tilstræbe et så lille luftlag i kappen som muligt af hensyn til luftlagsmodstanden.

Samtidig så har de rene vandkopper den fordel, at der hele tiden er et entydigt defineret luftlag, hvis Z_p -værdi kan beregnes (405).

Sammenfattende vil jeg dog mene, at den af Kurt Kielsgaard Hansen foreslåede løsning med en kombination af indsatsskåle af glas + vat nok vil vise sig at give de mest sikre måleresultater. Glasskålen når op til omkring 5 mm fra underkanten af prøveemnet, hvilket sikrer et minimalt luftlag. Vattet, der føres helt op til glasskålens overkant "duppes plant" efter, at der er fyldt vand til

randen. Overskydende vand flyder ned langs glasskålen til bunden af selve koppen. Løsningen kombinerer et minimalt luftlag med minimal risiko for sprøjt, forudsat omhyggelig kopklargøring /50/.

4.04 VINDHASTIGHEDEN OVER KOPPERNE SOM FEJLKILDE

I september 1989 påbegyndtes atter en forsøgsserie med gipsplader (GIPS2650) for at få et indtryk af størrelsesordenen af den fejlkilde, som varierende vindhastighed over kopperne i forsøgsperioden repræsenterer.

Vindhastigheden blev ved starten på forsøget sat til 10 m/s, derefter ned til 3, atter op til 10, og endelig igen ned til 3 m/s (409).

For vat-koppernes vedkommende betød en forøgelse af vindhastigheden fra f.eks. 3 til 10 m/s et fald i de målte Z_p -værdier af størrelsesordenen 7%. For de rene vandkopper var det kun omkring 4%.

Som fejlkilde er variationer i vindhastigheden naturligvis af betydning men ikke særlig problematisk, da man i moderne forsøgsopstillinger uden vanskelighed kan styre hastigheden inden for måske ± 0.5 m/s.

Problemet er imidlertid, at mange kopforsøg gennem årene er udført uden tilstrækkelig angivelse af forsøgsbetingelserne. Det gælder ikke blot for vindhastigheden, men rent generelt for samtlige forsøgsparametre.

Også i denne forsøgsserie var det bemærkelsesværdigt, at vatkopperne udviste større Z_p -værdier end de rene vandkopper.

De havde også større samlet overensstemmelsesgrad, ikke blot med variationerne i vindhastigheden, men også med ændringen i luftlagets tykkelse over forsøgsperioden (411). Men brugen af vatkopper og stor vandmængde i koppen er som sagt begrænset (jævnfør afsnit 3.03).

4.05 VANDDAMPDIFFUSIONSKOEFFICIENTEN SOM FEJLKILDE

I september 1989 blev den fejlkilde, der ligger i, at diffusionskoefficienten for vanddamp i luft δ_{lu} varierer med variationer i barometertrykket, undersøgt.

Det er i øvrigt en af de få fejlkilder, som DIN tager højde for i deres beskrivelse af kopmetoden og dens anvendelse /27/.

Nogle gennemregningseksempler viste, at en ændring på +20 mbar modsvarer en ændring i den målte Z_p -værdi af størrelsesordenen $+0.001 \times 10^9$ (Pa s m²/kg).

Der er med andre ord tale om en fejlkilde uden praktisk betydning (387), men da kopmetoden, som vi efterhånden har set, er behæftet med mange fejlkilder, og da disse under ugunstige omstændigheder går i samme retning, bør ingen af dem udelades.

4.06 RANDEFFEKTEN SOM FEJLKILDE

Lad os antage, at vi til vores målinger af fugttransport eller fugtmodstandstal bruger en rund skive af det materiale, vi skal måle, og denne skive har en diameter på 10 cm.

Når skiven anbringes i koppen, så placeres den mellem to tætningspakninger, og disse pakninger har en bredde på lad os sige 1 cm.

Den del af skiven, der udsættes for fugtpåvirkningen (det eksponerede areal) bliver mindre svarende til en ny diameter på kun 8 cm.

Der sker imidlertid også en fugttransport gennem den del af gipseemet, der ligger under = er maskeret af pakningerne (det effektive areal).

Vi måler således en fugtgennemgang, der er større, end hvis der blot havde været tale om en retlinjet transport gennem et eksponeringsareal svarende til en diameter på 8 cm.

Denne fejlkilde, der kaldes randeffekten, er omhyggeligt behandlet i litteraturen, først af Joy og Wilson i 1965 /58/, siden af Hansen i 1978 /38/ og derefter i 1987 af Bertelsen, der tilføjede et korrektionsled til den oprindelige formel /11/. Også Klavs H. Larsen m.fl. har behandlet denne fejlkilde /64/ og /33/.

Selve formelen, der beregner forholdet mellem det effektive og det eksponerede prøveemneareal er imidlertid ret kompliceret (950), men den kunne, som vi senere skal se, uden større vanskelighed og uden tab af beregningsnøjagtighed udtrykkes i en mere simpel og til databehandling mere operationel form.

Randeffekten afhænger af bl.a. prøveemnets tykkelse, og for at få et indtryk af denne fejlkildes størrelse blev den med udgangspunkt i Bertelsens formel - og for de data for prøveemne og pakninger, der er standard i LBM's kopudstyr - udregnet for tre eksempler og med følgende resultat: En prøveemnetykkelse på 1.1 mm giver en fejl-% på 3, 9.8 mm en fejl-% på 13 og endelig fås en fejl-% på 16 ved en tykkelse af prøveemnet på 12.4 mm (950).

Randeffekten er således en væsentlig fejlkilde, især ved relativ tykke prøveemner og den tredjestørste fejlkilde efter barometereffekten og luftlaget.

4.07 KOMPRESSIONSEFFEKTEN SOM FEJLKILDE

Denne fejlkilde, som vi først blev opmærksom på i 1990, hænger sammen med randeffekten.

Den skyldes, at relativt bløde materialer vil kunne sammenpresses under opspændingen i koppen, og vil blive behandlet sammen med randeffekten i afsnit 9.11.

Som fejlkilde vil den ved tykke, bløde materialer vel maksimalt kunne andrage omkring små 5%.

4.08 OVERGANGSMODSTANDE I KOPPEN SOM FEJLKILDER

Foruden den modstand, der skyldes selve luftlaget, så er der endnu to modstande inde i selve koppen, der vil give anledning til målefejl, hvis der ikke tages hensyn til dem i beregningerne.

Det er overflade- eller overgangsmodstanden fra vandoverfladen til selve luftlaget og den tilsvarende overflade- eller overgangsmodstand fra luftlaget til undersiden af prøveemnet (272).

Vi har valgt at kalde den første for Z_{Ne} (Ne for nede i koppen) og den anden for Z_{Op} (Op for oppe i koppen).

Disse modstande er behandlet mange steder i litteraturen, bl.a. af Andersson /02/ og /03/, af Nilsson og Ch. M. Hansen /86/ samt på det seneste af Kurt Kielsgaard Hansen /49/ og Hedenblad /56/.

De er vanskelige at håndtere, da deres størrelse ofte er ukendt.

Ved tætte materialer har de kun en underordnet betydning, men de må inddrages, når der måles på mere åbne materialer.

4.09 DÅRLIGE MÅLEINSTRUMENTER SOM FEJLKILDER

Det synes indlysende, at ingen måling kan blive bedre, end de instrumenter, man benytter sig af. Ikke desto mindre er det nødvendigt også at gøre opmærksom på de fejlkilder, der skyldes dårligt vedligeholdte eller ikke kalibrerede instrumenter til registrering/måling af de mange data (masse, temperatur, tid, relativ fugtighed, barometertryk, vindhastighed, materialetykkelse osv.), der indgår i et kopforsøg.

Det samme gælder naturligvis logiske og operationelle fejl i de dataprogrammer, der benyttes til opsamling og bearbejdning af kopforsøgets mange enkeltdata.

5 FRA STATISK TIL DYNAMISK FUGTTRANSPORT

5.01 FLOWKURVEANALYSER

I oktober 1989 påbegyndtes en omfattende analyse af data fra de forsøgsserier, der var kørt i 1988, altså før starten i februar 1989 på det i denne rapport beskrevne projekt.

Det drejede sig om serierne 5, 6, 7, 8, 9 og 10.

Overalt var prøveemnet det samme, nemlig gipsplader, hvorfor vi med dette meget åbne materiale måtte forvente at se kurver med kontinuerlig stigende Z_p -værdier og dermed faldende a- og flowværdier frem gennem forsøgsperioderne og grundet stigende luftlagstykkelse i kopperne.

Udgangspunktet var data fra serie 8.

Her sås så overraskende, at seriens første 12 kopper udviste faldende Z_p -værdier og dermed stigende a - og flowværdier frem gennem måleperioden (430).

Denne iagttagelse blev i øvrigt starten på en udvikling, hvor jeg primært ville betragte flowet (f eller F) og ikke modstanden (Z_p) som vores primære analyse- og evaluerings-parameter i forbindelse med kopmetoden (430).

5.02 TIDSINTERVAL SOM FEJLKILDE

Det forhold, at vi i virkeligheden har med krumme og ikke med rette fugtflowkurver at gøre, betyder hensyntagen til tidsintervallet mellem de enkelte vejninger som en ny fejlkilde.

Vores flow mellem tidspunkterne t_x og t_{x+1} omregnes rutinemæssigt til flow i g/døgn gennem et prøveemne på 0.005 m^2 . Det stiller, hvis der er tale om mere end rent kvalitative observationer af et fænomen, krav om et konstant tidsinterval mellem de enkelte vejninger i en forsøgsserie (494).

5.03 BRUDSTYKKER AF EEN OG SAMME FLOWKURVE

For 46 kopforsøg fra serierne 5, 6, 7, 8, 9, GIPS1850, GIPS2150 og GIPS2950, alle målt på gipsplader, blev kurverne for dm/dt over t udregnet og optegnet grafisk (529).

Det afslørede kurver med vidt forskellige forløb, bl.a.: Stigende og derefter aftagende flow; stigende, konstant og derefter aftagende flow; aftagende flow, der langsomt flader ud osv.

Det vil sige kurver med bl.a. følgende profiler:

flow

flow

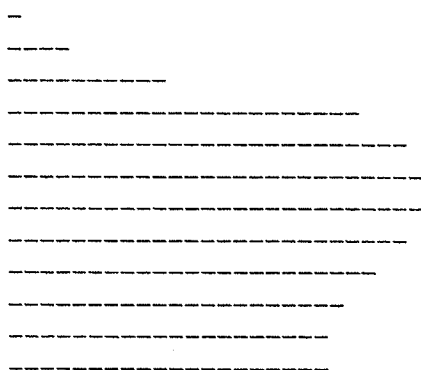
flow

Det konstante flowforløb, der er kopmetodens idégrundlag, var så absolut undtagelsen.

Resultatet af disse kurveanalyser blev så sammenfattet i en arbejdshypotese:

Samtlige kurver er i virkeligheden at betragte som "brudstykker" af een og samme fugtflowkurve (548):

fugtflowkurve



Denne fugtflowkurve starter formodentlig med en stigende gren, hvis forløb kunne være resultatet af et samspil mellem faldende adsorption, opbyggende kapillartransport samt diffusion.

Har vi derfor et kopforsøg med stigende flowværdier, så kunne det være udtryk for, at vi befinder os på denne gren og dermed også, at vores prøveemne endnu ikke er tilstrækkeligt forklimatiseret.

På et tidspunkt topper fugtflowkurven og forløber mere eller mindre konstant over et kortere eller længere tidsinterval. Endelig falder den for til sidst atter at flade ud, blot på et lavere niveau.

Toppen af kurven kunne udtrykke overgangen fra en kombination af adsorption, kapillartransport og diffusion til ren kapillartransport og ren diffusion, alt afhængig af det pågældende materiales porestruktur samt størrelsen af den relative fugtighed. Den er samtidig udtryk for afslutningen på forklimatiseringen.

Endelig kunne man forestille sig, at den faldende gren afbilder kombinationen af ren kapillartransport og ren diffusion i samspil med stadig stigende luftlagstykkelse og deraf følgende stigende Z_p og faldende flow, hvor luftlagets tykkelse til sidst får en helt dominerende indflydelse på det samlede flowbillede (548).

Efter denne model skulle flowet ved kurvens toppunkt således være det mest korrekte udtryk for det pågældende materiales fugttransportegenskaber, når disse bestemmes med kopmetoden.

5.04 FALDENDE OG STIGENDE FLOWKURVER

Den fortsatte analyse af a -, Z_p - og flowkurver gav et interessant resultat.

Det viste sig nemlig, at de som hovedregel kunne opdeles i to grupper:

Den første omfattende kopforsøg, hvor flowet pr. tidsenhed falder frem gennem forsøgsperioden, og som i øvrigt udviser et ensartet (stabilt) flowbillede.

Dette flowbillede var karakteristisk for kopper af typen 100/50, 100/70, 0/70, 0/50 samt 0/88, hvor tallet foran skråstregen angiver RF inde i koppen og tallet efter skråstregen målekammerets RF.

Den anden hovedgruppe var karakteriseret gennem stigende flow i kombination med et uensartet (ustabilt) flowbillede.

Denne gruppe omfattede kopforsøg af typen 94/70, 100/90, 94/88 samt 94/50 (559).

Resultatet af denne undersøgelsen pegede bl.a. på de problemer, der er forbundet med at måle i området omkring og over 90% RF.

Resultatet synes også at bekræfte, at et stigende forløb for flowet kan tages til udtryk for ikke tilstrækkeligt forklimatiserede prøveemner.

6 MOISTURE DYNAMICS

6.01 DYNAMISK FUGTTTRANSPORTPROFIL

Lad os atter vende tilbage til arbejdshypotesen om een og samme fugtflowkurve.

Denne hypotese førte til følgende antagelse: Indtil nu har man vel nok i fugtforskningen lagt hovedvægten på målinger, der skulle give udsagn om fugttransporten gennem f.eks. en gipsplade, når systemet var kommet i ligevægt, dvs. flowet var blevet konstant over tiden. En absolut statisk betragtning og tilstand, der kun undtagelsesvis forekommer i praksis.

Det måtte vel være langt mere relevant og interessant i højere grad at kaste blikket mod, hvad man - med gips som eksempel - måske kunne betegne som en gipsplades eller en gipskonstruktions dynamiske fugttransportprofil.

Til analyser af denne art ville den formodede fugtflowkurve - optegnet med udgangspunkt i et kontinuerligt kopforsøg, hvor koppen forbliver på vægten under hele forsøgsperioden, der i øvrigt kendetegnes af automatiske vejninger med små og konstante tidsintervaller - udgøre en god udgangsplatform (548).

Konklusion: Man burde nok fremover flytte tyngdepunktet i fugtforskningen til, hvad man kunne betegne som MOISTURE DYNAMICS (561).

6.02 MOISTURE DYNAMICS

Hvad ville man så lægge i begrebet MOISTURE DYNAMICS?

Tager vi en gipsplade-konstruktion som udgangspunkt (561), så ville problemstillingen for MOISTURE DYNAMICS f.eks. være at kortlægge de fugtmængder (= vand og vanddamp), der minut for minut, time for time eller døgn for døgn optages af/oplagres i/ transporteres gennem/afgives fra en sådan konstruktion, når de enkelte parametre (materialets struktur, vand- og fugtpåvirkninger, temperatur-svingninger osv.) varieres.

MOISTURE DYNAMICS

- optage,
- oplagre,
- transportere og
- afgive fugt

Denne kortlægning af materialets flowdynamiske egenskaber kan gennemføres i fornuftigt tilrettelagte forsøgsserier, men den kan ikke stå alene.

På det supplerende og mere teoretiske plan synes der at være i det mindste to forudsætninger, der skal opfyldes for at komme videre:

For det første er der efter min mening behov for en revurdering = en tilpasning af FICK's LOV fra 1855 til den særdeles komplekse struktur, som vi møder i vores materialer og konstruktioner, og det gælder ikke kun for bygningsmaterialerne.

For det andet savner man en teoretisk fugttransportmodel som en forenklet og variabel referenceramme til denne komplekse struktur (561).

6.03 MATERIALESTRUKTUR OG FUGTTRANSPORT

De mere generelle konklusioner fra de tre første serier i 1989, nemlig 13, 14 og 15 kunne i øvrigt og allerede i april 1989 sammenfattes helt i overensstemmelse med, hvad vi netop har konkluderet (1F):

- 01 De afprøvede bygningsmaterialer kan ikke i fugtsammenhæng betragtes som homogene, veldefinerede strukturer.
- 02 Man kan derfor heller ikke forvente, at deres vanddamppermeabilitet kan udtrykkes entydigt gennem een bestemt vanddamppermeabilitetskoefficient (δ eller $-\delta$).
- 03 Vanddamppermeabilitetskoefficienten for f.eks. en gipsplade af et bestemt mærke må derfor snarere opfattes som en sammensat koefficient, hvis værdi vil ligge inden for et bestemt område, hvis størrelsesorden i øvrigt bestemmes af en række faktorer/parametre.

- 04 En kortlægning af disse sammensatte koefficienters enkelte elementer forudsætter udvikling af en teoretisk fugttransportmodel, hvor de enkelte fysiske og kemiske parametre mv. kan lægges ind i modellen og varieres eet for eet.
- 05 Indtil en sådan model er udviklet, må man nok stort set begrænse sig til at placere de enkelte materialer i måske 5 - 10 grupper efter stigende eller faldende permeabilitet:
- Gruppe 1...
 - Gruppe 2...
 - Gruppe 3... osv.

6.04 FICK'S LOV FRA 1855

I dette afsnit benyttes følgende begreber og symboler:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Faktor for omregning fra SI-enhed s til min	60
Faktor for omregning fra SI-enhed kg til g	1000
Prøveemnets areal (m^2)	A
Koppens masseændring mellem to vejninger (g)	dm
Flowet gennem materiale M_1 (masse/areal tid)	$(dm/dt)_{M1}$
Det drivende potentiale (Pa)	dP
Tidsintervallet mellem to vejninger (min)	dt
Damppermeabilitetskoefficient (kg/Pa s m)	δ , $-\delta$
Damppermeabilitetskoefficient for materiale M_1 (kg/Pa s m)	δ_{M1} , $-\delta_{M1}$
Damppermeabilitetskoefficient for materiale M_x (kg/Pa s m)	δ_{Mx} , $-\delta_{Mx}$
Element δ_i i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/pa s m)	δ_i
En sammensat damppermeabilitetskoefficient (kg/Pa s m)	δ_z
Element δ_x i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_x
Element δ_y i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_y

Element δ_z i en sammensat damppermeabilitets- koefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_z
Konstant	k
Prøveemnets tykkelse (m)	l
Masse (g eller kg)	m
Materiale	M
Materiale M_1	M_1
Materiale M_x	M_x
Vanddamps mætningstryk (Pa)	P_s
Relativ fugtighed (dim.løs)	RF
Den relative fugtighed inde i koppen (dim.løs)	RF_i
Den relative fugtighed i målekammeret (dim.løs)	RF_u
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand, hvor damptrykket er drivende (Pa s m ² /kg)	Z_p

Lad os undtagelsesvis gå den modsatte vej og aflede Fick's lov /31/ fra en af de standardformler (se afsnit 1.02), som vi bruger i den daglige, praktiske fugttransportmåling.

Vores udgangspunkt er:

$$(11) \quad Z_p = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{\frac{dm}{dt}}$$

der kan omskrives til:

$$(12) \quad dm/dt = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{Z_p}$$

og da vi har $Z_p = 1/\delta$, så får vi:

$$(13) \quad dm/dt = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{\frac{1}{\delta}}$$

hvilket er det samme som:

$$(14) \quad dm/dt = \delta \times \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{1}$$

der pr. flowretningsbetinget tradition skrives som:

$$(15) \quad dm/dt = -\delta \times \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{l}$$

og endelig sammenfattes til:

$$(16) \quad dm/dt = -\delta \times A \frac{dP}{dl}$$

Tænker vi os nu, at vi måler flowet gennem en række forskellige materialer $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ under nøjagtig de samme forsøgsbetingelser udtrykt som $A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60$ og samme prøvetykkelse l , så kan vi sætte:

$$(17) \quad \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{l} = \text{konstant} = k$$

På de forskellige materialer måler vi forskellige flowværdier, og det bliver på denne måde alene δ_M eller $-\delta_M$, der udtrykker den eller de egenskaber hos det enkelte materiale, der bestemmer flowet gennem det. Vi får derfor

$$(18) \quad (dm/dt)_{M1} = -\delta_{M1} \times k; \quad (dm/dt)_{M2} = -\delta_{M2} \times k; \quad \dots \text{ osv.}$$

Nu kunne man så stille følgende spørgsmål: Hvad var det, der primært interesserede Fick?

- Var det flowet gennem et givet materiale = dm/dt_{Mx}
- Eller var det strukturen hos de membraner/semi-permeable hinder (= materialer), som han benyttede sig af = $-\delta_{Mx}$

Efter min formodning, så var Fick's primære interesse studiet af selve flowet = selve diffusionen.

Er det tilfældet, så kan man også forstå, at han kunne klare sig med et så simpelt samleudtryk som $-\delta$ for de flowbestemmende egenskaber hos de til hans forsøg benyttede materialer.

For os i byggematerialeforskningen interesserer vi os også for flowet, men primært som udgangspunkt for udvikling af stadig bedre fugtmekaniske egenskaber hos vore produkter.

Disse produkter er imidlertid særdeles komplekse i deres opbygning/strukturer (se også kapitel 11), og det er ikke eet men oftest en række "produktelementer" (et MM-begreb, se kapitel 11), der bestemmer et givet produkts fugtmekaniske egenskaber.

Lad os atter se på og adskille de to led på højre side i formlen $(dm/dt) = -\delta \times k$ eller $(dm/dt)_{M1} = -\delta_{M1} \times k$:

$-\delta_{M1}$ udtrykker summen af en lang række tildels slet ikke kvantificerede "produktelementers" indvirkning på produktets eller materialets (M_1 's) fugtdynamiske egenskaber i kun een størrelse.

k består af 7 kendte og veldefinerede størrelser, udtrykt som:

$$(19) \quad k = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{1}$$

Gennem fortsat anvendelse af Fick's lov i dens oprindelige simple form gemmer vi faktisk alt det, vi ikke ved, i een stor sort kasse med påskriften $-\delta$ eller $-\delta_{M1}$.

Der er derfor efter min mening behov for, at Fick's lov udvides og tilpasses et mere aktuelt diffusionskoncept, hvor $-\delta$ erstattes af en sammensat koefficient, hvis enkelte elementer udtrykker forskellige materialeegenskaber, der hver især har betydning for det pågældende materiales eller produkts profil med hensyn til optagelse af/oplagring i/transport gennem samt afgivelse af vand og vanddamp (562).

Fick's lov bør således i den floworienterede variant omskrives via:

$$(20) \quad dm/dt = -\delta_z \times k$$

til:

$$(21) \quad dm/dt = -(\delta_x + \delta_y + \delta_z + \dots \delta_i) \times k$$

eller:

$$(22) \quad dm/dt = -(\delta_x + \delta_y + \delta_z + \dots \delta_i) \times \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{1}$$

hvilket ville give en langt mere operationel arbejdsformel til studiet af de enkelte produktelementers indvirkning på eller bidrag til produktets samlede dynamiske fugttransportprofil, og dermed kunne være nøglen til udvikling af produkter med mere optimale flowdynamiske egenskaber.

6.05 GYPROC AB - MÅLING AF VANDDAMPDIFFUSIONSMODSTAND

I efteråret 1989 og foråret 1990 blev der gennemført en række undersøgelser for GYPROC AB, Malmö med det formål at opbygge ny viden omkring fugttransportegenskaberne hos gipsplader /50/.

Baggrunden for disse undersøgelser var den stadig mere udbredte anvendelse af gipsplader og gipskonstruktioner i miljøer med høj fugtbelastning: badeværelser, udvendig vindbeskyttelse, undertag, landbrugsejendomme osv.

Undersøgelserne omfattede bl.a. målinger af flow og Z_p ved hjælp af kopmetoden suppleret med opslugnings- og sorptionsforsøg.

6.06 GYPROC AB - ENDNU ET BROGET BILLEDE AF FLOWKURVER

Flow- og Z_p -målingerne omfattede 7 forsøgsserier med ialt 122 enkelte kopforsøg, og resultatet blev endnu en gang (jævnfør tidligere afsnit) et særdeles broget billede af vidt forskellige flowkurver. Se også eksempler i [bilag 7]:

Forsøgsserie:	Flowkurve:	Konstant flow (?):
GIPS3050, kop 01	stigende/faldende/stigende	nej
-- , - 02	stigende/faldende	nej
-- , - 03	stigende/faldende/stigende	nej
-- , - 04	faldende/stigende	nej
-- , - 05	faldende/stigende/faldende	nej
-- , - 06-08	stigende/faldende/stigende	nej
-- , - 09	stigende/faldende/stigende/faldende	nej
-- , - 10	stigende/faldende/stigende	nej
-- , - 11	konstant/stigende	nej
-- , - 12	stigende/faldende/konstant	ja
-- , - 13-16	stigende	nej
-- , - 17-20	stigende/toppende/faldende	nej
-- , - 21-24	stigende/toppende/faldende	nej
GIPS3050A, - 01	faldende/stigende/toppende	nej
-- , - 02	faldende/stigende/faldende/toppende	delvis
-- , 03	konstant/stigende/faldende/stigende	nej
-- , 04	faldende/stigende/faldende/stigende	nej
-- , 05-08	stigende/faldende/stigende	nej
-- , 09	faldende/stigende/faldende/stigende	delvis
-- , 10	faldende/stigende/faldende/stigende	nej
-- , 11	faldende/stigende/faldende	nej
-- , 12	faldende/stigende/faldende/stigende	ja
-- , 13-16	faldende	nej
-- , 17-19	stigende/faldende/stigende/faldende	ja
-- , 20	faldende/stigende/faldende	nej
-- , 21-24	faldende	delvis
GIPS3050B, 01-08	faldende/stigende	nej
-- , 09-10	faldende	nej
-- , 11	faldende/konstant	ja
-- , 12	faldende	nej
GIPS3050C, 01-08	faldende	nej
GIPS3050D, 01-08	stigende/toppende/faldende	nej
GIPS3150, 01-07	stigende/toppende/faldende	nej
-- , 08	stigende	nej
-- , 09	stigende/faldende/konstant	ja
GIPS3150, 10-12	stigende/faldende/stigende/faldende	ja
-- , 13	faldende/stigende/faldende	nej
-- , 14-16	stigende/faldende/stigende/faldende	ja
-- , 17-20	stigende	nej
-- , 21-24	stigende/faldende/stigende/faldende	ja

GIPS3250,	01-05	faldende	nej
-- ,	06	faldende/stigende/faldende	nej
-- ,	07	faldende	nej
-- ,	08	faldende/stigende/faldende	nej
-- ,	09-10	faldende	nej
-- ,	11-12	faldende/stigende	nej
-- ,	13-16	faldende/stigende/faldende	nej
-- ,	14-15	faldende/stigende/faldende/stigende	ja
-- ,	16	faldende/stigende	nej
-- ,	17-20	faldende/stigende	ja
-- ,	21-24	faldende/stigende/faldende/stigende	ja

Konklusion: Kopmetodens idégrundlag med det konstante flow og den rette linie kunne således under GYPROC-serierne kun opnås ved omkring 1/4 af de ialt 122 målinger.

Det betyder ikke, at udsagnsværdien af de gennemførte kopforsøg var utilfredsstillende, tværtom så var de meget udbytterige.

Men det betyder, at kopmetoden, som vi kender og bruger den, er behæftet med nogle meget væsentlige begrænsninger, som vi senere vil vende tilbage til i kapitel 7.

6.07 FLOW OG IKKE Z_p SOM PRIMÆR MÅLEENHED FREMOVER

En anden sammenfattende konklusion fra de mange kurveanalyser er, at flowet f.eks. udtrykt som g pr. m^2 og døgn fremover bør afløse Z_p som den primære måleenhed og af følgende årsager:

For det første, fordi selve flowet synes at være den mest dækkende fællesnævner for de fænomener, der omfattes af konceptet MOISTURE DYNAMICS.

For det andet fornemmes ordet "flow" mere neutralt end ordet "modstand". Den traditionelle anvendelse af modstand som måleenhed fører alt for let til at betragte stor modstand som en generel positiv materialeegenskab, hvilket jo absolut ikke nødvendigvis er tilfældet (jævnfør afsnit 3.05).

For det tredje er MOISTURE DYNAMICS optagelse, oplagring, transport og afgivelse af såvel vanddamp som vand, dvs. at vi har at gøre med såvel diffusion som kapillarstrømning. Det vil derfor ikke være logisk primært at arbejde med en enhed, der som Z_p med betegnelsen dampdiffusionsmodstand straks leder tanken hen mod "damp" og "diffusion" og ikke mod "vand" og "kapillarstrømning".

Endelig for det fjerde, så er udtrykket Z_p med enheden Pa s m^2/kg (og ydermere oftest $\times 10^9$) noget særdeles abstrakt og u håndterligt i sammenligning et flow udtrykt som f.eks. g pr. m^2 og døgn (686).

6.08 KONTINUERLIG FLOWMÅLING

For at komme videre med den formulerede arbejdshypotese, hvorefter de indtil nu gennemførte kopforsøg i virkeligheden synes at afbilde brudstykker af een og samme fugtflowkurve, vil det som tidligere antydnet være nødvendigt med en forsøgsopstilling til kontinuerlig måling af dm/dt over t på een enkelt kop, men

til gengæld over en væsentlig længere forsøgsperiode, omfattende hele kurveforløbet.

Koppen skal med andre ord blive stående på vægten under hele forsøget, og vægtændringen skal automatisk overføres til dataopsamlingsprogrammet og med korte og konstante tidsintervaller.

Når koppen forbliver på vægten, undgår vi fejlkilden sprøjt. Det betyder, at vi ved denne form for forsøg vil kunne undgå vat i kopperne og alligevel arbejde med et minimalt luftlag.

Her vil det være rigtigt at gentage, at samtlige indtil nu optegnede dm/dt -kurver var kvalitative, idet der af tidsmæssige grunde ikke blev korrigeret for det forhold, at vejningerne nødvendigvis fandt sted med varierende tidsintervaller (687).

7 KOPMETODEN OG KOPLYSE

7.01 KOPLYSES IDEGRUNDLAG

Kopmetoden er - som tidligere nævnt - stationær fugttransport mellem to damptryk målt som vægtændring af koppen som funktion af tiden. Det enkelte forsøg afsluttes, når denne vægtændring er konstant over et vist antal målinger. Konstant vægtændring betyder en ret linie i et koordinatsystem med tiden som x-akse og koppens masseændring som y-akse /116/.

Idégrundlaget i LMB's databehandlings- og analyseprogram KOPLYSE er da også at bestemme denne rette linie så nøjagtigt som muligt. Hertil benyttes en række matematiske værktøjer: regressionsanalyse, residualberegning, test for tilfældighed samt Dixon-test, alt med udgangspunkt i de krav til beregningsnøjagtighed, der indtastes i programmet i form af ønskede grænseværdier for korrelationskoefficienten og residualt /116/.

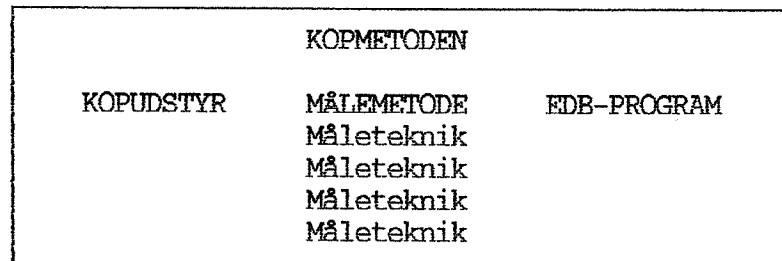
Problemet med idégrundlaget synes imidlertid at være, at den rette linie som resultat af et kopforsøg snarere er undtagelsen end reglen

Vi vil derfor i afsnit 7.03 - men meget kortfattet og summarisk - komme ind på nogle af de begrænsninger, der har kunnet konstateres hos KOPMETODEN, således som de også træder frem i databehandlingsprogrammet KOPLYSE.

Men først må vi bringe et par begreber på plads.

7.02 METODE, Udstyr og Program

Lad os se på en skitse:



Kopmetoden - eller måske snarere en kopmetode - er det overordnede begreb og omfatter i alle tilfælde tre væsentlige elementer:

- 01 Selve målemetoden, der i sig selv består af een, flere eller mange teknikker med tilknyttede formler og beregningsudtryk. Hver enkelt af disse teknikker har til opgave at korrigere det målte flow for en bestemt fejlkilde ved den pågældende kopmetode. Det er målemetodens overordnede formål at frembringe et så korrekt billede som muligt af flowet gennem det materiale, der undersøges i det pågældende forsøg.
- 02 Kopudstyret, omfattende kopper, målekammer, vægt, diverse datalog- og datatransmissionsudstyr samt en lang række installationer til frembringelse, vedligeholdelse og kontrol af det klima i målekammeret, der ønskes ved det pågældende kopforsøg.
- 03 Endelig har vi så det til den enkelte kopmetode udviklede FDB-program, såfremt udregningerne ikke foretages manuelt.

KOPLYSE er det FDB-program, der er udviklet til LBM's KOPMETODE. Men da et program jo kun bearbejder de opgaver, det bliver bedt om, så er det samtidig et tro spejlbillede af selve kernen i den pågældende kopmetode, nemlig målemetoden med dens forskellige teknikker, formler osv.

Når vi i det følgende blot skriver KOPLYSE, så mener vi såvel FDB-programmet som målemetoden med tilhørende måleteknikker, formler osv.

7.03 KOPLYSE'S BEGRÆNSNINGER

KOPLYSE's begrænsninger kan kort sammenfattes således:

- 01 Det fokuserer ensidigt på den rette linie og er således ikke forberedt på ikke lineære flowforløb.

- 02 Dets værktøj til vurdering af, om residual-værdierne er tilfældigt fordelt omkring regressionslinien (RTILFÆLDIG) = dets evne til at konstatere om der foreligger en ret flow-kurve eller en krum, viste ved en kontrol i november 1989 en fejl-% på 40 (637).
- 03 Den indbyggede grafik, der ligeledes helt fokuserer på den rette linie, er meget grov, og selv ret tydelige afvigelser fra et lineært forløb udtegnes som rette linier (704-706) og [bilag 5].
- 04 KOPLYSE har meget beskedne faciliteter, når det gælder korrektion for fejlkilder. Der korrigeres således ikke for luftlags- og de tre overgangsmodstande eller for randeffekten, og korrektionen for variationer i målekammerets temperatur og RF foretages ikke fra vejning til vejning men kun een gang ved forsøgets afslutning, baseret på middelværdier under forsøgsperioden. KOPLYSE korrigerer af gode grunde heller ikke for variationer i barometertrykket, idet programmet/metoden var udviklet før, denne fejlkilde kom ind i billedet.

Når alt dette er sagt, så har KOPLYSE ydet os uvurderlige tjenester som et meget stabilt værktøj til mere kvalitative, retningsvisende forsøg, og det vil det fortsat være særdeles velegnet til.

Alligevel måtte der ved årsskiftet 1989/90 tages skridt til udvikling af en ny metode, der ville være i stand til at udnytte den viden om fugttransport, der var opbygget gennem 1989.

8 METODE- OG PROGRAMUDVIKLING

8.01 BEHOV FOR EN REVIDERET KOPMETODE

Af det indtil nu rapporterede vil det fremgå, at det var en lang række enkelte iagttagelser under projektet, der hen mod slutningen af 1989 førte til den erkendelse, at selve KOPMETODEN som sådan trængte til en revision: barometertrykket som ny og væsentlig fejlkilde, luftlaget, de mange krumme flowkurver, flytning af tyngdepunktet fra statisk til dynamisk fugtforskning osv.

En sådan metodeudvikling måtte selvsagt gå hånd i hånd med en tilsvarende programudvikling.

8.02 MÅLSÆTNING FOR EN REVIDERET KOPMETODE

Behovet afspejler sig naturligvis i målsætningen. En ny og revideret KOPMETODE med tilhørende databehandlingsprogram skulle naturligvis være i stand til at korrigere en målt masseændring = et målt flow for samtlige indtil nu kortlagte fejlkilder og vel at mærke for hver enkelt vejning i kopforsøget (jævnfør afsnit 7.03, pkt. 04).

Endvidere skulle den være lige velegnet til måling af flowværdier for tætte, halvtætte og åbne materialer. Se også [bilag 6] med tilhørende note.

Endelig skulle den reviderede metode i hele sit idégrundlag være udtryk for de tanker, der ligger bag konceptet MOISTURE DYNAMICS. Den skulle med andre ord også være forberedt for kontinuerlige flowmålinger, hvor koppen på intet tidspunkt forlader vægten.

8.03 BAROMETERTRYKKET - DET MÅLETEKNISKE PROBLEM

En hel fundamental forudsætning for overhovedet at komme i gang med en metode- og programudvikling som ovenfor skitseret var som nævnt i afsnit 2.06 en løsning på problemet: Hvordan måler man prøveemnets ud- eller indbøjningsgrad under forløbet af et kopforsøg med dertil hørende variationer i barometertrykket?

Åbningen kom gennem følgende arbejdshypotese: Det må antages, at fugtflowet over tiden og gennem et hvilket som helst materiale altid vil komme til udtryk gennem en "blød og kontinuerligt forløbende kurve" og ikke gennem en kurve, der er præget af "takker og spring med skiftende højere eller lavere flowværdier".

Det ikke kontinuerlige, som vi har oplevet det, må alene kunne føres tilbage til metode- eller målefejl af den ene eller anden art.

Det "korrekte" fugtflow gennem et tæt materiale, f.eks. en plastfolie, vil alene afhænge af $(RF_i - RF_u) P$ samt af en materialefaktor, der sammenfatter de parametre hos selve materialet, der bestemmer dets evne til at lade vand og vanddamp passere gennem sig (se også afsnit 6.04 om Fick's lov).

Denne materialefaktor er ikke nødvendigvis konstant over tidsforløbet af et kopforsøg. Materialet kan f.eks. kvælde (og det sker heller ikke spontant) under fugtpåvirkningen med et ændret flow til følge. Men...

Under alle omstændigheder vil summen af "de ægte fysiske begivenheder" under kopforsøget altid blive en veldefineret og kontinuerlig kurve, der kan være stigende, konstant eller faldende eller antage kombinationer af disse forløb, men ikke ukontinuerlig og "takket" (899).

8.04 BAROMETERTRYKKET - DEN VALGTE LØSNING

Med udgangspunkt i arbejdshypotesen om de bløde og kontinuerligt forløbende flowkurver synes der endelig at være skabt et grundlag for et måleprincip, der kunne gøres operationelt.

Det måtte ganske enkelt bestå i, at det til formålet udviklede databehandlingsprogram - og med data fra samtlige vejninger - optegnede og analyserede

ialt 11 for fejlkilden barometertryk og samtlige øvrige fejlkilder korrigerede flow-kurver.

Forskellen mellem de 11 kurver ville alene være betinget af stivhedsgraden (S-faktoren) for det målte materiale.

Denne korrektion skulle - og for hver enkelt vejning - først foretages efter, at der allerede var korrigeret for alle andre fejlkilder.

Kurve nr. 1 ville optegne den korrigerede flowkurve med udgangspunkt i den antagelse, at materialet havde været 100% stift mellem de to vejninger (S-faktor = 1.0). Kurve nr. 2 ville svare til, at materialet havde forholdt sig 90% stift over for det ændrede barometertryk (S-faktor = 0.9). Endelig ville kurve nr. 11 repræsentere et over for trykændringen fuldstændigt eftergivende materiale (S-faktor = 0.0).

Databehandlingsprogrammet ville derefter vælge netop det for fejlkilden barometertryk samt alle øvrige fejlkilder korrigerede flow, der modsvarede den mest harmonisk og kontinuerligt forløbende flowkurve (= den mest troværdige) som det endelige forsøgsresultat (900).

Naturligvis havde forskellige mekaniske løsninger været taget under overvejelse: Direkte måling af ud- eller indbøjningen, indbygning af et net til at holde materialet stift osv. (1063).

De udviste imidlertid alle to væsentlige problemer.

For det første ville det være vanskeligt at måle de små ud- og indbøjninger, der her er tale om, og net- eller lignende løsninger betød naturligvis, at prøveemnets definerede areal blev forvrænget.

For det andet ville enhver form for mekanisk løsning gøre kopmetoden som sådan mere kompliceret og dermed mere tidskrævende af gennemføre, hvilket ikke ville være acceptabelt.

8.05 KOPMETODEN - FRA FEJLKILDER TIL METODEUDVIKLING

Arbejdet med kopmetoden frem gennem første halvår af 1990 blev en kombination af:

- Fortsat kvantificering af kendte fejlkilder.
- Opstilling af måleprincipper, udtryk, formler osv. for disse.
- Formulering af muligt enkle udtryk og formler til databehandling.
- Identifikation af muligt nye fejlkilder.
- Opstilling af måleprincipper, udtryk, formler osv. for disse.
- Formulering af muligt enkle udtryk og formler til databehandling.
- Sammenbygning af de enkelte teknikker til en ny og forbedret kopmetode med tilhørende databehandlingsprogram.

En redegørelse for dette arbejde, således som det skred frem uge for uge, ville derfor resultere i et meget broget billede.

Jeg har derfor valgt at tage udgangspunkt i den nyudviklede kopmetode KOPMAT90 og så behandle de enkelte fejlkilder, måleprincipper, måleteknikker, udtryk, formler osv. i den rækkefølge, som vi møder dem i selve metoden.

I kapitel 9 vil vi nu se på metodeudviklingen, hvorefter vi i kapitel 10 vil beskæftige os med udviklingen af det tilhørende databehandlingsprogram.

9 KOPMAT90 - METODEUDVIKLING

9.01 METODENS IDEGRUNDLAG

KOPMAT90 er en metode til måling af fugttransport gennem tætte, halvåbne og åbne materialer. KOPMAT90 er således en forbedret KOPMETODE, der imidlertid anvender stort set det samme KOPUDSTYR som hidtil /114/.

Som enhver anden metode, så er også KOPMAT90 sammensat af en lang række specifikke måleteknikker, der i vores tilfælde - og for hver enkelt vejning - korrigerer det målte flow for samtlige til og med dette projekt identificerede og kvantificerede fejlkilder.

Vi mener i øvrigt, at samtlige væsentlige fejlkilder nu er kortlagt:

KOPMAT90 KORRIGERER KONTINUERLIGT DEN MÅLTE MASSEÆNDRING (FLOWÆNDRING) FOR:

Variationer i målekammerets temperatur Variationer i målekammerets RF Luftlagsmodstanden i koppen Barometertrykkets påvirkning af denne Overgangsmodstanden vand/luft Overgangsmodstanden luft/prøveemne Overgangsmodstanden prøveemne/luft Randeffekten Kompressionseffekten Variationer i barometertrykket Prøveemnets stivhedsgrad

Lad os derefter se på metodens idégrundlag.

Som eksempel tager vi et vådkopforsøg, hvor vi har vand i koppen = 100% RF og tilstræber 50% RF i målekammeret, hvis temperatur ønskes holdt på 23 °C.

Det er et særdeles benyttet kopforsøg, som vi betegner 100/50.

KOPMAT90 gennemfører sine korrektioner ved hjælp af 9 beregningstrin, omfattende små 60 beregninger med tilhørende formler.

KOPMAT90 består som enhver anden kopmetode af en række målinger af koppens masseændring (vejninger).

For hver enkelt vejning beregnes følgende:

Trin 01 - Beregning af masseændring

Den målte masseændring (det målte flow).

Trin 02 - Korrektion for barometertryk (1)

Herfra trækkes (eller hertil lægges) den masseændring (det flow), der alene kan henføres til variation i barometertrykket mellem de to vejninger.

Trin 03 - Korrektion for temperatur

Den resterende masseændring (det resterende flow), der måske er målt ved en målekammertemperatur på 23.3 °C korrigeres nu til flow ved forsøgets normaltemperatur, der er 23.0 °C.

Trin 04 - Korrektion for relativ fugtighed (RF)

Det korrigerede flow, der måske er målt ved RF = 49.7% i målekammeret, korrigeres nu til flow ved forsøgets ønskede RF, der er 50.0%.

Trin 05 - Korrektion for kopmodstande

Databehandlingen af det målte flow forsætter derefter med korrektion for modstanden af luftlaget i koppen (Z_{lu}), overflade- eller overgangsmodstanden fra vandoverfladen til luftlaget i koppen (Z_{ne}), overflade- eller overgangsmodstanden fra luftlaget i koppen til undersiden af prøveemnet (Z_{op}), overflade- eller overgangsmodstanden fra oversiden af prøveemnet til den omgivne luft i målekammeret (Z_{vi}) samt for påvirkninger af dette modstandskompleks som følge af variationer i barometertrykket, ikke at forveksle med korrektionen for barometertrykket i trin 02.

Trin 06 - Korrektion for rand- og kompressionseffekt

Som afslutning på denne del af databehandlingen korrigerer KOPMAT90 det nu fremkomne flow for rand- og kompressionseffekt.

Trin 07 - Valg af mest troværdig flowkurve

Dette flow, der således er korrigeret for variationer i barometertryk og derefter for temperatur, RF, kopmodstande samt for rand- og kompressionseffekt, bliver nu omregnet til flow pr. 0.005 m² og døgn under 11 forskellige forudsætninger:

- 01 Det målte materiale har været fuldstændigt stift mellem de to vejninger.
- 02 Det målte materiale har været 90% stift mellem de to vejninger... osv. frem til:

- 11 Det målte materiale har opført sig 100% elastisk og eftergivende overfor den ændring i barometertrykket, der har fundet sted mellem de to vejninger.

Herefter vælger KOPMAT90 det flow blandt de 11 alternativer, der kan udtrykkes gennem den mest homogene og kontinuerlige kurve som forsøgets foreløbige resultat.

Trin 08 - Korrektion for barometertryk (2) og forsøgsresultat

Dette resultat bliver endnu en gang efterkorrigeret for barometertrykeffekten, hvorefter det endelige resultat (flow) foreligger.

Trin 09 - Supplerende resultatdata

Til sidst beregnes en række relevante værdier på basis af det målte og korrigerede flow.

Vi vil nu gå over til at se på de enkelte beregningstrin og de måleprincipper, måleteknikker osv., som de hver for sig bygger på.

I de efterfølgende afsnit indrammer vi væsentlige mellemresultater eller resultater således:

mellemresultat eller resultat

medens nye formler eller beregningsudtryk, benyttet i KOPMAT90, markeres med:

nye formler eller beregningsudtryk

Skitsen på næste side placerer symbolerne for en række væsentlige begreber, der indgår i kopmetoden. I øvrigt henvises til symbollisten.

<u>Målekammer</u>	T	P _s	RF _u	dP	O _f	V _{Vi}	Z _{Vi}	P _b	σ _{Lu}	m _{Lu}
<u>Prøveemne</u>	A	A _{eff} /A _{eks}					Z _{Pr}			
h _{Pr}										
Ra	K _F	S _F	-8	f	F					
h _{Pak}							Z _{Op}	P _K	σ _{Lu}	m _{Lu}
h _{Kop}										
<u>Luft</u>	T	P _s	RF _i	dP			Z _{Lu}			
V _{Lu}										
h _{Lu}							P _b [Z _{Lu}]			
							Z _{Ne}			
<u>Vand</u>										
h _{Va}	T									
<u>Vægt</u>			dm			dt				<u>Tid</u>

I vores første eksempel vil vi betragte et meget åbent materiale med et flow på omkring 200 g/m² og døgn.

9.02 TRIN 01 - BEREGNING AF MASSEÆNDRING

I dette afsnit benyttes følgende begreber og symboler, og vi betragter kun to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Det eksponerede prøveemneareal (m ²)	A _{eks}
Målt masseændring mellem to vejninger (g)	d _m
Koppens masseændring mellem vejning 8 og 9 (g)	d _{m8-9}
Tidsinterval, specielt tidsintervallet mellem to på hinanden følgende vejninger (min)	d _t
Tidsintervallet mellem vejning 8 og 9 (min)	d _{t8-9}
Målt flow mellem to på hinanden følgende vejninger (g/0.005 m ² dt)	f _m
Målt flow til vejtidspunktet t ₉ (g/0.005 m ² dt)	f _{m9}
Koppens masse til tidspunktet t ₈ = ved vejning 8 (g)	m ₈
Koppens masse til tidspunktet t ₉ = ved vejning 9 (g)	m ₉

Antal min fra forsøgets start til vejning 8 t_8
(min)

Antal min fra forsøgets start til vejning 9 t_9
(min)

Beregningen af masseændringen kræver ingen nærmere forklaring, hvorfor vi kan gå direkte over til et beregningseksempel.

Som sagt betragter vi kun to vejninger, vejning 8 og 9:

Beregningseksempel:

Vi antager, at vi fra kopforsøget har registreret følgende måledata:

$$\begin{aligned} m_8 &= 287.5130 \text{ g} \\ m_9 &= 287.0610 \text{ g} \\ t_8 &= 4881 \text{ min} \\ t_9 &= 5772 \text{ min} \end{aligned}$$

Vi får derfor for masseændringen:

$$\begin{aligned} (23) \quad d_{m8-9} &= (m_8 - m_9) \\ d_{m8-9} &= (287.5130 - 287.0610) \\ d_{m8-9} &= 0.4520 \text{ g} \end{aligned}$$

og for tidsintervallet:

$$\begin{aligned} (24) \quad d_{t8-9} &= (t_9 - t_8) \\ d_{t8-9} &= (5772 - 4881) \\ d_{t8-9} &= 891 \text{ min} \end{aligned}$$

hvorfor det målte flow mellem de to vejetidspunkter t_8 og t_9 = det flow, der registreres som flowet f_{m9} til tidspunktet t_9 bliver:

$$(25) \quad f_{m9} = d_m / A_{\text{eks}} \, dt$$

$$(26) \quad f_{m9} = 0.4520 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.03 TRIN 02 - KORREKTION FOR BAROMETERTRYK (1)

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, og vi betragter fortsat kun to vejninger:

Begreb og enhed:

Symbol:

Målt masseændring mellem to vejninger (g)

d_m

Målt masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g) d_{mPb1}

Målt masseændring mellem vejning 8 og 9, korregeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g) d_{mkPb1}

Målt flow, korregeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g/0.005 m² dt) f_{kPb1}

Da vores eksempel er baseret på en vådkop, i dette tilfælde med en RF inde i koppen på 100% og en RF i målekammeret på 50%, så går flowet ud af koppen, der derfor bliver lettere og lettere frem gennem forsøgsperioden.

Stiger barometertrykket mellem to vejninger, så bliver koppen alt andet lige - og under bestemte forudsætninger m.h.t. prøveemnets stivhed - i sig selv lettere, hvorfor vi vil måle en for stor masseændring = et for stort flow.

Falder barometertrykket, så bliver koppen under de samme forudsætninger som ovenfor i sig selv tungere, hvilket medfører, at vi vil måle en for lille masseændring = et for lille flow.

Den for barometertrykkeffekten korrigerede masseændring er derfor den målte masseændring +/- den masseændring, der alene kan føres tilbage til en ændring i barometertrykket mellem de to vejninger.

For ikke at bryde tankegangen i beregningseksemplet vil vi først komme ind på den mere detaljerede beregning af barometertrykkets effekt i afsnit 9.14 og 9.15.

Vores beregningseksempel på dette sted bliver derfor ganske kortfattet:

Beregningseksempel:

For den korrigerede masseændring får vi, alt efter, om barometertrykket er faldet eller steget mellem de to vejninger:

$$(27) \quad \underline{\underline{d_{mkPb1} = d_m \pm d_{mPb1}}}$$

Lad os antage, at vi for værdien d_{mPb1} har 0.0012 g og endvidere, at barometertrykket er steget mellem de to vejninger. Dermed ville vi få:

$$(28) \quad d_{mkPb1} = 0.4520 - 0.0012 = 0.4508 \text{ g}$$

og for det korrigerede flow:

$$(29) \quad \underline{\underline{f_{kPb1} = 0.4508 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}}$$

Det er denne værdi for f_{kPb1} , der nu skal korrigeres for en lang række fejlkilder.

Den første korrektion er for ændringer i temperaturen i målekammeret mellem de to vejninger.

9.04 TRIN 03 - KORREKTION FOR TEMPERATUR

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, og vi betragter fortsat kun to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket ($\text{g}/0.005 \text{ m}^2 \text{ dt}$)	f_{kPb1}
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets temperatur ($\text{g}/0.005 \text{ m}^2 \text{ dt}$)	f_{kTe}
Konstant i formel (31) til beregning af P_s	k_1
Konstant i formel (36) til beregning af dm	k_2
Vanddamps mætningstryk (Pa)	P_s
Vanddampens mætningstryk ved vejning 8 (Pa)	P_{s8}
Vanddampens mætningstryk ved vejning 9 (Pa)	P_{s9}
Vanddampens mætningstryk ved 21.0 °C (Pa)	P_{sx}
Vanddampens mætningstryk ved 23.0 °C = kopmetodens normalbetingelserne (Pa)	P_{sy}
Middelværdien af vanddampens mætningstryk mellem to vejninger (Pa)	$P_{s\theta}$
Temperatur (°C)	T
Temperaturen i målekammeret ved vejning 8 (°C)	T_8
Temperaturen i målekammeret ved vejning 9 (°C)	T_9
Temperaturen 21 °C	T_x
Middelværdien af temperaturen i målekammeret mellem to vejninger (°C)	T_θ

Vanddampens mætningstryk afhænger af temperaturen. Variationer i temperaturen i målekammeret påvirker derfor P_s i vores standardformel

$$(30) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

Stiger temperaturen i målekammeret mellem to vejninger fra de ønskede 23.0 °C til f.eks. 23.5 °C, så stiger P_s , og det målte flow bliver større end det til normalbetingelsen (23.0 °C) svarende. KOPMAT90 skal derfor nedkorrigere det målte flow.

Omvendt, hvis temperaturen er faldet til under de 23 °C.

Udgangspunktet for korrektionen er følgende:

Der er en praktisk talt lineær sammenhæng mellem P_s og T . Ved 21.0 °C er P_s 2486 Pa, og ved 23.0 °C er P_s 2809 Pa /84/.

Vi kan derfor opstille følgende ligning til beregning af P_s ved en given temperatur:

$$(31) \quad P_{s8} = P_{sx} + (T_8 - T_x) \times k_1 \quad (\text{Pa})$$

Sætter vi i dette udtryk $k_1 = 161.5$, så er linien valgt således, at vi netop får den helt korrekte værdi for P_s ved 23.0 °C, nemlig 2809 Pa:

$$(32) \quad P_{sy} = P_{sx} + (T_8 - T_x) \times 161.5$$

idet vi har:

$$P_{sy} = 2486 + (23.0 - 21.0) \times 161.5$$

$$P_{sy} = 2809 \text{ Pa}$$

Beregningseksempel:

Vi antager, at vi har:

$$T_8 = 23.8 \text{ °C}$$

$$T_9 = 23.3 \text{ °C}$$

For middelværdien af temperaturen i målekammeret mellem de to vejninger får vi derfor:

$$(33) \quad T_{\emptyset} = (T_8 + T_9)/2$$

$$T_{\emptyset} = (23.8 + 23.3)/2$$

$$T_{\emptyset} = 23.55 \text{ °C}$$

For vanddampens mætningstryk ved vores middelværdi på 23.55 °C får vi derfor:

$$(34) \quad P_{s\emptyset} = P_{sx} + (T_{\emptyset} - T_x) \times 161.5$$

$$P_{s\emptyset} = 2486 + (23.55 - 21.0) \times 161.5$$

$$P_{s\emptyset} = 2897.8 \text{ Pa}$$

Middelværdien af den "drivende kraft" mellem de to vejninger har således været på 2897.8 Pa, hvor vores normalbetingelse i kopmetoden er 2809 Pa.

Den drivende kraft har derfor været for stor, hvorfor det i forvejen for barometereffekten korrigerede flow f_{kPb1} på 0.4508 g pr. 0.005 m² og 891 min skal korrigeres yderligere ned.

Hertil benyttes vores standardformel:

$$(35) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

der gennem "fastfrysning" af de øvrige variabler kan omskrives til:

$$(36) \quad \underline{\underline{dm = P_s \times k_2}}$$

Det for ændringen i temperaturen i målekammeret mellem de to vejninger nedkorrigerede flow kan derfor beregnes således:

$$(37) \quad \begin{aligned} f_{kTe} &= f_{kPb1} (P_{sy}/P_{sø}) \\ f_{kTe} &= 0.4508 (2809/2897.8) \end{aligned}$$

$$(38) \quad \underline{\underline{f_{kTe} = 0.4370 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}}$$

- - -

Vi kunne naturligvis have været nået frem til det samme resultat på følgende måde ved først at beregne P_{s8} :

$$(39) \quad \begin{aligned} P_{s8} &= P_{sx} + (T_8 - T_x) \times 161.5 \\ P_{s8} &= 2486 + (23.8 - 21.0) \times 161.5 \\ P_{s8} &= 2938.2 \text{ Pa} \end{aligned}$$

derefter P_{s9} :

$$(40) \quad \begin{aligned} P_{s9} &= P_{sx} + (T_9 - T_x) \times 161.5 \\ P_{s9} &= 2486 + (23.3 - 21.0) \times 161.5 \\ P_{s9} &= 2857.5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

og endelig:

$$(41) \quad \begin{aligned} P_{sø} &= (P_{s8} + P_{s9})/2 \\ P_{sø} &= (2938.2 + 2857.5)/2 \\ P_{sø} &= 2897.9 \text{ Pa} \end{aligned}$$

hvilket for det korrigerede flow naturligvis ville give samme værdi som før, nemlig:

$$(42) \quad \underline{f_{kTe} = 0.4370 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}$$

9.05 TRIN 04 - KORREKTION FOR RELATIV FUGTIGHED (RF)

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets RF (g/0.005 m ² dt)	f_{kRFu}
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets temperatur (g/0.005 m ² dt)	f_{kTe}
Konstant i formel (48) til beregning af dm	k_3
Kopforsøgets drivende potentiale = $(RF_i - RF_u)P_s$ (Pa)	P_{Pot}
Det drivende potentiale ved kopmetodens normalbetingelser = $RF_u = 50\%$ (Pa)	P_{PotY}
Middelværdien af det drivende potentiale mellem to vejninger (Pa)	$P_{Pot\emptyset}$
RF i målekammeret ved vejning 8 (dim.løs)	RF_{u8}
RF i målekammeret ved vejning 9 (dim.løs)	RF_{u9}
Den ønskede værdi for RF_u (dim.løs)	RF_{uy}
Middelværdien af RF i målekammeret mellem to vejninger (dim.løs)	$RF_{u\emptyset}$

En ændring i målekammerets RF = RF_u mellem to vejninger påvirker dm i vores standardformel:

$$(43) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

Er vores dm målt ved en RF_u i målekammeret på f.eks. 49.0% = 0.49, hvor de ønskede målebetingelser foreskriver $RF_u = 50.0\% = 0.50$, så har vi pga. et for stort drivende potentiale $(RF_i - RF_u)P_s$, hvor $(1.0 - 0.49) \times 2809 > (1.0 - 0.50) \times 2809$ målt et for stort flow, der derfor skal nedkorrigeres, og omvendt, hvis vi havde haft RF_u på f.eks. 51.0% = 0.51.

Princippet er det samme som i afsnit 9.04, hvorfor vi fortsætter med det påbegyndte eksempel uden yderligere kommentarer.

Vores udgangsværdi er det i forvejen for barometereffekt og temperatur korrigerede flow f_{kTe} på 0.4370 g pr. 0.005 m² og 891 min.

Beregningseksempel:

Vi antager, at der er målt følgende værdier for RF_u :

$$\begin{aligned} RF_{u8} &= 49.2 \\ RF_{u9} &= 49.3 \end{aligned}$$

Det giver:

$$(44) \quad RF_{u\bar{}} = (49.2 + 49.3)/2 = 49.25$$

Vores flow er derfor målt ved et for stort drivende potentiale:

$$\begin{aligned} (45) \quad P_{Pot} &= (RF_i - RF_u) P_s \\ P_{Pot} &= (1.0 - 0.4925) \times 2809 \\ P_{Pot} &= 1425.6 \text{ Pa} \end{aligned}$$

i forhold til det ønskede:

$$\begin{aligned} (46) \quad P_{Pot} &= (RF_i - RF_u) P_s \\ P_{Pot} &= (1.0 - 0.50) \times 2809 \\ P_{Pot} &= 1404.5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Nedkorrigeringen sker atter med udgangspunkt i vores standardformel:

$$(47) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

der her og ligeledes gennem "fastfrysning" af de øvrige variabler kan omskrives til:

$$(48) \quad \underline{\underline{dm = (RF_i - RF_u) k_3}}$$

og vi får:

$$\begin{aligned} (49) \quad f_{kRFu} &= f_{kTe} (RF_{u\bar{}}/RF_{uy}) \\ f_{kRFu} &= 0.4370 (49.25/50.0) \end{aligned}$$

$$(50) \quad \underline{\underline{f_{kRFu} = 0.4304 \text{ g pr. 0.005 m}^2 \text{ og 891 min}}}$$

Også her havde man naturligvis kunnet beregne nedkorrigeringen på en alternativ måde, nemlig over de to drivende potentialer:

$$(51) \quad f_{\text{kRFu}} = f_{\text{kTe}} (P_{\text{Potø}}/P_{\text{Poty}})$$

$$f_{\text{kRFu}} = 0.4370 (1404.5/1425.6)$$

hvorefter vi vil nå til samme resultat:

$$(52) \quad f_{\text{kRFu}} = 0.4305 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

Differencen på 0.0001 g skyldes naturligvis op- eller nedrundingsfejl.

9.06 LUFTLAGSMODSTANDEN I KOPPEN Z_{Lu}

Korrektionen for kopmodstandene vil først blive behandlet i afsnit 9.10. Inden da vil vi se lidt på de enkelte kopmodstande hver for sig (afsnit 9.06 - 9.09).

I dette indskudte afsnit benyttes specielt følgende symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Koppens indvendige bundareal (cm ²)	A_{Kop}
Koppens indvendige højde (cm)	h_{Kop}
Luftlagets tykkelse (højde) ved vejning 8 (cm)	h_{Lu8}
Luftlagets tykkelse (højde) ved vejning 9 (cm)	h_{Lu9}
Luftlagets tykkelse (højde) ved forsøgets start (cm)	h_{Lus}
Middelværdien af tykkelsen (højden) af luftlaget i koppen mellem to vejninger (cm)	$h_{\text{Luø}}$
Tykkelsen (højden) af pakningen (pakningerne) mellem koppen og prøveemnets underside (cm)	h_{Pak}
Den vandmængde, der påfyldes koppen ved forsøgets start (g)	m_{Vas}
Den samlede masseændring frem til vejning 8, dog korrigeret for de masseændringer, der alene skyldes ændringer i barometertrykket (g)	Σ_{dm8}
Vejning 8	Ve_8
Vejning 9	Ve_9
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for luftlaget i koppen (Pa s m ² /kg)	Z_{Lu}

Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for luftlaget i koppen til tidspunktet $t_8 =$ Z_{Lu8}
ved vejning 8 ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)

Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for et luftlag på 1 cm ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$) Z_{Luy}

Udgangspunktet for beregningen i dette afsnit er tykkelsen af luftlaget i koppen ved forsøgets start, der beregnes således:

$$(53) \quad h_{Lus} = h_{Kop} + h_{Pak} - (m_{Vas}/A_{Kop})$$

Til vejtidspunktet Ve_8 vil tykkelsen af luftlaget i koppen være forøget med:

$$(54) \quad \Sigma_{dm8}/A_{Kop}$$

og vi får derfor:

$$(55) \quad h_{Lu8} = ((h_{Kop} + h_{Pak} - (m_{Vas}/A_{Kop})) + \Sigma_{dm8}/A_{Kop})$$

Beregningseksempel:

Vi fortsætter vores eksempel og beregner først tykkelsen af luftlaget i koppen ved forsøgets start:

$$(56) \quad h_{Lus} = h_{Kop} + h_{Pak} - m_{Vas}/A_{Kop}$$

Koppens indvendige højde er 4.83 cm. Vi antager, at vores pakning har en tykkelse på 0.2 cm samt at der er påfyldt koppen 50 ml vand ved forsøgets start.

Dermed har vi, idet koppens indvendige bundareal er 49.85 cm²:

$$h_{Lus} = 4.83 + 0.2 - (50/49.85) = 4.03 \text{ cm}$$

Antager vi endvidere, at vi har $\Sigma_{dm8} = 2.4938 \text{ g}$, så kan vi beregne tykkelsen af luftlaget i koppen ved vejning 8 til:

$$(57) \quad h_{Lu8} = h_{Lus} + \Sigma_{dm8}/A_{Kop}$$

$$h_{Lu8} = 4.03 + 2.4938/49.85 = 4.08 \text{ cm}$$

Med en antaget værdi for $\Sigma_{dm9} = 2.9446 \text{ g}$ kan vi på samme måde beregne tykkelsen af luftlaget i koppen ved vejning 9 til:

$$(58) \quad h_{Lu9} = h_{Lus} + \Sigma_{dm9}/A_{Kop}$$

$$h_{Lu9} = 4.03 + 2.9446/49.85 = 4.09 \text{ cm}$$

Middelværdien for tykkelsen af luftlaget i koppen mellem de to vejninger fås derfor til:

$$(59) \quad h_{Lu0} = (h_{Lu8} + h_{Lu9})/2$$

$$h_{Lu0} = (4.08 + 4.09)/2 = 4.085 \text{ cm}$$

Med en antaget værdi for fugtmodstandstallet/dampdiffusionsmodstanden i 1 cm luftlag Z_{Lu9} på $0.06 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$ (se afsnit 3.06) kan vi derfor beregne Z_{Lu} ved vejning 9 til:

$$(60) \quad Z_{\text{Lu9}} = 4.085 \times 0.06 \times 10^9 = 0.245 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

Vi vender tilbage til denne værdi i afsnit 9.10.

9.07 OVERGANGSMODSTANDENE Z_{Ne} og Z_{Op}

Overflade- eller overgangsmodstanden fra vandoverfladen til selve luftlaget i koppen Z_{Ne} (hvor Ne står for nede i koppen) og overflade- eller overgangsmodstanden fra luftlaget til undersiden af prøveemnet Z_{Op} (hvor Op står for oppe i koppen) beregnes ikke af KOPMAT90, der benytter fast indtastede værdier, der er beregnede/tilnærmede af E. Nilsson og Ch.M. Hansen (jævnfør afsnit 4.08).

De benyttede værdier er:

$$(61) \quad Z_{\text{Ne}} = 0.04 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(62) \quad Z_{\text{Op}} = 0.0263 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

Vi vender tilbage til disse værdier i afsnit 9.10.

9.08 VINDHASTIGHEDEN OVER KOPPEN

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Fugtovergangstal ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}$)	O_f
Fugtovergangstallet ved vindhastighed på 2 m/s ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}$)	O_{f2m}
Fugtovergangstallet ved vindhastighed på x m/s ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}$)	O_{fxm}
Middelværdien af fugtovergangstallet mellem to vejninger ($\text{kg}/\text{m}^2 \text{ s Pa}$)	$O_{f\emptyset}$
Vindhastigheden over koppen (m/s)	v_{Vi}
Vindhastigheden over koppen ved vejning 8 (m/s)	v_{Vi8}
Vindhastigheden over koppen ved vejning 9 (m/s)	v_{Vi9}

Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for Z_{Vi}
 overgangen mellem prøveemnets overside og den
 omgivne luft i målekammeret ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)

$1/O_f$ ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$) Z_{Vi}

Vindhastigheden over koppen har betydning for størrelsen af overflade- eller overgangsmodstanden fra prøveemnets overflade til den omgivne luft i målekammeret.

Gennemfører vi et kopforsøg under en vindhastighed, der overstiger vores normerede 3 m/s, så måler vi en for stor masseændring = et for stort flow, der derfor skal nedkorrigeres, og omvendt ved en vindhastighed på f.eks. 2.5 m/s.

Udgangspunktet for KOPMAT90's korrektion for denne fejlkilde er det såkaldte fugtovergangstal, således som det er beskrevet i bl.a. i Carsten Rode Pedersens afhandling fra 1989 /96/.

Heri ses, at der er en praktisk talt liniær sammenhæng mellem fugtovergangstallet og vindhastigheden inden for det område mellem 0 og 7 m/s, der interesserer os i kopsammenhæng.

Som udgangspunkt for formulering af en mere enkelt beregningsformel for O_f har vi valgt O_f ved 2 m/s, der hos Rode Pedersen kan aflæses til $0.85 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}$.

For andre aktuelle vindhastigheder har vi derefter og under benyttelse af Rode Pedersens data opstillet følgende udtryk:

$$(63) \quad O_{fxm} = O_{f2m} + (v_{Vi} - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7} \text{ (kg/m}^2 \text{ s Pa)}$$

Beregningseksempel:

Lad os se på et deleksempel:

Efter korrektion for barometereffekt, ændringer i målekammerets temperatur samt ændringer i målekammerets RF nåede vi i afsnit 9.05 frem til et f_{kRF} på 0.4304 g pr. 0.005 m^2 og 891 min.

Lad os antage, at vi har målt $v_{Vi8} = 3.7 \text{ m/s}$ og $v_{Vi9} = 3.3 \text{ m/s}$.

Først beregnes fugtovergangstallet for en vindhastighed på 3.7 m/s, hvor vi sætter $3.7 = x$:

$$(64) \quad \begin{aligned} O_{fxm} &= O_{f2m} + (x - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7} \\ O_{fxm} &= 0.85 \times 10^{-7} + (3.7 - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7} \\ O_{fxm} &= 1.247 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa} \end{aligned}$$

På samme måde beregnes fugtovergangstallet for en vindhastighed på 3.3 m/s, hvor vi sætter $3.3 = y$:

$$\begin{aligned}
 (65) \quad O_{fym} &= O_{f2m} + (Y - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7} \\
 O_{fym} &= 0.85 \times 10^{-7} + (3.3 - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7} \\
 O_{fym} &= 1.153 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}
 \end{aligned}$$

Som udgangspunkt for en korrektion af flowet til tidspunktet t_g benyttes gennemsnittet af de to fugtovergangstal:

$$\begin{aligned}
 (66) \quad O_{f\emptyset} &= (O_{fxm} + O_{fym})/2 \\
 O_{f\emptyset} &= (1.247 \times 10^{-7} + 1.153 \times 10^{-7})/2 \\
 O_{f\emptyset} &= 1.200 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^2 \text{ s Pa}
 \end{aligned}$$

Da det tilsvarende fugtmodstandstal for overflade- eller overgangsmodstanden fra prøveemnets overflade til den omgivne luft i målekammeret er den reciproke værdi af fugtovergangstallet:

$$(67) \quad Z_{vi} = 1/O_f \text{ (Pa s m}^2/\text{kg)}$$

så får vi:

$$\begin{aligned}
 Z_{vi} &= (1/1.200 \times 10^{-7}) \\
 Z_{vi} &= 8.33 \times 10^6 \text{ Pa/s m}^2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$(68) \quad Z_{vi} = 0.0083 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

Vi vender tilbage til denne værdi i afsnit 9.10.

9.09 BAROMETERTRYKKETS INDFLYDELSE PÅ δ_{Lu}

Variationer i barometertrykket har indvirkning på damppermeabilitetskoefficienten for vanddamp i luft δ_{Lu} (kg/Pa s m) og dermed også på fugtmodstandstallet /dampdiffusionsmodstanden for vanddamp i luft Z_{Lu} (Pa s m²/kg).

Stigende barometertryk betyder faldende værdier for δ_{Lu} .

Denne fejlkilde, der er meget lille, må ikke forveksles med barometertrykket som fejlkilde.

Når den er taget med, så skyldes det målsætningen for KOPMAT90, nemlig at korrigere det målte flow for samtlige til dato kendte og kvantificerede fejlkilder ved KOPMETODEN, dog med undtagelse af den i afsnit 4.02 omtalte udbøjning.

Også i dette tilfælde er der en tilstrækkelig lineær sammenhæng mellem δ_{Lu} og barometertrykket til, at der kan formuleres en enkelt korrektionsformel.

Korrektionsprincippet er, at vi korrigerer summen af de relevante modstande (Z_{Ns} , Z_{Lu} og Z_{Op}) med +/- 0.1 % pr. mbar ændring i barometertrykket og med 1013 mbar som udgangspunkt (normalbetingelse) (1487).

Er der målt ved et barometertryk på under 1013 mbar, så skal de relevante modstande opkorrigeres og omvendt.

Selve korrektionen vil blive behandlet i næste afsnit.

9.10 TRIN 05 - KORREKTION FOR KOPMODSTANDE

Vi fortsætter nu vores eksempel og i dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Konstant i formel (80) til beregning af Δm	k_4
Påvirkningen af ændringer i barometertrykket på damppermeabilitetskoefficienten for vanddamp i luft	$P_b[\delta_{Lu}]$
Påvirkningen af ændringer i barometertrykket på fugtmodstandstallet/dampdiffusionsmodstanden for vanddamp i luft	$P_b[Z_{Lu}]$
Summen af kopmodstandene (Pa s m ² /kg)	ΣZ_{Kop}
$= Z_{Ne} + Z_{Lu}(\text{korrigeret for } P_b[Z_{Lu}]) + Z_{Op} + Z_{Vi}$ (Pa s m ² /kg)	
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for luftlaget i koppen (Pa s m ² /kg)	Z_{Lu}
Overflade- eller overgangsmodstanden fra vandoverfladen til selve luftlaget i koppen (Ne står for nede i koppen) (Pa s m ² /kg)	Z_{Ne}
Overflade- eller overgangsmodstanden fra luftlaget i koppen til undersiden af prøveemnet (Op står for oppe i koppen) (Pa s m ² /kg)	Z_{Op}
Selve prøveemnets fugtmodstandstal/dampdiffusionsmodstand (Pa s m ² /kg)	Z_{Pr}
Den samlede (totale) målte modstand = Det totale fugtmodstandstal/den totale dampdiffusionsmodstand = $Z_{Pr} + Z_{Kop}$ (Pa s m ² /kg)	Z_{Tot}
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for overgangen mellem prøveemnets overside og den omgivne luft i målekammeret (Pa s m ² /kg)	Z_{Vi}

Efter korrektion af det oprindeligt målte flow for barometereffekten samt ændring i målekammerets temperatur og RF, skal der nu korrigeres for en række modstande, som vi tilsammen betegner kopmodstandene (Z_{Ne} , Z_{Lu} , Z_{Op} og Z_{Vi}) samt for variationer i barometertrykkets indflydelse på damppermeabilitetskoefficienten for vanddamp i luft $P_b[\delta_{Lu}]$.

Beregningseksempel:

Vi fortsætter vores påbegyndte eksempel, hvor vi i afsnit 9.05 nåede frem til et f_{kRF} på 0.4304 g pr. 0.005 m² og 891 min.

Med udgangspunkt i ovennævnte værdi og vores standardformel:

$$(69) \quad Z_p = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{dm \times dt}$$

beregner vi så Z_{Tot} for dette flow = flowet mellem Ve_8 og Ve_9 = flowet til vejtidspunkt t_9 , hvor vi som ofte nævnt har $t_8 = 4881$ min og $t_9 = 5772$ min, hvilket giver $d_{t_8-9} = 5772 - 4881 = 891$ min.

Vi får derfor:

$$(70) \quad Z_{\text{Tot}} = \frac{0.005 (1.0 - 0.5) 2809 \times 1000 \times 60}{0.4304 \times 891}$$

$$(71) \quad Z_{\text{Tot}} = 0.872 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

For nu at finde frem til en Z_p -værdi for selve prøveemnet (Z_{Pr}), så skal vi fra den beregnede værdi for Z_{Tot} trække summen af de modstande (Z_{Kop}), som vi fandt frem til i de foregående afsnit.

Vi har:

$$(72) \quad Z_{\text{Kop}} = Z_{\text{Ne}} + Z_{\text{Lu}} + Z_{\text{Op}} + Z_{\text{Vi}}$$

$$Z_{\text{Kop}} = (0.04 + 0.245 + 0.0263 + 0.0083) \times 10^9$$

$$(73) \quad Z_{\text{Kop}} = 0.3196 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

Denne værdi skal imidlertid korrigeres for variationer i barometertrykkets indflydelse på damppermeabilitetskoefficienten for vanddamp i luft $P_b[\delta_{\text{Lu}}]$ (jævnfør afsnit 9.09).

Lad os antage, at vi har følgende værdier for barometertrykket:

$$P_{b8} = 988 \text{ mbar}$$

$$P_{b9} = 991 \text{ mbar}$$

Middelværdien for barometertrykket mellem de to vejninger bliver derfor:

$$(74) \quad P_{b0} = (P_{b8} + P_{b9})/2 =$$

$$P_{b\emptyset} = (988 + 991)/2 =$$

$$P_{b\emptyset} = 989.5 \text{ mbar}$$

Efter det princip, der blev nævnt i afsnit 9.09, korrigerer KOPMAT90 nu de relevante modstande for barometertrykkets indflydelse på damppermeabilitetskoeficienten for vanddamp i luft gennem nedenstående udtryk, hvor vi for den korrigerede værdi for Z_{kop} får:

$$(75) \quad Z_{kop} = \frac{Z_{Ne} + Z_{Lu} + Z_{Op} + Z_{Vi} - (Z_{Lu} + Z_{Ne} + Z_{Op})}{X (P_{b\emptyset} - 1013) \times 0.001 \text{ (Pa s m}^2/\text{kg)}}$$

$$Z_{kop} = \frac{0.3196 \times 10^9 - 0.3113 \times 10^9}{((989.5 - 1013) \times 0.001) \text{ Pa s m}^2/\text{kg}}$$

$$Z_{kop} = 0.3196 + 0.0073$$

$$(76) \quad Z_{kop} = 0.3269 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

Hefter kan vi så beregne en værdi for selve prøveemnets modstand (Z_{Pr}) således:

$$(77) \quad Z_{Pr} = Z_{Tot} - Z_{kop}$$

$$(78) \quad Z_{Pr} = 0.872 - 0.3269 = 0.5451 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

Dernæst tager vi atter vores standardformel:

$$(79) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

der med "fastfrysning" af de øvrige parametre kan omskrives til:

$$(80) \quad dm = \frac{k_A}{Z_p}$$

Vi kan nu beregne det reelle flow gennem vores prøveemne til tidspunktet t_9 , der samtidig er det for modstandene eller fejlkilderne Z_{Ne} , Z_{Lu} , Z_{Op} og Z_{Vi} samt for $P_b[\delta_{Lu}]$ korrigerede flow f_{kzz} .

Vi har:

$$(81) \quad d_{mkzz} = \frac{0.005 (1.0 - 0.5) 2809 \times 1000 \times 60 \times 891}{0.5451 \times 10^9}$$

$$d_{mkZZ} = 0.6887 \text{ g}$$

og dermed:

$$(82) \quad f_{kZZ} = 0.6887 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

Bemærk, at det reelle flow gennem prøveemnet = 0.6887 g pr. 0.005 m² og 891 min er 60% større end det flow = 0.4304 g pr. 0.005 m² og 891 min der ikke inddrager kopmodstandene i beregningen

9.11 TRIN 06 - KORREKTION FOR RAND- OG KOMPRESSIONSEFFEKT

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Det effektive prøveemneareal (m ²)	A_{eff}
Det eksponerede prøveemneareal (m ²)	A_{eks}
Målt flow, korrigeret for kopmodstande (g/0.005 m ² dt)	f_{kZZ}
Målt flow, korrigeret for randeffekten (g/0.005 m ² dt)	f_{kRa}
Målt flow, korrigeret for rand- og kompressionseffekten (g/0.005 m ² dt)	f_{kRaK}
Prøveemnets tykkelse (højde) (cm)	h_{Pr}
Konstant i formel (93) til beregning af d_m	k_5
Korrektion for kompressionseffekten = det antal mm, som prøveemnet må formodes at være blevet sammenpresset under opspændingen i koppen (mm)	K_{Fak}
Faktor for randeffekten ved en prøveemnetykkelse på x mm, når der samtidig tages hensyn til kompressionseffekten (K-faktoren)	Ra_{FKx}
Faktor for randeffekten ved en prøveemnetykkelse på 0.5 mm = 102.3	Ra_{Fy}
Faktor for randeffekten ved en prøveemnetykkelse på x mm, når der ikke tages hensyn til kompressionseffekten (K-faktoren)	Ra_{Fx}

Lad os se på disse to fejlkilder hver for sig:

Randeffekten

Niels Haldor Bertelsen har i 1987 /11/ tilføjet et korrektionsled ($\times 0.08$) til en af F.A. Joy og A.G. Wilson /58/ samt Erik B. Hansen /38/ tidligere udviklet/bearbejdet ligning til beregning af randeffekten ved kopforsøg:

$$(83) \quad F_1 \approx 1 + \frac{2}{\pi} \times \alpha_1 \times \ln \left(\frac{2}{1 + e^{-2\pi \times \beta_1}} \right) + \alpha_1 \times \beta_1 \times 0.08$$

Udgangspunktet er, at forholdet mellem det effektive og det eksponerede prøveareal er en funktion af F_1 , der igen er en funktion af eksponeringsåbningens radius, prøveemnets radius samt prøveemnets tykkelse:

$$(84) \quad A_{\text{eff}}/A_{\text{eks}} = F_1(a, b, l)$$

hvor vi har:

$$\begin{aligned} a &= \text{Eksponeringsåbningens radius (m)} \\ b &= \text{Prøveemnets radius (m)} \\ l &= \text{Prøveemnets tykkelse (m)} \\ \alpha_1 &= l/a \\ \beta_1 &= (b-a)/l \end{aligned}$$

Randeffekten stiger med prøveemnets tykkelse, og vi vil altid være i den situation, at det målte flow er større end det reelle.

Der skal derfor altid foretages en nedkorrigeret af flowet.

Vi har gennemregnet ovennævnte ligningssystem for 3 prøveemnetykkelser (1411) og opstillet følgende forenklede udtryk til beregning af en faktor for randeffekten ved en given prøveemnetykkelse og med udgangspunkt i de kopdimensioner, som vi benytter på LBM:

$$(85) \quad \underline{\underline{Ra_{Fx} = Ra_{Fy} + (h_{Fr} - 0.5) \times 1.15}}$$

I LBM's KOPUDSTYR har vi $A_{\text{eks}} = 0.005 \text{ m}^2$, og vi kan nu udregne A_{eff} således:

$$(86) \quad \underline{\underline{A_{\text{eff}} = (Ra_{Fx} \times A_{\text{eks}})/100}}$$

hvorefter det for randeffekten korrigerede flow kan beregnes som:

$$(87) \quad \underline{\underline{f_{kRa} = f_{kZZ} (A_{\text{eks}}/A_{\text{eff}}) \text{ g}/0.005 \text{ m}^2 \text{ dt}}}$$

Beregningseksempel:

Vi fortsætter vores eksempel.

Efter nu at have korrigeret vores målte flow for barometereffekt, variationer i målekammerets temperatur og RF samt for kopmodstandene Z_{Ne} , Z_{Lu} , Z_{Op} , Z_{Vi} og $P_b[\delta_{Lu}]$ fik vi i afsnit 9.10 et for disse fejlkilder korrigeret flow f_{kzz} på 0.6887 g/0.005 m² og 891 min, der nu skal korrigeres for rand- og senere for kompressionseffekten.

Lad os antage, at vores prøveemne har en tykkelse på 13 mm.

Vi får derfor med $h_{pr} = 13.0$ mm og $Ra_{FY} = 102.3$:

$$\begin{aligned}
 (88) \quad Ra_{Fx} &= Ra_{FY} + (h_{pr} - 0.5) \times 1.15 \\
 Ra_{F13} &= Ra_{FY} + (h_{pr} - 0.5) \times 1.15 \\
 Ra_{F13} &= 102.3 + (13.0 - 0.5) \times 1.15 \\
 (89) \quad Ra_{F13} &= 116.7
 \end{aligned}$$

og dermed:

$$\begin{aligned}
 (90) \quad A_{eff} &= (Ra_{Fx} \times A_{eks})/100 \\
 A_{eff} &= (Ra_{F13} \times A_{eks})/100 \\
 A_{eff} &= (116.7 \times 0.005)/100 \\
 (91) \quad A_{eff} &= 0.005835 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Derefter bruger vi atter vores standardformel:

$$(92) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

som fortsat under "fastfrysning" af de øvrige variabler kan omskrives til:

$$(93) \quad \underline{\underline{dm = A k_5}}$$

hvorfor det for fejlkilden randeffekt korrigerede flow kan udregnes som:

$$\begin{aligned}
 (94) \quad f_{kRa} &= f_{kzz} (A_{eks}/A_{eff}) \\
 f_{kRa} &= 0.6887 (0.005/0.005835) =
 \end{aligned}$$

$$(95) \quad \underline{\underline{f_{kRa} = 0.5901 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}}$$

Kompressionseffekten (K-faktoren)

Under overvejelser omkring eventuelt "genbrug" af nogle tidligere HYPALON-prøveemner kunne man se, at de havde en mindre tykkelse der, hvor de var blevet presset sammen af koppers pakninger.

Har man derfor materialer af en tykkelse på måske mellem 5 og 15 mm, og er disse materialer relativt bløde og derfor let sammenpresselige under den nødvendige tilspænding i koppen, så opstår der naturligvis en fejlkilde, der skal tages i betragtning, når vi korrigerer flowet for randeffekten.

Denne fejlkilde er af hensyn til overblikket med vilje holdt ude af de formler og de beregninger vedrørende randeffekten, der blev gennemgået ovenfor.

Korrektionen for denne supplerende fejlkilde, der har fået betegnelsen "korrektion for kompressionseffekten" indgår imidlertid i KOPMAT90's beregninger, idet metoden ikke benytter ligningen:

$$(96) \quad Ra_{Fx} = Ra_{Fy} + (h_{Pr} - 0.5) \times 1.15$$

men derimod:

$$(97) \quad Ra_{FKx} = Ra_{Fy} + (h_{Pr} - K_{Fak} - 0.5) \times 1.15$$

hvor vi har:

$$K_{Fak} = \text{Korrektion for kompressionseffekten} = \\ \text{det antal mm, som prøveemnet må for-} \\ \text{modes at være blevet sammenpresset un-} \\ \text{der opspændingen i koppen}$$

Vi forestiller os, at det foreliggende eksempel bygger på et materiale, der ikke sammenpresses under opspændingen i koppen, hvilket i øvrigt er hovedreglen, og får derfor samme resultat som for beregningen af randeffekten alene:

$$(98) \quad Ra_{FK13} = Ra_{Fy} + (h_{Pr} - K_{Fak} - 0.5) \times 1.15$$

$$Ra_{FK13} = 102.3 + (13.0 - 0.0 - 0.5) \times 1.15$$

$$(99) \quad Ra_{FK13} = 116.7$$

og dermed atter:

$$(100) \quad A_{eff} = 0.005835 \text{ m}^2$$

og:

$$(101) \quad f_{kRaK} = 0.5901 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.12 ÅBNE OG TÆTTE MATERIALER

Lad os gøre en kort pause og se på tre eksempler på mere eller mindre åbne materialer.

Lad os starte med beregningseksemplet, hvor vi jo havde et meget åbent materiale.

Eksempel 1 - Et meget åbent materiale

Kassernes størrelse angiver flowet. Målt flow (1) er det oprindeligt målte flow. Målt flow (2) er fratrasket effekten af variationer i barometertrykket, der vil blive behandlet mere indgående i næste afsnit. Kassen ud for "Temperatur" angiver flowet efter korrektion for denne fejlkilde osv.

Målt flow (1)	0.4520 = 100.0 %	
Målt flow (2)	0.4508 = 99.7 %	
Temperatur	0.4370 = 96.7 %	
RF	0.4304 = 95.2 %	
Kopmodstande	0.6887 = 152.4 %	
Randeffekt + K-faktor	0.5901 = 130.6 %	

Af illustrationen ses det tydeligt, at kopmodstandene (og det er jo specielt Z_{Lu}) er den helt dominerende fejlkilde, efterfulgt af randeffekten.

Det skyldes, at vores beregningseksempel er taget fra et meget åbent materiale, nemlig en gipsplade, hvor det reelle flow har andraget omkring 200 g pr. m² og døgn.

Det ses også, at barometertrykket i det foreliggende eksempel - og uanset hvor meget det måtte variere under forsøgsperioden - ikke vil kunne få nogen som helst praktisk betydning som fejlkilde.

Også dette forhold skyldes, at vi har at gøre med et meget åbent materiale.

Det har derfor ikke megen mening at illustrere barometertrykkets effekt som fejlkilde gennem det indtil nu behandlede eksempel.

Til formålet vil vi derfor vælge et ret, men ikke helt tæt materiale med et flow af størrelsesordenen 4 g pr. m² og døgn.

Eksempel 2 - Et ret tæt materiale

Et sådant materiale vil vise følgende karakteristik:

Målt flow (1)	0.0119 = 100.0 %	
Målt flow (2)	0.0091 = 76.5 %	
Temperatur	0.0090 = 75.6 %	
RF	0.0090 = 75.6 %	
Kopmodstande	0.0091 = 76.5 %	
Randeffekt	0.0088 = 73.9 %	

Ved det ret tætte materiale har vi således et helt andet billede med barometereffekten som den dominerende fejlkilde og atter med randeffekten på andenpladsen.

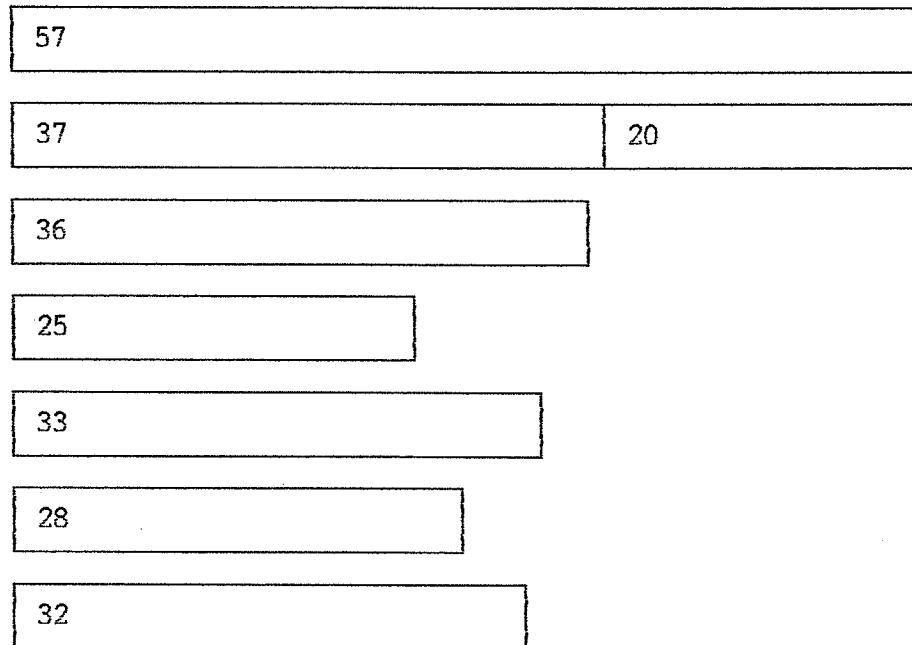
Eksempel 3 - Et meget tæt materiale

Tager vi endelig et meget tæt materiale med et flow på under 1 gr. pr. m² og døgn, så kan vi få følgende profil med en alt dominerende effekt fra barometertrykket og selv ved en så relativ lille variation mellem to vejninger som 3 - 5 mbar:

Målt flow (1)	0.0009 = 100.0 %	
Målt flow (2)	0.0017 = 188.9 %	
Temperatur	0.0016 = 177.8 %	
RF	0.0017 = 188.9 %	
Kopmodstande	0.0017 = 188.9 %	
Randeffekt	0.0016 = 177.8 %	

9.13 KORREKTION FOR BAROMETERTRYK - BEREGNINGSPRINCIP

Lad os betragte en meget forenklet model:



Mellem to vejninger har vi målt et flow på 57 flowenheder. Variationen i barometertrykket mellem disse to vejninger betyder, at 20 af de målte flowenheder alene kan henføres til denne fejlkilde under forudsætning af, at materialet har været 100% stift. Det resterende (reelle) flow har derfor været på 37 flowenheder.

Efter korrektion for temperatur får vi 36; efter RF 25; efter kopmodstande 33 og endelig efter korrektion for rand- og kompressionseffekt 28 flowenheder.

De 28 flowenheder er som sagt under forudsætning af, at materialet har forholdt sig 100% stift. KOPMAT90's kurveanalyse, som vi snart kommer ind på, viser i midlertid, at det målte materiale kun forholdt sig 80% stift.

Vi begik derfor den fejl i starten, at vi trak 20 flowenheder (i stedet for kun 16) fra det målte flow på 57.

De resterende 4 flowenheder skal derfor lægges til de 28, og forsøgets endelige resultat bliver 32 flowenheder.

Dette resultat er næsten rigtigt, men vi har dog begået endnu en fejl.

Lad os atter se på modellen og under den synsvinkel, at kun 16 af de målte 57 flowenheder kunne henføres til variationer i barometertrykket:

57	
41	16
39.89	
27.70	
36.57	
31.03	

Det resterende (reelle) flow bliver i dette tilfælde 41 flowenheder, der efter korrektion for temperatur ville være blevet reduceret til $41(37/36) = 39.89$ flowenheder og på samme måde for de næste trin frem til et forsøgsresultat på 31.03 flowenheder i stedet for 32. Vi begik med andre ord en fejl på $32 - 31.03 = 0.97$ flowenheder.

KOPMAT90 korrigerer for denne fejl på følgende måde:

Det oprindelige "reelle flow" på 37 flowenheder blev efter korrektion for fejlkilder reduceret til et flow på 28 flowenheder.

Det medfører, at de 4 flowenheder, som vi skulle have haft med i starten, også skal reduceres og i samme forhold. De bliver derfor til $4(28/37) = 3.03$ enheder, der skal lægges til de 28, hvorfor vi som resultat får $28 + 3.03 = 31.03$ flowenheder.

Når KOPMAT90 korrigerer på denne måde, så er det naturligvis for ikke at skulle sende samtlige data to gange gennem systemet.

Lad os derefter se på, hvorledes barometereffekten overhovedet opstår.

9.14 BAROMETERTRYKKET OG LUFTENS VÆGTFYLDE

Som udgangspunkt tager vi et almindeligt vådkopforsøg med vand i koppen = 100% RF og RF = 50% i målekammeret. Her går vanddamptransporten fra koppen og ud i den omgivne luft.

Lad os endvidere antage, at vi har målt en masseændring - eller som vi foretrækker at kalde det - et flow mellem to vejninger på $0.005 \text{ g}/0.005 \text{ m}^2 \text{ dt}$.

Hvis barometertrykket mellem disse 2 vejninger samtidig er steget, så er den omgivne lufts vægtfylde også steget. Er prøveemnet stift, så vil koppens masse være blevet mindre, hvilket vi vil opleve som et flow. Af de 0.005 g kan de

0.003 g meget let skyldes stigningen i barometertrykket, og i virkeligheden er der således kun gået 0.002 g vanddamp gennem vores prøveemne i den pågældende tidsperiode. Det målte flow er således større end det reelle.

Falder barometertrykket, så vil vi naturligvis opleve det modsatte, og det målte flow vil være mindre end det reelle.

Udgangspunktet for beregninger af barometertrykkets indflydelse på de målte masse- eller flowændringer er derfor luftens vægtfylde.

Da barometertrykkeffekten blev konstateret i foråret 1989, benyttede vi os først af et af Carsten Rode Pedersen korrekt formuleret og enkelt ræsonnement (L1), hvori indgik følgende størrelser, hvor tekstbehandlingsprogrammet desværre ikke har symbolet "rho", hvorfor vi i stedet benytter σ for vægtfylde:

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Luftens masse (kg)	m
Tryk, her barometertryk (Pa)	p
Gaskonstant, hvor a står for air = 287.1 (J/kg x K)	R_a
Absolut temperatur (K)	T
Luftens vægtfylde (kg/m ³)	σ
Volumenet af luftmængden i koppen (m ³)	V

Ræsonnementet var:

$$(102) \quad p = \sigma \times R_a \times T$$

$$(103) \quad d\sigma = (1/R_a \times T) \times dp$$

Ved vores arbejdstemperatur på 23 °C ville vi få:

$$(104) \quad d\sigma = (1/287.1 \times 293) \times dp$$

og en ændring i barometertrykket på 20 mbar = 2000 Pa ville derfor resultere i en ændring i luftens vægtfylde på:

$$d\sigma = (1/287.1 \times 293) \times 2000 = 0.0238 = 0.024 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Har vi derfor et luftvolumen i koppen på f.eks. 200 ml = 2×10^{-4} m³, så ville en ændring i barometertrykket på 20 mbar = 2000 Pa resultere i en masseændring på:

$$(105) \quad dm = V \times d\sigma \tag{86}$$

$$dm = 2 \times 10^{-4} \times 0.024 = 4.8 \times 10^{-6} \text{ kg} = 0.0048 \text{ g}$$

Denne korrektionsfaktor blev benyttet gennem første halvdel af projektet og var fuldt tilfredsstillende i denne mere kvalitative fase, hvor vi måtte benytte os af vores oprindelige vægt, der arbejdede med en aflæsning på 0.001 g.

I foråret 1990 fik vi en til det mere kvantitative arbejde bedre vægt med en aflæsning på 0.0001 g.

Ønsket om overgang til kontinuerlig flowmåling (afsnit 6.08) samt afprøvning af såvel den nye vægt og vores korrektionsfaktor for σ_{Lu} på 0.024 (kg/m³) førte i april 1990 til en forsøgsserie BARO3600, hvor vi placerede en lukket glaskolbe på vægten og lod den forblive der under hele forsøgsperioden.

Vi havde naturligvis forventet, at de samhørende værdier for masse og barometertryk fulgte en ret linie trods afvekslende stigende og faldende værdier for barometertrykket frem gennem forsøget (1788).

Det var imidlertid ikke tilfældet. For hver ny periode med enten stigende eller faldende værdier for barometertrykket nåede vi op på stadig større værdier for kolbens vægt (1787).

Den første tanke var, at vægten ganske enkelt "satte sig" mere og mere under den konstante belastning.

Kurt Kielsgaard Hansen mente imidlertid, at afvigelserne fra det forventede kunne skyldes, at vi ikke tog højde for variationer i målekammerets og dermed luftens temperatur, når vi arbejdede med korrektioner for barometertrykkets effekt på den målte masse (1809).

Begge dele viste sig at være korrekt.

Det førte til, at vi forlod den faste korrektionsfaktor på 0.024 (kg/m³) og i stedet valgte at gå over til direkte beregning af luftens vægtfylde som udgangspunkt for en korrektion for barometereffekten.

Hos Dubbel /28/ fandtes der en tabel (1861), der korrigerede luftens vægtfylde for variationer i barometertrykket, temperaturen samt RF, hvorfor det føltes naturligt også at inddrage RF i den samlede beregning af vægtfylden.

Inden vi går videre med Dubbel, så blev sætningen af vægten under konstant belastning bekræftet som en ny omend mindre fejkilde, hvor der er tale om forsøg med kontinuerlig vægtbelastning.

I forsøgsserie BARO3700 benyttede vi et lod, hvis masse jo ikke påvirkes af variationer i barometertrykket. Alligevel kunne der konstateres en stødt stigende vægtforøgelse, der efter 240 timer var blevet til +0.0011 g, hvilket jo trods alt er 10 gange vægtens aflæsning (1866).

Efter beslutningen om at forlade en fast værdi for luftens vægtfylde til fordel for løbende beregninger var opgaven så at finde frem til en simpel og operationel formel, der tog hensyn til variationer i de tre parametre: Barometertryk, temperatur og RF.

Sammenhængen er følgende: Vægtfylden stiger med stigende barometertryk, medens den falder for stigende værdier af temperatur og RF.

Værdier fra Dubbel blev omsat til kurver, der viste en tilstrækkelig lineær sammenhæng mellem de enkelte variabler som udgangspunkt for en tilsvarende enkelt beregningsformel (1824-29).

og med følgende antagede værdier:

$$\begin{aligned}
 P_{b7} &= 1010 \text{ mbar} \\
 P_{b8} &= 1005 \text{ mbar} \\
 RF_{u7} &= 50.5 \% \\
 RF_{u8} &= 50.8 \% \\
 T_7 &= 24.0 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 T_8 &= 23.8 \text{ }^{\circ}\text{C} \\
 V_7 &= 200.7436 \text{ cm}^3 \\
 V_8 &= 200.7462 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Ved vejtidspunkt 7 har vi derfor:

$$\begin{aligned}
 (107) \quad \sigma_{Lu7} &= -0.0045 T_7 + 1.2270 - ((RF_{u7} - 50) \times 0.0001) \\
 &\quad + ((P_{b7} - 960) \times 0.0012) \\
 \sigma_{Lu7} &= -0.0045 \times 24.0 + 1.2270 - ((50.5 - 50) \times 0.0001) \\
 &\quad + ((1010 - 960) \times 0.0012) \\
 \sigma_{Lu7} &= -0.108 + 1.2270 + 0.060 = 1.1790 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

og ved vejtidspunkt 8:

$$\begin{aligned}
 (108) \quad \sigma_{Lu8} &= -0.0045 T_8 + 1.2270 - ((RF_{u8} - 50) \times 0.0001) \\
 &\quad + ((P_{b8} - 960) \times 0.0012) \\
 \sigma_{Lu8} &= -0.0045 \times 23.8 + 1.2270 - ((50.8 - 50) \times 0.0001) \\
 &\quad + ((1005 - 960) \times 0.0012) \\
 \sigma_{Lu8} &= -0.1071 + 1.2269 + 0.054 = 1.1738 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Derefter kan massen af V_7 cm^3 af den omgivne luft til vejtidspunkt 7 beregnes:

$$\begin{aligned}
 (109) \quad m_{V7Lu} &= V_7 \times \sigma_{Lu7} \times 10^{-3} \\
 m_{V7Lu} &= 200.7436 \times 1.1790 \times 10^{-3} = 0.23668 \text{ g}
 \end{aligned}$$

og på samme måde til vejtidspunkt 8:

$$\begin{aligned}
 (110) \quad m_{V8Lu} &= V_8 \times \sigma_{Lu8} \times 10^{-3} \\
 m_{V8Lu} &= 200.7462 \times 1.1738 \times 10^{-3} = 0.23564 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Når massen af $x \text{ cm}^3$ af den omgivne luft er faldet med y gram mellem de to vejninger, så betyder det, at $x \text{ cm}^3$ luft i koppen relativt betragtet er steget med y gram.

Denne stigning i koppens masse har naturligvis intet at gøre med fugttransporten gennem prøveemnet mellem vejning 7 og vejning 8, og vi har derfor pga. faldet i barometertrykket fra 1010 til 1005 mbar målt en for lille masseændring og dermed et for lille flow.

Forskellen mellem de to masser:

$$(111) \quad dm_{Lu} = m_{V7Lu} - m_{V8Lu}$$

$$dm_{Lu} = 0.23668 - 0.23564 = 0.00104 \text{ g}$$

skal derefter lægges til den målte masseændring (det målte flow) mellem vejepunkt 8 og 9.

Ser vi først på masseændringen, og havde den målte masseændring mellem de to vejninger været på $d_{m7-8} = 0.0009 \text{ g}$, så ville vi få:

$$(112) \quad d_{mkPb1} = d_m + d_{mPb1}$$

$$d_{mkPb1} = 0.0009 + 0.00104 = 0.00194 \text{ g}$$

og på samme måde for flowet:

$$(113) \quad f_{kPb1} = f_m + f_{Pb1}$$

$$f_{kPb1} = 0.0009 + 0.00104 =$$

$$(114) \quad f_{kPb1} = 0.00194 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.15 BAROMETERTRYKKET - ET GENNEMREGNET EKSEMPEL

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

Begreb og enhed:	Symbol:
Målt flow, korrigeret for kopmodstande (g/0.005 m ² dt)	f_{kZZ}
Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g/0.005 m ² dt)	f_{kPb1}
Målt flow, korrigeret for rand- og kompressionseffekten (g/0.005 m ² dt)	f_{kRaK}
Målt flow, korrigeret for rand- og kompressionseffekten og omregnet til g/0.005 m ² og døgn	F_{kRaK}
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets RF (g/0.005 m ² dt)	f_{kRFu}
Målt flow, korrigeret for S-faktor (g/0.005 m ² døgn)	F_{kS}
Målt flow, korrigeret for S-faktor = 0.0 = et 100% eftergivende prøvprøveemne (g/0.005 m ² døgn)	F_{kS00}

Målt flow, korrigeret for S-faktor = 0.9 = et 90% stift prøveemne (g/0.005 m ² døgn)	F_{k809}
Målt flow, korrigeret for S-faktor = 1.0 = et 100% stift prøveemne (g/0.005 m ² døgn)	F_{k810}
Målt flow, korrigeret for kopmodstande (g/0.005 m ² dt)	f_{kZZ}
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets temperatur (g/0.005 m ² dt)	f_{kTe}
Målt flow mellem to på hinanden følgende vej- ninger (g/0.005 m ² dt)	f_m
Den del af det målte flow, der alene skyldes en ændring i barometertrykket mellem de to vejninger (g/0.005 m ² dt)	f_{Pb1}
Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til en ændring i barometertrykket = $f_m - f_{Pb1}$ (g/0.005 m ² dt)	f_{kPb1}
Funktion af	G_x
Funktion af	G_y
Funktion af	G_z
Koppens masse ved vejning 8 (g)	m_8
Koppens masse ved vejning 9 (g)	m_9
Barometertrykket (mbar)	P_b
Barometertrykket ved vejning 8 (mbar)	P_{b8}
Barometertrykket ved vejning 9 (mbar)	P_{b9}
RF i målekammeret til tidspunkt t_8 (dim.løs)	RF_{u8}
RF i målekammeret til tidspunkt t_9 (dim.løs)	RF_{u9}
S-faktor, udtryk for prøveemnets stivhed under påvirkning af variationer i barometertrykket (dim.løs)	S_{Fak}
S-faktor 0.0 = et 100% eftergivende prøveemne (dim.løs)	S_{F00}
S-faktor 0.9 = et 90% stift prøveemne (dim.løs)	S_{F09}
S-faktor 1.0 = et 100% stift prøveemne (dim.løs)	S_{F10}
Luftens vægtfylde (kg/m ³)	σ_{Lu}

Luftens vægtfylde ved vejning 8 (kg/m^3)	σ_{Lu8}
Luftens vægtfylde ved vejning 9 (kg/m^3)	σ_{Lu9}
Tidspunktet for Ve_8 i antal min efter forsøgets start (min)	t_8
Tidspunktet for Ve_9 i antal min efter forsøgets start (min)	t_9
Vejning 8	Ve_8
Vejning 9	Ve_9

Med udgangspunkt i de foregående afsnit kan vi nu gå direkte videre til et beregningseksempel.

Som vi har set, så er variationer i barometertrykket helt uden interesse, hvis vi måler på et meget åbent materiale.

Vi vil derfor benytte data fra et mere tæt materiale i denne del af den samlede metodebeskrivelse.

Det til eksemplet valgte materiale har et flow på $0.020 \text{ g}/0.005 \text{ m}^2 \text{ døgn}$ eller $4 \text{ g/m}^2 \text{ døgn}$. Dets tykkelse er 2 mm .

Beregningseksempel:

Vi forudsætter at have:

$$\begin{aligned} m_8 &= 289.9217 \text{ g} \\ m_9 &= 289.9112 \text{ g} \\ t_8 &= 5772 \text{ min} \\ t_9 &= 6322 \text{ min} \end{aligned}$$

Vi har således en målt masseændring på:

$$\begin{aligned} (115) \quad d_m &= m_8 - m_9 \\ d_m &= 289.9217 - 289.9112 = 0.0105 \text{ g} \end{aligned}$$

inden for et tidsinterval på:

$$(116) \quad t_9 - t_8 = 6322 - 5772 = 550 \text{ min}$$

hvorfor vores målte flow bliver:

$$(117) \quad \underline{f_{m9} = 0.0105 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}}$$

Dette flow (f_m) bliver nu korrigeret for den masseændring = det "flow" (f_{Pb1}), der alene kan føres tilbage til forskellen i barometertrykket ($P_{b9} - P_{b8}$) mellem de to vejninger. f_{Pb1} er således en funktion af ($P_{b9} - P_{b8}$):

$$(118) \quad f_{\text{Pb1}} = G_x((P_{b9} - P_{b8}))$$

Denne forskel i barometertrykket ($P_{b9} - P_{b8}$) medfører en forskel i den omgivne lufts vægtfylde ($\sigma_{Lu9} - \sigma_{Lu8}$):

$$(119) \quad (\sigma_{Lu9} - \sigma_{Lu8}) = G_Y((P_{b9} - P_{b8}))$$

hvor ($\sigma_{Lu9} - \sigma_{Lu8}$) ydermere påvirkes af ændringer i den omgivne lufts temperatur ($T_9 - T_8$) og RF ($RF_{u9} - RF_{u8}$) mellem de to vejninger:

$$(120) \quad (\sigma_{Lu9} - \sigma_{Lu8}) = G_Z((P_{b9} - P_{b8}), (T_9 - T_8), (RF_{u9} - RF_{u8}))$$

Da selve beregningen eller måske snarere delberegningen af f_{Pb1} er beskrevet i forrige afsnit, vil vi her blot antage, at vi i vores konkrete eksempel har:

$$f_{Pb1} = 0.0027 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$$

Forudsætter vi endvidere, at barometertrykket er steget mellem de to betragtede vejninger, så har vi målt et for stort flow, hvorfor vi får:

$$(121) \quad f_{kPb1} = f_m - f_{Pb1}$$

$$f_{kPb1} = 0.0105 - 0.0027 = 0.0078 \text{ g}$$

$$(122) \quad f_{kPb1} = 0.0078 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$$

Det for barometertrykket korrigerede flow (f_{kPb1}) korrigeres nu for de enkelte fejlkilder een efter een, og vi får :

$$(123) \quad f_{kTs} = 0.0077 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$$

$$(124) \quad f_{kRFu} = 0.0078 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$$

$$(125) \quad f_{kZZ} = 0.0079 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$$

$$(126) \quad f_{kRaK} = 0.0076 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$$

Bemærk, at variationer i barometertrykket er den eneste fejlkilde af betydning, når vi har et så tæt materiale, at flowet kun ligger på 4 g/m² døgn.

Det for rand- og kompressionseffekt korrigerede flow (f_{kRaK}) omregnes nu til flow i g pr. 0.005 m² prøveemne og døgn (F_{kRaK}):

$$(127) \quad F_{kRaK} = f_{kRaK} / (t_9 - t_8) \times 1440$$

$$F_{kRaK} = 0.0076 / 550 \times 1440$$

$$(128) \quad \underline{F_{kRaK} = 0.0199 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}}$$

Dette flow til vejtidspunktet t_g er een ud af ialt 18 flowværdier, da et kop-forsøg - i vores eksempel - kun omfatter 19 vejninger.

Disse 18 værdier er alle beregnet under den forudsætning, at materialet har været 100% stift gennem forsøgsperioden (S_{F10})

Det kunne imidlertid have forholdt sig 90%, 80%, ..., 0% stift, svarende til henholdsvis S_{F09} , S_{F08} og S_{F00} .

I 11 på hinanden følgende kolonner og for hver enkelt af de 18 vejninger korregerer KOPMAT90 nu flowet F_{kRaK} for hver af de 11 mulige S-faktorer efter følgende princip:

Kolonne 1 - 100% stift materiale/prøveemne:

Hvis materialet har forholdt sig 100% stift under påvirkningen af variationer i barometertrykket (= S-faktor 1.0) så var det helt korrekt, at vi korrigerede for den fulde barometereffekt i formel (121), hvor vi jo havde:

$$(129) \quad \begin{aligned} f_{kPb1} &= f_m - f_{Pb1} \\ f_{kPb1} &= 0.0105 - 0.0027 \\ f_{kPb1} &= 0.0078 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min} \end{aligned}$$

Flowværdierne i den første af de 11 kolonner (= S-faktor 1.0) beregnes derfor efter følgende formel:

$$(130) \quad \begin{aligned} F_{kS10} &= (f_{kRaK} + S_{F10} \times f_{Pb1}) / dt \times 1440 \\ F_{kS10} &= (0.0076 + 0.0 \times 0.0027) / 550 \times 1440 \end{aligned}$$

$$(131) \quad \underline{F_{kS10} = 0.0199 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}}$$

Ved et 100% stift prøveemne (= S-faktor 1.0) skal der med andre ord ikke foretages nogen efterkorrektur af f_{Pb1} , hvorfor vores S_{F10} bliver 0.0, og F_{kS10} forbliver identisk med F_{kRaK} .

Det betyder, at vores S-faktorer nødvendigvis må få følgende værdier, idet der med et stadigt mere eftergivende prøveemner skal foretages stadig større efterkorrektioner af f_{Pb1} og dermed af f_{kRaK} :

$$(132) \quad S_{F10} = 0.0$$

$$S_{F09} = 0.1$$

$$S_{F08} = 0.2$$

og endelig: $S_{F00} = 1.0$

Kolonne 2 - 90% stift materiale/prøveemne:

Her ville vi så i vores eksempel få:

$$(133) \quad F_{k509} = (f_{kRaK} + 0.1 \times f_{Pb1})/dt \times 1440$$

$$F_{k509} = (0.0076 + 0.1 \times 0.0027)/550 \times 1440$$

$$(134) \quad F_{k509} = 0.0206 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}$$

og til sidst:

Kolonne 11 - 100% eftergivende materiale/prøveemne:

$$(135) \quad F_{k500} = (f_{kRaK} + 1.0 \times f_{Pb1})/dt \times 1440$$

$$F_{k500} = (0.0076 + 1.0 \times 0.0027)/550 \times 1440$$

$$(136) \quad F_{k500} = 0.0270 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}$$

9.16 TRIN 07 - VALG AF MEST TROVÆRDIG FLOWKURVE

Vi går direkte videre med vores eksempel, idet vi fortsat kun betragter to vejninger.

KOPMAT90 "udvælger" nu den af de 11 kolonner, hvis optegnede flowkurve viser det mest harmoniske og kontinuerlige kurveforløb, som udtryk for den mest troværdige værdi for forsøgsresultatet frem til dette tidspunkt i den samlede beregningsproces.

Iad det i vores eksempel være kolonne 3, hvor vi har:

$$(137) \quad F_{k508} = (f_{kRaK} + 0.2 \times f_{Pb1})/dt \times 1440$$

$$F_{k508} = (0.0076 + 0.2 \times 0.0027)/550 \times 1440$$

$$(138) \quad F_{k508} = 0.0213 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}$$

9.17 TRIN 08 - KORREKTION FOR BAROMETERTRYK (2) OG FORSØGSRESULTAT

I dette afsnit benyttes specielt følgende begreber og symboler, idet vi fortsat kun betragter to vejninger:

Begreb og enhed:Symbol:

Det af KOPMAT90 og svarende til en S-faktor = 0.8 valgte og endnu engang for variationer i barometertrykket efterkorrigerede flow (g/0.005 m² døgn)

F_{kD08}

Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g/0.005 m² dt)

f_{kPb1}

Målt flow, korrigeret for rand- og kompressionseffekten (g/0.005 m² dt)

f_{kRaK}

Målt flow mellem to på hinanden følgende vejninger (g/0.005 m² dt)

f_m

Den del af det målte flow, der alene skyldes en ændring i barometertrykket mellem de to vejninger (g/0.005 m² dt)

f_{Pb1}

Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til en ændring i barometertrykket = f_m - f_{Pb1} (g/0.005 m² dt)

f_{kPb1}

Vi går direkte videre med vores eksempel.

Lad os kort vende tilbage til udtrykket:

$$(139) \quad f_{kPb1} = f_m - f_{Pb1}$$

hvor vi i vores beregningseksempel havde:

$$f_{kPb1} = 0.0105 - 0.0027 =$$

$$f_{kPb1} = 0.0078 \text{ g/0.005 m}^2 \text{ og 550 min}$$

Hvis F_{kS08} er korrekt = prøveemnet har forholdt sig 80% stift over for variationer i barometertrykket, så har vi naturligvis og helt i starten af vores beregningsproces beregnet en for høj værdi for f_{Pb1} og dermed en tilsvarende for lav værdi for f_{kPb1}, idet f_{Pb1} = 0.0027 var baseret på et 100% stift prøveemne, hvor barometereffekten slår igennem med "fuld styrke".

Det "reelle flow" gennem prøveemnet har derfor været større end f_{kPb1} = 0.0078.

Det medfører, at vi har sendt en for lav værdi for f_{kPb1} (f_{kPb1} = 0.0078) videre gennem processen til korrektion for temperatur, RF, kopmodstande samt rand- og kompressionseffekt.

Denne fejl skal der nu korrigeres for, og det gør KOPMAT90 ved hjælp af følgende udtryk, hvori y står for 1 - S_{Fak} og dt for t₉ - t₈:

$$(140) \quad F_{kD08} = \frac{((f_{kPaK} + Y f_{Pb1}) - (Y f_{Pb1} - Y f_{Pb1} f_{kPaK}/f_{kPb1}))/dt}{x \cdot 1440 \text{ (g/m}^2 \text{ døgn)}}$$

$$F_{kD08} = \frac{((0.0076 + 0.2 \times 0.0027) - (0.2 \times 0.0027 - 0.2 \times 0.0027 \times 0.0076/0.0078))/550 \times 1440}{x \cdot 1440}$$

$$F_{kD08} = \frac{((0.00814) - (0.00054 - 0.000526))/550 \times 1440}{x \cdot 1440}$$

$$F_{kD08} = \frac{(0.00814 - 0.000014)/550 \times 1440}{x \cdot 1440}$$

$$F_{kD08} = 0.008126/550 \times 1440$$

og som samlet forsøgsresultat får vi derfor:

$$(141) \quad F_{kD08} = 0.0213 \text{ g/0.005 m}^2 \text{ døgn}$$

Vi ser, at denne efterkorrektion for barometereffekten var uden betydning i det foreliggende eksempel, men det vil den ikke være for materialer, hvor barometertrykket på den ene side og de øvrige modstande på den anden stort set har samme vægt = betydning for måleresultatet.

KOPMAT90's forsøgsresultat er således en kolonne med 18 flowværdier, baseret på 19 vejninger. Er disse 18 værdier ens eller rimeligt ens, så vil en gennemsnitsværdi være et passende udtryk for flowet gennem det målte materiale.

Er det ikke tilfældet, så kan resultatet kun udtrykkes gennem en optegnet flowkurve.

Nøjagtig det samme gælder for præsentationen af de supplerende resultatdata i TRIN 09 i næste afsnit.

9.18 TRIN 09 - SUPPLERENDE RESULTATDATA

Afslutningsvis beregner KOPMAT90 på hel traditionel vis nogle supplerende resultatdata.

Det drejer sig om følgende, udtrykt i begreber og symboler og under fortsat hensyntagen til, at vi kun betragter to vejninger:

Begreb og enhed:

Symbol:

Prøveemnets D_c -værdi (damppermeabilitetskoeficient, hvor dampindholdet i luften er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder (m^2/s)

D_{cPr}

Prøveemnets δ_p -værdi (damppermeabilitetskoeficient, hvor damptrykket er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder ($\text{kg}/\text{Pa s m}$)

δ_{pPr}

Målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder og omregnet til g pr. m² og 24 timer (= 1 døgn) F_{24h}

Målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder og omregnet til kg pr. m² og uge F_{uge}

Prøveemnets Z_c -værdi (fugtmodstandstal/dampdiffusionsmodstand, hvor dampindholdet i luften er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder (s/m) Z_{cPrk}

Prøveemnets Z_p -værdi (fugtmodstandstal/dampdiffusionsmodstand, hvor damptrykket er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder (Pa s m²/kg) Z_{pPrk}

Fra vores seneste eksempel har vi følgende supplerende data: Temperaturen i målekommeret er på beregningstidspunktet 23.2 °C, og prøveemnets tykkelse er 2.0 mm.

Fra fugtlitteraturen benytter vi to kendte omregningsfaktorer: 7.3×10^{-6} for omregning fra Z_p til Z_c , og 462 for omregning fra $T \delta_p$ til D_c .

Derefter får vi:

$$(142) \quad F_{24h} = F_{kD08}/A_{eks} \times 1$$

$$F_{24h} = 0.0213/0.005 \times 1$$

$$(143) \quad F_{24h} = 4.26 \text{ g pr. m}^2 \text{ og døgn}$$

$$(144) \quad F_{uge} = F_{24h} \times 7 \times 10^{-3}$$

$$F_{uge} = 4.26 \times 7 \times 10^{-3}$$

$$(145) \quad F_{uge} = 0.030 \text{ kg pr. m}^2 \text{ og uge}$$

$$(146) \quad Z_{pPrk} = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{\frac{dm}{dt}}$$

$$Z_{pPrk} = \frac{0.005 (1.0 - 0.5) 2809 \times 1000 \times 60}{\frac{0.0213}{1440}}$$

$$(147) \quad Z_{pPrk} = 28.5 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(148) \quad Z_{\text{cPrk}} = Z_{\text{pPrk}} \times 7.3 \times 10^{-6}$$

$$Z_{\text{cPrk}} = 28.5 \times 10^9 \times 7.3 \times 10^{-6}$$

$$(149) \quad Z_{\text{cPrk}} = 2.1 \times 10^5 \text{ s/m}$$

$$(150) \quad \delta_{\text{pPr}} = h_{\text{Pr(m)}} / Z_{\text{pPrk}}$$

$$\delta_{\text{pPr}} = h_{\text{Pr}} \times 10^{-3} / Z_{\text{pPrk}}$$

$$\delta_{\text{pPr}} = 2.0 \times 10^{-3} / 28.5 \times 10^9$$

$$(151) \quad \delta_{\text{pPr}} = 7.0 \times 10^{-14} \text{ kg/pa s m}$$

$$(152) \quad D_{\text{cPr}} = 462 \times T(^{\circ}\text{K}) \times \delta_{\text{pPr}}$$

$$D_{\text{cPr}} = 462 \times (23.2 + 273.15) \times 7.0 \times 10^{-14}$$

$$(153) \quad D_{\text{cPr}} = 9.6 \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

9.19 SAMMENFATNING I FORMLER

9.02 TRIN 01 - BEREGNING AF MASSEÆNDRING

$$(23) \quad d_{\text{m8-9}} = (m_8 - m_9)$$

$$(24) \quad d_{\text{t8-9}} = (t_9 - t_8)$$

$$(25) \quad f_{\text{m9}} = d_{\text{m}} / A_{\text{eks}} \text{ dt}$$

$$(26) \quad f_{\text{m9}} = 0.4520 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.03 TRIN 02 - KORREKTION FOR BAROMETERTRYK (1)

$$(27) \quad d_{\text{mkPb1}} = d_{\text{m}} \text{ +/- } d_{\text{mPb1}}$$

$$(28) \quad d_{\text{mkPb1}} = 0.4520 - 0.0012 = 0.4508 \text{ g}$$

$$(29) \quad f_{\text{kPb1}} = 0.4508 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.04 TRIN 03 - KORREKTION FOR TEMPERATUR

$$(30) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

$$(31) \quad \underline{\underline{P_{s8} = P_{sx} + (T_8 - T_x) \times k_1 \text{ (Pa)}}}$$

$$(32) \quad \underline{\underline{P_{sy} = P_{sx} + (T_8 - T_x) \times 161.5 \text{ (Pa)}}}$$

$$(33) \quad T_\varnothing = (T_8 + T_9)/2$$

$$(34) \quad P_{s\varnothing} = P_{sx} + (T_\varnothing - T_x) \times 161.5$$

$$(35) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

$$(36) \quad \underline{\underline{dm = P_s \times k_2}}$$

$$(37) \quad f_{kTe} = f_{kPb1} (P_{sy}/P_{s\varnothing})$$

$$(38) \quad \underline{\underline{f_{kTe} = 0.4370 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}}$$

$$(39) \quad P_{s8} = P_{sx} + (T_8 - T_x) \times 161.5$$

$$(40) \quad P_{s9} = P_{sx} + (T_9 - T_x) \times 161.5$$

$$(41) \quad P_{s\varnothing} = (P_{s8} + P_{s9})/2$$

$$(42) \quad f_{kTe} = 0.4370 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.05 TRIN 04 - KORREKTION FOR RELATIV FUGTIGHED (RF)

$$(43) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

$$(44) \quad RF_{u\varnothing} = (49.2 + 49.3)/2 = 49.25$$

$$(45) \quad P_{Pot} = (RF_i - RF_u) P_s$$

$$(46) \quad P_{Pot} = (RF_i - RF_u) P_s$$

$$(47) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

$$(48) \quad \underline{\underline{\dot{m} = (RF_i - RF_u) k_3}}$$

$$(49) \quad f_{kRFu} = f_{kTe} (RF_{u\theta}/RF_{uy})$$

$$(50) \quad \underline{\underline{f_{kRFu} = 0.4304 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}}$$

- - -

$$(51) \quad f_{kRFu} = f_{kTe} (P_{Pot\theta}/P_{Poty})$$

$$(52) \quad \underline{\underline{f_{kRFu} = 0.4305 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}}}$$

9.06 LUFTLAGSMODSTANDEN I KOPPEN Z_{Lu}

$$(53) \quad h_{Lus} = h_{Kop} + h_{Pak} - (m_{Vas}/A_{Kop})$$

$$(54) \quad \Sigma_{dm8}/A_{Kop}$$

$$(55) \quad h_{Lu8} = ((h_{Kop} + h_{Pak} - (m_{Vas}/A_{Kop})) + \Sigma_{dm8}/A_{Kop})$$

$$(56) \quad h_{Lus} = h_{Kop} + h_{Pak} - m_{Vas}/A_{Kop}$$

$$(57) \quad h_{Lu8} = h_{Lus} + \Sigma_{dm8}/A_{Kop}$$

$$(58) \quad h_{Lu9} = h_{Lus} + \Sigma_{dm9}/A_{Kop}$$

$$(59) \quad h_{Lu\theta} = (h_{Lu8} + h_{Lu9})/2$$

$$(60) \quad \underline{\underline{Z_{Lu9} = 4.085 \times 0.06 \times 10^9 = 0.245 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}}}$$

9.07 OVERGANGSMODSTANDENE Z_{Ne} og Z_{Op}

$$(61) \quad \underline{\underline{Z_{Ne} = 0.04 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}}}$$

$$(62) \quad \underline{\underline{Z_{Op} = 0.0263 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}}}$$

9.08 VINDHASTIGHEDEN OVER KOPPEN

$$(63) \quad \underline{\underline{O_{fxm} = O_{f2m} + (v_{Vi} - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7} \text{ (kg/m}^2\text{s Pa)}}}$$

$$(64) \quad O_{fxm} = O_{f2m} + (x - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7}$$

$$(65) \quad O_{fym} = O_{f2m} + (Y - 2) \times 0.2333 \times 10^{-7}$$

$$(66) \quad O_{f\emptyset} = (O_{fxm} + O_{fym})/2$$

$$(67) \quad Z_{vi} = 1/O_f \text{ (Pa s m}^2/\text{kg)}$$

$$(68) \quad Z_{vi} = 0.0083 \times 10^9 \text{ Pa/s m}^2 \text{ kg}$$

9.09 BAROMETERTRYKKETS INDFLYDELSE PÅ δ_{Lu}

9.10 TRIN 05 - KORREKTION FOR KOPMODSTANDE

$$(69) \quad Z_p = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{\frac{dm}{dt}}$$

$$(70) \quad Z_{Tot} = \frac{0.005 (1.0 - 0.5) 2809 \times 1000 \times 60}{\frac{0.4304}{891}}$$

$$(71) \quad Z_{Tot} = 0.872 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(72) \quad Z_{kop} = Z_{Ne} + Z_{Lu} + Z_{Op} + Z_{vi}$$

$$(73) \quad Z_{kop} = 0.3196 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(74) \quad P_{b\emptyset} = (P_{bs} + P_{b\emptyset})/2$$

$$(75) \quad Z_{kop} = \frac{Z_{Ne} + Z_{Lu} + Z_{Op} + Z_{vi} - (Z_{Lu} + Z_{Ne} + Z_{Op})}{x (P_{b\emptyset} - 1013) \times 0.001 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}}$$

$$(76) \quad Z_{kop} = 0.3269 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(77) \quad Z_{Pr} = Z_{Tot} - Z_{kop}$$

$$(78) \quad Z_{Pr} = 0.5451 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(79) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p}$$

$$(80) \quad dm = \frac{k_4}{Z_p}$$

$$(81) \quad d_{mkZZ} = \frac{0.005 (1.0 - 0.5) 2809 \times 1000 \times 60 \times 891}{0.5451 \times 10^9}$$

$$(82) \quad f_{kZZ} = 0.6887 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.11 TRIN 06 - KORREKTION FOR RAND- OG KOMPRESSIONSEFFEKT

$$(85) \quad Ra_{Fx} = Ra_{Fy} + (h_{Pr} - 0.5) \times 1.15$$

$$(86) \quad A_{eff} = (Ra_{Fx} \times A_{eks})/100$$

$$(87) \quad f_{kRa} = f_{kZZ} (A_{eks}/A_{eff}) \text{ g}/0.005 \text{ m}^2 \text{ dt}$$

$$(88) \quad Ra_{Fx} = Ra_{Fy} + (h_{Pr} - 0.5) \times 1.15$$

$$(89) \quad Ra_{F13} = 116.7$$

$$(90) \quad A_{eff} = (Ra_{Fx} \times A_{eks})/100$$

$$(91) \quad A_{eff} = 0.005835 \text{ m}^2$$

$$(92) \quad dm = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60 \times dt}{Z_p} \quad (2)$$

$$(93) \quad dm = A k_5$$

$$(94) \quad f_{kRa} = f_{kZZ} (A_{eks}/A_{eff})$$

$$(95) \quad f_{kRa} = 0.5901 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

$$(96) \quad Ra_{Fx} = Ra_{Fy} + (h_{Pr} - 0.5) \times 1.15$$

$$(97) \quad Ra_{FKx} = Ra_{FY} + (h_{Pr} - K_{Fak} - 0.5) \times 1.15$$

$$(98) \quad Ra_{Fx} = Ra_{FY} + (h_{Pr} - K_{Fak} - 0.5) \times 1.15$$

$$(99) \quad Ra_{FK13} = 116.7$$

$$(100) \quad A_{eff} = 0.005835 \text{ m}^2$$

$$(101) \quad f_{kRaK} = 0.5901 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.12 ÅBNE OG TÆTTE MATERIALER

9.13 KORREKTION FOR BAROMETERTRYK - BEREGNINGSPRINCIP

9.14 BAROMETERTRYKKET OG LUFTENS VÆGTFYLDE

$$(106) \quad \sigma_{Lu} = -0.0045 T + 1.2270 - ((RF - 50) \times 0.0001) + ((P_b - 960) \times 0.0012) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$(107) \quad \sigma_{Lu7} = -0.0045 T_7 + 1.2270 - ((RF_{u7} - 50) \times 0.0001) + ((P_{b7} - 960) \times 0.0012)$$

$$(108) \quad \sigma_{Lu8} = -0.0045 T_8 + 1.2270 - ((RF_{u8} - 50) \times 0.0001) + ((P_{b8} - 960) \times 0.0012)$$

$$(109) \quad m_{V7Lu} = V_7 \times \sigma_{Lu7} \times 10^{-3}$$

$$(110) \quad m_{V8Lu} = V_8 \times \sigma_{Lu8} \times 10^{-3}$$

$$(111) \quad dm_{Lu} = m_{V7Lu} - m_{V8Lu}$$

$$(112) \quad d_{mkPb1} = d_m + d_{mPb1}$$

$$(113) \quad f_{kPb1} = f_m + f_{Pb1}$$

$$(114) \quad f_{kPb1} = 0.00194 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 891 \text{ min}$$

9.15 BAROMETERTRYKKET - ET GENNEMREGNET EKSEMPEL

$$(115) \quad d_m = m_8 - m_9$$

$$(116) \quad t_9 - t_8 = 6322 - 5772 = 550 \text{ min}$$

-
- (117) $f_{m9} = 0.0105 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$
-
- (118) $f_{Pb1} = G_x((P_{b9} - P_{b8}))$
- (119) $(\sigma_{Lu9} - \sigma_{Lu8}) = G_y((P_{b9} - P_{b8}))$
- (120) $(\sigma_{Lu9} - \sigma_{Lu9}) = G_z((P_{b9} - P_{b8}), (T_9 - T_8), (RF_{u9} - RF_{u8}))$
- (121) $f_{kPb1} = f_m - f_{Pb1}$
-
- (122) $f_{kPb1} = 0.0078 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$
-
- (123) $f_{kTe} = 0.0077 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$
-
- (124) $f_{kRFu} = 0.0078 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$
-
- (125) $f_{kZZ} = 0.0079 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$
-
- (126) $f_{kRaK} = 0.0076 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og } 550 \text{ min}$
-
- (127) $F_{kRaK} = f_{kRaK}/(t_9 - t_8) \times 1440$
-
- (128) $F_{kRaK} = 0.0199 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgnet}$
-
- (129) $f_{kPb1} = f_m - f_{Pb1}$
- (130) $F_{kS10} = (f_{kRaK} + S_{F10} \times f_{Pb1})/dt \times 1440$
-
- (131) $F_{kS10} = 0.0199 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgnet}$
-
- (132) $S_{F10} = 0.0$
- (133) $F_{kS09} = (f_{kRaK} + 0.1 \times f_{Pb1})/dt \times 1440$
-
- (134) $F_{kS09} = 0.0206 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgnet}$
-
- (135) $F_{kS00} = (f_{kRaK} + 1.0 \times f_{Pb1})/dt \times 1440$

$$(136) \quad F_{kS00} = 0.0270 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}$$

9.16 TRIN 07 - VALG AF MEST TROVÆRDIG KURVE

$$(137) \quad F_{kS08} = (f_{kRaK} + 0.2 \times f_{Pb1})/dt \times 1440$$

$$(138) \quad F_{kS08} = 0.0213 \text{ g pr. } 0.005 \text{ m}^2 \text{ og døgn}$$

9.17 TRIN 08 - KORREKTION FOR BAROMETERTRYK (2) OG FORSØGSRESULTAT

$$(139) \quad f_{kPb1} = f_m - f_{Pb1}$$

$$(140) \quad F_{kD08} = ((f_{kRaK} + Y f_{Pb1}) - (Y f_{Pb1} - Y f_{Pb1} f_{kRaK}/f_{kPb1}))/dt \times 1440 \text{ (g/m}^2 \text{ døgn)}$$

$$(141) \quad F_{kD08} = 0.0213 \text{ g/0.005 m}^2 \text{ døgn}$$

9.18 TRIN 09 - SUPPLERENDE RESULTATDATA

$$(142) \quad F_{24h} = F_{kD08}/A_{eks} \times 1$$

$$(143) \quad F_{24h} = 4.26 \text{ g pr. m}^2 \text{ og døgn}$$

$$(144) \quad F_{uge} = F_{24h} \times 7 \times 10^{-3}$$

$$(145) \quad F_{uge} = 0.030 \text{ kg pr. m}^2 \text{ og uge}$$

$$(146) \quad Z_{pPrk} = \frac{A (RF_i - RF_u) P_s \times 1000 \times 60}{dm \times dt}$$

$$(147) \quad Z_{pPrk} = 28.5 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$$

$$(148) \quad Z_{cPrk} = Z_{pPrk} \times 7.3 \times 10^{-6}$$

$$(149) \quad Z_{cPrk} = 2.1 \times 10^5 \text{ s/m}$$

$$(150) \quad \delta_{pPr} = h_{Pr(m)} / Z_{pPrk}$$

$$(151) \quad \delta_{pPr} = 7.0 \times 10^{-14} \text{ kg/pa s m}$$

$$(152) \quad D_{cPr} = 462 \times T(^{\circ}\text{K}) \times \delta_{pPr}$$

$$(153) \quad D_{cPr} = 9.6 \times 10^{-9} \text{ (m}^2\text{/s)}$$

10 KOPMAT90 - PROGRAMUDVIKLING

10.01 PROGRAMMETS OPBYGNING

Samtlige beregninger udføres på et sideløbende med selve metoden udviklet program, der ligeledes har fået betegnelsen KOPMAT90.

Til udviklingen af dette program er benyttet SYMPHONY, release 2.0, 1987, fra Lotus Development Corporation.

Programmet er beregnet til at kunne bearbejde ialt 19 målinger af den konstaterede (målte) masseændring af koppen til 19 forskellige tidspunkter af det samlede kopforsøg.

Tallet 19 er netop det antal linier, der kan rummes inden for et skærbillede, men det er på ingen måde en grænse for programmets kapacitet, hvor der som tidligere nævnt vil være brug for et langt større antal vejninger, såfremt man ønsker at gå over til kontinuerlige forsøg.

Programmet består som metoden af 9 beregningstrin, omfattende små 60 beregninger med tilhørende formler, der tilsammen har til formål at korrigere den målte masseændring (det målte flow) for de til dato konstaterede og kvantificerede fejlkilder ved KOPMETODEN.

Den faste del af programmet omfatter foruden beregningstrinene også geometriske data om den benyttede kop (LBM-koppen).

Før programmet foretager databehandlingen indtastes der følgende oplysninger om det pågældende kopforsøg:

- Forsøgets serienummer
- Koppens nummer
- Startdato og tidspunkt
- Den ønskede værdi for RF i målekammeret (decimalbrøk, f.eks. 0.5)
- Tykkelsen af prøveemnet samt K-faktoren (mm)
- Tykkelsen af den (de) mellem koppen og undersiden af prøveemnet placerede pakning (pakninger) (cm)
- Vandmængden i koppen ved forsøgets start (ml)

For hver enkelt af de 19 vejninger skal der derefter indlogges oplysninger om:

- Antal minutter siden forsøgets start
- Koppens masse (g), hvor man måske kun vil angive 9.0000 og ikke 279.0000
- Temperaturen i målekammeret (°C)
- RF i målekammeret (%)
- Vindhastigheden over koppen (m/s)
- Barometertrykket i målekammeret (mbar)

10.02 DE ENKELTE PROGRAMTRIN

Programtrin S Formål

- 01 >SER-01 A Input serienummer
- 02 >KOP-02 B Input kopnummer
- 03 <VEJ-03 C Indlæg vejning nr
- 04 *DAT-04 D Beregn ugedag og dato
- 05 *TID-05 E Beregn vejetidspunkt
- 06 >MIN-06 F Indlæs antal min fra forsøgets start
- 07 *MIN-07 G Beregn antal min mellem hver vejning
- 08 >MAS-08 H Indlæs koppens masse
- 09 *F01-09 I Beregn koppens masseændring (flow) mellem to vejninger
- 10 *F02-10 J Beregn flow, korrigeret for barometereffekten
- 11 *F03-11 K Beregn det opsummerede flow over forsøgsperioden
- 12 *F04-12 L Omregn F01 til flow pr. døgn
- 13 >TEM-13 M Indlæs målekammerets temperatur til vejetidspunktet
- 14 *TEM-14 N Beregn middelværdien for temperaturen mellem to vejninger
- 15 <TEM-15 O Indlæg 21 (°C)
- 16 *TEM-16 P Beregn forskellen mellem den aktuelle temperatur og 21 (°C)
- 17 *APs-17 Q Beregn P_s ved den aktuelle temperatur og vejetidspunktet
- 18 *F05-18 R Beregn flow, korrigeret for temperaturændringer
- 19 <RFu-19 S Indlæg den ønskede værdi for RF i målekammeret
- 20 >RFu-20 T Indlæs målekammerets RF til vejetidspunktet
- 21 *RFu-21 U Beregn middelværdien for RF mellem to vejninger
- 22 *F06-22 V Beregn flow, korrigeret for RF-ændringer
- 23 *Z06-23 W Beregn Z_p for flow F06
- 24 *GEO-24 X Beregn tykkelsen af luftlaget i koppen ved forsøgets start
- 25 *GEO-25 Y Beregn tykkelsen af luftlaget i koppen til vejetidspunktet
- 26 *GEO-26 Z Beregn middelværdien af luftlaget i koppen mellem to vejninger
- 27 *ZLu-27 AA Beregn Z_{Lu} for det aktuelle luftlag til vejetidspunktet
- 28 <ZNe-28 AB Indlæg værdi for Z_{Ne}
- 29 <ZOp-29 AC Indlæg værdi for Z_{Op}
- 30 <FuO-30 AD Indlæg fugtovergangstal emne/luft (O_f)
- 31 >VIN-31 AE Indlæs vindhastigheden over koppen til vejetidspunktet
- 32 *FuO-32 AF Beregn O_f for den aktuelle vindhastighed
- 33 *FuO-33 AG Beregn middelværdien for O_f mellem to vejninger
- 34 *ZVi-34 AH Beregn Z_{Vi}
- 35 *ZTo-35 AI Beregn $Z_{Ne} + Z_{Lu} + Z_{Op} + Z_{Vi} + P_b[Z_{Lu}]$
- 36 *ZPr-36 AJ Beregn Z_{Pr}
- 37 *F07-37 AK Beregn flow, korrigeret for kopmodstande
- 38 >GEO-38 AL Input prøveemnets tykkelse
- 39 <GEO-39 AM Indlæg 0.5 (mm)
- 40 *GEO-40 AN Beregn prøveemnets tykkelse, korrigeret for K-faktor
- 41 *RAN-41 AO Beregn faktor for randeffekten
- 42 <ARE-42 AP Indlæg prøveemnets eksponerede prøveareal

43 *ARE-43 AQ Beregn det effektive prøveareal
 44 *F08-44 AR Beregn flow, korrigeret for rand- og kompressionseffekt
 45 *GEO-45 AS Beregn koppens indvendige bundareal
 46 <GEO-46 AT Indlæg koppens indvendige højde
 47 >GEO-47 AU Input tykkelsen af pakninger mellem kop og prøveemne
 48 >VAN-48 AV Input vandmængden i koppen ved forsøgets start
 49 *VOL-49 AW Beregn luftvolumenet i koppen ved forsøgets start
 50 *VOL-50 AX Beregn luftvolumenet i koppen på vejtidspunktet
 51 *VOL-51 AY Beregn middelværdien af luftvolumenet mellem to vejninger
 52 >BAR-52 AZ Indlæs barometertryk (P_b) på vejtidspunktet
 53 *BAR-53 BA Beregn ændringen i P_b mellem to vejninger
 54 >KOM-54 BB Input værdi for kompressionseffekten
 55 *KOM-55 BC Beregn kompressionseffekten
 56 *F9A-56 BD Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 1.0
 57 *F9B-57 BE Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.9
 58 *F9C-58 BF Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.8
 59 *F9D-59 BG Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.7
 60 *F9E-60 BH Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.6
 61 *F9F-61 BI Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.5
 62 *F9G-62 BJ Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.4
 63 *F9H-63 BK Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.3
 64 *F9I-64 BL Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.2
 65 *F9J-65 BM Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.1
 66 *F9K-66 BN Beregn flow, korrigeret for S-faktor = 0.0
 67 *DAT-67 BO Beregn, vurder og vælg blandt: F9A til F9K
 68 *F10-68 BK Beregn flow, korrigeret for S-faktor og P_b
 69 *ZPr-69 BQ Beregn Z_{Pr}
 70 *VF1-70 BR Beregn σ_{Lu} - Delberegning (1) - Temperatur
 71 *VF2-71 BS Beregn σ_{Lu} - Delberegning (2) - RF
 72 *VF3-72 BT Beregn σ_{Lu} - Delberegning (3) - Barometertryk
 73 *VF4-73 BU Beregn σ_{Lu} - Delberegning (4) - Til vejtidspunktet
 74 *VF5-74 BV Beregn ændringen i σ_{Lu} mellem to vejninger
 75 *MAS-75 BW Beregn den dertil svarende masseændring
 76 *F11-76 BX Beregn det reelle flow gennem prøveemnet (g/m^2 24h)
 77 *F12-77 BY Beregn det reelle flow gennem prøveemnet (kg/m^2 uge)
 78 *Zc -78 BZ Beregn Z_c for prøveemnet (s/m)
 79 *dp -79 CA Beregn δp for prøveemnet (kg/Pa s m)
 80 *Dc -80 CB Beregn D_c for prøveemnet (m^2/s)

SYMBOLER: S Symphony's kolonne-bogstavsbetegnelse A, B, C, ..., CB
 < Indlæg = Indlægges fast i programmet
 > Input = Indtastes for hver serie eller hvert forsøg
 > Indlæs = Indlæses direkte fra måleudstyret med logger
 * Beregn = Beregnes af KOPMAT90

KOMMENTARER:

Det skal bemærkes, at det inden for projektets tidsramme ikke har været muligt at:

- etablere delprogrammet for programtrin 67 samt at værdierne for programtrin 56 - 66 skal udskrives gennem benyttelse af Symphonys graph-faciliteter.
- afses projekttid til etablering af de automatiske datalogfunktioner.

- at gennemføre praktiske målinger under anvendelse af den nyudviklede metode og det nyudviklede program, hvorfor de tre eksempler i næste afsnit ikke bygger på forsøg gennemført i praksis, men udelukkende tjener til demonstration.

10.03 KOPMAT90 - EKSEMPEL 1

Henvisninger til de enkelte programtrin i KOPMAT90 er vist i kantede parenteser [].

Materiale:	Ret tæt, flow på omkring 4 g/m ² og døgn [*F11-76]
Forsøg:	Vådkop (100/50) [>VAN-48] [<RFu-19]
Forsøgsperiode:	9 dage (12968 min) [*DAT-04] [>MIN-06]
Vejninger pr. døgn:	2 (morgen og aften) [*TID-05]
Prøveemnets tykkelse:	2.0 mm [>GEO-38]
Kompression:	Ingen [>KOM-54]
Pakninger:	0.2 cm [>GEO-47]
Vandmængde:	50 ml [>VAN-48]
Målekammertemperatur:	Varierende, Max: 24.0 / Min: 22.0 °C [>TEM-13]
RF i målekammer:	Varierende, Max: 51.0 / Min: 49.0 % [>RFu-20]
Vindhastighed:	Varierende, Max: 4.0 / Min: 2.0 m/s [>VIN-31]
Barometertryk:	Varierende, Max: 1028 / Min: 991 mbar [>BAR-52]

Forsøgsdata: Se side 85

Nogle måleresultater:

Z_{Tot} :	29×10^9 Pa s m ² /kg [*Z06-23]
Z_{Kop} :	0.3×10^9 Pa s m ² /kg [*ZTo-35]
Z_{Pr1} :	29×10^9 Pa s m ² /kg [*ZPr-36]
Z_{Pr} :	30×10^9 Pa s m ² /kg [*ZPr-69]
S_{Fak} :	1.0 svarende til [*F9A-56]
Flow:	0.0200 g/0.005 m ² og døgn [*F10-68]
Flow:	4.0 g/m ² og døgn [*F11-76]
Flow:	0.028 kg/m ² og uge [*F12-77]

KOPILOG90 / KOPLYSE - Kommentarer:

Den traditionelle KOPMETODE (KOPLYSE) inddrager som nævnt ikke kopmodstandene i sine beregninger. I det her behandlede eksempel, får det imidlertid heller ingen betydning, idet kopmodstandene med 0.3×10^9 Pa s m²/kg [*ZTo-35] er forsvindende sammenlignet med selve prøveemnets Z_p -værdi på 30×10^9 Pa s m²/kg [*ZPr-69].

KOPLYSE'S begrænsede faciliteter til korrektion for variationer i temperatur, RF, vindhastighed osv. får heller ingen nævneværdig indflydelse på de opnåede måleresultater.

Ser vi imidlertid på ændringerne i barometertrykket over forsøgsperioden, så ville KOPLYSE komme ud med væsentlig større spredning på flowværdierne for kopforsøgets enkelte målinger spændende fra 0.016 til 0.027 g/0.005 m² og døgn [*F04-12], hvor KOPMAT90 for hver enkelt måling vil ligge tæt på værdien 0.020 g/0.005 m² og døgn (her i demoeksemplet er den direkte "programmeret" til at skulle være 0.020) [*F10-68]. KOPLYSE tager imidlertid de sidste lad os sige 5 vejninger som udgangspunkt for beregning af det endelige forsøgsresultat, der

er en Z - og ikke en flowværdi. I det foreliggende eksempel ville følgende 5 flowværdier i $\text{g}/0.005 \text{ m}^2$ og døgn stort set være KOPLYSE'S udgangspunkt for den endelige resultatberegning [*F04-12]:

0.019
0.018
0.021
0.016
0.019

KOPL0G90 / KOPLYSE - Konklusion:

Hvor der er tale om et "ret tæt" materiale med et flow på omkring lad os sige $5 \text{ g}/\text{m}^2$ og døgn, er der ingen nævneværdig forskel i de to metoders målenøjagtighed.

10.04 KOPMAT90 - EKSEMPEL 2

Henvisninger til de enkelte programtrin i KOPMAT90 er vist i kantede parenteser [].

Materiale:	Åbent, flow på omkring $200 \text{ g}/\text{m}^2$ og døgn [*F11-76]
Forsøg:	Vådkop (100/50) [>VAN-48] [<RFu-19]
Forsøgsperiode:	9 dage (12968 min) [*DAT-04] [>MIN-06]
Vejninger pr. døgn:	2 (morgen og aften) [*TID-05]
Prøveemnets tykkelse:	13.0 mm [>GEO-38]
Kompression:	Ingen [>KOM-54]
Pakninger:	0.2 cm [>GEO-47]
Vandmængde:	50 ml [>VAN-48]
Målekamertemperatur:	Varierende, Max: 24.0 / Min: 22.0 °C [>TEM-13]
RF i målekammer:	Varierende, Max: 51.0 / Min: 49.0 % [>RFu-20]
Vindhastighed:	Varierende, Max: 4.0 / Min: 2.0 m/s [>VIN-31]
Barometertryk:	Varierende, Max: 1028 / Min: 991 mbar [>BAR-52]

Forsøgsdata: Se side 86

Nogle måleresultater:

Z_{Tot} :	$0.84 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$ [*Z06-23]
Z_{Kop} :	$0.32 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$ [*ZTo-35]
Z_{Pr1} :	$0.52 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$ [*ZPr-36]
Z_{Pr} :	$0.61 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$ [*ZPr-69]
S_{Fak} :	1.0 svarende til [*F9A-56]
Flow:	$1.0000 \text{ g}/0.005 \text{ m}^2$ og døgn [*F10-68]
Flow:	$200.0 \text{ g}/\text{m}^2$ og døgn [*F11-76]
Flow:	$1.400 \text{ kg}/\text{m}^2$ og uge [*F12-77]

KOPL0G90 / KOPLYSE - Kommentarer:

Det forhold, at den traditionelle KOPMETODE (KOPLYSE) ikke inddrager kopmodstandene i sine beregninger får stor betydning her, hvor vi har et åbent materiale. Som forsøgsresultat ville KOPLYSE registrere $Z_{\text{Pr}} = Z_{\text{Tot}} = 0.84 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$, [*Z06-23], hvor den i virkeligheden kun er (KOPL0G90) $Z_{\text{Pr}} = 0.61 \times 10^9 \text{ Pa s m}^2/\text{kg}$ [*ZPr-69]. KOPLYSE måler med andre ord en Z_{Pr} -værdi, der er 37% for høj. Omsat til flow betyder det, at forsøgsresultatet viser et flow på 144 g pr. m^2 og døgn,

hvor det i virkeligheden er 200 g pr. m² og døgn.

Eksemplet er i øvrigt på ingen måde ekstremt. Vi vil med traditionelle målemetoder let kunne lande i situationer, hvor det reelle flow gennem et åbent materiale er mere end dobbelt så stort, som det målte.

KOPLYSE'S begrænsede faciliteter til korrektion for variationer i temperatur, RF, vindhastighed osv. får noget større betydning her, sammenlignet med det første eksempel, men er ikke kritiske for måleresultatet.

Ændringer i barometertrykket under forsøgsperioden er helt uden praktisk betydning i dette eksempel.

KOPLQG90 / KOPLYSE - Konklusion:

Hvor der er tale om et åbent materiale med et flow på omkring 200 g/m² og døgn, er der stor forskel i de to metoders målenøjagtighed.

10.05 KOPMAT90 - EKSEMPEL 3

Henvisninger til de enkelte programtrin i KOPMAT90 er vist i kantede parenteser [].

Materiale:	Meget tæt, flow på 0.6 - 1 g/m ² og døgn [*F11-76]
Forsøg:	Vådkop (100/50) [>VAN-48] [<RFu-19]
Forsøgsperiode:	9 dage (12968 min) [*DAT-04] [>MIN-06]
Vejninger pr. døgn:	2 (morgen og aften) [*TID-05]
Prøveemnets tykkelse:	2.0 mm [>GEO-38]
Kompression:	Ingen [>KOM-54]
Pakninger:	0.2 cm [>GEO-47]
Vandmængde:	50 ml [>VAN-48]
Målekammertemperatur:	Varierende, Max: 24.0 / Min: 22.0 °C [>TEM-13]
RF i målekammer:	Varierende, Max: 51.0 / Min: 49.0 % [>RFu-20]
Vindhastighed:	Varierende, Max: 4.0 / Min: 2.0 m/s [>VIN-31]
Barometertryk:	Faldende, Max: 1035 / Min: 970 mbar [>BAR-52]

Forsøgsdata: Se side 87

Nogle måleresultater:	Z _{Tot} :	Fra 160 til 100 x 10 ⁹ Pa s m ² /kg [*Z06-23]
	Z _{Kop} :	Fra 0.31 til 0.33 x 10 ⁹ Pa s m ² /kg [*ZTo-35]
	Z _{Pr1} :	Fra 162 til 107 x 10 ⁹ Pa s m ² /kg [*ZPr-36]
	Z _{Pr} :	Fra 190 til 120 x 10 ⁹ Pa s m ² /kg [*ZPr-69]
	S _{Fak} :	0.8 svarende til [*F9C-58]
	Flow:	Fra 0.0032 til 0.0052 g/0.005 m ² og døgn [*F10-68]
	Flow:	Fra 0.642 til 1.042 g/m ² og døgn [*F11-76]
	Flow:	Fra 0.004 til 0.007 kg/m ² og uge [*F12-77]

KOPLQG90 / KOPLYSE - Kommentarer:

Frem til og med randeffekten, så er der ingen nævneværdig forskel i de resultater, som de to metoder præsterer.

Forskellen ligger i KOPLYSE'S manglende faciliteter til at takle ændringerne i barometertrykket. For de enkelte målinger ville KOPLYSE komme ud med resultater for det målte flow, svingende fra 0.0010 til 0.0047 g/0.005 m² og døgn [*F04-12], hvor flowet i virkeligheden er kontinuerligt stigende over den første del af forsøgsperioden, for derefter at nå den konstante værdi på 0.0052 g/0.005 m² døgn [*F9C-58] og i øvrigt forløbende svarende til $S_{Fak} = 0.8$.

Se også [bilag 8], der i øvrigt sammen med formel 106 er vist på rapportens forside.

Flowforløb af denne art er KOPLYSE selvsagt ikke i stand til at identificere.

KOPL0G90 / KOPLYSE - Konklusion:

Hvor der er tale om et "meget tæt" materiale med et flow på kun omkring 1 g/m² og døgn, er der ingen nævneværdig forskel frem til og med randeffekten.

Forskellen ligger i KOPLYSE'S manglende faciliteter til at takle barometereffekten, der bl.a. betyder, at den ikke vil kunne bruges til mere nøjagtige og kvantitative målinger på tætte, stive materialer og derfor heller ikke til kalibrering i forbindelse med materialer af denne art.

Den traditionelle kopmetode ville heller ikke kunne afsløre, at der som her er tale om et materiale, hvis fugtdynamiske egenskaber åbenbart ændrer sig med den tid, det har været udsat for fugtpåvirkningen. Det "lukker sig" mere og mere, som forsøgsperioden skrider frem.

AI: "KOPMAT90
KOPMAT90 - EKS 4 - F:0.020 - dPAR:TSN/RRU/VIN/BAR - FUGT2326 - HBL/23.06.90

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	KOPMAT90	TEST 04	1 23/06/90	08:00	0	0	90.0000	
2	KOPMAT90	TEST 04	2 23/06/90	17:28	568	568	89.9913	
3	KOPMAT90	TEST 04	3 24/06/90	08:27	1467	899	89.9773	
4	KOPMAT90	TEST 04	4 24/06/90	15:41	1901	434	89.9721	
5	KOPMAT90	TEST 04	5 25/06/90	07:59	2879	978	89.9596	
6	KOPMAT90	TEST 04	6 25/06/90	16:42	3402	523	89.9528	
7	KOPMAT90	TEST 04	7 26/06/90	08:36	4356	954	89.9418	
8	KOPMAT90	TEST 04	8 26/06/90	17:21	4881	525	89.9358	
9	KOPMAT90	TEST 04	9 27/06/90	08:12	5772	891	89.9217	
10	KOPMAT90	TEST 04	10 27/06/90	17:22	6322	550	89.9112	
11	KOPMAT90	TEST 04	11 28/06/90	08:11	7211	889	89.8970	
12	KOPMAT90	TEST 04	12 28/06/90	18:42	7842	631	89.8851	
13	KOPMAT90	TEST 04	13 29/06/90	08:15	8655	813	89.8715	
14	KOPMAT90	TEST 04	14 29/06/90	17:20	9200	545	89.8630	
15	KOPMAT90	TEST 04	15 30/06/90	08:32	10112	912	89.8513	
16	KOPMAT90	TEST 04	16 30/06/90	16:15	10575	463	89.8453	
17	KOPMAT90	TEST 04	17 01/07/90	09:24	11604	1029	89.8307	
18	KOPMAT90	TEST 04	18 01/07/90	21:00	12300	696	89.8229	
19	KOPMAT90	TEST 04	19 02/07/90	08:08	12968	668	89.8139	
20	>SER-01	>KOP-02	<VEJ-03	>DAT-04	>TID-05	>MIN-06	>MIN-07	>MAS-08

05-Jul-90 03:14 PM

LI: (P4) (II/GI)*1440

	I	J	K	L	M	N	O	P
1	0.0000	0.0000	0.0000	ERR	23.0	23.0	21.0	2.00
2	0.0088	0.0081	0.0081	0.0222	23.1	23.1	21.0	2.05
3	0.0139	0.0129	0.0211	0.0223	23.3	23.2	21.0	2.20
4	0.0052	0.0063	0.0273	0.0173	23.4	23.4	21.0	2.35
5	0.0125	0.0141	0.0414	0.0184	23.6	23.5	21.0	2.50
6	0.0068	0.0076	0.0491	0.0187	23.7	23.7	21.0	2.65
7	0.0110	0.0142	0.0632	0.0166	24.0	23.9	21.0	2.85
8	0.0051	0.0078	0.0710	0.0166	23.8	23.9	21.0	2.90
9	0.0141	0.0129	0.0639	0.0228	23.3	23.6	21.0	2.55
10	0.0105	0.0078	0.0918	0.0275	23.0	23.2	21.0	2.15
11	0.0142	0.0127	0.1044	0.0230	23.2	23.1	21.0	2.10
12	0.0119	0.0091	0.1135	0.0270	23.1	23.2	21.0	2.15
13	0.0136	0.0117	0.1253	0.0241	22.9	23.0	21.0	2.00
14	0.0085	0.0078	0.1331	0.0225	22.7	22.8	21.0	1.80
15	0.0118	0.0128	0.1459	0.0186	22.3	22.5	21.0	1.50
16	0.0059	0.0064	0.1523	0.0184	22.0	22.2	21.0	1.15
17	0.0147	0.0143	0.1666	0.0205	22.4	22.2	21.0	1.20
18	0.0078	0.0099	0.1765	0.0160	22.9	22.7	21.0	1.65
19	0.0090	0.0096	0.1861	0.0194	23.0	23.0	21.0	1.95
20	*F01-09	*F02-10	*F03-11	*F04-12	>TEN-13	*TEN-14	<TEN-15	*TEN-16

05-Jul-90 03:15 PM

WI: (API*(1-0.5)*168540000)/(VI/GI)

	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	2.809.0	0.0000	0.5	50.0	50.00	0.0000	ERR	4.026990
2	2.817.1	0.0081	0.5	50.1	50.05	0.0081	3.0E+10	4.026990
3	2.841.3	0.0128	0.5	50.4	50.25	0.0128	2.9E+10	4.026990
4	2.865.5	0.0061	0.5	50.8	50.60	0.0062	2.9E+10	4.026990
5	2.889.8	0.0137	0.5	51.0	50.90	0.0140	2.9E+10	4.026990
6	2.914.0	0.0073	0.5	50.7	50.85	0.0075	3.0E+10	4.026990
7	2.946.3	0.0135	0.5	50.5	50.60	0.0137	2.9E+10	4.026990
8	2.954.4	0.0074	0.5	50.8	50.65	0.0075	2.9E+10	4.026990
9	2.997.8	0.0125	0.5	50.7	50.75	0.0127	3.0E+10	4.026990
10	2.833.2	0.0077	0.5	50.5	50.60	0.0078	3.0E+10	4.026990
11	2.825.2	0.0126	0.5	50.2	50.35	0.0127	2.9E+10	4.026990
12	2.833.2	0.0090	0.5	49.7	49.95	0.0090	2.9E+10	4.026990
13	2.809.0	0.0117	0.5	49.4	49.55	0.0116	2.9E+10	4.026990
14	2.776.7	0.0079	0.5	49.1	49.25	0.0078	2.9E+10	4.026990
15	2.728.3	0.0132	0.5	49.5	49.30	0.0130	2.9E+10	4.026990
16	2.671.7	0.0067	0.5	49.2	49.35	0.0066	3.0E+10	4.026990
17	2.679.8	0.0150	0.5	49.0	49.10	0.0147	2.9E+10	4.026990
18	2.752.5	0.0101	0.5	49.6	49.30	0.0100	2.9E+10	4.026990
19	2.800.9	0.0096	0.5	50.0	49.80	0.0096	2.9E+10	4.026990
20	*AP-17	*F05-18	<F06-19	*F07-20	*F08-21	*F09-22	*F10-23	*F11-24

05-Jul-90 03:16 PM

AFI: (S2) *ADI*(AKI-2)*0.2333*0.0000001

	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1	4.026990	3.425185	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.0	1.08E-07
2	4.027153	4.027072	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.1	1.11E-07
3	4.027413	4.027283	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.3	1.15E-07
4	4.027538	4.027476	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.4	1.18E-07
5	4.027822	4.027890	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.8	1.27E-07
6	4.027975	4.027898	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	4.0	1.32E-07
7	4.028259	4.028117	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.3	1.29E-07
8	4.028415	4.028337	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.7	1.25E-07
9	4.028674	4.028545	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.3	1.15E-07
10	4.028831	4.028753	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.0	1.08E-07
11	4.029086	4.028958	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.2	1.13E-07
12	4.029268	4.029177	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.5	1.20E-07
13	4.029504	4.029396	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.1	1.11E-07
14	4.029661	4.029582	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	2.8	1.04E-07
15	4.029918	4.029789	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	2.5	9.67E-08
16	4.030046	4.029962	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	2.0	8.50E-08
17	4.030333	4.030190	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	2.3	9.20E-08
18	4.030532	4.030432	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	2.7	1.01E-07
19	4.030724	4.030628	2.42E+08	40000000	26300000	8.50E-08	3.0	1.08E-07
20	*G0D-25	*G0D-26	*Z0A-27	*Z0A-28	*Z0A-29	*P0A-30	>VIN-31	*P0A-32

05-Jul-90 03:17 PM

AII: (S2) *AAI*ABI*ACI*ARI-(AAI*ABI*ACI)*(AZI-1013)*0.001

	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	2.0	0.5	1.5
2	1.09E-07	9.13E+06	3.16E+08	2.92E+10	0.0082	2.0	0.5	1.5
3	1.13E-07	8.85E+06	3.14E+08	2.92E+10	0.0130	2.0	0.5	1.5
4	1.16E-07	8.85E+06	3.15E+08	2.91E+10	0.0063	2.0	0.5	1.5
5	1.22E-07	8.17E+06	3.17E+08	2.92E+10	0.0141	2.0	0.5	1.5
6	1.29E-07	7.56E+06	3.17E+08	2.92E+10	0.0075	2.0	0.5	1.5
7	1.30E-07	7.56E+06	3.21E+08	2.91E+10	0.0138	2.0	0.5	1.5
8	1.27E-07	7.87E+06	3.24E+08	2.91E+10	0.0076	2.0	0.5	1.5
9	1.20E-07	8.33E+06	3.25E+08	2.92E+10	0.0129	2.0	0.5	1.5
10	1.12E-07	8.94E+06	3.21E+08	2.92E+10	0.0079	2.0	0.5	1.5
11	1.11E-07	8.94E+06	3.15E+08	2.92E+10	0.0128	2.0	0.5	1.5
12	1.16E-07	8.58E+06	3.15E+08	2.92E+10	0.0091	2.0	0.5	1.5
13	1.15E-07	8.67E+06	3.15E+08	2.92E+10	0.0117	2.0	0.5	1.5
14	1.07E-07	8.32E+06	3.13E+08	2.91E+10	0.0079	2.0	0.5	1.5
15	1.00E-07	9.38E+06	3.15E+08	2.92E+10	0.0132	2.0	0.5	1.5
16	9.08E-08	1.10E+07	3.17E+08	2.92E+10	0.0067	2.0	0.5	1.5
17	8.85E-08	1.13E+07	3.17E+08	2.91E+10	0.0149	2.0	0.5	1.5
18	9.67E-08	1.03E+07	3.18E+08	2.91E+10	0.0101	2.0	0.5	1.5
19	1.05E-07	9.54E+06	3.18E+08	2.91E+10	0.0097	2.0	0.5	1.5
20	*P0A-33	*ZV1-34	*Z0A-35	*Z0A-36	*F07-37	*G0D-38	*G0D-39	*G0D-40

05-Jul-90 03:17 PM

ARI: (P4) (AKI/AQI)*API

	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1	104.0	0.005	0.005201	ERR	49.84663	4.83	0.2	50.0
2	104.0	0.005	0.005201	0.0079	49.84663	4.83	0.2	50.0
3	104.0	0.005	0.005201	0.0125	49.84663	4.83	0.2	50.0
4	104.0	0.005	0.005201	0.0060	49.84663	4.83	0.2	50.0
5	104.0	0.005	0.005201	0.0136	49.84663	4.83	0.2	50.0
6	104.0	0.005	0.005201	0.0072	49.84663	4.83	0.2	50.0
7	104.0	0.005	0.005201	0.0133	49.84663	4.83	0.2	50.0
8	104.0	0.005	0.005201	0.0073	49.84663	4.83	0.2	50.0
9	104.0	0.005	0.005201	0.0124	49.84663	4.83	0.2	50.0
10	104.0	0.005	0.005201	0.0076	49.84663	4.83	0.2	50.0
11	104.0	0.005	0.005201	0.0123	49.84663	4.83	0.2	50.0
12	104.0	0.005	0.005201	0.0088	49.84663	4.83	0.2	50.0
13	104.0	0.005	0.005201	0.0113	49.84663	4.83	0.2	50.0
14	104.0	0.005	0.005201	0.0076	49.84663	4.83	0.2	50.0
15	104.0	0.005	0.005201	0.0127	49.84663	4.83	0.2	50.0
16	104.0	0.005	0.005201	0.0064	49.84663	4.83	0.2	50.0
17	104.0	0.005	0.005201	0.0143	49.84663	4.83	0.2	50.0
18	104.0	0.005	0.005201	0.0087	49.84663	4.83	0.2	50.0
19	104.0	0.005	0.005201	0.0083	49.84663	4.83	0.2	50.0
20	*RAN-41	*ARE-42	*ARE-43	*P08-44	*QED-45	*QED-46	*QED-47	*VAN-48

A1: "KOMMAT90

KOMMAT90 - EKS 5 - F:1.000 - dPAR:TEM/RPU/VIN/BAR - FUKT2331 - HML/23.06.90

EDIT

ARI: (P4) (AKI/AQI)*API

SHEET

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	KOMMAT90	TEST 05	1 23/06/90	08:00	0	0	90.0000	
2	KOMMAT90	TEST 05	2 23/06/90	17:28	568	568	89.7127	
3	KOMMAT90	TEST 05	3 24/06/90	08:27	1467	899	89.2550	
4	KOMMAT90	TEST 05	4 24/06/90	15:41	1901	434	89.0357	
5	KOMMAT90	TEST 05	5 25/06/90	07:59	2879	978	88.5405	
6	KOMMAT90	TEST 05	6 25/06/90	16:42	3402	523	88.2734	
7	KOMMAT90	TEST 05	7 26/06/90	08:36	4356	954	87.7826	
8	KOMMAT90	TEST 05	8 26/06/90	17:21	4881	525	87.5130	
9	KOMMAT90	TEST 05	9 27/06/90	08:12	5772	891	87.0610	
10	KOMMAT90	TEST 05	10 27/06/90	17:22	6322	550	86.7847	
11	KOMMAT90	TEST 05	11 28/06/90	08:11	7211	889	86.3393	
12	KOMMAT90	TEST 05	12 28/06/90	18:42	7842	631	86.0167	
13	KOMMAT90	TEST 05	13 29/06/90	08:15	8655	813	85.6021	
14	KOMMAT90	TEST 05	14 29/06/90	17:20	9200	545	85.3264	
15	KOMMAT90	TEST 05	15 30/06/90	08:32	10112	912	84.8775	
16	KOMMAT90	TEST 05	16 30/06/90	16:15	10575	463	84.6550	
17	KOMMAT90	TEST 05	17 01/07/90	09:24	11604	1029	84.1551	
18	KOMMAT90	TEST 05	18 01/07/90	21:00	12300	696	83.8123	
19	KOMMAT90	TEST 05	19 02/07/90	08:08	12968	668	83.4795	
20	>SER-01	>KOP-02	<VEJ-03	<DAT-04	<TTD-05	>MIN-06	>MIN-07	>MAS-08

05-Jul-90 03:00 PM

	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1	116.7	0.005	0.005833	ERR	49.84663	4.83	0.2	50.0
2	116.7	0.005	0.005833	0.3944	49.84663	4.83	0.2	50.0
3	116.7	0.005	0.005833	0.6243	49.84663	4.83	0.2	50.0
4	116.7	0.005	0.005833	0.3014	49.84663	4.83	0.2	50.0
5	116.7	0.005	0.005833	0.6792	49.84663	4.83	0.2	50.0
6	116.7	0.005	0.005833	0.3632	49.84663	4.83	0.2	50.0
7	116.7	0.005	0.005833	0.6625	49.84663	4.83	0.2	50.0
8	116.7	0.005	0.005833	0.3646	49.84663	4.83	0.2	50.0
9	116.7	0.005	0.005833	0.6188	49.84663	4.83	0.2	50.0
10	116.7	0.005	0.005833	0.3819	49.84663	4.83	0.2	50.0
11	116.7	0.005	0.005833	0.6173	49.84663	4.83	0.2	50.0
12	116.7	0.005	0.005833	0.4382	49.84663	4.83	0.2	50.0
13	116.7	0.005	0.005833	0.5646	49.84663	4.83	0.2	50.0
14	116.7	0.005	0.005833	0.3785	49.84663	4.83	0.2	50.0
15	116.7	0.005	0.005833	0.6333	49.84663	4.83	0.2	50.0
16	116.7	0.005	0.005833	0.3215	49.84663	4.83	0.2	50.0
17	116.7	0.005	0.005833	0.7146	49.84663	4.83	0.2	50.0
18	116.7	0.005	0.005833	0.4833	49.84663	4.83	0.2	50.0
19	116.7	0.005	0.005833	0.4639	49.84663	4.83	0.2	50.0
20	>RAN-41	>ARE-42	>ARE-43	>P08-44	>P08-45	>P08-46	>P08-47	>VAN-48

05-Jul-90 03:05 PM

LI: (P4) (IL/GI)*1440

SHEET

	I	J	K	L	M	N	O	P
1	0.0000	0.0000	0.0000	ERR	23.0	23.0	21.0	2.00
2	0.2873	0.2867	0.2867	0.7284	23.1	23.1	21.0	2.05
3	0.4576	0.4566	0.7433	0.7330	23.3	23.2	21.0	2.20
4	0.2193	0.2204	0.9637	0.7278	23.4	23.4	21.0	2.35
5	0.4952	0.4968	1.4605	0.7291	23.6	23.5	21.0	2.50
6	0.2671	0.2679	1.7284	0.7353	23.7	23.7	21.0	2.65
7	0.4909	0.4940	2.2225	0.7410	24.0	23.9	21.0	2.85
8	0.2696	0.2713	2.4938	0.7394	23.8	23.9	21.0	2.90
9	0.4520	0.4508	2.9446	0.7305	23.3	23.6	21.0	2.55
10	0.2762	0.2735	3.2182	0.7232	23.0	23.2	21.0	2.15
11	0.4455	0.4439	3.6621	0.7216	23.2	23.1	21.0	2.10
12	0.3226	0.3198	3.9820	0.7362	23.1	23.2	21.0	2.15
13	0.4146	0.4127	4.3947	0.7343	22.9	23.0	21.0	2.00
14	0.2757	0.2750	4.6697	0.7283	22.7	22.8	21.0	1.80
15	0.4490	0.4501	5.1197	0.7089	22.3	22.5	21.0	1.50
16	0.2225	0.2229	5.3426	0.6919	22.0	22.2	21.0	1.15
17	0.4999	0.4996	5.8422	0.6996	22.4	22.2	21.0	1.20
18	0.3428	0.3449	6.1871	0.7092	22.9	22.7	21.0	1.65
19	0.3328	0.3334	6.5206	0.7175	23.0	23.0	21.0	1.95
20	>P01-09	>P02-10	>P03-11	>P04-12	>TEM-13	>TEM-14	>TEM-15	>TEM-16

05-Jul-90 03:01 PM

AW1: +ASI*(ATI+AU1-AV1/49.85)

SHEET

	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
1	200.7319	200.7319		1013	0	0.0	13.0	ERR
2	200.7319	201.0186	200.8752	1016	3	0.0	13.0	1.0000
3	200.7319	201.4752	201.2469	1021	5	0.0	13.0	1.0000
4	200.7319	201.6956	201.5854	1017	-4	0.0	13.0	1.0000
5	200.7319	202.1924	201.9440	1011	-6	0.0	13.0	1.0000
6	200.7319	202.4603	202.3264	1008	-3	0.0	13.0	1.0000
7	200.7319	202.9543	202.7073	996	-12	0.0	13.0	1.0000
8	200.7319	203.2257	203.0900	988	-8	0.0	13.0	1.0000
9	200.7319	203.6765	203.4511	991	3	0.0	13.0	1.0000
10	200.7319	203.9501	203.8133	1001	10	0.0	13.0	1.0000
11	200.7319	204.3940	204.1720	1008	7	0.0	13.0	1.0000
12	200.7319	204.7139	204.5539	1019	11	0.0	13.0	1.0000
13	200.7319	205.1266	204.9202	1026	7	0.0	13.0	1.0000
14	200.7319	205.4015	205.2640	1028	2	0.0	13.0	1.0000
15	200.7319	205.8516	205.6266	1022	-6	0.0	13.0	1.0000
16	200.7319	206.0745	205.9631	1019	-3	0.0	13.0	1.0000
17	200.7319	206.5741	206.3243	1022	3	0.0	13.0	1.0000
18	200.7319	206.9190	206.7465	1015	-7	0.0	13.0	1.0000
19	200.7319	207.2524	207.0857	1013	-2	0.0	13.0	1.0000
20	>VOL-49	>VOL-50	>VOL-51	>BAR-52	>BAR-53	>MIN-54	>MIN-55	>P3A-56

05-Jul-90 03:06 PM

W1: (API*(1-0.5)*168540000)/(VI/GI)

SHEET

	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	2.809.0	0.0000	0.5	50.0	50.00	0.0000	ERR	4.026990
2	2.817.1	0.2859	0.5	50.1	50.05	0.2862	8.4E+08	4.026990
3	2.841.3	0.4514	0.5	50.4	50.25	0.4537	8.3E+08	4.026990
4	2.855.5	0.2161	0.5	50.8	50.60	0.2187	8.4E+08	4.026990
5	2.889.8	0.4829	0.5	51.0	50.90	0.4916	8.4E+08	4.026990
6	2.914.0	0.2582	0.5	50.7	50.85	0.2626	8.4E+08	4.026990
7	2.946.3	0.4710	0.5	50.5	50.60	0.4767	8.4E+08	4.026990
8	2.954.4	0.2580	0.5	50.8	50.65	0.2613	8.5E+08	4.026990
9	2.997.8	0.4370	0.5	50.7	50.75	0.4436	8.5E+08	4.026990
10	2.833.2	0.2712	0.5	50.5	50.60	0.2745	8.4E+08	4.026990
11	2.825.2	0.4414	0.5	50.2	50.35	0.4445	8.4E+08	4.026990
12	2.833.2	0.3171	0.5	49.7	49.95	0.3168	8.4E+08	4.026990
13	2.809.0	0.4127	0.5	49.4	49.55	0.4090	8.4E+08	4.026990
14	2.776.7	0.2782	0.5	49.1	49.25	0.2740	8.4E+08	4.026990
15	2.728.3	0.4634	0.5	49.5	49.30	0.4569	8.4E+08	4.026990
16	2.671.7	0.2344	0.5	49.2	49.35	0.2313	8.4E+08	4.026990
17	2.679.8	0.5236	0.5	49.0	49.10	0.5142	8.4E+08	4.026990
18	2.752.5	0.3520	0.5	49.6	49.30	0.3471	8.4E+08	4.026990
19	2.800.9	0.3344	0.5	50.0	49.80	0.3330	8.5E+08	4.026990
20	>P01-17	>P02-18	>P03-19	>P04-20	>P05-21	>P06-22	>P07-23	>P08-24

05-Jul-90 03:02 PM

BE1: (P4) (ARI+0.1*BI1)/GI*1440

SHEET

	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL
1	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR	ERR
2	1.0002	1.0003	1.0005	1.0006	1.0008	1.0010	1.0011	1.0013
3	1.0002	1.0003	1.0005	1.0007	1.0008	1.0010	1.0012	1.0013
4	0.9997	0.9993	0.9990	0.9986	0.9983	0.9979	0.9976	0.9972
5	0.9998	0.9995	0.9993	0.9991	0.9988	0.9986	0.9983	0.9981
6	0.9998	0.9996	0.9993	0.9991	0.9989	0.9987	0.9984	0.9982
7	0.9995	0.9990	0.9986	0.9981	0.9976	0.9971	0.9967	0.9962
8	0.9995	0.9991	0.9986	0.9981	0.9976	0.9971	0.9967	0.9962
9	1.0002	1.0004	1.0006	1.0008	1.0010	1.0012	1.0014	1.0016
10	1.0007	1.0014	1.0021	1.0028	1.0035	1.0042	1.0048	1.0056
11	1.0002	1.0005	1.0007	1.0010	1.0012	1.0014	1.0017	1.0019
12	1.0006	1.0013	1.0019	1.0025	1.0032	1.0038	1.0044	1.0050
13	1.0003	1.0007	1.0010	-0.0013	1.0017	1.0020	1.0023	1.0027
14	1.0002	1.0004	1.0005	1.0007	1.0009	1.0011	1.0012	1.0014
15	0.9998	0.9996	0.9995	0.9993	0.9991	0.9989	0.9988	0.9986
16	0.9998	0.9997	0.9996	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9989
17	1.0000	1.0001	1.0001	1.0002	1.0002	1.0003	1.0003	1.0004
18	0.9995	0.9991	0.9986	0.9982	0.9977	0.9973	0.9969	0.9964
19	0.9999	0.9996	0.9997	0.9995	0.9994	0.9993	0.9992	0.9990
20	*F98-57	*F9C-58	*F9D-59	*F9E-60	*F9F-61	*F9G-62	*F9H-63	*F9I-64

AI: "KOMMAT90
KOMMAT90 - FKS G - F:VARIA - (IPAR:TEM/RPU/VIN/BAR - FUCT2336 - HBL/24.06.90

EDIT

AR1: (P4) (AKI/AQI)*API

SHEET

A	B	C	D	E	F	G	H
1	KOMMAT90	TEST 06	1 24/06/90	08:00	0	0	9.0000
2	KOMMAT90	TEST 06	2 24/06/90	17:28	568	568	8.9993
3	KOMMAT90	TEST 06	3 25/06/90	08:27	1467	899	9.9982
4	KOMMAT90	TEST 06	4 25/06/90	15:41	1901	434	8.9979
5	KOMMAT90	TEST 06	5 26/06/90	07:59	2879	978	8.9965
6	KOMMAT90	TEST 06	6 26/06/90	16:42	3402	523	8.9956
7	KOMMAT90	TEST 06	7 27/06/90	08:36	4356	954	8.9936
8	KOMMAT90	TEST 06	8 27/06/90	17:21	4881	525	8.9927
9	KOMMAT90	TEST 06	9 28/06/90	08:12	5772	891	8.9898
10	KOMMAT90	TEST 06	10 28/06/90	17:22	6322	550	8.9884
11	KOMMAT90	TEST 06	11 29/06/90	08:11	7211	889	8.9862
12	KOMMAT90	TEST 06	12 29/06/90	18:42	7842	631	8.9845
13	KOMMAT90	TEST 06	13 30/06/90	08:15	8655	813	8.9818
14	KOMMAT90	TEST 06	14 30/06/90	17:20	9200	545	8.9805
15	KOMMAT90	TEST 06	15 01/07/90	08:32	10112	912	8.9777
16	KOMMAT90	TEST 06	16 01/07/90	16:15	10575	463	8.9764
17	KOMMAT90	TEST 06	17 02/07/90	09:24	11604	1029	8.9737
18	KOMMAT90	TEST 06	18 02/07/90	21:00	12300	696	8.9723
19	KOMMAT90	TEST 06	19 03/07/90	08:08	12968	668	8.9702
20	*SER-01	*KOR-02	*VEJ-03	*DAT-04	*TID-05	*MIN-06	*MIN-07
							*MAS-08

05-Jul-90 03:28 PM

PI: (P2) *N1-01

SHEET

I	J	K	L	M	N	O	P
1	0.0000	0.0000	0.0000	ERR	23.0	23.0	21.0
2	0.0007	0.0015	0.0015	0.0017	23.1	23.1	21.0
3	0.0011	0.0025	0.0040	0.0018	23.3	23.2	21.0
4	0.0003	0.0014	0.0053	0.0010	23.4	23.4	21.0
5	0.0014	0.0030	0.0084	0.0021	23.6	23.5	21.0
6	0.0009	0.0017	0.0101	0.0025	23.7	23.7	21.0
7	0.0020	0.0032	0.0133	0.0030	24.0	23.9	21.0
8	0.0009	0.0019	0.0153	0.0024	23.8	23.9	21.0
9	0.0029	0.0029	0.0182	0.0047	23.3	23.6	21.0
10	0.0015	0.0019	0.0201	0.0038	23.0	23.2	21.0
11	0.0021	0.0033	0.0233	0.0034	23.2	23.1	21.0
12	0.0017	0.0023	0.0257	0.0039	23.1	23.2	21.0
13	0.0027	0.0030	0.0287	0.0047	22.9	23.0	21.0
14	0.0014	0.0021	0.0308	0.0036	22.7	22.8	21.0
15	0.0028	0.0034	0.0342	0.0044	22.3	22.5	21.0
16	0.0013	0.0017	0.0360	0.0040	22.0	22.2	21.0
17	0.0027	0.0040	0.0399	0.0037	22.4	22.2	21.0
18	0.0015	0.0029	0.0428	0.0030	22.9	22.7	21.0
19	0.0020	0.0026	0.0454	0.0044	23.0	23.0	21.0
20	*F01-09	*F02-10	*F03-11	*F04-12	*T04-13	*T04-14	*T04-15
							*T04-16

05-Jul-90 03:29 PM

WI: (API*(1-0.5)*168540000)/(VI/GI)

SHEET

Q	R	S	T	U	V	W	X
1	2,809.0	0.0000	0.5	50.0	50.00	0.0000	ERR 4.026990
2	2,817.1	0.0015	0.5	50.1	50.05	0.0015	1.6E+11 4.026990
3	2,841.3	0.0025	0.5	50.4	50.25	0.0025	1.6E+11 4.026990
4	2,865.5	0.0013	0.5	50.8	50.60	0.0013	1.4E+11 4.026990
5	2,889.8	0.0030	0.5	51.0	50.90	0.0030	1.4E+11 4.026990
6	2,914.0	0.0016	0.5	50.7	50.85	0.0017	1.3E+11 4.026990
7	2,946.3	0.0031	0.5	50.5	50.60	0.0031	1.3E+11 4.026990
8	2,954.4	0.0018	0.5	50.8	50.65	0.0018	1.2E+11 4.026990
9	2,897.8	0.0028	0.5	50.7	50.75	0.0029	1.3E+11 4.026990
10	2,833.2	0.0019	0.5	50.5	50.60	0.0019	1.2E+11 4.026990
11	2,825.2	0.0032	0.5	50.2	50.35	0.0033	1.2E+11 4.026990
12	2,833.2	0.0023	0.5	49.7	49.95	0.0023	1.1E+11 4.026990
13	2,850.9	0.0030	0.5	49.4	49.55	0.0029	1.2E+11 4.026990
14	2,776.7	0.0022	0.5	49.1	49.25	0.0021	1.1E+11 4.026990
15	2,728.3	0.0035	0.5	49.5	49.30	0.0035	1.1E+11 4.026990
16	2,671.7	0.0018	0.5	49.2	49.35	0.0018	1.1E+11 4.026990
17	2,679.8	0.0042	0.5	49.0	49.10	0.0041	1.1E+11 4.026990
18	2,752.5	0.0029	0.5	49.6	49.30	0.0029	1.0E+11 4.026990
19	2,800.9	0.0026	0.5	50.0	49.80	0.0026	1.1E+11 4.026990
20	*AP-17	*F05-18	*F06-19	*F07-20	*F08-21	*F09-22	*F10-23
							*F11-24

05-Jul-90 03:30 PM

AF1: (S2) *AD1+(AKI-2)*0.2333*0.0000001

SHEET

Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1	4.026990	3.425185	2.05E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.0 1.08E-07
2	4.027020	4.027005	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.1 1.11E-07
3	4.027071	4.027045	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.3 1.15E-07
4	4.027098	4.027084	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.4 1.18E-07
5	4.027159	4.027128	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.8 1.27E-07
6	4.027193	4.027176	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	4.0 1.32E-07
7	4.027258	4.027226	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.9 1.29E-07
8	4.027297	4.027277	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.7 1.25E-07
9	4.027355	4.027326	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.3 1.15E-07
10	4.027393	4.027374	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.0 1.08E-07
11	4.027459	4.027426	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.2 1.13E-07
12	4.027506	4.027482	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.5 1.20E-07
13	4.027566	4.027536	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.1 1.11E-07
14	4.027608	4.027587	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	2.8 1.04E-07
15	4.027677	4.027643	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	2.5 9.67E-08
16	4.027712	4.027694	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	2.0 8.50E-08
17	4.027792	4.027752	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	2.3 9.20E-08
18	4.027849	4.027821	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	2.7 1.01E-07
19	4.027902	4.027876	2.42E+06	40000000	26300000	8.50E-08	3.0 1.08E-07
20	*G0D-25	*G0D-26	*Z1A-27	*Z1A-28	*Z1A-29	*Z1A-30	*VIN-31
							*F10-32

05-Jul-90 03:31 PM

AT1: (S2) *AA1+AB1+AC1+AH1-(AA1+AB1+AC1)*(AZ1-1013)*0.001

SHEET

AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
1	ERR	ERR	ERR	ERR	2.0	0.5	1.5
2	1.09E-07	9.13E+06	3.11E+06	1.62E+11	0.0015	2.0	0.5
3	1.13E-07	8.85E+06	3.12E+06	1.52E+11	0.0025	2.0	0.5
4	1.16E-07	8.58E+06	3.13E+06	1.36E+11	0.0013	2.0	0.5
5	1.22E-07	8.17E+06	3.15E+06	1.36E+11	0.0030	2.0	0.5
6	1.29E-07	7.73E+06	3.15E+06	1.31E+11	0.0017	2.0	0.5
7	1.30E-07	7.66E+06	3.17E+06	1.29E+11	0.0031	2.0	0.5
8	1.27E-07	7.87E+06	3.18E+06	1.19E+11	0.0019	2.0	0.5
9	1.20E-07	8.33E+06	3.19E+06	1.30E+11	0.0029	2.0	0.5
10	1.12E-07	8.94E+06	3.21E+06	1.21E+11	0.0019	2.0	0.5
11	1.11E-07	9.04E+06	3.22E+06	1.15E+11	0.0033	2.0	0.5
12	1.16E-07	8.58E+06	3.23E+06	1.14E+11	0.0023	2.0	0.5
13	1.15E-07	8.67E+06	3.23E+06	1.15E+11	0.0030	2.0	0.5
14	1.07E-07	9.33E+06	3.25E+06	1.08E+11	0.0021	2.0	0.5
15	1.00E-07	9.98E+06	3.27E+06	1.11E+11	0.0035	2.0	0.5
16	9.08E-08	1.10E+07	3.29E+06	1.08E+11	0.0018	2.0	0.5
17	8.85E-08	1.13E+07	3.31E+06	1.05E+11	0.0041	2.0	0.5
18	9.67E-08	1.03E+07	3.31E+06	1.01E+11	0.0029	2.0	0.5
19	1.05E-07	9.54E+06	3.31E+06	1.07E+11	0.0026	2.0	0.5
20	*F10-33	*Z1A-34	*Z1A-35	*Z1A-36	*F07-37	*G0D-38	*G0D-39
							*G0D-40

05-Jul-90 03:32 PM

	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1	104.0	0.005	0.005201	ERR	49.84663	4.83	0.2	50.0
2	104.0	0.005	0.005201	0.0014	49.84663	4.83	0.2	50.0
3	104.0	0.005	0.005201	0.0024	49.84663	4.83	0.2	50.0
4	104.0	0.005	0.005201	0.0013	49.84663	4.83	0.2	50.0
5	104.0	0.005	0.005201	0.0029	49.84663	4.83	0.2	50.0
6	104.0	0.005	0.005201	0.0016	49.84663	4.83	0.2	50.0
7	104.0	0.005	0.005201	0.0030	49.84663	4.83	0.2	50.0
8	104.0	0.005	0.005201	0.0018	49.84663	4.83	0.2	50.0
9	104.0	0.005	0.005201	0.0028	49.84663	4.83	0.2	50.0
10	104.0	0.005	0.005201	0.0018	49.84663	4.83	0.2	50.0
11	104.0	0.005	0.005201	0.0031	49.84663	4.83	0.2	50.0
12	104.0	0.005	0.005201	0.0022	49.84663	4.83	0.2	50.0
13	104.0	0.005	0.005201	0.0028	49.84663	4.83	0.2	50.0
14	104.0	0.005	0.005201	0.0021	49.84663	4.83	0.2	50.0
15	104.0	0.005	0.005201	0.0033	49.84663	4.83	0.2	50.0
16	104.0	0.005	0.005201	0.0017	49.84663	4.83	0.2	50.0
17	104.0	0.005	0.005201	0.0040	49.84663	4.83	0.2	50.0
18	104.0	0.005	0.005201	0.0028	49.84663	4.83	0.2	50.0
19	104.0	0.005	0.005201	0.0025	49.84663	4.83	0.2	50.0
20	*RAH-41	*ARE-42	*ARE-43	*F08-44	*GEO-45	*GEO-46	*GEO-47	*VAN-48

11 FORSKNING OG SYSTEMATISK PRODUKTUDVIKLING

Vores SUMMARY startede med en bemærkning om, at fugtskader løber op i et milliardbeløb selv i et så lille land, som Danmark.

Det blev også antydnet, at bedre metoder til fugtmåling er et væsentligt skridt på vejen til at komme dette store samfundstab til livs.

Men forskningsresultater er som bekendt - i alle tilfælde når det drejer sig om teknologisk forskning - ikke afslutningen, men kun begyndelsen på en kæde af handlinger, der har nye og bedre produkter som sit endelige mål.

Lad mig derfor afslutte denne rapport med et par kortfattede betragtninger til emnet systematisk produktudvikling.

Under mit ophold ved DTH har det undret mig, at jeg har ikke mødt een eneste ingeniørstuderende, der har haft nogen form for kendskab til - endsige modtaget undervisning i - produktudviklingsmetodik, hverken inden for hans eller hendes specielle uddannelsesområde (bygning, elektro, kemi osv.) eller som et tværfagligt tilbud, hvor man arbejder med de problemstillinger, der er fælles for udvikling af vidt forskellige produkter.

Og det er jo trods alt vores ingeniører der - i et snævert samarbejde med fagfolk fra andre områder - skal udvikle de produkter, som vi skal leve af at afsætte på verdensmarkederne og i en stadig hårdere konkurrence.

Fagets svage placering ved to af vores førende tekniske læreanstalter må specielt undre, når man betænker, at der ikke blot i USA og Vesttyskland, men også her hos os i Skandinavien har der været udført et betydeligt forskningsarbejde omkring udvikling af nye begreber, koncepter, teknikker og metoder inden for systematisk produkt- og markedsudvikling.

Et eksempel blandt adskillige er Maksimal Værdi Metoden, på engelsk The Maximum Value Method og ofte blot forkortet til MVM, der anvendes af virksomheder verden over, og hvis grundlæggende begreber, koncepter og teknikker er centrale elementer i internationale lærebøger om Product Development og Marketing.

Metoden blev i øvrigt udviklet inden for byggematerialebranchen, og er derfor - udover at være en generel produktudviklingsmetodik - specielt profileret til de krav, man bliver stillet over for ved udvikling og markedsføring af komplekse produkter, hvor de enkelte egenskaber ikke kan optimeres uden at de øvrige egenskaber også påvirkes.

Et kort eksempel:

Til såvel en maling som til en bil stiller vi en række krav. For at kunne tilfredsstille disse, skal der i begge produkter indbygges en lang række egenskaber, og hver enkelt egenskab skal indgå med en vis vægt, hvis produktet skal være et optimalt teknisk/økonomisk svar på forbrugernes forventninger.

Der er imidlertid en væsentlig forskel rent udviklingsmæssigt mellem de to produkter.

Hos bilen kan vi i mange tilfælde ændre på de enkelte egenskaber enkeltvis og uden at påvirke de øvrige. Vi kan således forbedre bremseevnen uden at påvirke f.eks. udsynet fra bilen.

Hos malingen - eller det kunne også være en gipsplade eller et andet byggeelement - er dette ikke tilfældet. Ændrer vi een egenskab, så påvirker vi i langt de fleste tilfælde en eller flere af malingens eller byggeelementes øvrige egenskaber.

MVM er i sin helhed beskrevet i en bog fra 1976 /71/, og dens idégrundlag blev oprindeligt sammenfattet i to midtersideserier i tidsskriftet Lederskab og Løn-somhed, dels på dansk /72/ og dels på svensk /73/, men der foreligger også nye-re litteraturhenvisninger, der er sammenstillet i /74/.

Efter min mening bør faget produktudviklingsmetodik eller systematisk produktudvikling gøres til et langt mere synligt uddannelsesstilbud - og vel at mærke til samtlige ingeniørstuderende - end tilfældet åbenbart er i dag.

SYMBOLLISTE

<u>Begreb og enhed:</u>	<u>Symbol:</u>
Faktor for omregning fra SI-enhed s til min	60
Faktor for omregning fra SI-enhed kg til g	1000
1/a (kun i afsnit 9.11)	α_1
(b-a)/l (kun i afsnit 9.11)	β_1
Prøveemnets areal (m^2)	A
Hældningskoefficienten for masseændringskurven (g/min)	a
Eksponeringsåbningens radius (m) (kun i afsnit 9.11)	a
Det effektive prøveemneareal (m^2)	A_{eff}
Det eksponerede prøveemneareal (m^2)	A_{eks}
Koppens indvendige bundareal (cm^2)	A_{Kop}
Prøveemnets radius (m) (kun i afsnit 9.11)	b
Prøveemnets D_c -værdi (damppermeabilitetskoefficient, hvor dampindholdet i luften er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder (m^2/s)	D_{cPr}
Koppens masseændring mellem to vejninger (g)	dm
Koppens masseændring mellem to vejninger (g)	d_m
Målt masseændring mellem to vejninger (g)	d_m
Koppens masseændring mellem vejning 8 og 9 (g)	d_{m8-9}
Luftens masseændring mellem to vejninger (g)	d_{mLu}
Målt masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g)	d_{mPb1}
Målt masseændring mellem vejning 8 og 9, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g)	d_{mkPb1}
Målt masseændring, korrigeret for kopmodstande (g)	d_{mkZZ}
Flowet gennem materiale M_1 (masse/areal tid)	$(dm/dt)_{H1}$

Kopforsøgets drivende potentiale = ($RF_i - RF_u$) P_s (Pa)	dP
Tidsinterval, specielt tidsintervallet mellem to på hinanden følgende vejninger (min)	dt
Tidsinterval, specielt tidsintervallet mellem to på hinanden følgende vejninger (min)	d_t
Tidsintervallet mellem vejning 8 og 9 (min)	d_{t8-9}
Damppermeabilitetskoefficient (kg/Pa s m)	δ , $-\delta$
Damppermeabilitetskoefficient for vanddamp i luft (kg/Pa s m)	δ_{Lu}
Damppermeabilitetskoefficient for materiale M_1 (kg/Pa s m)	δ_{M1} , $-\delta_{M1}$
Damppermeabilitetskoefficient for materiale M_x (kg/Pa s m)	δ_{Mx} , $-\delta_{Mx}$
Prøveemnets δ_P -værdi (damppermeabilitetskoefficient, hvor damptrykket er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder (kg/Pa s m)	δ_{pPr}
Element δ_i i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_i
En sammensat damppermeabilitetskoefficient (kg/Pa s m)	δ_z
Element δ_x i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_x
Element δ_y i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_y
Element δ_z i en sammensat damppermeabilitetskoefficient δ_z (kg/Pa s m)	δ_z
Flow (masse/areal tid)	F
Flow (masse/areal tid)	f
Størrelse, der kun indgår i formel (83). (må ikke forveksles med en flow-størrelse)	F_1
Målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder og omregnet til g pr. m^2 og 24 timer (= 1 døgn)	F_{24h}
Målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder og omregnet til kg pr. m^2 og uge	F_{uge}
Det af KOPMAT90 og svarende til en S-faktor = 0.8 valgte F_{kRaK} (g/0.005 m^2 døgn)	F_{D08}

Målt flow, korrigeret for kopmodstande (g/0.005 m ² dt)	f_{kZZ}
Det af KOPMAT90 og svarende til en S-faktor = 0.8 valgte og endnu engang for variationer i barometertrykket efterkorrigerede flow (g/0.005 m ² døgn)	f_{kD08}
Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til variationer i barometertrykket (g/0.005 m ² dt)	f_{kPb1}
Målt flow, korrigeret for randeffekten (g/0.005 m ² dt)	f_{kRa}
Målt flow, korrigeret for rand- og kompres- sionseffekten (g/0.005 m ² dt)	f_{kRaK}
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets RF (g/0.005 m ² dt)	f_{kRFu}
Målt flow, korrigeret for S-faktor (g/0.005 m ² døgn)	F_{kS}
Målt flow, korrigeret for S-faktor = 0.0 = et 100% eftergivende prøveemne (g/0.005 m ² døgn)	F_{kS00}
Målt flow, korrigeret for S-faktor = 0.9 = et 90% stift prøveemne (g/0.005 m ² døgn)	F_{kS09}
Målt flow, korrigeret for S-faktor = 1.0 = et 100% stift prøveemne (g/0.005 m ² døgn)	F_{kS10}
Målt flow, korrigeret for kopmodstande (g/0.005 m ² dt)	f_{kZZ}
Målt flow, korrigeret for variationer i målekammerets temperatur (g/0.005 m ² dt)	f_{kTe}
Målt flow mellem to på hinanden følgende vej- ninger (g/0.005 m ² dt)	f_m
Målt flow til vejetidspunktet t_g (g/0.005 m ² dt)	f_{m9}
Den del af det målte flow, der alene skyldes en ændring i barometertrykket mellem de to vejninger (g/0.005 m ² dt)	f_{Pb1}
Målt flow, korrigeret for den masseændring, der alene kan føres tilbage til en ændring i barometertrykket = $f_m - f_{Pb1}$ (g/0.005 m ² dt)	f_{kPb1}
Funktion af	G_x
Funktion af	G_y

Funktion af	G_z
Koppens indvendige højde (cm)	h_{Kop}
Luftlagets tykkelse (højde) ved vejning 8 (cm)	h_{Lu8}
Luftlagets tykkelse (højde) ved vejning 9 (cm)	h_{Lu9}
Luftlagets tykkelse (højde) ved forsøgets start (cm)	h_{LuS}
Middelværdien af tykkelsen (højden) af luftlaget i koppen mellem to vejninger (cm)	$h_{\text{Luø}}$
Tykkelsen (højden) af pakningen (pakningerne) mellem koppen og prøveemnets underside (cm)	h_{Pak}
Prøveemnets tykkelse (højde) (mm)	h_{Pr}
Højden af vandlaget i koppen (cm)	h_{Va}
Kompressionsfaktor (Kompressionseffekt) (mm)	K_F
Korrektion for kompressionseffekten = det antal mm, som prøveemnet må formodes at være blevet sammenpresset under opspændingen i koppen (mm)	K_{Fak}
Konstant i afsnittet om Fick's lov	k
Konstant i formel (31) til beregning af P_s ved en given temperatur	k_1
Konstant i Kopmetodens standardformel, når $\bar{d}_m$ og P_s betragtes som de eneste variabler	k_2
Konstant i Kopmetodens standardformel, når $\bar{d}_m$ og $(RF_i - RF_u)$ betragtes som de eneste variabler	k_3
Konstant i Kopmetodens standardformel, når $\bar{d}_m$ og Z_p betragtes som de eneste variabler	k_4
Konstant i Kopmetodens standardformel, når $\bar{d}_m$ og A betragtes som de eneste variabler	k_5
Prøveemnets tykkelse (m)	l
Masse (g eller kg)	m
Luftens masse (g eller kg)	m
Koppens masse til tidspunktet t_8 = ved vejning 8 (g)	m_8
Koppens masse ved vejning 8 (g)	m_8

Koppens masse til tidspunktet $t_9 =$ ved vejning 9 (g)	m_9
Koppens masse ved vejning 9 (g)	m_9
Luftens masse (g)	m_{Lu}
Massen af V_8 cm ³ af den omgivne luft til veje- tidspunkt 8 (g)	m_{V8}
Massen af V_9 cm ³ af den omgivne luft til veje- tidspunkt 9 (g)	m_{V9}
Den vandmængde, der påfyldes koppen ved forsø- gets start (g)	m_{Vas}
Materiale	M
Materiale M_1	M_1
Materiale M_x	M_x
Fugtovergangstal (kg/m ² s Pa)	O_f
Fugtovergangstallet ved vindhastighed på 2 m/s (kg/m ² s Pa)	O_{f2m}
Fugtovergangstallet ved vindhastighed på x m/s (kg/m ² s Pa)	O_{fxm}
Middelværdien af fugtovergangstallet mellem to vejninger (kg/m ² s Pa)	$O_{f\varnothing}$
Tryk	p
Barometertryk	p
Barometertrykket (mbar)	p_b
Barometertrykket ved vejning 8 (mbar)	p_{b8}
Barometertrykket ved vejning 9 (mbar)	p_{b9}
Middelværdien af barometertrykket mellem to vejninger (mbar)	$p_{b\varnothing}$
Påvirkningen af ændringer i barometertryk- ket på damppermeabilitetskoefficienten for vanddamp i luft	$P_b[\delta_{Lu}]$
Påvirkningen af ændringer i barometertryk- ket på fugtmodstandstallet/dampdiffusions- modstanden for vanddamp i luft	$P_b[Z_{Lu}]$
Trykket inde i koppen (Pa eller mbar)	p_K

Kopforsøgets drivende potentiale = ($RF_i - RF_u$) P_s (Pa)	P_{Pot}
Det drivende potentiale ved kopmetodens normalbetingelser (Pa)	P_{Poty}
Middelværdien af det drivende potentiale mellem to vejninger (Pa)	$P_{Pot\emptyset}$
Vanddamps mætningstryk (Pa)	P_s
Vanddampens mætningstryk ved vejning 8 (Pa)	P_{s8}
Vanddampens mætningstryk ved vejning 9 (Pa)	P_{s9}
Vanddampens mætningstryk ved 21.0 °C (Pa)	P_{sx}
Vanddampens mætningstryk ved 23.0 °C = kopmetodens normalbetingelserne (Pa)	P_{sy}
Middelværdien af vanddampens mætningstryk mellem to vejninger (Pa)	$P_{s\emptyset}$
Randeffekt (dim.løs)	R_a
Gaskonstant, hvor a står for air = 287.1 (J/kg x K)	R_a
Faktor for randeffekten ved en prøveemnetyk- kelse på x mm, når der samtidig tages hensyn til kompressionseffekten (K-faktoren)	$R_{a_{FKx}}$
Faktor for randeffekten ved en prøveemnetyk- kelse på 0.5 mm = 102.3	$R_{a_{Fy}}$
Faktor for randeffekten ved en prøveemnetyk- kelse på x mm, når der ikke tages hensyn til kompressionseffekten (K-faktoren)	$R_{a_{Fx}}$
Relativ fugtighed (dim.løs)	RF
Den relative fugtighed inde i koppen (dim.løs)	RF_i
Den relative fugtighed i målekammeret (dim.løs)	RF_u
RF i målekammeret ved vejning 8 (dim.løs)	RF_{u8}
RF i målekammeret ved vejning 9 (dim.løs)	RF_{u9}
Den ønskede værdi for RF_u (dim.løs)	RF_{uy}
Middelværdien af RF i målekammeret mellem to vejninger (dim.løs)	$RF_{u\emptyset}$
S-faktor, udtryk for prøveemnets stivhed under påvirkning af variationer i barometertrykket (dim.løs)	S_F

S-faktor, udtryk for prøveemnets stivhed under påvirkning af variationer i barometertrykket (dim.løs)	S_{Fak}
S-faktor 0.0 = et 100% eftergivende prøveemne (dim.løs)	S_{F00}
S-faktor 0.9 = et 90% stift prøveemne (dim.løs)	S_{F09}
S-faktor 1.0 = et 100% stift prøveemne (dim.løs)	S_{F10}
Den samlede masseændring frem til vejning 8, dog korrigeret for de masseændringer, der alene skyldes ændringer i barometertrykket (g)	Σ_{dm8}
Summen af kopmodstandene (Pa s m ² /kg)	ΣZ_{Kop}
$= Z_{Ne} + Z_{Lu}$ (korrigeret for $P_b[Z_{Lu}]$) + $Z_{Op} + Z_{Vi}$ (Pa s m ² /kg)	
Luftens vægtfylde (kg/m ³)	σ_{Lu}
Luftens vægtfylde ved vejning 8 (kg/m ³)	σ_{Lu8}
Luftens vægtfylde ved vejning 9 (kg/m ³)	σ_{Lu9}
Temperatur (°C)	T
Absolut temperatur (°K)	T
Temperaturen i målekammeret ved vejning 8 (°C)	T_8
Temperaturen i målekammeret ved vejning 9 (°C)	T_9
Temperaturen 21 °C	T_x
Middelværdien af temperaturen i målekammeret mellem to vejninger (°C)	$T_{\bar{}}$
Antal min fra forsøgets start til vejning 8 (min)	t_8
Tidspunktet for Ve_8 i antal min efter forsøgets start (min)	t_8
Antal min fra forsøgets start til vejning 9 (min)	t_9
Tidspunktet for Ve_9 i antal min efter forsøgets start (min)	t_9
Volumenet af den luftmængde, der er i koppen (m ³)	V
Volumenet af luftmængden i koppen ved vejning 8 (cm ³)	V_8

Volumenet af luftmængden i koppen ved vejning 9 (cm^3)	V_9
Vejning 8	Ve_8
Vejning 9	Ve_9
Vindhastigheden over koppen (m/s)	v_{Vi}
Vindhastigheden over koppen ved vejning 8 (m/s)	v_{Vi8}
Vindhastigheden over koppen ved vejning 9 (m/s)	v_{Vi9}
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand, hvor dampindholdet i luften er drivende (s/m)	Z_c
Prøveemnets Z_c -værdi (fugtmodstandstal/dampdiffusionsmodstand, hvor dampindholdet i luften er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder (s/m)	Z_{cPrk}
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for luftlaget i koppen ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Lu}
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for luftlaget i koppen til tidspunktet $t_8 =$ ved vejning 8 ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Lu8}
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for et luftlag på 1 cm ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Luy}
Overflade- eller overgangsmodstanden fra vandoverfladen til selve luftlaget i koppen (Ne står for nede i koppen) ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Ne}
Overflade- eller overgangsmodstanden fra luftlaget i koppen til undersiden af prøveemnet (Op står for oppe i koppen) ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Op}
Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand, hvor damptrykket er drivende ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_p
Prøveemnets Z_p -værdi (fugtmodstandstal/dampdiffusionsmodstand, hvor damptrykket er drivende) baseret på målt flow, korrigeret for samtlige fejlkilder ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{pPrk}
Selve prøveemnets fugtmodstandstal/dampdiffusionsmodstand ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Pr}
Den samlede (totale) målte modstand = Det totale fugtmodstandstal/den totale dampdiffusionsmodstand = $Z_{Pr} + Z_{kop}$ ($\text{Pa s m}^2/\text{kg}$)	Z_{Tot}

Fugtmodstandstal/Dampdiffusionsmodstand for
overgangen mellem prøveemnets overside og den
omgivne luft i målekammeret (Pa s m²/kg)

 Z_{Vi}

$1/O_f$ (Pa s m²/kg)

 Z_{Vi}

LITTERATURLISTE

Litteraturlisten skal tjene tre formål.

For det første omfatter den henvisninger til litteratur, der er benyttet/citeret i rapporten.

For det andet tilsigter den at give et samlet overblik over et væsentligt udsnit af de klassiske arbejder og den nyere litteratur inden for fugtforskningen. En sådan oversigt har jeg selv savnet og håber derfor, at den vil være til nytte for såvel forskere som industrielle produktudviklingsfolk, der skal føre dette for byggematerialeindustrien og byggebranchen så vigtige område videre.

Endelig for det tredje er der et par henvisninger til rapportens afsluttende kapitel om samspillet mellem forskning og systematisk produktudvikling. Da litteraturlisten nødvendigvis måtte opstilles alfabetisk, er samtlige litteraturhenvisninger nummererede.

Hele vejen gennem rapporten er der henvisninger til mine egne personlige arbejdsnotater, der derfor som eneste litteraturhenvisning er markeret med ()

- /01/ Ahlgren, Lennart: Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. Institutionen för Byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund. Rapport 36. 1972.
- /02/ Andersson, Ann-Charlotte: Verifiering av fuktberäkningsmetoder. Några känslighetsanalyser av försök med mineralull och spånskiva. Div. of Building Technology, Lund Institute of Technology. Rapport TVBH-7068. 1982.
- /03/ Andersson, Ann-Charlotte: Verification of Calculation Methods for Moisture Transport in Porous Building Materials. The Moisture Research Group, Lund Institute of Technology. 1984.
- /04/ ASHRAE: ASHRAE Handbook Fundamentals. 1989.
- /05/ ASTM: Emnerelevante ASTM-normer.
- /06/ Bazant, Z. P. and Najjar, L. J.: Drying of Concrete as a Nonlinear Diffusion Problem. Cement and Concrete Research, Vol. 1, No. 5. 1971.
- /07/ Bazant, Z. P. and Najjar L. J.: Non Linear Water Diffusion in Nonsaturated Concrete. Materials and Structures, No. 25. 1972.
- /08/ Bertelsen, Niels Haldor: Beskrivelse af udstyr til måling af fugttransport. Laboratoriet for Bygningmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 107/82. 1982.
- /09/ Bertelsen, Niels Haldor: Litteraturstudie over målemetoder og modeller for fugttransport i træ. Laboratoriet for Bygningmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 112/82. 1982.

- /10/ Bertelsen, Niels Haldor: Diffusionsmåling med kopmetoden på rødgran. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 129/83. 1983.
- /11/ Bertelsen, Niels Haldor: Fugttransport målt med kopmetoder - samkalibrering og usikkerheder. Byggeteknik, Teknologisk Institut. 1987.
- /12/ Bomberg, Mark: Moisture Flow through Porous Building Materials. Byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola. Rapport 52. 1974.
- /13/ Bomberg, Mark: Testing Water Vapor Transmission: Unresolved Issues. ASTM STP 1039. 1989.
- /14/ Bunch-Nielsen, Tommy og Nielsen, Hans: Fugtproblemer i skråtage. Byggeindustrien 1. 1988.
- /15/ Bunch-Nielsen, Tommy: Nye skråtagsløsninger. Byggeindustrien 3. 1989.
- /16/ Bunch-Nielsen, Tommy: GYPROC. Gipspladeundertage. Fugttekniske undersøgelser. Bygge- og Miljøteknik A/S. 1989.
- /17/ Bunch-Nielsen, Tommy: Helt vandtæt undertag med Gyproc gipsplader. GYPROC NYT, juni 1989.
- /18/ Böhm, Holger und Künzle, Helmut: Feuchtigkeitssabhängige Sperrwirkung von Kunstharzputzen. Bauphysik 11. 1989.
- /19/ CEN: Determination of the Water Vapour Permeability of Building and Insulating Materials. Draft. Ref.: CEN TC 88/WG1/N 52 (ISO TC 163/SC1/WG 8 draft). 1988.
- /20/ Christensen, Georg: EF-1992. Prøvningsmetoder i harmoniseringsprocessen. Byggeindustrien 3. 1989.
- /21/ Commission of the European Communities, Community Bureau of Reference BCR: Intercomparison on Water Vapour Permeability. Contract 1990.
- /22/ Commission of the European Communities, Community Bureau of Reference BCR: Intercomparison on Water Vapour Permeability - Additional Test with Manganese Perchloride. Contract 1990.
- /23/ Crank, J. and Park, G. S.: Diffusion in Polymers. Academic Press London and New York. 1968.
- /24/ Crank, J.: The Mathematics of Diffusion. Oxford University Press. 1970.
- /25/ DANOGIPS A/S: Gips. 1987.
- /26/ Darcy, H.: Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Dalmont, Paris. 1856.
- /27/ DIN: Relevante DIN- og andre europæiske normer.
- /28/ DUBBEL - Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer-Verlag. 1970.
- /29/ Elsner, Michael und Winter, Edgar: Wärme- und Feuchtetransport in Hochlochziegeln. Bauphysik 11. 1989.

- /30/ Fagerlund, Göran och Tuutti, Kyösti: Fuktskador i småhusgolv på mark. Cement- och Betonginstitutet. 1975.
- /31/ Fick, A.: Über Diffusion. Annalen der Physik und Chemie, 94, 59. 1855.
- /32/ Fourier, J.: Théorie analytique de la chaleur. 1822.
- /33/ Frandsen, Thomas; Jespersen, Uffe og Schjøtt, Erik: Korrektion for randeffekt ved diffusionsmåling med kopmetoden. Kursusprojekt. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. 1990.
- /34/ Freeman, A.: Analytical Theory of Heat. Dover Publications. New York. 1955.
- /35/ GYPROC AB: En studie i gips - Från gipssten till lättbyggnadsteknik. GYPROC AB, Malmö. 1988.
- /36/ GYPROC A/S: GYPROC - Gipsplader og systemer. GYPROC Håndbog 89. GYPROC A/S. 1989.
- /37/ GYPROC A/S: GYPROC Undertag. GYPROC A/S. 1989.
- /38/ Hansen, Erik B.: On a Method of Measuring Diffusion Coefficients of Solid Materials. Laboratory of Applied Mathematical Physics, Technical University of Denmark. 1978.
- /39/ Hansen, Kurt Kielsgaard: Den hygrometriske metode. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 161/86. 1986.
- /40/ Hansen, Kurt Kielsgaard: SORPTION ISOTHERMS. A Catalogue. Building Materials Laboratory, The Technical University of Denmark. Technical Report 162/86. 1986.
- /41/ Hansen, Kurt Kielsgaard: SORPTIONSISOTERMER. Program- og brugerdokumentation for programmerne DATAIND, SORPF, DESORPF og UDTEGN fra disketten SORPTION. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 163/86. 1986.
- /42/ Hansen, Kurt Kielsgaard and Bertelsen, Niels Haldor (1989): Results of a Water Vapor Transmission Round Robin Test Using Cup Methods. ASTM STP 1039 from a symposium on "Mechanisms and Measurements of Water Vapor and Liquid Water Movement through Materials", 10 December 1987, Bal Harbour, Florida, U.S.A.
- /43/ Hansen, Kurt Kielsgaard: Resultat af fugttransportmålinger med kopmetoden for træfiberplade, tjærepap og polyethylenfolie. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 188/88. 1988.
- /44/ Hansen, Kurt Kielsgaard: Nordtest-metode 655-86B på remis. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Personlig kommunikation 25/10 1988.
- /45/ Hansen, Kurt Kielsgaard and Pedersen, Carsten Rode, editors: Numerical Methods for Combined Moisture and Heat Transfer in Building Materials and in Structural Elements. The Technical University of Denmark, Building Materials Laboratory, Thermal Insulation Laboratory. 1989.

- /46/ Hansen, Kurt Kielsgaard og Lund, Hans Bruno: Kopmetoden - Målefejl og økonomiske tab. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. 1989.
- /47/ Hansen, Kurt Kielsgaard: Om CEN TC 88/WG1: Determination of the Water Vapour Permeability of Building and Insulating Materials. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Internt arbejdsnotat/personlig kommunikation. 1989.
- /48/ Hansen, Kurt Kielsgaard: Equipment for and Results of Water Vapour Transmission Tests using Cup Methods. Proceedings from the ICHMT Symposium "Heat and Mass Transfer in Building Materials and Structures". 4 - 8 September, 1989, Dubrovnik, Yugoslavia. 1989.
- /49/ Hansen, Kurt Kielsgaard: Betydning af luftlag og overgangsmodstande. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Personlig kommunikation. 1989.
- /50/ Hansen, Kurt Kielsgaard; Lund, Hans Bruno og Nielsen, Carsten Bredahl: GIPSPLADER - Indre struktur og fugtmekaniske egenskaber. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 213/90. 1990.
- /51/ Hansen, Kurt Kielsgaard og Lund, Hans Bruno: Cup Method for Determination of Water Vapour Transmission Properties of Building Materials. Sources of Uncertainty in the Method. To be presented at "BUILDING PHYSICS in the NOR-DIC COUNTRIES" Symposium, 20 - 22 August 1990, Trondheim, Norge.
- /52/ Hansen, Morten Hjorslev og Hansen, Kurt Kielsgaard: Sammenligning af simpel model for fugttransport og fugttransport beskrevet ved lineær diffusionsteori. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 177/88. 1988.
- /53/ Hansen, Torben C.: Beton i henhold til DS 411-84, 2. udgave. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 146/86. 1986.
- /54/ Hedenblad, Göran: Determination of Moisture Permeability in Concrete under high Moisture Conditions. Division of Building Materials, Lund Institute of Technology. Personlig kommunikation 14/12 1989.
- /55/ Hedenblad, Göran: Sammanställning och Framtagning av fuktdiffusionskoefficienter för Byggnadsmaterial. Byggnadsmateriallära. Tekniska Högskolan i Lund. 1989.
- /56/ Hedenblad, Göran: Räkna med teoretiska fuktövergångstal β . Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation 14/12 1989.
- /57/ Joy, F. A.: Basic Concepts of Water Vapor Migration and their Application to Frame Walls. ASTM Special Technical Publication No. 119. 1951.
- /58/ Joy, F. A. and Wilson, A. G.: Standardization of the Dish Method for Measuring Water Vapor Transmission. Humidity and Moisture, Vol. 4, Principles and Methods of Measuring Moisture in Liquids and Solids, 31:259-270. 1963 International Symposium on Humidity and Moisture. 1965.

- /59/ Knudsen, M.: The Kinetic Theory of Gases. Methuen, London. 1934.
- /60/ Korsgaard, Vagn: Hygro Dioden - en ny dampbremse. Byggeindustrien 6/7. 1987.
- /61/ Krec, Klaus und Sigmund, Alfred: Ein praktisches Verfahren zur Beurteilung von Wärmebrücken im Hinblick auf Oberflächenkondensation. Bauphysik 11. 1989.
- /62/ Krischer, O. und Rohnalter, H.: Wärmeleitung und Dampfdiffusion in feuchten Gütern. VDI-Forschungsheft 402. 1940.
- /63/ Künzel, Helmuth: Wie ist der Feuchteinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen unter heutigen Bedingungen zu bewerten? Bauphysik 11. 1989.
- /64/ Larsen, Klavs H.: Randeffektens betydning ved diffusionsmåling med kopmetoden. Individuelt kursus. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. 1985.
- /65/ Luikov, A. V.: Heat and Moisture Transfer in Capillary - Porous Bodies. Pergamon Press, London. 1966.
- /66/ Luikov, A. V.: Systems of Differential Equations of Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies. Int. J. Heat Mass Transfer 18. 1975.
- /67/ Lund, Hans Bruno: Baumaterial mit untraditionellen Eigenschaften. Bau-Markt, Düsseldorf, 35, 1965.
- /68/ Lund, Hans Bruno: Ein neues Baumaterial mit unkonventionellen Eigenschaften. Bau-Industrie, Wien, 9, 1965.
- /69/ Lund, Hans Bruno: The Maximum Value Method (MVM) in Chemical Product Development. Chemical Age of India, Vol. 18, No. 2, 1967.
- /70/ Lund, Hans Bruno: Systematisk produktudvikling. Forskning, 9, 1967.
- /71/ Lund, Hans Bruno: Maksimal Værdi Metoden (MVM). Doktorsavhandling. Institutionen för Maskinkonstruktion, Lunds Tekniska Högskola, Studentlitteratur Lund, 1976.
- /72/ Lund, Hans Bruno: Maksimal Værdi Metoden - Systematisk produktudvikling og -fornyelse. Lederskab og Lønsumhed, 7 og 8, 1977; 1 og 2, 1978.
- /73/ Lund, Hans Bruno: Maximalværdimetoden - Systematisk produktutveckling och -förnyelse. Ledarskap och Lönsamhet, 7 och 8, 1977; 1 og 2, 1978.
- /74/ Lund, Hans Bruno: Produktudvikling. 1986.
- /75/ Lund, Hans Bruno: Kan svingninger i atmosfæretrykket have indflydelse på beregningen af Z_p ? Laboratoriet for Bygningmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Internt arbejdsnotat. 1989.
- (76) Lund, Hans Bruno: Fugtphysik - Interne arbejdsnotater 1989/90, Mappe 1 - 6. Laboratoriet for Bygningmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. 1990.

- /77/ Lykow, A. W.: Transporterscheinungen in kapillarporösen Körpern. Akademie Verlag, Berlin. 1958.
- /78/ Mattsson, Per-Olof: Gyproc Byggskivor med gipskärne är sandwichelement. GYPROC NYTT 1/87.
- /79/ Mattsson, Per-Olof: Fuktflänsverkningsgrad. GYPROC AB, Malmö. Personlig kommunikation 30/11 1989.
- /80/ Møller, Lars Edvard: Tæthed af flyveaskebeton. Eksamensprojekt. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. 1985.
- /81/ Nevander, Lars Erik och Elmarsson, Bengt: Fukthandbok - Teori, Dimensionering, Konstruktion. Svensk Byggtjänst. 1981.
- /82/ Neville, A. M. and Brooks, J. J.: Concrete Technology. Longman Scientific and Technical, New York. 1987.
- /83/ Nielsen, Anders: Byggeteknisk fugtmekanik. En oversigt over problemstillinger og fremtidige udviklingsopgaver. Byggeteknik, Teknologisk Institut. 1984.
- /84/ Nielsen, Anders: Fugt i bygningsmaterialer. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 206/90. 1990.
- /85/ Nielsen, Lauge Fuglsang: Moisture Sorption in Porous Materials. Building Materials Laboratory, The Technical University of Denmark. Tech.Rep. 200-A. 1989.
- /86/ Nilsson, Erik and Hansen, Charles M.: Evaporation and Vapor Diffusion Resistance in Permeation Measurements by the Cup Method. Journal of Coatings Technology, Vol. 53, No. 680. 1981.
- /87/ Nilsson, Lars-Olof: Fuktproblem vid betonggolv. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet. 1977.
- /88/ Nilsson, Lars-Olof; Ericson, Urban och Rising, Claes: Byggtorkning. Del 1 av: Byggfukt i betongplatta på mark torknings- och mätmetoder. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-3007. 1979.
- /89/ Nilsson, Lars-Olof: Fuktmätning. Del 2 av Byggfukt i betongplatta på mark torknings- och mätmetoder. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. 1979. Rapport TVBM-3008. 1979.
- /90/ Nilsson, Lars-Olof; Englund, Hans; Ericson, Urban och Rising, Claes: Skadeinventering & Fältnätningar. Del 3 av: Byggfukt i betongplatta på mark torknings- och mätmetoder. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TVBM-3009. 1979.
- /91/ NORDTEST: Nordtest Method NT BUILD 130. Nordtest, Stockholm. 1981.
- /92/ NORDTEST: Nordtest Method NT BUILD 265. Nordtest, Helsingfors. 1984.
- /93/ NORDTEST: Nordtest Remiss Nr 655-86. Nordtest Bygg. 1986.

- /94/ NORDTEST Projekt-förslag: NORDTEST-metoder i CEN-standard for bestemmelse af fugttransportkoefficienter med kopmetoden. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. 1990.
- /95/ Pedersen, Carsten Rode: Matematiske modeller til simulering af fugtforhold underumættede tilstande i afsvovlingsprodukter. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole. Rapport Nr. 88-8. 1988.
- /96/ Pedersen, Carsten Rode: Koblet fugt- og varmetransport i bygningskonstruktioner - fugtfysik. Laboratoriet for Varmeisolering. Danmarks Tekniske Højskole. Rapport 89-2. 1989.
- /97/ Pedersen, Carsten Rode: Combined Heat and Moisture Transfer in Building Constructions. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark. 1990.
- /98/ Radu, Adrian und Vornicu, Toader: Zweidimensionale Berechnung der Wärmeleit- und Wasserdampfdiffusionsvorgänge in Aussenbauteilen. Bauphysik 10, 1988.
- /99/ Sandin, Kenneth: Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund. 1980.
- /100/ Sandin, Kenneth: Fukttillstånd i autoklaverade lättbetonväggar. Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund. 1987.
- /101/ SBI: Gulve på træbjælkelag og skeletvægge i vådrum. Statens Byggeforskningsinstitut. SBI-anvisning 109. 1980.
- /102/ SBI: Bygningers fugtisolering. Statens Byggeforskningsinstitut. SBI-anvisning 139. 1984.
- /103/ Schou, Jørgen: Måling af betons vandtæthed. Dansk Betonforening. Danmarks Ingeniørakademi, Bygningsafdelingen. 1983.
- /104/ Statens Institut för Byggnadsforskning: Meddelanda M82:7 Fältundersökningar Fukt i byggnader. Statens Institut för Byggnadsforskning. 1982.
- /105/ Statens Provningsanstalt: Bestämning av dimensions- och fuktkvotsförändringar p.g.a. ändrade fuktförhållanden. 1982-04-27 (8260,22).
- /106/ Svennerstedt, Bengt: Ytfukt på byggnadsmaterial. Statens Institut för Byggnadsforskning. Diss. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm. 1989.
- /107/ Sørensen, Eigil V.: Water Vapor Permeability of Hardened Cement Paste. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 83/80. 1980.
- /108/ Thomas, W. C. and Burch, D. M.: Experimental Validation of a Mathematical Model for Predicting Water Vapor Sorption of Interior Building Surfaces. Proceedings from "Reducing Moisture-related Damage in the World Buildings", CIB W-40 meeting, Victoria, Canada. 1989.
- /109/ Toas, Murray (1989): Results of the 1985 Round-Robin Test Series Using ASTM E 96-80. ASTM STP 1039 from a symposium on "Mechanisms and Measurements of Water Vapor and Liquid Water Movement through Materials", 10 December 1987, Bal Harbour, Florida, U.S.A.

- /110/ Trechsel, Heinz R. and Bomberg, Mark, editors: Water Vapor Transmission Through Building Materials and Systems - Mechanisms and Measurement. ASTM. 1989.
- /111/ Tveit, Annanias: Fukt og fukttransport i porøse materialer. En litteraturstudie. Norges Byggeforskningsinstitutt. Rapport 39. 1964.
- /112/ Tveit, Annanias: Measurements of Moisture Sorption and Moisture Permeability of Porous Materials. Norw. Build. Res. Inst. Rapport 45. 1966.
- /113/ Wadsö, Lars: The sorption method old and new ideas. Division of Building Materials, Lund Institute of Technology. Report TVBM-3040. 1989.
- /114/ West, Gert Pl. og Hansen, Kurt Kielsgaard: Kopudstyr til måling af fugttransport. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 179/88. 1988.
- /115/ West, Gert Pl. og Hansen, Kurt Kielsgaard: Anvendelse af KOPLOG. Dataopsamlingsprogram til kopudstyr. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 180/88. 1988.
- /116/ West, Gert Pl. og Hansen, Kurt Kielsgaard: KOPANALYSE. Program til analyse af data opsamlet i kopudstyr. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole. Teknisk Rapport 191/88. 1988.
- /117/ Wilkins, W. L. and Pullan, M. R.: Effect of Barometric Pressure Changes on WVT Measurements. Presentation to the Water Vapor Transmission Symposium from Fiberglass Canada Inc., 10 Dec 1988.
- /118/ AALBORG PORTLAND: Beton-Bogen. 1985.

NOTER TIL BILAG

BILAG 5

Vi ser, at KOPLYSE's grafik er i stand til at registrere det stigende flow hos kop 13. Den er imidlertid ikke i stand til at skelne de vidt forskellige flow hos kopperne 1, 12 og 20, der fremgår af de indsatte flowkurveanalyser. De udtrykkes i alle tre tilfælde som rette linier.

BILAG 6

I starten på udviklingen af KOPMAT90 ville vi se, hvorledes materialer med forskellige flow ville blive påvirket af eet og samme mix af variationer i temperatur, RF_u , kopmodstande incl. vindhastighed og barometertryk ved et 100% stift materiale.

Når vi skriver eet og samme mix, så gælder det naturligvis for samtlige parametre med undtagelse luftlaget i koppen, der jo varierer med flowet.

Vi ville også se, ved hvilket flow barometertrykket på den ene side og de øvrige fejlkilder på den anden havde stort set samme vægt.

Vi valgte 80 ml vand i koppen og et tænkt og 100% stift prøveemne med en tykkelse på 1 mm og brugte i øvrigt endnu den gang i februar 1990 en fast værdi for ændringen i luftens vægtfylde som følge af ændringer i barometertrykket.

Vi valgte nedenstående faste mix af variationer i temperatur, RF_u , kopmodstande incl. vindhastighed og barometertryk:

A1: 1
KOPMAT01 - F:VAR - dPAR:TEM/RFu/VTN/BAR - FUGT1177 - HBI./09.02.90

EDIT

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	24.0	51.5	4.5	1.0	80.0	989	0.000024
2	2	23.9	51.3	4.3	1.0	80.0	1004	0.000024
3	3	23.8	51.2	4.2	1.0	80.0	1008	0.000024
4	4	23.7	51.0	4.0	1.0	80.0	1017	0.000024
5	5	23.6	50.8	3.8	1.0	80.0	1022	0.000024
6	6	23.5	50.7	3.7	1.0	80.0	1023	0.000024
7	7	23.4	50.5	3.5	1.0	80.0	1017	0.000024
8	8	23.3	50.3	3.3	1.0	80.0	1016	0.000024
9	9	23.2	50.2	3.2	1.0	80.0	1021	0.000024
10	10	23.0	50.0	3.0	1.0	80.0	1018	0.000024
11	11	23.2	49.8	2.8	1.0	80.0	1020	0.000024
12	12	23.3	49.7	2.7	1.0	80.0	1019	0.000024
13	13	23.4	49.5	2.5	1.0	80.0	997	0.000024
14	14	23.5	49.3	2.3	1.0	80.0	1005	0.000024
15	15	23.6	49.2	2.2	1.0	80.0	984	0.000024
16	16	23.7	49.0	2.0	1.0	80.0	998	0.000024
17	17	23.8	48.8	1.8	1.0	80.0	1005	0.000024
18	18	23.9	48.7	1.7	1.0	80.0	1017	0.000024
19	19	24.0	48.5	1.5	1.0	80.0	1012	0.000024
20	<VEJ-03	>TEM-13	>RFu-20	>VTN-31	>GEO-38	>VAN-48	>BAR-52	>VÆGTFY.

MATN

I den første beregning (billede 1) indtastede vi for hver enkelt af de 19 vejninger den faste masseændring på 0.0001 g = et flow på 0.0001 g pr. 0.005 m² og døgn og ville så se, hvor meget denne rette linie (den går på kurven fra vejning 1 til vejning 19, og det ser - pga. den meget lille masseændring - ud, som om den skærer y-aksen lige i punktet 0 og ikke i punktet 0.0001) blev "kastet ud af kurs" ved netop dette flow og det konstante mix af variationer i tempera-

tur, RF_u , kopmodstande incl. vindhastighed og barometertryk, der var lagt ind i programmet.

Vi skal i øvrigt bemærke, at rækkefølgen for de enkelte korrektioner fortsat er: Temperatur, RF_u , kopmodstande incl. vindhastighed, randeffekt og til sidst barometereffekt.

Den rette linie over 0-punktet på y-aksen (det er den linie, der går fra vejning 2 til vejning 19) er resultatet, når der ikke tages hensyn til barometereffekten og derfor kun til de øvrige fejlkilder. Effekten for hver enkelt af de øvrige fejlkilder er i øvrigt så lille, at det hele opfattes som een linie.

Det "takke bjerglandskab", der ligeledes går fra vejning 2 til vejning 19, er resultatet, når der også tages hensyn til barometereffekten, der er den sidste korrektion i rækkefølgen.

Som ventet ved dette yderst tætte materiale er barometereffekten den eneste reelle fejlkilde.

Derefter fortsatte vi på nøjagtig samme måde og efter følgende samlede skema, hvor Flow-1 er angivet i g pr. 0.005 m² og døgn og Flow-2 i g pr. m² og døgn:

Billede	Flow-1	Flow-2	Billede	Flow-1	Flow-2
1	0.0001	0.02	15	0.100	20.0
2	0.0005	0.1	16	0.125	25.0
3	0.001	0.2	17	0.150	30.0
4	0.005	1.0	18	0.175	35.0
5	0.010	2.0	19	0.200	40.0
6	0.015	3.0	20	0.225	45.0
7	0.020	4.0	21	0.250	50.0
8	0.025	5.0	22	0.500	100.0
9	0.030	6.0	23	0.750	150.0
10	0.035	7.0	24	1.000	200.0
11	0.040	8.0	25	1.250	250.0
12	0.045	9.0	26	1.500	300.0
13	0.050	10.0	27	1.750	350.0
14	0.075	15.0	28	2.000	400.0

På billede 4 kan vi se, at der er tale om flere "øvrige fejlkilder", og på billede 6 og frem til og med billede 25 kan vi se, at tallet er 4: temperatur, RF_u , kopmodstande incl. vindhastighed og randeffekten. Kompressionseffekten var endnu ikke medtaget på dette tidspunkt.

Båndet af øvrige fejlkilder fylder mere og mere i det samlede billede, og det takkede bjerglandskab fra barometereffekten mindre og mindre.

Omkring billede 14 og 15 har barometereffekten på den ene side og de øvrige fejlkilder på den anden stort set samme vægt. Vi har her et flow svarende til ca. 15 - 20 g pr. m² og døgn.

Ved billede 19 - svarende til et flow på 40 g pr. m² og døgn - er barometereffekten allerede meget beskeden, og ved billede 23 - svarende til et flow på 150 g pr. m² er den næsten ikke til at se, hvorefter de øvrige fejlkilder helt dominerer de resterende billeder.

Ser vi en gang på billede 21, så hidrører de to nederste kurver fra henholdsvis temperatur- og RF_u -variationerne. Den øverste - der har den største effekt - er kopmodstandene incl. vindhastigheden (og her specielt luftlaget i koppen), mens den takkede barometereffektkurve og den mere lige kurve for randeffekten næsten dækker hinanden.

BILAG 8

Dette bilag hører til KOPMAT90 - EKSEMPEL 3 på side 83 og med tilhørende data på side 87.

Den nederste kurve er optegnet under den forudsætning, at prøveemnet havde forholdt sig 100% eftergivende over for variationer i barometertrykket under søgsperioden = S_{Fak} på 0.0.

Derefter følger tre kurver for henholdsvis S_{Fak} på 0.2, 0.4 og 0.6.

Den mest harmoniske kurve, der er forsøgets resultat, svarer til S_{Fak} på 0.8, og øverst har vi så den kurve, der ville svare til, at materialet havde forholdt sig 100% stift over for variationer i barometertrykket = S_{Fak} på 1.0.