



SYNDICAT D'ETUDES INTERINDUSTRIES-CONSTRUCTION
INTERINDUSTRIELE STUDIEGROEP VOOR DE BOUWNIJVERHEID

**ONDERZOEKINGEN
OVER DE PRESTATIES
VAN HET GEBOUW**

uitgevoerd door het Wetenschappelijk en
Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
(W.T.C.B.) en het Kontrolebureau voor
de veiligheid van het bouwwezen (S E C O)

**RECHERCHES
SUR LES PERFORMANCES
DANS LE BATIMENT**

réalisées par le Centre Scientifique et
Technique de la Construction (C.S.T.C.)
et le Bureau de contrôle pour la sécurité
de la construction (S E C O)

**DICHTHEID VAN GEVELS EN DAKEN
ETANCHEITE DES FAÇADES
ET DES TOITURES**

eindverslag

juni 1977

rapport final

juin 1977

D I C H T H E I D V A N G E V E L S E N D A K E N

Verantwoordelijke instelling : W.T.C.B.

Laboratoria : W.T.C.B. - K.M.I. - R.U.G.

Onderzoekskomitees :

Onderzoekskomitee "Gevels"

Voorzitter : J. REYGAERTS, W.T.C.B.

Leden :

Groep A

J.P. DHERTE	E.G.T.A.
R. DUPONT	Menuiserie R. DUPONT
E. MARKUS	S.P.R.L. MARKUS

Groep B

J.Y. MEUNIER	Ets. MEUNIER
P. PELSENEER	T.C.H.N.
P. ROUSSEAU (*)	CHAMEBEL
J. VAN ELSLANDER	ETERNIT

Universiteit

J. GLAZEMAKERS	R.U.G.
----------------	--------

Openbare instellingen

M. FRANSSSENS	N.I.H.
R. SNEYERS	I.R.M.

Anderen

C. AMMAR	SECO
M. LONGUET	SECO
J. SEVRIN	I.C.-I.B.

Verslaggevers - Rapporteurs

E. MEERT	W.T.C.B.
G. VANACKERF	W.T.C.B.

Comité de recherche "Toitures"

Président : L. FORGET, C.S.T.C.

Membres :

Groupe A

J. CASIER	Usines P. MADOU
F. LOUWERS	LUMMERZHEIM
J. SCHOofs	ATAB
M. PIEN	ASPHALTCO

Groupe B

C. HENRARD	SOLVAY
M. POLET	ETERNIT

Organisme public

L. BUSSCHAERT	I.N.L.
---------------	--------

Autres

G. LA GRANGE	SECO
D. JANSSEN	I.V.P.
J. SEVRIN	I.C.-I.B.

(*) ir. P. Rousseau is begin 1977 overleden.

DE DICHTHEID VAN GEVELS EN DAKEN - ETANCHEITE DES FACADES ET DES TOITURES

Research gesubsidieerd door het I.W.O.N.L. (overeenkomst nr. 2377)

Recherche subventionnée par l'I.R.S.I.A. (convention nr. 2377)

Eindverslag van de onderzoeksperiode 1975-06-01 tot 1977-05-31.

Rapport final de la période de recherche 1975-06-01 jusqu'au 1977-05-31.

<u>I N H O U D</u>	-	<u>C O N T E N U</u>	<u>blz. - page</u>
0. Samenvatting			7.
1. Dichtheid van gevels			33.
1.0. Inleiding			33.
1.1. Studie van de wind en de regen			35.
1.2. Meting van de dichtheid in het laboratorium			81.
1.3. Metingen van de dichtheid in situ			124.
1.4. Voegbewegingen			142.
1.5. Globale beoordeling van een gebouw			167.
2. Etanchéité des toitures			174.
2.0. Introduction			174.
2.1. Contrôle de la compatibilité du revêtement d'étanchéité avec le matériau support			176.
2.2. Délaminage en toiture sous l'action du vent			184.
2.3. Comportement dans le temps du revêtement d'étanchéité			188.
2.4. Etanchéité à l'air et à l'eau des toitures inclinées			192.
2.5. Essai d'appréciation globale du bâtiment			200.
3. Besluiten			201.
3.1. Besluiten aangaande de dichtheid van gevels			201.
3.2. Conclusions concernant l'étanchéité des toitures			201.

I.C. - I.B. RESEARCH
DICHTHEID VAN GEVELS EN DAKEN

INWERKING VAN REGEN EN WIND OP GEVELS EN DAKEN
METING VAN DE DICHTHEID IN HET LABORATORIUM EN IN SITU
BEWEGING EN AFDICHTING VAN VOEGEN
GEDRAG VAN DAKBEKLEDINGEN OP ISOLATIEPANELEN

S A M E N V A T T I N G

Juni 1977.

Research gesubsidieerd door het I.W.O.N.L.
(Overeenkomst nr.2377 van 17 december 1975).

1. VOORSTELLING

Een van de belangrijke functies van gevels en daken is de bescherming van de binnenruimte van een gebouw tegen regen en wind.

Het onderzoek bestaat erin zoveel mogelijk gegevens te verzamelen omtrent de werking van regen, wind en andere weersfactoren op gebouwen en ze in het laboratorium en in situ zo getrouw mogelijk te reproduceren op proefelementen waarvan men de eigenschappen (voornamelijk lucht- en waterdichtheid) wenst te evalueren.

Het onderzoek aangaande gevels omvat :

- een studie van de werking van wind en regen op gevels ;
- de bouw van proefposten voor de simulatie van wind en regen ;
- de meting van de wind- en waterdichtheid van gevels in situ ;
- de meting van voegbewegingen.

De studie van de wind en de regen geschiedt in samenwerking met het Koninklijk Meteorologisch Instituut (K.M.I.). Voor de oppuntstelling van de proefposten en evaluatiemethoden wordt samengewerkt met het Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Rijksuniversiteit Gent.

Het onderzoek aangaande daken omvat :

- de bouw van meetapparatuur voor de controle van de verenigbaarheid van dakbekledingen met hun isolatiepanelen ;
- metingen van de afpelweerstand van dakbekledingen onder windzuiging ;
- de controle van de bestandheid tegen zon en regen van dakhuiden ;
- de meting van de dichtheid van hellende daken.

2. DICHTHEID VAN GEVELS

2.1. Studie van de wind en de regen

2.1.1. Metingen in het vrije veld (Ukkel)

Met behulp van de ordinator is het mogelijk geweest veel nieuwe en interessante informatie te verzamelen betreffende 15 jaar (1931-1945) regen en wind. Een voorbeeld van zulke informatie is gegeven in tabel I, nl. aangaande de slagregenindexen(*) groter dan $100 \text{ m}^2/\text{h}^2$ gedurende het jaar 1945.

Tabel I - Slagregenindexen > 100 m ² /h ² gedurende het jaar 1945												
INDEX M2/H2	PLUIE VENT MM/H' KM/H			OR	DATE	H	INDEX M2/H2 (*)					T °C
							H-2	H-1	H	H+1	H+2	H
110.0	2.2	50.0	SSW	18.	1.45	18	0.0	80.0	110.0	34.0	14.6	2.9
131.3	3.5	37.5	S	4.	2.45	8	0.0	63.8	131.3	59.2	11.1	5.1
330.0	10.0	33.0	NE	26.	7.45	17	0.0	0.0	330.0	366.3	0.0	17.7
366.3	11.1	33.0	NE	26.	7.45	18	0.0	330.0	366.3	0.0	0.0	17.7
124.6	4.7	26.5	NW	10.	8.45	5	93.8	82.6	124.6	87.5	79.2	16.6
133.5	15.7	8.5	NE	30.	8.45	7	0.0	11.1	133.5	62.1	158.4	16.8
158.4	9.9	16.0	NW	30.	8.45	9	133.5	62.1	158.4	28.8	16.2	15.9
148.2	3.8	39.0	WSW	25.	10.45	23	0.0	79.2	148.2	140.4	29.0	10.2
140.4	3.6	39.0	WSW	25.	10.45	24	79.2	148.2	140.4	29.0	0.0	10.2
123.2	3.2	38.5	SW	26.	10.45	23	25.5	25.5	123.2	38.5	0.0	9.1

(*) Slagregenindex (m^2/h^2) : regenval (mm/h) x windsnelheid (km/h, beide waarden gemeten in de vrije lucht. H : uur op het einde van de meetperiode ;
H-1 : uur bij het begin van de meetperiode enz...

Enkele konklusies worden hierna gegeven :

Regenval

- gedurende 15 jaar kwamen er 125 regenbuien met intensiteit ≥ 5 mm/h voor, 20 ervan hadden een intensiteit ≥ 10 mm/h ; de grootste intensiteit bedroeg 29,1 mm/h.
- hevige regenval (≥ 10 mm/h) komt enkel voor vanaf eind mei tot half september en gaat dikwijls gepaard met hevige slagregen : de windsnelheid bedraagt dan altijd minstens 5 km/h en komt voornamelijk uit S-SW (windsnelheid 8 à 13 km/h) en N-NE (windsnelheid 14 à 33 km/h).
- hevige regen komt niet meer dan 2 h na elkaar voor.

Wind

- in slechts 1 jaar op 2 komen er (gemiddelde) windsnelheden voor die groter zijn dan 50 km/h ; in 1943 echter was er gedurende 26 h ononderbroken een windsnelheid ≥ 50 km/h. Op 15 jaar kwam er 4 maal een windsnelheid tussen 60 en 70 km/h voor. Uit vorig eindverslag (blz. 32) blijkt dat de windpieken bijna dubbel zo groot zijn als hogergenoemde gemiddelden.
- in één geval op 3 gaat felle wind (≥ 50 km/h) met regen gepaard, wat veel is als men weet dat het gemiddeld minder dan 10% van de tijd regent.
- hevige wind (≥ 50 km/h) komt enkel uit SSE-MNW en dit voornamelijk van november tot februari ; van juni t/m september komen ze niet voor (dit in tegenstelling met hevige regen !).
- in tegenstelling met hevige regen, gaat hevige wind zelden met hevige slagregen gepaard.

Slagregen

- de grootste slagregen in 15 jaar bedroeg $378 \text{ m}^2/\text{h}^2$ (*) wat met $15 \text{ l}/\text{m}^2$ verticale oppervlakte (teoretische waarde) overeenstemt.
- zware slagregen ($\geq 150 \text{ m}^2/\text{h}^2$) kwam telkens gedurende één uur, 39 maal voor tijdens de 15 jaar die onderzocht werden ; er zijn echter jaren waarin geen zware slagregen voorkomt.
- belangrijke slagregen komt het meest voor uit S tot W en dit tijdens de maanden oktober en november en tijdens de tweede helft van de dag (13h - 24h).
- de verhouding tussen de gemiddelde teoretische regenval op een vertikaal vlak loodrecht op de windrichting en de gemiddelde regenval op een horizontaal vlak bedraagt 0,75.
- tijdens, voor en na de slagregen ligt de luchttemperatuur dicht bij de luchttemperatuur die voor dat deel van het jaar als gemiddeld te beschouwen is. In de winter ligt ze meestal iets hoger dan de gemiddelde waarde, in de zomer iets lager.

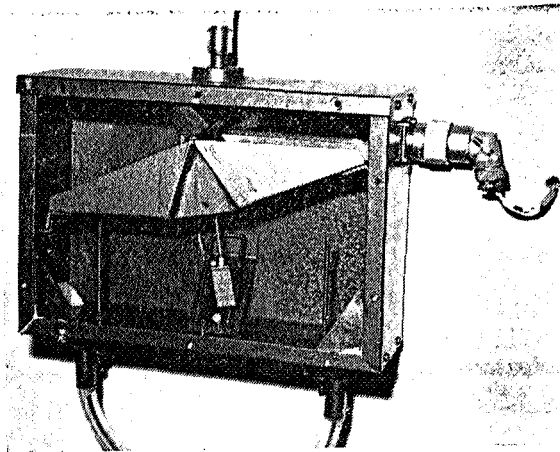
2.1.2. Slagregenmetingen en winddrukmetingen op gebouwen

De impact van wind en regen op gebouwen is een kompleks verschijnsel. De metingen van regen en wind in open lucht kunnen niet als dusdanig op gebouwen worden toegepast.

(*) In de periode 1956-1970 was de hoogste waarde $342 \text{ m}^2/\text{h}^2$ (vorig eindverslag).

De juiste hoeveelheid regen die een gevel ontvangt, kan enkel proefondervindelijk worden bepaald.

De meetinstallatie die grotendeels in het proefstation van het W.T.C.B. werd gebouwd omvat slagregenopnemers ($0,1 \text{ m}^2$ en 17 m^2), regenmeters en een registreertoestel (afb. I en II).



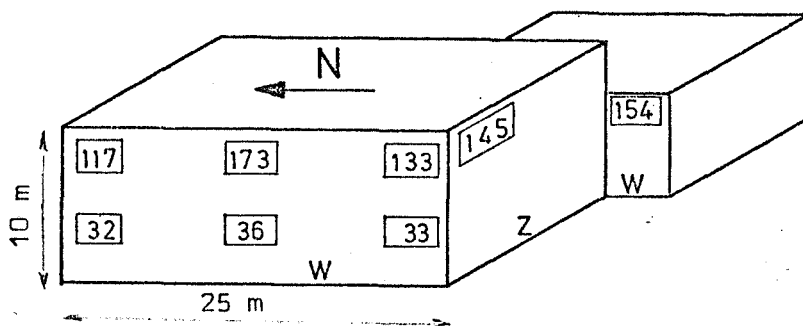
Afb. II - Regenmeter.

Afb. I - Meting van slagregen op een gevel
Boven, opnemer ; onder, regenmeter

Deze slagregenmeetapparatuur werd geïnstalleerd op 3 gebouwen van respectievelijk 8, 10 en 25 m hoogte.

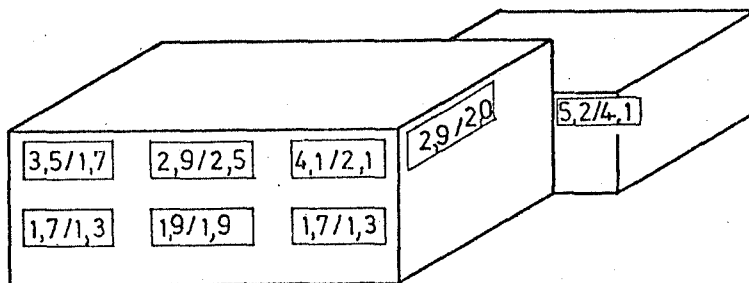
De reeds verkregen inlichtingen omtrent de regendeblieten op de gevels van het 10 m hoge gebouw kunnen als volgt worden samengevat :

- de totale hoeveelheid regen in $1/\text{m}^2$ die gedurende 6,5 maand (24-10-76 tot 10-05-77) per opnemer viel bedraagt (afb. III) :



Afb. III - Hoeveelheid slagregen ($1/\text{m}^2$) die gedurende 6,5 maand door de verschillende opnemers opgenomen werd.

- de grootste regenhoeveelheid die gedurende 60' en 5' op de verschillende opnemers viel bedraagt (afb. IV).



Afb. IV - Grootste hoeveelheid slagregen (l/m^2) die op 60 min/ op 5 min door de verschillende opnemers opgenomen werd.

Het valt op dat de bovenste opnemers van de W-gevel (geen dakoverstek) merkbaar (3 à 5 maal) meer water opvangen dan deze die zich op halve hoogte bevinden.

Bij het 8 m hoge gebouw is er een overstek van 0,35 m ; in dit geval nemen de bovenste opnemers nauwelijks meer op dan de middenste, wat wijst op de beschermende rol van een dakoverstek(*).

De grootste waarde van de slagregen gedurende 5' bedroeg $4,1 l/m^2$ wat op uurbasis met $50 l/m^2$ overeenkomt.

De regenval op 5' (afb.IV) bedraagt minstens de helft van deze op 60', meestal is er zelfs weinig verschil tussen de 2 meettijden.

Deze metingen worden verder gezet evenals deze voor de gelijktijdige bepaling van de winddruk waarvoor winddrukmeters op punt werden gesteld waarbij de vervorming onder winddruk van een dunne glasplaat wordt opgetekend. Het zal dan mogelijk zijn vergelijkingen te maken met de meetresultaten voor de vrije lucht.

2.2. Meting van de weersdichtheid in het laboratorium

2.2.1. Proefpost voor 2 en 3 dimensionele bouwelementen

Voor de controle van de wind- en waterdichtheid van gevelelementen in het laboratorium moeten deze worden blootgesteld aan een winddruk en een waterbesproeiing die overeenstemt met de inwerking van wind en regen in de werkelijkheid. De nieuwe installatie hiertoe is zo opgevat dat er vlakke elementen met grote afmetingen (7 m breed en 8,5 m hoog) kunnen worden getest evenals driedimensionele elementen.

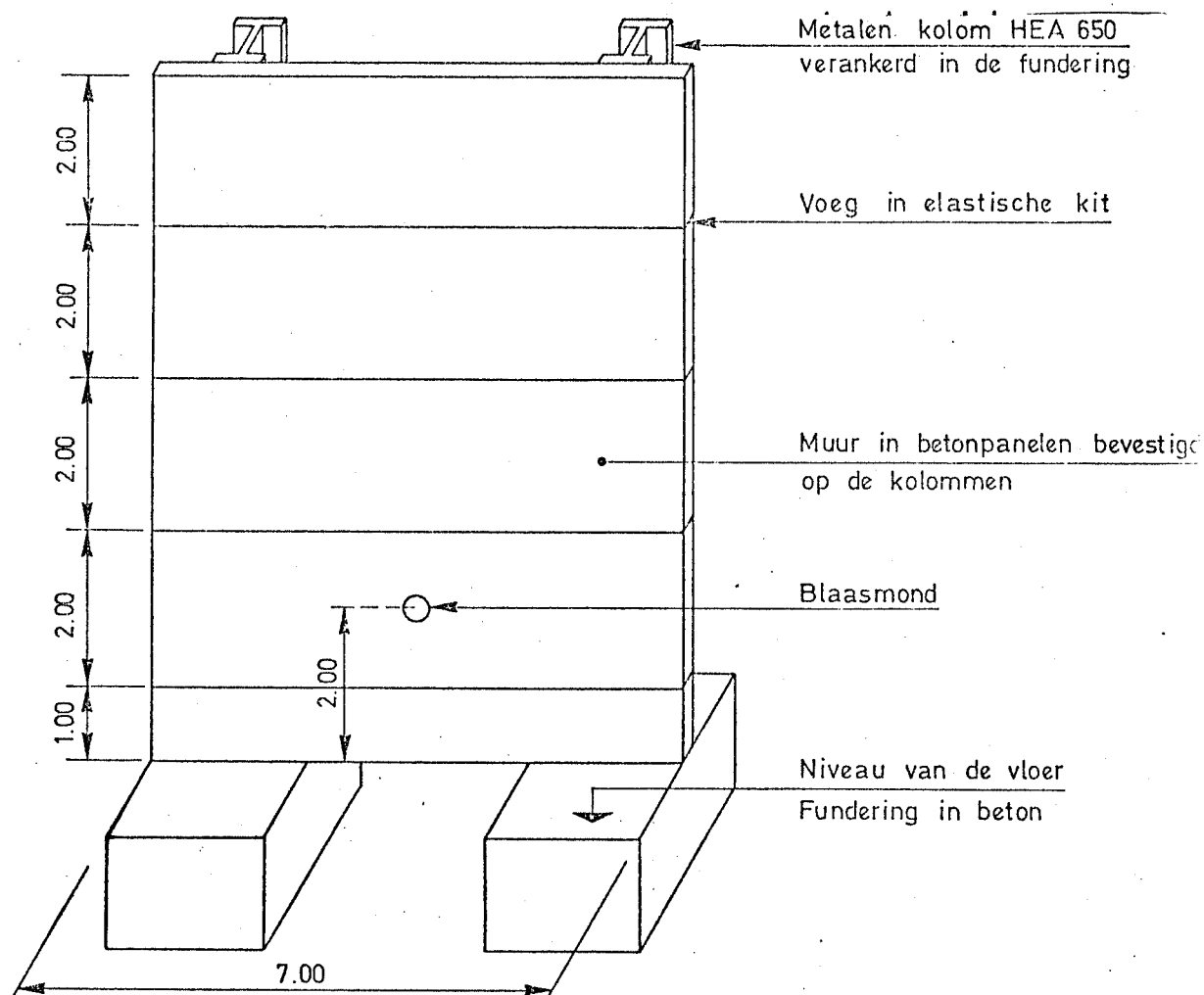
Simulatie van de wind : De simulatie van de wind wordt verkregen door een installatie bestaande uit een ventilator ($600 kgf/m^2 - 5000 m^3/h$) en een omkeerinrichting voor de drukregeling ; de luchtverliezen worden met rotameters ($0,2$ tot $2400 m^3/h$) gemeten.

Simulatie van de regen : De simulatie van de regen wordt verkregen met platte sproeiërs die gevoed worden door een waterpomp (gesloten watercircuit) : de juiste waterdebieten worden ingesteld via regelkranen en gecontroleerd met rotameters. De waterpomp geeft $10 m^3/h$ bij 8 atm; de rotameters (4 groepen) hebben een meetbereik van 60 tot $2500 l/h$. Voor $50 m^2$ testoppervlak geeft dit maximum $200 l/m^2.h$.

De wind- en regeninstallatie werden tijdens deze proefperiode regelmatig gebruikt in het kader van de globale beoordeling van gebouwen (3-dimensionele elementen). Tijdens de proefperiode werd met het oog op de beproeving van 2-dimensionele elementen een proefmuur gebouwd.

(*) Gedetailleerd in het eigenlijke verslag.

De proefmuur (afb. V) : Voor het beproeven van tot 8,5 m hoge en 7 m brede gevelelementen werd een proefmuur gebouwd. Twee kolommen HEA 650 zijn in twee funderingen vastgebetonneerd met speciale bouten. Tegen de kolommen werden 4 - 16 cm dikke - betonnen panelen van 2 x 7 m en 1 van 1 x 7 m gemonteerd die de proefmuur vormen. In de panelen zijn draadhulzen aangebracht om de proefelementen tegen de muur aan te spannen. In het midden van de muur en op 2 m boven de grond is er een toevoerbuiss (diameter 32 cm) voor de nodige luchtdruk en zijn er vier kleinere buizen om de waterleidingen door te laten.



Afb. V - Muur voor het beproeven van gevelelementen.

2.2.2. Luchtdoorlaat bij verschillende buitentemperaturen (R.U.G.)

Inleiding : De normale proeven voorzien door de STS 52 en 36 gebeuren laboratoriumtemperatuur. Bij lagere of hogere buitentemperaturen kan het te testen element eventueel gaan vervormen en kunnen de kunststofonderdelen stijver of soepeler worden wat een weerslag kan hebben op de dichtheid ; dergelijke proeve werden door de RUG uitgevoerd op 9 horizontaal pivoterende ramen van 1,50 op 1,50 ; drie in hout, drie in aluminium en drie in PVC.

Meetmethode : Eerst werd de globale luchtdoorlaat gemeten tot 50 kgf/m^2 , nadien werden de plaatselijke luchtdoorlaten opgespoord met behulp van een hete draad anemometer en dit eveneens tot 50 kgf/m^2 drukverschil. Al deze metingen werden uitgevoerd bij een binnenkamertemperatuur van 20°C en bij 8 luchttemperaturen in de buitenkamer gaande van -20 tot $+50^\circ\text{C}$.

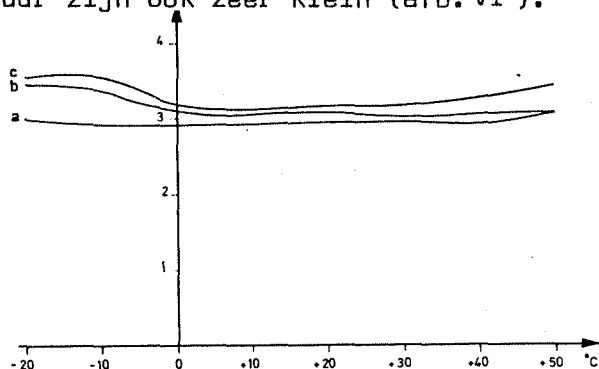
De luchtdoorlaatmetingen gebeurden in termisch stationaire toestand.

De drie houten ramen voldeden echter niet aan de normale dichtheidseisen en werden dan ook verder niet meer getest.

Meetresultaten :

- Globale luchtdoorlaat (PVC en aluminium).

Alle gemeten luchtdoorlaten zijn zeer klein en ver beneden de door de STS vastgestelde niveaus. De verschillen in functie van de buitentemperatuur zijn ook zeer klein (afb. VI).



Afb. VI - Luchtdoorlatendheid per m aanslag van drie identieke PVC-ramen (a, b en c) voor verschillende buitentemperaturen. Op de abscis, temperatuur aan de buitenzijde van het raam ($^\circ\text{C}$). Op de ordinaat, luchtdoorlatendheid bij 50 kgf/m^2 ($\text{m}^3/\text{h m}$).

- Verdeling van de luchtdoorlaat (PVC en aluminium).

Bij de ramen zijn de opengaande slagen zeer luchtdicht; er worden praktisch geen waarden boven $0,1 \text{ m/s}$ vastgesteld zelfs bij een drukverschil van 50 kgf/m^2 .

2.2.3. Onderzoek van verschillende sproeisystemen voor simulatie van regen bij waterdichtheidsproeven (R.U.G.)

Inleiding : Het was de bedoeling het sproeibeeld te bepalen van 5 verschillende sproeisystemen en waterdichtheidsproeven uit te voeren met de 5 sproeisystemen op verschillende vensterramen, dit om de invloed te onderzoeken van het sproeisysteem op de waterdichtheid van het raam.

De gebruikte sproeiwijzen waren : bandsproeien, oppervlaktesproeien en gemengd band- en oppervlaktesproeien.

Het waterdebiet bedroeg 2 l/min.m^2 .

Het sproeibeeld : Het gespreide water wordt opgevangen in een raster van kleine potjes die op dezelfde plaats als het raam worden geplaatst. De invloed van de waterdruk op het sproeibeeld werd onderzocht ; bij stijgende drukken vertoont het sproeibeeld meer water op de randen en minder in het midden. Dit geeft een verbetering van de lineaire homogeniteit, die belangrijk is bij bandsproeien.

Waterdichtheid van ramen : De ramen werden klassiek gemonteerd op de proefstand met een vrije rand van $0,5 \text{ m}$ eromheen (homogenisatieruimte). De sproeiërs werden zó geplaatst en met druk voorzien dat het debiet van 2 l/min m^2 bereikt werd voor elk sproeisysteem. De luchtdruk varieerde tussen 0 en 700 N/m^2 .

Er zijn grote verschillen in het sproeibeeld van de vijf onderzochte sproei-systemen. Ondanks deze grote verschillen komt er bij de waterdichtheid van de ramen geen duidelijke tendens of invloed van een bepaald verschil naar voor. Dit komt voor een groot deel doordat de onderzochte ramen goed waterdicht zijn vooral voor de aanslagen, waardoor ze niet volledig representatief zijn.

Het is dus nodig bijkomende ramen van verschillende kwaliteit en type te testen om iets definitiefs te kunnen zeggen over de sproeisystemen.

2.2.4. Afdichting van draineer- en verluchttingsopeningen tegen regenwater

Het gebeurt dat regenwater binnen komt langs de draineeropeningen (dit wordt veel vastgesteld bij metingen op de proefpost). Dergelijke openingen kunnen voldoende waterdicht worden gemaakt door het gebruik van vernauwingen op de binnenzijde van deze openingen.

Dit systeem wordt de laatste tijd reeds toegepast bij het ontwerp van venster-ramen en dit als gevolg van de publikatie in het W.T.C.B.-tijdschrift nr.4 - 1976.

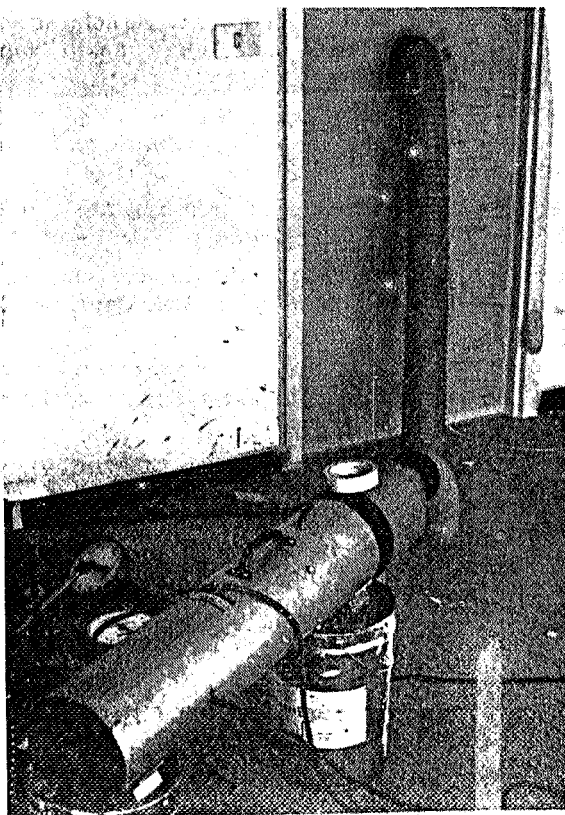
2.3. Metingen van de dichtheid in situ

Metingen in het laboratorium geven alleen de dichtheid van het geteste element op zichzelf. Metingen in situ laten toe bijkomende ondichtheden vast te stellen (akoestische methode) en te evalueren (metingen bij opwekken van een drukverschil en hun invloed op de luchtverversing van de lokalen na te gaan.

Akoestische methode : voor de bepaling van luchtlekken van een element langs akoestische weg plaatst men langs één kant van het element een ultrasone bron en langs de andere kant beweegt men een ultrasone ontvanger over de mogelijke openingen om zo lekken vast te stellen.

Het is een kwalitatieve methode die toelaat de ondichtheid te bepalen op basis van de doorgang van ultrasoon geluid.

Bepaling van globale en lokale luchtlekken : Voor de bepaling van de plaats en de grootte van de luchtlekken in een lokaal, wordt dit lokaal in over- of onderdruk gebracht met behulp van een draagbare regelbare ventilator.



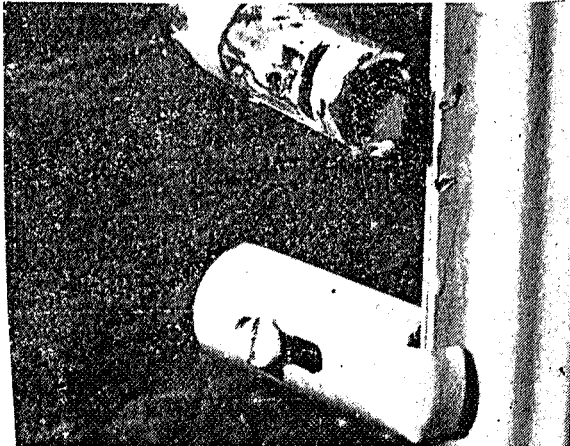
Afb.VII- Voor het verwezenlijken van luchtonderdruk of overdruk sluit men de ventilator aan via een luchtdicht paneel dat in de plaats van de deur wordt geplaatst.

Men meet het luchtdebiet dat voor het verkrijgen van de gewenste drukverschillen nodig is. Vervolgens dicht men één na één de gekende openingen af ; na elke afdichtingsfase meet men onnieuw het luchtdebiet bij de opgelegde drukverschillen. De winst aan luchtdichtheid na elke afdichtingsfase geeft de karakteristiek van het afgedichte gedeelte.

Meting van de luchtverversing van de lokalen : De luchtverversingsmetingen gebeuren door het mengen in de lucht van een bepaalde hoeveelheid gekend en meetbaar gas en vervolgens door het meten van de afnemende concentratie van dit gas in functie van de tijd. De concentratie van het gas vermindert met de tijd als gevolg van de luchtverversing : het is mogelijk de luchtverversing te berekenen want er is een verband tussen concentratie, tijd en luchtverversing.

Bepaling van de waterdichtheid : Voor het meten van de waterdichtheid volstaat het de onderzochte gevel langs de buitenzijde te besproeien met water terwijl de onderdruk in de kamer in stand gehouden wordt.

De lucht- en waterdichtheid werd op 6 bouwplaatsen bepaald in 8 kamers. Hier kon men afleiden dat de luchtlekken van het raam veelal beperkt zijn t.o.v de globale lekken van het lokaal (ze maken slechts 15 à 20% van alle lekken uit) en dat er lekken zijn waaraan men niet altijd denkt (afb.VIII).



Afb.VIII-Voorbeeld waarbij belangrijke lekken gevonden werden via de buizen voor de bevestiging van de radiatoren. Deze buizen lopen door tot in de spouwruimte. Een scheur is echter al voldoende om lekken te veroorzaken.

Deze eerste reeks proeven hebben aangetoond dat de metingen in situ een interessante en nuttige aanvulling betekenen van deze in het laboratorium : ze zullen tijdens volgende proefperiode dan ook worden verdergezet.

2.4. Voegbewegingen

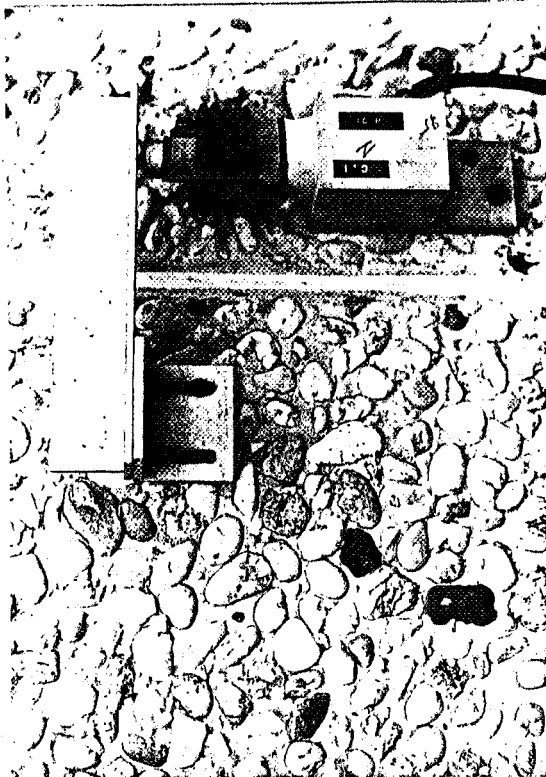
Tolerantie- en bewegingsvoorwaarden : De bewegingsvoegen bestaan uit ruimten uitgespaard tussen de bouwelementen ; over het algemeen zijn ze wind- en waterdicht dank zij een profiel en/of een dichtingsmateriaal. Het is belangrijk de breedte en de bewegingen van de voegen vooraf te kunnen bepalen.

De oorspronkelijke breedte van de bewegingsvoegen bij de bouw is afhankelijk van de stel- en fabrikatietoleranties. In de loop van de tijd ondergaan de voegen breedteschommelingen evenals verschuivingen en bewegingen, die zowel omkeerbaar als onomkeerbaar zijn.

Oorzaken van de bewegingen : De voornaamste onomkeerbare bewegingen zijn te wijten aan differentiële zettingen en aan krimp. De voornaamste omkeerbare bewegingen zijn het gevolg van elastische vervormingen, schommelingen in vochtigheid en temperatuur.

De temperatuur van de gevelelementen wordt vooral bepaald door de luchttemperatuur en de eventuele bezonning, alsook door de kleur, de termische inertie en de geleidbaarheid van de elementen.

Metingen van de voegbewegingen bij gebouwen : De metingen van de voegbewegingen (afb. IX) en van de temperaturen van de materialen werden verricht op twee gebouwen opgericht met geprefabriceerde elementen.



Afb. IX - Opstelling van de verplaatsingsmeter voor het bepalen van de langsverschuiving van één element t.o.v. een ander.

Uit de metingen bleek :

- een goed verband tussen de luchttemperatuur en de betontemperatuur ; bij koude ligt de betontemperatuur nauwelijks iets hoger dan de luchttemperatuur, bij bezonning speelt de kleur van het beton een rol : "wit" beton zal een lagere temperatuur hebben dan de lucht, "donker" beton kan een merkkelijk hogere temperatuur krijgen.
- de gemiddelde waarde van de werkelijke voegbewegingen ligt dicht bij de berekende waarde : er zijn echter grote afwijkingen van de individuele bewegingen t.o.v. de gemiddelde. Deze afwijkingen worden vooral uitgelegd door een niet uniforme verankering van de elementen aan de gebouwen.
- er is een groot verschil (in de gemeten gevallen 8 à 10 maal) tussen de gemiddelde snelheid waarmee de voegen openen of sluiten en de werkelijke snelheid. De grootste snelheid komt voor bij het sluiten (snellere opwarming dan afkoeling van de elementen) en bedraagt (op de sporthall) tot 3 mm/h werkelijke beweging tegen 0,3 mm/h gemiddelde beweging, dit omdat de beweging met "schokken" gepaard gaat (telkens na overwinnen van wrijving).
- daar waar men een grote spreiding waarneemt bij de voegbewegingen is er een nog grotere spreiding bij de voegopeningen : dit laatste is esthetisch hinderlijk maar heeft bij de kleine openingen dikwijls een grote relatieve voegbeweging (verhouding tussen beweging en opening) en schade tot gevolg.

2.5. Globale beoordeling van het gebouw

Bij de globale beoordeling van het gebouw speelde de dichtheid van de gevels (en daken) natuurlijk een belangrijke rol ; hiervoor verwijzen wij echter naar het eigenlijke verslag "globale beoordeling".

3. DICHTHEID VAN DAKEN.

3.1. Kontrolle van de verenigbaarheid van dakbedekkingen met hun isolatiepanelen.

Probleem.

De drager van een dakbedekking is zeer dikwijls een isolatiepaneel van een organische stof die aan aanzienlijke dimensionele wijzigingen onderhevig is, hetzij onder invloed van temperatuurschommelingen, van vochtigheid, inwendige restspanningen of spanningen die door veroudering ontstaan. Aldus worden er tussen dit materiaal en de dichtingslaag die op de isolatiepanelen wordt gelijmd spanningen opgewekt, die eventueel kunnen leiden tot schade aan deze bouwelementen. Wanneer de samenstelling van het afdichtingssysteem een onvoldoende mechanische weerstand biedt tegen de belastingen uitgeoefend door het dragermateriaal, kan de afdichting worden beschadigd.

De studie beoogde niet de bepaling van de amplitude van de bewegingen, noch van de waarde van de vervormingsmodulussen, die informatie moeten verschaffen over de spanningsniveaus die worden ontwikkeld door de diverse materialen, die worden gebruikt onder de vorm van panelen of platen en tot drager van de dakbedekking dienen. Deze grootheden worden geacht te worden bepaald en geleverd door hun respektievelijke fabrikanten.

De onderhavige studie beoogde het ontwerp en de bouw van een machine voor de bepaling van de mechanische spanningsniveaus die kunnen worden gedragen door de algemeen gebruikte meerlaagse afdichtingen, zonder dat er zich vermoeidheids- of scheurverschijnselen voordoen.

Het nagestreefde doel bestaat erin om op het ogenblik van de opvatting van het bouwwerk een meerlaags-dichtingssysteem te kiezen, waarvan de mechanische eigenschappen merkkelijk boven de krachten liggen die door de dragermaterialen zouden kunnen worden opgeroepen.

De hierna vermelde experimentele metingen worden dus niet verricht op volledige systemen waarin isolatiematerialen van allerlei aard zouden worden verwerkt met verschillende samenstellingen van meerlaagse afdichtingen. Ze zijn beperkt tot het uitoefenen op een verscheidenheid van samenstellingen van meerlaagse afdichtingen van herhaalde toenemende spanningen in verschillende temperatuurvoorwaarden en tot de vaststelling vanaf welke waarde deze lagen bewegingen, vervormingen en plooiingen ondergaan die vervolgens, door veroudering en vermoeidheid, breuken zouden kunnen veroorzaken.

Proefinrichting.

De bepaling van de toegelaten spanningsgrenzen tussen de twee elementen geschiedt door middel van een daartoe ontworpen proefinrichting.

De monsters (1 x 2 m) worden op 2 elkaar gelegde platen van 1 x 1 m gelijmd. Tussen de platen is een voeg die de voeg tussen de isolatiepanelen simuleert. Het monster bedekt deze voeg en ondergaat alle belastingen die op de platen worden uitgeoefend. Eén plaat is vast terwijl het andere beweegbaar is in de plaatrichting.

De opgelegde belastingen en bewegingen worden uitgeoefend door een vijzel van 5 t. De belastingsnelheid is regelbaar en kan oplopen tot 750 mm/min.

Er kan tevens afwisselend trek en druk worden uitgeoefend. Deze pulserende beweging kan op verschillende manieren worden uitgeoefend :

a. met de hand

b. door beperking van de beweging; de maximale verplaatsing is 250 mm

(er is trouwens een automatische stop telkens de verplaatsingsgrenzen worden overschreden)

- c. door beperking van de uitgeoefende kracht
- d. door regelbare tijdinstelling : de maximale duur is 12 h.

De combinatie van b, c en d is ook mogelijk.

De volgende proeven kunnen worden verricht :

- a. breuk- en trekproeven
- b. vermoeidheidsproeven
- c. vermoeidheidsproeven van uitzetvoegen

Het aantal cykli wordt geteld; het toestel kan na een gewenst aantal cykli automatisch worden uitgeschakeld.

De verplaatsingen worden gemeten met een meetklok of eventueel een elektrische verplaatsingsmeter en registreertoestel.

De fabricatie van deze proefinrichting werd slechts op het einde van de researchperiode beëindigd; proeven op meerlaagse bedekkingen zullen onmiddellijk bij de aanvang van de volgende researchperiode worden aangevat.

3.2. "Afpellen" van isolatiepanelen onder invloed van herhaalde dynamische zuiging van de wind.

Probleem.

In het geval van één- en meerlaagse bedekkingen ontstaat soms schade te wijten aan het afpellen (wegvallen van hechting in of tussen verschillende lagen) van de isolatiepanelen tengevolge van herhaalde dynamische zuiging van de wind op het dak. Dit probleem stelt zich vooral op de plaats van golvingen en terhoogte van voegen tussen isolatiepanelen en op de plaatsen met sterke windaanzuiging (op de hoeken).

Dit deel van het onderzoek beoogt de oppuntstelling van een methode ter controle van het gevaar van ontlasting van de isolatie van het dak onder invloed van deze herhaalde dynamische zuiging van de wind.

Proef.

Men onderwerpt een deel van een dak (2 x 1 m) in het laboratorium aan de werking van de wind. De voegen tussen de isolatiepanelen en de golvingen - de zwakke punten van het dak - zijn voorzien in het dakmonster voor de proef. In het geval van vochtgevoelige isolatiematerialen worden deze terzelfdertijd aan een relatieve vochtigheid van 80% geklimatiseerd.

Op een deel van het dak dat een dragerelement bevat (multiplexplaat of metalen elementen) en 4 isolatiepanelen van 50 x 100 cm en waarvan de voegen een kruis vormen, lijmt men de dakbekleding overeenkomstig de voorschriften van de fabrikant. Ter hoogte van de voeg van 2 m lengte voorziet men een plooï van 3 cm breedte en 1,5 cm hoogte. Deze plooï wordt bekomen door middel van een halfronde houten lat; deze lat wordt na het leggen van de bedekking weggenomen.

Op dit dak plaatst men een dichte kast van 1 x 2 m. De dakbedekking wordt omgeplooid en tegen de randen van de kast bevestigd. Deze kast wordt aangesloten op een ventilator die de vereiste stotende onderdrukken kan opwekken (0,5 Hz).

De volgende windbelastingen (zuigen) worden uitgeoefend :

500 x van 0 tot 100 kg/m²

500 x van 0 tot 200 kg/m² en vervolgens toename met telkens 100 kg/m² tot

500 x van 0 tot 1.000 kg/m².

Het gedrag van het dak wordt tijdens en na iedere cyklus gecontroleerd; de proef wordt gestaakt van zodra schade wordt vastgesteld (afpellen, scheuren, loskomen, ...).

Het monster wordt geobserveerd wat betreft afpellen, scheurvorming en loskomen. Na de proef wordt het monster losgesneden om de plaats te vinden waar eventueel een gebrek aan hechting is.

De keuze van de bekledingen en isolatiematerialen werd gemaakt door het researchkomitee; men heeft materialen gekozen die kourant in de praktijk worden gebruikt en waarvan het goede of slechte gedrag in de realiteit is gekend, dit teneinde de proefresultaten te kunnen vergelijken met de vaststellingen uit de realiteit.

De proeven werden verricht op 18 combinaties van afdichtingshuid en isolatie-paneel (drager). De in het laboratorium vastgestelde schade stemde goed overeen met deze ontmoet in de realiteit.

3.3. Gedrag van dakbedekkingen onder de werking van zon en regen.

Tengevolge van de grote termische belasting van de dakbedekking op het isolatiemateriaal kunnen deze eigenschappen snel veranderen.

De controle van dit gedrag bestaat erin het dakbeschot bloot te stellen aan verwarmings- en besproeiingscykli. Een cyklus duurt 24 h en bestaat uit 8 h verwarming aan 75°C gevolgd 16 h besproeiing met water van ongeveer 8°C.

De proeven worden uitgevoerd op 3 daktypen die in de realiteit problemen hadden opgeleverd (schade aan het oppervlak); na ongeveer 7 cykli werd dezelfde schade vastgesteld in het laboratorium met deze relatief eenvoudige proef.

3.4. Dichtheid van hellende daken.

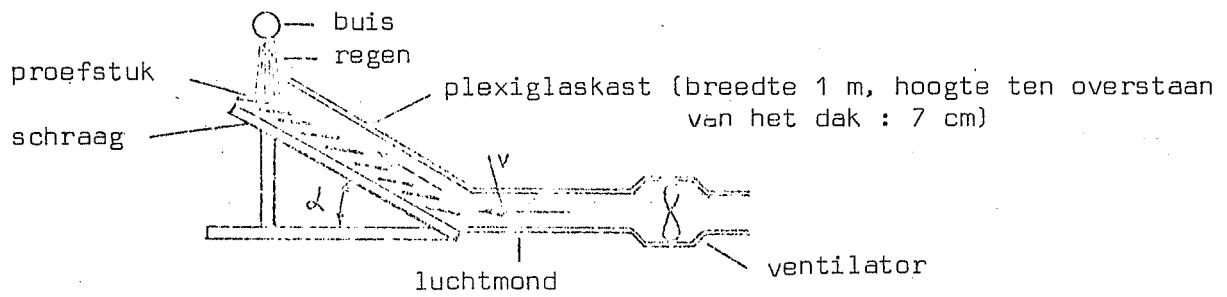
Er bestaan geen genormalizeerde methoden voor de controle van de lucht- en waterdichtheid van hellende daken van dakpannen, leien, enz., en van de invloed van het afschot van deze daken op de waterdichtheid.

Er werden twee proefmethoden bestudeerd :

- a. De statische druk uitgeoefend op het dak dat zich in een dichte kast bevindt (hetgeen toelaat de luchtdichtheid te meten) en waarin het monster wordt besproeid.

De positieve invloed van de ruwheid van het dak en van de lokale turbulentie van de wind die het binnendringen van druppels in de voegen verhindert wordt door deze proef niet bekomen. De proef laat toe de luchtdichtheid te meten, maar geeft geen geldige resultaten betreffende de waterdichtheid.

- b. Dynamische proef. Deze proef wordt verricht met een scherende wind (≈ 70 km/h) die op het monster wordt uitgeoefend van onder naar boven, samen met besproeiing met water (afb.).



Afb. X - Controle van de waterdichtheid van hellende daken.

De combinatie van de twee systemen blijkt het meest realistisch te zijn.

RECHERCHES I.C. - I.B.
ETANCHEITE DES FACADES ET TOITURES

ACTIONS DE LA PLUIE ET DU VENT SUR LES FACADES ET TOITURES
MESURE DE L'ETANCHEITE EN LABORATOIRE ET IN SITU
MOUVEMENT ET ETANCHEITE DES JOINTS
COMPORTEMENT DES RECOUVREMENTS DE TOITURES SUR PANNEAUX ISOLANTS

R E S U M E

Juin 1977.

Recherche subsidiée par l'I.R.S.I.A.
(Convention n°2377 du 17 décembre 1975)

1. PRESENTATION

Une des fonctions les plus importantes des façades et des toitures est la protection de l'espace intérieur d'un bâtiment contre la pluie et le vent.

L'étude consiste à rassembler le maximum de données possible concernant l'action de la pluie, du vent et d'autres facteurs climatiques sur des bâtiments et à les reproduire aussi fidèlement que possible en laboratoire et in situ sur des échantillons dont on désire évaluer les propriétés (principalement l'étanchéité à l'air et à l'eau).

La recherche concernant les façades comprend :

- une étude de l'action du vent et de la pluie sur les façades ;
- la construction de postes d'essais pour la simulation du vent et de la pluie ;
- la mesure de l'étanchéité au vent et à l'eau des façades in situ
- la mesure des mouvements des joints.

L'étude du vent et de la pluie s'effectue avec la collaboration de l'Institut Royal Météorologique (I.R.M.). Pour la mise au point des postes d'essais et des méthodes d'évaluation, le travail se fait conjointement avec le "Laboratorium voor Voertuigtechniek" (Laboratoire de technique automobile) de l'Université de Gand.

L'étude relative aux toitures comprend :

- la construction d'un appareillage de mesure pour le contrôle de la compatibilité des recouvrements et de leurs panneaux d'isolation ;
- les mesures de la résistance au pelage des revêtements de toits sous l'action de succion de vent ;
- le contrôle de la résistance des recouvrements au soleil et à la pluie ;
- la mesure de l'étanchéité des toits en pente.

2. ETANCHEITE DES FACADES2.1. Etude du vent et de la pluie2.1.1. Mesures en terrain dégagé (Uccle)

L'emploi de l'ordinateur a permis de rassembler une grande quantité d'informations nouvelles et intéressantes, relatives à une période de 15 ans (1931-1945) de vent et de pluie. Un exemple de celles-ci est donné au tableau I, notamment en ce qui concerne les indices de pluie battante(*) supérieurs à $100 \text{ m}^2/\text{h}^2$ pendant l'année 1945.

Tableau I - Indices de pluie battante > $100 \text{ m}^2/\text{h}^2$ pendant l'année 1945												
INDEX M2/H2	PLUIE VENT			DATE	H	INDEX M2/H2 (*)					T °C	H
	MM/H	KM/H	OR			H-2	H-1	H	H+1	H+2		
110.0	2.2	50.0	SSW	18. 1.45	18	0.0	80.0	110.0	34.0	14.6	2.9	
131.3	3.5	37.5	S	4. 2.45	8	0.0	63.8	131.3	59.2	11.1	5.1	
330.0	10.0	33.0	NE	26. 7.45	17	0.0	0.0	330.0	366.3	0.0	17.7	
366.3	11.1	33.0	NE	26. 7.45	18	0.0	330.0	366.3	0.0	0.0	17.7	
124.6	4.7	26.5	NW	10. 8.45	5	93.8	82.6	124.6	87.5	79.2	16.6	
133.5	15.7	8.5	NE	30. 8.45	7	0.0	11.1	133.5	62.1	158.4	16.8	
158.4	9.9	16.0	NW	30. 8.45	9	133.5	62.1	158.4	28.8	16.2	15.9	
148.2	3.8	39.0	WSW	25.10.45	23	0.0	79.2	148.2	140.4	29.0	10.2	
140.4	3.6	39.0	WSW	25.10.45	24	79.2	148.2	140.4	29.0	0.0	10.2	
123.2	3.2	38.5	SW	26.10.45	23	25.5	25.5	123.2	38.5	0.0	9.1	

(*) Indice de pluie battante (m^2/h^2) : chute de pluie (mm/h) x vitesse du vent (km/h), deux valeurs mesurées à l'air libre ; H : heure à la fin de la période de mesure ; H-1 heure avant la période de mesure, etc...

Ci-dessous, quelques conclusions :

Précipitation

- durant 15 ans, il y a eu 125 averses d'une intensité ≥ 5 mm/h dont 20 ≥ 10 mm/h ; l'intensité maximale fut de 29,1 mm/h.
- des précipitations intenses (≥ 10 mm/h) ne se produisent que de la fin mai jusqu'à la mi-septembre, et sont souvent accompagnées de fortes pluies battantes : la vitesse du vent s'élève alors toujours au moins à 5 km/h et vient principalement du S-SO (vitesse du vent : de 8 à 13 km/h) et du N-NE (vitesse du vent : de 14 à 33 km/h).
- des pluies violentes ne dépassent jamais une durée maximale de 2h.

Vent

- des vitesses (moyennes) du vent supérieures à 50 km/h se produisent seulement un an sur deux ; en 1943 cependant, on a constaté durant 26h sans interruption une vitesse du vent ≥ 50 km/h. En 15 ans, il y a eu quatre fois une vitesse du vent comprise entre 60 et 70 km/h. Il est à noter que les extrêmes au vent sont presque le double des moyennes citées.
- dans un cas sur trois, un vent violent (≥ 50 km/h) était accompagné de pluie, ce qui est beaucoup si l'on sait que, en moyenne, il ne pleut que pendant moins de 10% du temps.
- le vent violent (≥ 50 km/h) ne souffle que du SSE-NNO, et ceci principalement de novembre à février ; de juin à septembre y compris, cela ne se présente pas (à l'opposé des pluies violentes !).
- contrairement à ce qui se passe pour les pluies violentes, le vent violent coïncide rarement avec les pluies battantes.

Pluies battantes

- la plus forte pluie battante pendant 15 ans a été de $378 \text{ m}^2/\text{h}^2$ (*), ce qui correspond à 15 l/m^2 de surface verticale (valeur théorique)
- une forte pluie battante ($\geq 150 \text{ m}^2/\text{h}^2$), s'est produite chaque fois pendant une heure, 39 fois durant la période de 15 ans examinée ; cependant certaines années, il n'y a pas eu de fortes pluies battantes.
- une pluie battante importante vient le plus souvent de S à O, ceci pendant les mois d'octobre et de novembre et durant la deuxième moitié de la journée (13h - 24h).
- le rapport entre la précipitation théorique moyenne sur un plan vertical perpendiculaire à la direction du vent, et la chute de pluie moyenne sur un plan horizontal s'élève à 0,75.
- pendant, avant et après la pluie battante, la température de l'air se situe très près de la température qui doit être considérée comme moyenne pour cette partie de l'année. En hiver, elle est en général un peu plus élevée que la valeur moyenne ; en été, un peu plus basse.

2.1.2. Mesures de la pluie battante et de pression de vent sur les bâtiments

L'impact du vent et de la pluie sur les bâtiments est un phénomène complexe. Les mesures de pluie et de vent à l'air libre ne peuvent par conséquent pas être appliquées telles quelles aux bâtiments.

(*) Dans la période 1956-1970, la valeur la plus élevée était $342 \text{ m}^2/\text{h}^2$ (rapport final précédent).

La quantité exacte de pluie qui tombe sur une façade ne peut être déterminée qu'expérimentalement.

L'installation de mesure en grande partie construite au C.S.T.C. comprend des capteurs de pluie battante ($0,1 \text{ m}^2$ et 17 m^2), des pluviomètres et un enregistreur (fig. I et II).

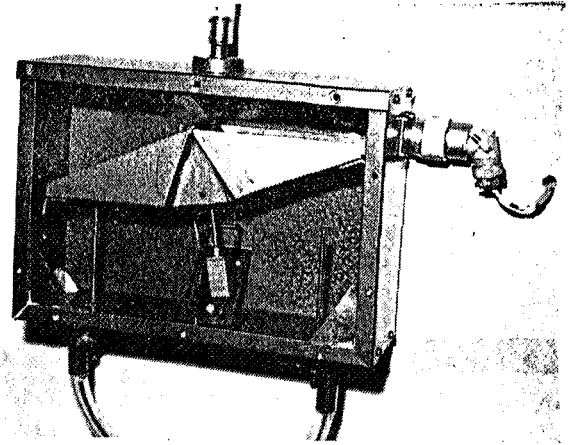


Fig. II - Pluviomètre

Fig. I - Mesure de la pluie battante sur une façade (au-dessus, capteur ; en-dessous, pluviomètre)

Cet appareillage de mesure de pluie battante a été installé sur 3 bâtiments de respectivement 8, 10 et 25 m de haut.

Les renseignements déjà recueillis concernant les débits de pluie sur les façades du bâtiment de 10 m de haut peuvent être résumés comme suit :

- la quantité totale de pluie en $1/\text{m}^2$, recueillie pendant 6,5 mois (24-10-76 au 10-05-77) par capteur, est donnée à la fig. III.

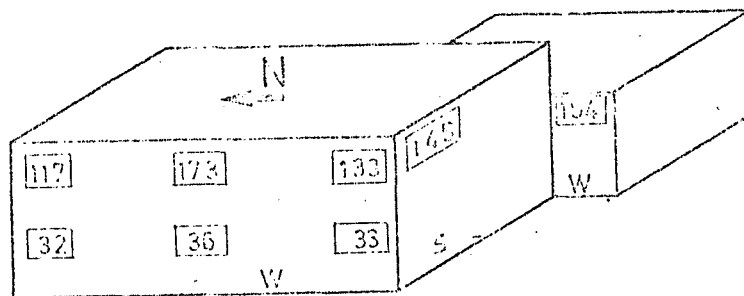


Fig. III - Quantité de pluie battante ($1/\text{m}^2$) enregistrée par les différents capteurs pendant 6,5 mois.

- la plus grande quantité de pluie recueillie pendant 60' et 5' par les différents capteurs se monte à (fig. IV).

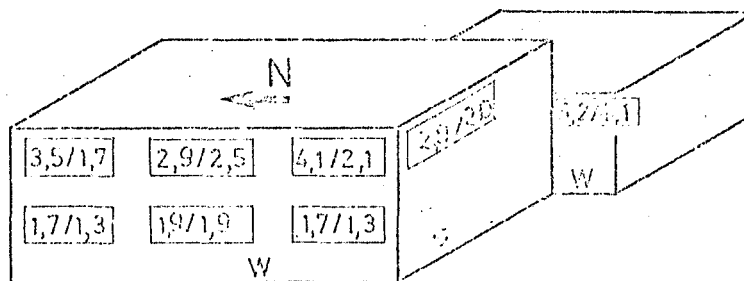


Fig. IV - Quantité maximale de pluie battante (l/m^2) enregistrée par les différents capteurs en 60 min et en 5 min.

Il apparaît que beaucoup plus d'eau (de 3 à 5 fois) est recueillie par les capteurs supérieurs de la façade W (pas de surplomb de toiture) que par eux qui se trouvent à mi-hauteur.

Le bâtiment de 8 m de haut a un surplomb de 0,35 m ; dans ce cas, des capteurs supérieurs recueillent à peine plus que ceux du milieu, ce qui montre le rôle de protection d'un surplomb (*).

La plus grande valeur de pluie battante pendant 5 min s'élève à 4,1 l/m^2 , ce qui correspond à 50 l/m^2 par heure.

La précipitation en 5' (fig. IV) s'élève au moins à la moitié de celle tombée en 60' ; en général, il y a même peu de différence entre les deux temps de mesure.

Ces mesures sont poursuivies ainsi que celles de la détermination simultanée de la pression du vent pour laquelle des capteurs de pression ont été mis au point et qui permettent d'enregistrer graphiquement la déformation d'une mince plaque de verre sous la pression du vent. Il sera possible de faire des comparaisons avec les résultats de mesure pour l'air libre.

2.2. Mesure en laboratoire de l'étanchéité aux intempéries

2.2.1. Poste d'essais pour des éléments de construction à 2 et 3 dimensions

Pour contrôler en laboratoire l'étanchéité au vent et à l'eau d'éléments de façade, ceux-ci doivent être exposés à une pression de vent et à un arrosage d'eau correspondant à l'action du vent et de la pluie dans la réalité. La nouvelle installation créée dans ce but est conçue de façon que des éléments plans de grandes dimensions (7 m de large et 8,5 m de haut) puissent être testés ainsi que les éléments tridimensionnels.

Simulation du vent : Cette simulation est obtenue au moyen d'une installation composée d'un ventilateur ($600 \text{ kgf/m}^2 - 5000 \text{ m}^3/\text{h}$) et d'un système d'inversion pour le réglage de la pression ; les fuites d'air sont mesurées par des rotamètres (de 0,2 à $2400 \text{ m}^3/\text{h}$).

Simulation de la pluie : On arrive à simuler la pluie en employant des gicleurs plats alimentés par une pompe (circuit d'eau fermé) ; les débits exacts sont obtenus par des vannes de réglage et contrôlés par des rotamètres. La pompe donne $10 \text{ m}^3/\text{h}$ à 8 atm ; les rotamètres (4 groupes) ont une étendue de mesure de 60 à 2500 l/h . Pour 50 m^2 de surface d'essai, cela donne au maximum $200 \text{ l/m}^2 \text{ h}$.

Les installations de mesure du vent et de la pluie ont été utilisées régulièrement pendant cette période d'essais, dans le cadre de l'évaluation globale de bâtiments (éléments tridimensionnels). Durant la période d'essais, on a construit un mur en vue d'éprouver des éléments à 2 dimensions.

(*) Détaillé dans le rapport proprement dit.

Le mur d'essai : Pour tester des éléments de façade de 8,5 m de haut et de 7 m de large, on a construit un mur d'essai. Deux colonnes HEA 650 sont bétonnées dans deux fondations avec des boulons spéciaux. Contre les colonnes, on a monté 4 panneaux de béton (épaisseur : 16 cm) de 2 x 7 m et 1 de 1 x 7 m qui constituent ce mur d'essai. Dans les panneaux sont placées des douilles filetées permettant de fixer les échantillons contre le mur. Au milieu du mur et à 2 m du sol, il y a un tuyau d'alimentation (diamètre 32 cm) pour l'arrivée d'air comprimé, et quatre tuyaux plus petits pour le passage des conduits d'eau.

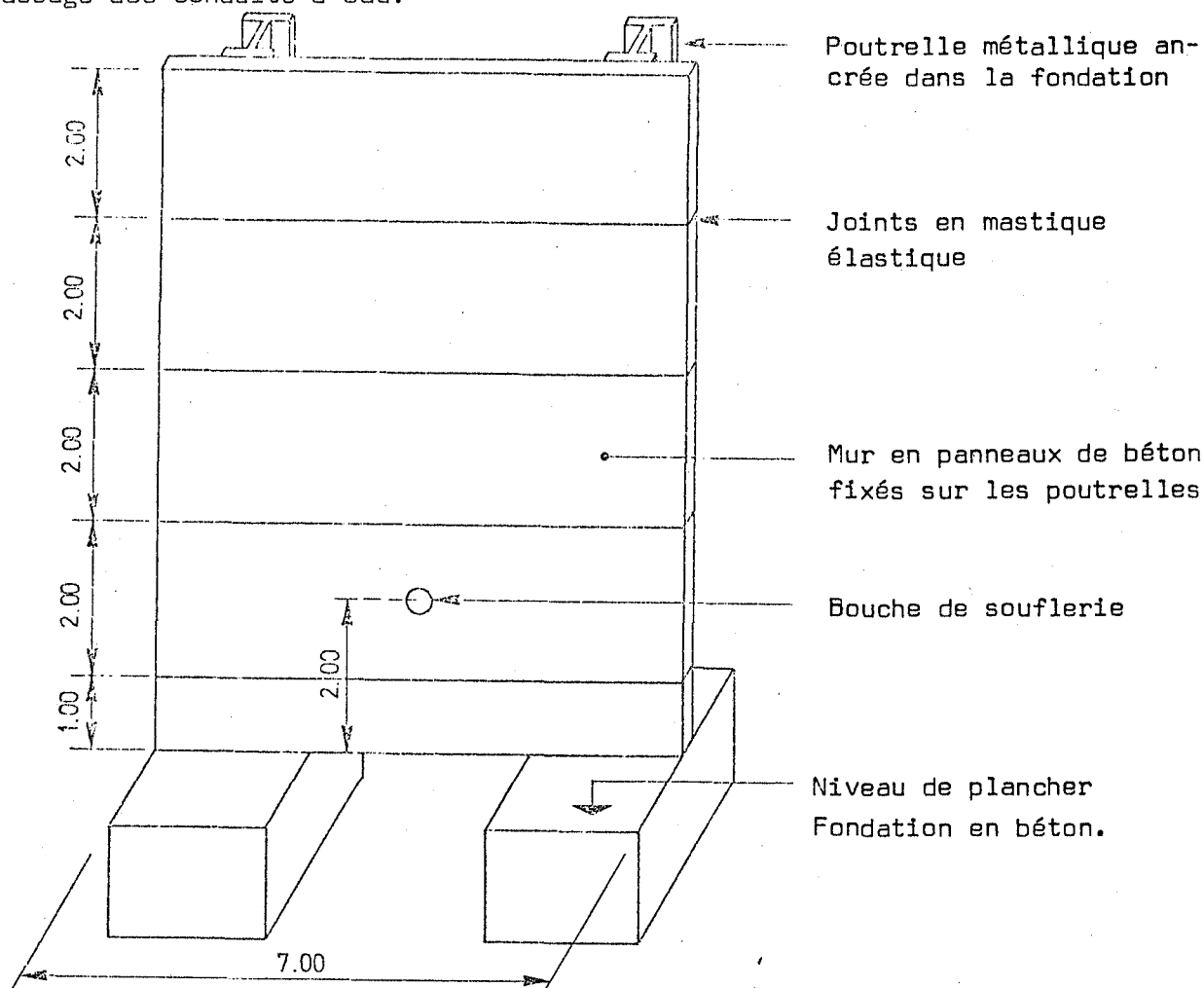


Fig. V - Mur d'essai pour les éléments de façade.

2.2.2. Fuites d'air par différentes températures extérieures (R.U.G.)

Introduction : Les essais normaux prévus par les STS 52 et 36 se font à la température du laboratoire. Par des températures extérieures plus basses ou plus élevées, les éléments à tester peuvent éventuellement se déformer et les éléments en matière synthétiques devenir plus rigides ou plus souples, ce qui peut avoir une répercussion sur l'étanchéité. De tels essais ont été exécutés par l'Université de Gand (R.U.G.) sur 9 châssis horizontaux pivotants de 1,50 m x 1,50 m : trois en bois, trois en aluminium et trois en PVC.

Méthode de mesure : On a mesuré d'abord l'étanchéité à l'air jusqu'à 50 kgf/m² ; ensuite, on a dépisté les fuites locales au moyen d'un anémomètre à fil chaud, ceci également jusqu'à 50 kgf/m² de différence de pression. Toutes ces mesures ont été effectuées à 8 températures de l'air dans la chambre extérieure allant de -20 à +50°C pour une température intérieure de 20°C.

Toutes les mesures de fuites d'air ont été faites en état thermique stationnaire.

Les trois châssis en bois ne satisfaisaient pas aux critères normaux d'étanchéité et n'ont pas été testés davantage.

Résultats de mesure : Fuites d'air globales (PVC et aluminium). Toutes les fuites mesurées sont très faibles et bien en-dessous des niveaux fixées par les STS. Les différences en fonction de la température extérieure sont aussi très faibles (fig. VI).

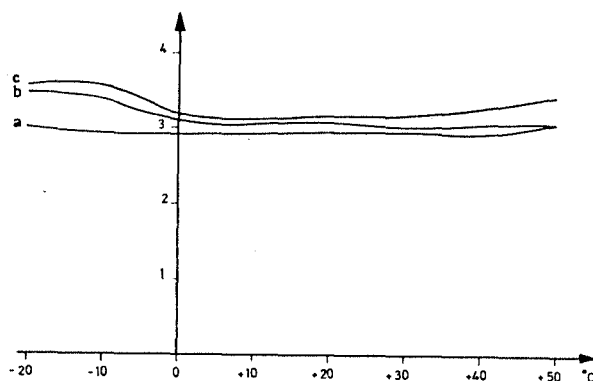


Fig. VI - Fuites d'air par m de frappe, de trois châssis identiques en PVC (a, b et c) pour différentes températures extérieures. En abscisse, température du côté extérieur du châssis (°C). En ordonnée, fuites d'air à 50 kgf/m² (m³/h m).

Répartition des fuites d'air (PVC et aluminium).

Pour les châssis, les frappes amovibles sont très étanches à l'air ; on ne constate pratiquement aucune valeur supérieure à 0,1 m/s, même pour une différence de pression de 50 kgf/m².

2.2.3. Examen de différents systèmes d'arrosage pour la simulation de la pluie, lors d'essais d'étanchéité à l'eau (R.U.G.)

Introduction : Le but était de déterminer l'image d'arrosage de 5 systèmes d'arrosage différents, et d'effectuer des essais d'étanchéité sur différents châssis de fenêtres avec les 5 systèmes, afin d'examiner l'influence de ceux-ci sur l'étanchéité des châssis.

Les modes d'arrosage étaient : arrosage en bande, arrosage en surface et les deux ensemble.

Le débit d'eau s'élevait à 2 l/min.m².

L'image d'arrosage : L'eau projetée est recueillie dans un treillis de petits pots placés au même endroit que le châssis. On examine l'influence de la pression sur l'image d'arrosage ; lorsque les pressions augmentent, il arrive par les gicleurs plus d'eau sur les bords de l'image, et moins au milieu. Cela produit une amélioration de l'homogénéité linéaire, qui est importante pour l'arrosage en bande.

Etanchéité à l'eau des châssis : Les châssis sont montés de façon classique sur le mur d'essai, avec un bord libre de 0,5 m tout autour (espace d'homogénéisation). Les gicleurs ont été placés et leur pression réglée de façon telle que le débit de 2 l minimum au m² soit atteint pour chaque système d'arrosage. La pression de l'air variait de 0 à 700 N/m².

Il y a de grandes différences dans l'image d'arrosage des cinq systèmes examinés. Malgré celles-ci, on ne constate pas de tendance ou d'influence nettes d'une différence déterminée sur l'étanchéité des châssis à l'eau. Cela provient surtout de la bonne étanchéité à l'eau des châssis examinés, surtout des frappes. Ces châssis ne seraient donc pas représentatifs. Pour pouvoir avancer quelque chose de définitif à propos des systèmes d'arrosage, il est donc nécessaire de tester des châssis supplémentaires, de qualités et de types différents.

2.2.4. Etanchéité à l'eau de pluie des ouvertures de drainage et d'aération

Il arrive que l'eau de pluie s'infilte par les drains (ceci est souvent constaté pendant des mesures au poste d'essais). Ces ouvertures peuvent être rendues étanches à l'eau au moyen de rétrécissements sur leur côté intérieur.

Ce système a déjà été appliqué récemment lors du développement de châssis de fenêtres, et ce, à la suite de la publication dans le n°4 de C.S.T.C. revue (1976).

2.3. Mesures d'étanchéité in situ

Des mesures en laboratoire ne donnent que l'étanchéité de l'élément testé isolément. Des mesures in situ permettent de constater (méthode acoustique), d'évaluer (mesures à différents gradients de pression) des fuites supplémentaires et d'examiner leur influence sur le renouvellement d'air des locaux.

Méthode acoustique : Pour déterminer les fuites d'air d'un élément par la méthode acoustique, on place sur un côté de l'élément une source d'ultrasons et, sur l'autre, on déplace un détecteur d'ultrasons sur les ouvertures où il est possible de détecter ainsi des fuites. C'est une méthode qualitative qui permet de déterminer le défaut d'étanchéité d'après le bruit au passage des ultrasons.

Détermination des fuites d'air globales et locales : Pour déterminer l'endroit et l'importance des fuites d'air dans un local, on met celui-ci en surpression ou en dépression à l'aide d'un ventilateur portatif réglable.

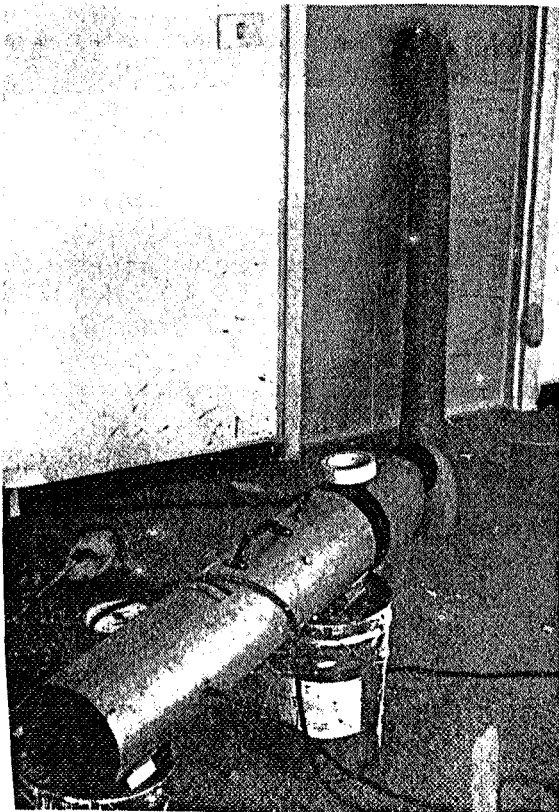


Fig. VII - Pour réaliser une dépression ou une surpression d'air, on raccorde le ventilateur à l'aide d'un panneau étanche à l'air, placé à l'endroit de la porte.

On mesure le débit d'air nécessaire pour obtenir les différences de pression souhaitées. Ensuite, on rend étanches successivement les ouvertures connues ; après chaque phase d'étanchement, on mesure de nouveau le débit d'air pour les différences de pression fixées. Le gain d'étanchéité à l'air, après chaque phase d'étanchement, donne les caractéristiques de la partie colmatée.

Mesure du renouvellement d'air des locaux : Ces mesures se font en mélangeant et en mesurant ensuite la concentration d'un gaz connu et mesurable, et en mesurant ensuite la concentration décroissante de ce gaz en fonction du temps. Cette dernière diminue avec le temps, par suite de l'entrée d'air ; on peut calculer le renouvellement d'air, parce qu'il existe un rapport entre la concentration, le temps et ce renouvellement.

Détermination de l'étanchéité à l'eau : Pour mesurer cette étanchéité, il suffit d'arroser avec de l'eau l'extérieur de la façade examinée, pendant qu'on maintient la chambre en dépression.

L'étanchéité à l'air et à l'eau a été déterminée sur 6 chantiers, dans 8 chambres. On a pu constater ici que les fuites du châssis sont en général limitées par rapport aux fuites globales du local (elles représentent seulement 15 à 20% de toute les fuites) et qu'il existe des fuites auxquelles on ne pense pas toujours (fig.VIII).



Fig. VIII - Exemple d'importantes fuites d'air par les tuyaux de fixation des radiateurs. Ceux-ci se prolongent jusqu'au vide ventilé. Une fissure suffit déjà pour produire des fuites.

Cette première suite d'essais a montré que les mesures in situ sont intéressantes et forment un complément significatif aux essais de laboratoire : elles seront aussi poursuivies pendant la prochaine période d'essais.

2.4. Mouvements de joints

Conditions de tolérance et de mouvement : Les joints de mouvement consistent en espaces ménagés entre les éléments de construction ; en général, ils sont étanches au vent et à l'eau grâce à leur profil et/ou à un matériau d'étanchement. Il est important de pouvoir déterminer à l'avance la largeur et les mouvements des joints.

La largeur originelle des joints de mouvement, lors de la construction, dépend des tolérances de montage et de fabrication. Au cours du temps, les joints subissent des variations de largeur et des glissements et mouvements, qui sont réversibles ou non.

Causes des mouvements : Les principaux mouvements irréversibles sont dus aux tassements différentiels et au retrait. Les principaux mouvements réversibles sont la suite des déformations élastiques, de variations d'humidité et de température. La température des éléments de façade est déterminée surtout par la température de l'air et par l'ensoleillement éventuel, mais aussi par la couleur, l'inertie thermique et la conductibilité des éléments.

Mesures des mouvements des joints de bâtiments : Les mouvements des joints et les températures des matériaux ont été mesurés sur deux bâtiments construits avec des éléments préfabriqués (fig. IX).

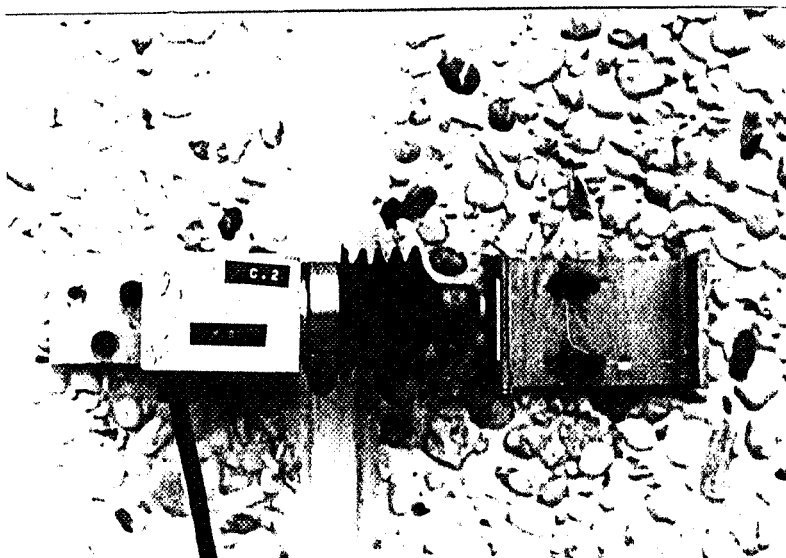


Fig. IX - Positionnement des capteurs de déplacement pour la détermination des glissements latéraux d'un élément par rapport à l'autre.

Des mesures, il est apparu :

- un bon rapport entre la température de l'air et celle du béton ; en période froide, la température du béton est à peine supérieure à celle de l'air ; par ensoleillement, la couleur du béton joue un rôle : le béton "blanc" aura une température plus basse que l'air, le béton "foncé" peut atteindre une température sensiblement plus élevée.
- la valeur moyenne des mouvements réels de joints est proche de la valeur calculée : il y a cependant de grands écarts dans les mouvements individuels, par rapport à la moyenne. Ceux-ci s'expliquent surtout par un ancrage non uniforme des éléments aux bâtiments.
- il existe un grand écart (dans les cas mesurés, 8 à 10 fois) entre la vitesse moyenne avec laquelle les joints s'ouvrent ou se ferment, et la vitesse réelle. La plus grande vitesse se produit à la fermeture (réchauffement plus rapide que le refroidissement des éléments) et s'élève dans un hall de sport) jusqu'à 3 mm/h de mouvement réel par rapport à 0,3 mm/h de mouvement moyen, ceci parce que le mouvement se produit en même temps que des "chocs" (chaque fois après avoir vaincu les frottements).
- là où on observe une grande dispersion des mouvements de joints, il y a une dispersion encore plus grande des largeurs de joints. Ces dernières sont esthétiquement nuisibles, mais elles ont souvent pour conséquence dans le cas de petites ouvertures, un plus grand mouvement relatif de joints (rapport entre mouvement et ouverture) et des dégâts.

2.5. Evaluation globale du bâtiment

Lors de cette évaluation, l'étanchéité des façades (et des toitures) a joué naturellement un rôle important ; c'est pourquoi nous renvoyons au rapport proprement dit "évaluation globale".

3. ETANCHEITE DES TOITURES

3.1. Contrôle du revêtement d'étanchéité avec le matériau support

Problème : Le matériau-support du revêtement d'étanchéité est fréquemment un panneau isolant en matière organique qui est susceptible de modifications dimensionnelles appréciables soit sous l'action des variations de température, soit sous d'autres influences telle l'humidité, soit sous des contraintes résiduelles internes ou qui se développent au cours du vieillissement. Il se crée ainsi entre ce matériau et la chape d'étanchéité qui se trouve collée sur sa surface, des contraintes qui se traduiront éventuellement par des désordres dans l'un ou l'autre de ces éléments de construction. Lorsque la composition du système de couverture d'étanchéité présente une résistance mécanique insuffisante par rapport aux sollicitations que lui applique le matériau-support, il y a rupture et désordre d'étanchéité.

L'étude ne s'attache pas à déterminer l'amplitude des mouvements ni la valeur des modules de déformation qui permettraient la détermination de niveaux de contrainte développés par les différents matériaux utilisés sous forme de panneaux ou de dalles et servant de support aux couvertures d'étanchéité. Ces grandeurs sont censées être déterminées et fournies par leurs fabricants respectifs.

La présente étude s'attachait à la conception d'une machine pour déterminer quels sont les niveaux de contrainte mécanique supportable par les systèmes de chape multicouche communément mis en oeuvre sans que n'apparaissent des phénomènes de fatigue et de rupture.

Le but poursuivi est de permettre au moment de la conception de l'ouvrage de porter le choix sur un système d'étanchéité multicouche dont les propriétés mécaniques sont situées suffisamment au-delà des sollicitations que pourraient créer les matériaux du support.

Les mesures expérimentales proposées ci-après ne s'effectuent donc pas sur des systèmes complets dans lesquels des matériaux isolants de diverses natures seraient associés à diverses compositions de chape multicouche. Elles se limitent à appliquer à une variété de compositions de chapes multicouches des tensions répétées croissantes dans différentes conditions de température et de constater à partir de quelle valeur ces chapes accusent des mouvements, des déformations, des plissements qui pourront ensuite, par effet d'aggravation et de fatigue, engendrer des ruptures.

Machine d'essai : La détermination des limites des tensions tolérées entre les deux éléments se fait au moyen d'une machine d'essai réalisée pour ce but. Les échantillons (1 x 2 m) sont collés sur deux plaques alignées de 1 x 1 m chacune. Il y a un joint entre les plaques simulant le joint entre les plaques d'isolation. L'échantillon recouvre donc ce joint et est soumis à toutes les charges qu'on applique sur les plaques. Une plaque est fixe et l'autre amovible dans le plan des plaques.

Les charges imposées ou les mouvements imposés sont réalisés par un vérin de 5 t. La vitesse de mise en charge peut atteindre 750 mm/min.

Il est possible de réaliser des pulsations (alternativement traction et compression). Ce mouvement peut être effectué de différentes façons :

- a. par commande manuelle
- b. par limitation de fin de course ; la course maximale étant de 250 mm (il y a d'ailleurs un arrêt automatique chaque fois qu'on dépasse ces limites de déplacement)
- c. par limitation de la force appliquée
- d. par temporisation réglable ; le temps maximal étant de 12h.

La combinaison de b, c et d est possible.

Il est possible de réaliser entre autres :

- a. des essais de rupture en traction
- b. des essais de fatigue
- c. des essais de fatigue sur joints de dilatation.

Le nombre de cycles est compté ; l'appareil peut être arrêté automatiquement à un nombre choisi.

Les déplacements sont mesurés par comparateur ou éventuellement par capteur électrique de déplacement et enregistrement.

La fabrication de cette machine d'essai était terminée seulement à la fin de la période de recherche ; des essais sur des revêtements multicouche commenceront directement au début de la période de recherche suivante.

3.2. Délaminage des panneaux isolants sous les suctions dynamiques répétées du vent

Problème : Dans le cas des couvertures monocouches et multicouche, on rencontre parfois des dégâts dus au pelage (rupture de l'adhérence ou de cohésion) du panneau isolant suite aux suctions dynamiques répétées du vent sur la toiture. Ce problème se pose surtout au endroit des ondulations et de l'étanchéité des joints entre panneaux d'isolation.

Le but de cette partie de la recherche était la mise au point d'une méthode d'essai de vérification du danger de délamination de l'isolant de la toiture sous ces suctions dynamiques répétées du vent.

Essai : On soumet un échantillon de toiture (2x1m), en laboratoire, aux actions simulées du vent. Les joints entre panneaux isolants et les ondulations, étant des points faibles dans la toiture, sont prévus dans l'échantillon de toiture pour l'essai ; dans le cas de matériaux isolants sensibles à l'humidité, ceux-ci sont en même temps climatisés à une humidité relative de 80%.

Sur l'échantillon de la toiture comportant un élément porteur (panneau en bois multilaplex, ou éléments métalliques) et 4 panneaux d'isolation en général de 50 x 100 cm et dont les joints forment une croix, on colle, selon les prescriptions du fabricant, le revêtement de toiture. On prévoit à la hauteur du joint de 2 m de longueur, un pli de 3 cm de largeur et 1,5 cm de hauteur. Ce pli est obtenu au moyen d'une latte demi-ronde en bois ; cette latte est enlevée après placement du recouvrement.

On place sur cette toiture un caisson étanche d'environ 1x2 m. Le revêtement de la toiture est replié et fixé contre les bords du caisson. Ce caisson est connecté sur un ventilateur, qui peut générer les dépressions pulsantes (0,5 Hz) nécessaires.

Les sollicitations suivantes sont appliquées :

- 500 x de 0 à 100 kg/m²
- 500 x de 0 à 200 kg/m², et en montant chaque fois de 100 kg/m², jusqu'à
- 500 x de 0 à 1000 kg/m².

On contrôle le comportement de la toiture pendant et après chaque cycle; l'essai est arrêté après constatation de dégâts.

L'échantillon est observé au point de vue pelage, fissuration et décollement. Après l'essai, on découpe l'échantillon pour déterminer l'endroit où il y manque d'adhérence.

Les revêtements et les isolants ont été proposés par le Comité de Recherche ; on a choisi des matériaux couramment utilisés en pratique et dont on connaît le bon ou le mauvais comportement en réalité, ceci dans le but de pouvoir comparer les résultats des essais avec les constatations faites "in situ".

Les essais ont été effectués sur 18 combinaisons de revêtements d'étanchéité - panneau isolant (élément porteur). Les dégâts au pêlage constatés en laboratoire correspondaient bien à ceux rencontrés en toiture.

3.3. Comportement sous l'action du soleil et de la pluie des revêtements d'étanchéité

Par suite de la grande sollicitation thermique d'un recouvrement d'étanchéité posé sur un matériau isolant, ses propriétés peuvent changer rapidement.

Le contrôle de ce comportement consiste à exposer des bardeaux asphaltiques (shingles) à des cycles de chauffage et d'arrosage. Un cycle dure 24h et est composé de 8h de chauffage à 75°C suivi de 16h d'arrosage à l'eau à 8°C environ.

Des essais ont été réalisés sur 3 types de toitures qui avaient posé des problèmes en réalité (dégradations en surface) ; après environ 7 cycles, ces mêmes dégradations sont survenues lors cet essai relativement simple en laboratoire.

3.4. Etanchéité des toitures inclinées

Il n'existe pas de méthodes normalisées pour vérifier l'étanchéité à l'air et à l'eau des toitures inclinées recouvertes de tuiles, ardoises,... et l'influence de la pente de ces toitures sur l'étanchéité à l'eau.

Deux méthodes d'essai ont été étudiées :

- a. La pression statique exercée sur la toiture qui se trouve dans un caisson étanche (ce qui permet de mesurer l'étanchéité à l'air) et dans lequel on arrose l'échantillon.

L'essai permet de mesurer l'étanchéité à l'air, mais ne donne pas de résultats valables concernant l'étanchéité à l'eau :

L'influence positive de la rugosité de la couverture et de la turbulence locale du vent qui empêche la pénétration des gouttes dans les joints n'est pas obtenue par cet essai.

- b. Essai dynamique : Cet essai est réalisé par un vent rasant (≈ 70 km/h) appliqué de bas en haut sur l'échantillon qu'on arrose (fig. X).

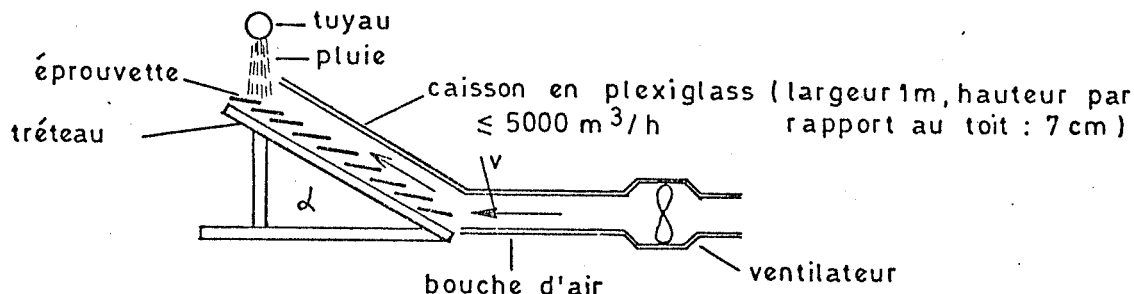


Fig. X - Contrôle de l'étanchéité à l'eau des toitures inclinées.

La combinaison des deux systèmes semble la plus réaliste.

1. DE DICHTHEID VAN GEVELS.

Inhoud.

	<u>Blz.</u>
1.0. <u>Inleiding</u>	33.
1.1. <u>Studie van de wind en de regen</u>	35.
1.1.1. Metingen in het vrije veld	36.
1.1.2. Slagregenmetingen op gebouwen	62.
1.1.3. Winddrukmetingen op gebouwen	78.
1.2. <u>Meting van de dichtheid in het laboratorium</u>	81.
1.2.1. Simulatie van de wind	81.
1.2.2. Simulatie van de regen	83.
1.2.3. Proefmuur	84.
1.2.4. Aanvulling van de evaluatiemethoden en van de bestaande kriteria op gebied van luchtdoorlaat van vensterramen door luchtdoorlaatmetingen bij buitentemperaturen ver- schillend van de binnentemperatuur.	87.
1.2.5. Onderzoek van verschillende sproeisystemen gebruikt bij waterdichtheidsproeven	100.
1.2.6. Afdichting van draineeropeningen tegen regenwater	119.
1.3. <u>Metingen van de dichtheid in situ</u>	124.
1.3.1. Algemeen	124.
1.3.2. Meetsystemen	124.
1.3.3. Meetresultaten	127.
1.3.4. Bepaling van de equivalente opening	140.
1.3.5. Besluiten	141.
1.4. <u>Voegbewegingen</u>	142.
1.4.1. Algemeen	142.
1.4.2. Proefgebouwen	142.
1.4.3. Meetapparatuur	143.
1.4.4. Meetresultaten	144.
1.4.5. Besluiten	158.
1.5. <u>Globale beoordeling van een gebouw</u>	167.

1.0. Inleiding.

Het belang van de dichtheid van gevels.

De dichtheid tegen water en wind van gevels beïnvloedt het comfort en het energieverbruik in de gebouwen in sterke mate; bovendien wordt de duurzaamheid van een gevel grotendeels bepaald door zijn waterdichtheid.

Het is dus nodig zo veel mogelijk gegevens in te winnen over de factoren die op het gebouw inwerken, zoals de regen en de wind, en deze factoren in het laboratorium te laten ingrijpen op de proefelementen voor de controle van hun prestaties.

De resultaten van de laboratoriumproeven moeten in de mate van het mogelijke vergeleken en vervolledigd worden met de resultaten van metingen op de bouwplaats.

De proeven die in de voorbije twee jaar werden verricht aangaande de dichtheid van gevels en de proefresultaten worden in dit verslag behandeld.

Het speurwerk.

In tegenstelling met het proefprogramma over daken (§ 2) dat volledig nieuw is, hebben wij bij de gevels naast nieuwe punten (winddrukmetingen, metingen van de dichtheid in situ) punten die reeds tijdens de vorige proefperiode aanvingen.

Het essentiële van de punten die reeds tijdens de vorige proefperiode liepen wordt in dit verslag herinnerd; voor de details wordt verwezen naar het IC-IB-eindverslag van mei 1975 "Dichtheid van Gevels".

Het speurwerk over dichtheid van gevels omvat volgende onderwerpen :

- een studie van de werking van wind en regen op gevels. Dit omvat een studie van klimaatgegevens van het K.M.I. d.m.v. de ordinator en metingen van de slagregen en winddruk op gebouwen. Het onderzoek bestaat erin zoveel mogelijk gegevens te verzamelen omtrent de werking van regen en wind en andere weersfactoren op gebouwen met het oog op de reproductie in het laboratorium en in situ op profelementen waarvan men de eigenschappen (voornamelijk lucht- en waterdichtheid) wenst te evalueren;
- de bouw van proefposten voor voornoemde simulatie van wind en regen;
- de meting van de wind- en waterdichtheid van gevels in situ. Een voordeel hiervan is dat vensters en gevelelementen in hun werkelijke omgeving getest worden;
- de meting van de voegbewegingen. Voegbreedten en voegbewegingen werden op twee zware prefab (beton) gebouwen gemeten, vooral in functie van de temperatuurschommelingen. Zij worden vergeleken met de berekende bewegingen.

De studie van de wind en de regen geschiedt in samenwerking met het Koninklijk Meteorologisch Instituut. Voor de oppuntstelling van de proefposten en evaluatiemethoden wordt samengewerkt met het Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Rijksuniversiteit Gent.

De uitvoering.

Bij de uitvoering van het speurwerk hebben wij beroep kunnen doen op verschillende kollega's die wij hier graag danken, voornamelijk ir. D. Soubrier die ingestaan heeft voor de ordinatorverwerking van de klimatologische gegevens, ing. J. Van de Schoot die de slagregen- en winddrukapparatuur ontwierp en de technici J. Seghers en L. Droz die voor de praktische uitvoering zorgden.

Tenslotte danken wij graag de voorzitters en leden van de twee onderzoekskomitees, waarbij wij vooral aan ir. P. Rousseau (+) denken voor de bijzondere interesse die hij steeds voor onze werkzaamheden betoonde en de raadgevingen die wij van hem mochten ontvangen.

1.1. Studie van de wind en de regen.

Om de afdichting van een gevel op punt te stellen en om eventueel de kwaliteit van de afdichting van die gevel werkelijkheidsgetrouw te kunnen testen in het laboratorium moet men zo goed mogelijk weten hoe wind en regen op het gebouw inwerken.

Voor het verkrijgen van kwantitatieve gegevens over wind en regen werd er gewerkt op twee verschillende vlakken nl. de verwerking met behulp van de ordinator van gegevens van het K.M.I. (Koninklijk Meteorologisch Instituut - Ukkel) en slagregen- en winddrukmetingen op gebouwen.

De aanvulling van de klimatologische gegevens met metingen in situ is noodzakelijk : de botsing van de wind en de regen met de gebouwen is immers een ingewikkeld gebeuren zodat de slagregen niet eenvoudig kan worden afgeleid uit de kennis van regen en wind.

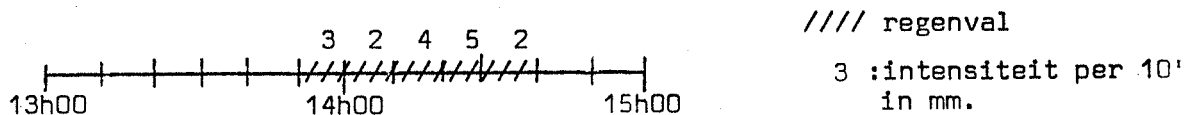
1.1.1. Metingen in het vrije veld

1.1.1.1. Inleiding

De metingen in het vrije veld betreffen deze van Ukkel voor "statistische verwerking" (§1.1.1.2. - 1.1.1.5.) en deze van het proefstation van het W.T.C.B. (§ 1.1.1.7.) ter vergelijking met de slagregen en winddruk die opgemeten werd op proefgebouwen.

Voor de statistische verwerking werden de resultaten van de metingen gedurende 15 jaar (1931 - 1945)(*) te Ukkel (K.M.I.) behandeld. Het feit dat het hier gaat om metingen van meer dan 30 jaar geleden is onbelangrijk : het is immers enkel de bedoeling uit het verleden af te leiden wat voor de toekomst normalerwijze te verwachten is.

De beschikbare gegevens van regen en wind (Ukkel) zijn deze die gemeten zijn per uur voor de regenval en per 2 uur voor de windsnelheid en richting. Het zijn gemiddelde waarden gedurende 60' of 120' en dit telkens tussen "officiële" uren (b.v. 13h00 - 14h00 of 12h00 - 14h00) ; dit laatste brengt mee dat men niet beschikt over b.v. de zwaarste regenval gedurende 60' :



Voor 13-14h00 zal men 3 mm regenval vinden en voor 14-15h00 13 mm, daar waar de zwaarste regenval op 60 min. (hier in feite 50') 16 mm bedroeg.

Het voorgaande is minder belangrijk voor de wind die niet snel wisselt in de tijd, maar is wel meer vervelend voor de regen die "grilliger" is. Als men rekening houdt met deze tekortkoming is het nochtans mogelijk gebleken een massa interessante informatie te verzamelen over de slagregen, nl. voor de regenval ≥ 5 mm/h, de windsnelheid ≥ 40 km/h, de verschillende windrichtingen en voor het produkt "wind x regen" (slagregen) ≥ 75 m²/h².

1.1.1.2. De regenval ≥ 5 mm/h

Voor de regenval met intensiteit van minstens 5 mm/h werden per jaar volgende gegevens verzameld :

- de hoeveelheid regen die gedurende het uur, gevallen is (PLUIE MM)
- de datum waarop en uur voor hetwelke de bui (≥ 5 mm/h) werd genoteerd (DATE, H)
- de windsnelheid en richting tijdens deze hevige regenval (VENT - KM/H, OR)
- de slagregen (PLUIE X VENT) tijdens de hevige regenval (H), het uur voordien (H-1) en het uur nadien (H+1).

(*) Tot nog toe zijn enkel de resultaten 1931 - 1960 onder een voor ordinateuren bruikbare vorm beschikbaar. Men hoopt deze informatie te vervolledigen tot 1975. Sinds de redactie van dit verslag werden de resultaten tot 1960 verwerkt ; deze zullen later worden gegeven.

Tabel 1 geeft een voorbeeld voor het jaar 1945.

Tabel 1 - LIMITE INF. PLUIE EN MM: 5					Jaar 1945		
PLUIE MM	DATE	H	VENT KM/H	OR	PLUIE H-1	X VENT H	M2/H2 H+1
8.8	20. 5.45	17	17.5	SW	0.0	154.0	0.0
9.6	28. 5.45	24	7.5	SE	0.0	72.0	11.4
5.5	1. 6.45	15	10.5	S	0.0	57.8	0.0
6.0	22. 6.45	3	9.5	WNW	0.0	57.0	0.0
10.0	26. 7.45	17	33.0	NE	0.0	330.0	366.3
11.1	26. 7.45	18	33.0	NE	330.0	366.3	0.0
6.7	10. 8.45	3	14.0	WNW	46.8	93.8	82.6
5.9	10. 8.45	4	14.0	WNW	93.8	82.6	124.6
15.7	30. 8.45	7	8.5	NE	11.1	133.5	62.1
7.3	30. 8.45	8	8.5	NE	133.5	62.1	158.4
9.9	30. 8.45	9	16.0	NW	62.1	158.4	28.8

Tijdens de jaren 1931 - 1945 kwamen er 125 regenbuien voor met een intensiteit ≥ 5 mm/h ; 20 met ≥ 10 mm regen/h en 5 met ≥ 15 mm/h. Deze 5 laatste worden in tabel 2 gegeven.

Tabel 2 - Regenbuien met intensiteit ≥ 15 mm/h (1931 - 1945)							
Regenval mm/h	Datum	h	Wind		Slagregen m ² /h ²		
			km/h	or	h-1	h	h+1
29,1	21.7.43	12	7,5	SW	0,0	218,3	80,3
20,6	10.7.42	21	10,5	SW	0,0	216,3	0,0
19,4	10.7.42	24	19,5	WNW	0,0	378,3	143,4
18,3	23.9.32	15	12,5	SSW	1,3	228,8	22,5
15,7	30.8.45	7	8,5	NE	11,1	133,5	62,1

Een samenvatting van de omstandigheden waarin regenbuien met een intensiteit ≥ 10 mm/h en ≥ 5 mm/h voorkomen vindt men terug in de tabellen 3 en 4.

Aangaande tabel 3^(*) - regenval > 10 mm/h kan men het volgende zeggen :

- er zijn jaren (5 op 15) waarin geen regenval ≥ 10 mm/h voorkomt, daar waar dit in andere jaren 3 maal voorkomt ;
- de hevigste regenval bedroeg 29,1 mm/h (juli 1943) ; het aantal regenbuien ≥ 10 mm/h was 20 daar waar er 105 buien waren met intensiteit tussen 5 en 9 mm/h ;

(*) Voor de interpretatie van deze samenvattende tabellen maakte men ook gebruik van de gedetailleerde jaartabellen. Van deze laatste werd enkel 1945 als voorbeeld gegeven.

Tabel 3 - Regenval ≥ 10 mm/h voor de periode 1931 - 1945

Jaer	Regen mm/h				Wind km/h					Windrichting + snelheid (kr/h)																	
	10 a 14	15 a 19	20 a 29		0 a 9	10 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	E	ESE	SE	SSE	S	SSS	SS	MS	MSM	M	MNM	MN	MNN	N	NNE	NE	ENE	CALEME
1931	3x	-	-	-	1x	1x	1x	-	-	5	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	19/7	-	23	-	-	-
1932	1x	1x	-	-	1x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1933	2x	-	-	-	1x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1934	1x	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	9	11	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1936	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1937	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1938	1x	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	17	-	14	-	-	-
1939	3x	-	-	-	1x	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1941	1x	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1942	-	1x	1x	-	2x	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1943	1x	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1944	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1945	2x	1x	-	-	1x	-	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33/9	-	-	-
15 jaar	15x	3x	2x	-	9x	8x	1x	2x	-	1x	-	-	1x	2x	1x	3x	1x	1x	-	1x	1x	2x	1x	5x	-	-	-

Tabel 3 - Regenvol 10 mm/h voor de periode 1931 - 1945 (vervolg.)

Jaar	Maanden								Uren										Slagregen				Duur (h)		
	1-2	3-4	5	6	7	8	9	10-12	1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 14	15 16	17 18	19 20	21 22	23 24	0 100 200 300 99 199 299 399				
																					0 99	100 199		200 299	300 399
1931	-	-	2x	-	-	1x	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	1x	2x	-	2
1932	-	-	-	-	-	1x	1x	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	1x	1x	-	-
1933	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1934	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-
1935	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1936	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1937	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1938	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	-	-	-	-
1939	-	-	-	-	-	1x	1x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	1x	1x	-	-
1940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1941	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	1x	-	-
1942	-	-	-	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	1x	-	2
1943	-	-	-	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-
1944	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x/-	-	-	-	-	-	-	1x/1x	-	-	-	-	-	-
1945	-	-	-	-	-	1x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2x	2
	-	-	2x	1x	8x	5x	3x	-	-	1x/3x2x/-	1x/-	1x/-	1x/-	-	-	1x/-	3x/-	1x/2x/1x/1x/-	12x	5x	6x	3x			

- tijdens de buien > 10 mm/h kan de wind uit praktisch alle richtingen komen, maar meestal komt hij dan uit de 2 hoeken S-SW en N-NE ;
- tijdens deze buien bedraagt de windsnelheid minstens 5 km/h en gaat tot 33 km/h. Hierbij valt het op dat de wind uit S-SW komt steeds 8 à 13 km/h bedraagt, daar waar deze uit N-NE meestal dubbel zo groot is, nl. 14 à 33 km/h ;
- de hevige regenval (> 10 mm/h) vindt men gedurende minder dan 4 maand per jaar vanaf einde mei tot en met half september en dan voornamelijk in de maanden juli en augustus ;
- om 1-2, 8-9-10-11h vond men geen hevige regen. Deze is vooral terug te vinden om 4-5, 17 en 24h ;
- in tegenstelling met de hevige wind (zie verder), gaat deze hevige regen dikwijls gepaard met hevige slagregen : men vindt immers praktisch evenveel slagregens terug bij 0-100, 100-200, 200-300 als 300-380 m²/h² ;
- behalve in 1 geval (1933 - 4,9 mm) vindt men de grootste jaarlijkse slagregenindexen per oriëntatie in deze of volgende tabel (> 5 mm) terug
- de zwaarste slagregenindex was in juli 1942 met volgende opeenvolgende uur-waarden : 0 - 378,3 - 143,4 - 6,1
- hevige regen kwam niet meer dan 2h na elkaar voor ; deze "lang"durige hevige regen betrof meestal ook zware slagregen.

Aangaande tabel 4 (*) - regenval ≥ 5 mm/h kan men het volgende zeggen :

- er is een jaar (1944) met slechts 2 buien ≥ 5 mm/h, daar waar 1932, 17 zulke buien kende ;
- tijdens de buien (≥ 5 mm/h) ligt de windsnelheid meestal tussen 10-20 en 0-10 km/h. Verder neemt de frekwentie van het voorkomen van een bepaalde windsnelheid af met destijging ervan. De maximumwaarde bedroeg 49,5 km/h (dec. 1935) ;
- tijdens deze buien komt de wind uit alle richtingen, maar dan voornamelijk uit zuid tot noord-west ;
- men vindt deze regenbuien vooral terug tijdens de maanden mei tot oktober. In februari-maart komen zij niet voor. Zij komen voor tijdens alle uren van de dag zonder veel onderscheid ;
- de slagregens die met deze buien overeenstemmen liggen meestal tussen 0 en 200 m²/h². Waarden tussen 200 en 378 (maximumwaarde) m²/h² vindt men echter ook regelmatig terug ;
- deze zware regens komen voor tot maximum 3 uur na elkaar.

(*) Voor de interpretatie van de samenvattende tabellen maakte men ook gebruik van de gedetailleerde jaartabellen. Van deze laatste werd enkel 1945 als voorbeeld gegeven.

1.1.1.3. De windsnelheid ≥ 40 km/h

Voor de windsnelheid ≥ 40 km/h werden per jaar volgende inlichtingen verzameld :

- de gemiddelde windsnelheid (≥ 40 km/h) en windrichting gedurende 2 uur (VENT : KM/H, OR)
- de datum waarop de hoge windsnelheid voorkwam en het uur op het einde van de meetperiode (DATE, H)
- de hoeveelheid regen die, gedurende het laatste van de 2 uur zware regen, viel (PLUIE MM/H)
- de slagregen (PLUIE X VENT - M^2 / H^2 -) tijdens de hoge windsnelheid (H), het uur voordien (H-1), het uur nadien (H+1).

Tabel 5 geeft een voorbeeld voor het jaar 1945.

Tabel 5 -		LIMITE INF. VIT. VENT EN KM/H: 40				Jaar 1954	
VENT KM/H	OR	DATE	H	PLUIE MM	PLUIE X VENT H-1	H	M2/H2 H+1
45.0	SSW	18. 1.45	16	0.0	0.0	0.0	80.0
50.0	SSW	18. 1.45	18	2.2	80.0	110.0	34.0
48.5	SSW	18. 1.45	20	0.3	34.0	14.6	0.0
41.5	SSW	18. 1.45	22	0.0	0.0	0.0	0.0
43.0	SSW	18. 1.45	24	0.0	0.0	0.0	8.0
40.0	SSW	19. 1.45	2	0.1	8.0	4.0	14.8
41.5	WSW	19. 1.45	6	0.0	29.1	0.0	22.5
45.0	W	19. 1.45	8	0.9	22.5	40.5	15.0
40.0	S	1. 2.45	8	0.0	0.0	0.0	10.5
42.0	S	2. 2.45	10	0.0	0.0	0.0	0.0
45.0	SSW	2. 2.45	12	0.0	0.0	0.0	0.0
50.0	SSW	2. 2.45	14	0.0	0.0	0.0	0.0
42.5	SSW	2. 2.45	16	0.0	0.0	0.0	0.0
42.5	SSE	8. 2.45	20	1.8	0.0	76.5	32.0
40.0	SSW	8. 2.45	22	1.4	32.0	56.0	18.2
45.5	SSW	8. 2.45	24	0.0	18.2	0.0	0.0
45.0	SSW	9. 2.45	2	0.0	0.0	0.0	0.0
42.5	SSW	9. 2.45	4	0.0	0.0	0.0	0.0
40.0	SSW	9. 2.45	6	0.0	0.0	0.0	67.5
42.5	S	10. 2.45	8	1.3	72.3	55.3	71.3
41.5	SSW	2. 4.45	8	0.0	0.0	0.0	0.0
45.0	E	4.10.45	12	0.0	0.0	0.0	0.0
47.5	SSW	24.10.45	12	0.0	0.0	0.0	0.0
44.0	SSW	25.10.45	18	0.0	0.0	0.0	0.0
46.0	SSW	25.10.45	20	0.0	0.0	0.0	0.0
49.5	SSW	25.10.45	22	1.6	0.0	79.2	148.2
41.5	SW	26.10.45	6	0.0	0.0	0.0	0.0
44.5	SW	26.10.45	8	0.0	0.0	0.0	35.2
44.0	SW	26.10.45	10	0.0	35.2	0.0	0.0
43.5	SW	26.10.45	12	0.1	0.0	4.4	4.2
41.5	SW	26.10.45	14	1.0	4.2	41.5	54.6
45.5	SW	26.10.45	16	0.5	54.6	22.8	0.0
43.5	SW	26.10.45	20	0.8	82.7	34.8	25.5
42.5	SW	26.10.45	22	0.6	25.5	25.5	123.2
43.5	NE	7.12.45	8	0.0	0.0	0.0	0.0
42.5	SSE	17.12.45	18	0.0	0.0	0.0	0.0
40.5	SSE	19.12.45	12	0.0	0.0	0.0	3.6
45.0	SSE	24.12.45	6	0.3	22.5	13.5	11.7
40.0	SW	28.12.45	8	0.3	0.0	12.0	23.7
51.5	SSW	28.12.45	12	0.0	0.0	0.0	0.0
59.0	WSW	28.12.45	14	0.0	0.0	0.0	0.0
50.0	WSW	28.12.45	16	0.0	0.0	0.0	0.0

Tijdens de jaren 1931 - 1945 kwam er, bij regenweer en telkens gedurende één uur, 163 maal een windsnelheid voor van minstens 40 km/h, 15 maal een snelheid van min. 50 km/h en 1 maal een snelheid van meer dan 60 km/h. De 15 windsnelheden van ≥ 50 km/h bij regen worden in tabel 6 gegeven.

Tabel 6 - Windsnelheden van ≥ 50 km/h bij regen (1931 - 1945)							
Wind km/h	Wind orient.	Datum	h	Regenval mm	Slagregen m ² /h ²		
					h-1	h	h+1
61,0	NW	07.04.43	18	0,7	0,0	42,7	33,6
56,0	NNW	07.04.43	20	0,5	33,6	28,0	0,0
55,5	SSW	14.01.34	8	0,1	11,1	5,6	15,6
55,0	NW	07.04.43	16	0,7	33,0	38,5	0,0
52,5	SSW	19.12.43	8	1,5	94,5	78,8	26,3
52,5	S	19.12.43	12	0,5	0,0	26,3	0,0
52,5	SSE	10.12.44	24	0,4	15,8	21,0	39,0
52,0	SSW	12.01.34	12	0,2	52,0	10,4	0,0
52,0	SSW	12.01.34	14	0,2	0,0	10,4	0,0
52,0	SW	25.01.35	12	0,6	15,6	31,2	20,4
51,5	SSW	03.10.38	24	1,3	30,9	67,0	0,0
51,0	WSW	25.01.35	14	2,4	20,4	122,4	19,8
51,0	SSW	17.11.38	18	0,5	0,0	25,5	34,3
50,0	SSW	11.11.40	22	2	100,0	100,0	128,3
50,0	SSW	18.01.45	18	2,2	80,0	110,0	34,0

Een samenvatting van de omstandigheden waarin windsnelheden ≥ 50 km/h en ≥ 40 km/h (in het laatste geval enkel in het geval van regen) voorkomen vindt men terug in de tabellen 7 en 8.

Aangaande tabel 7 - windsnelheden ≥ 50 km/h kan men het volgende zeggen :

- in 1 jaar op 2 (8/15 jaar) komen er windsnelheden voor van ≥ 50 km/h, viermaal bedroeg de snelheid 60 à 70 km/h. In 1943 was er gedurende 26h een windsnelheid ≥ 50 km/h
- in 1 geval op 3 gaat de felle wind (≥ 50 km/h) ook met regen (veel of weinig) gepaard. Daar het gemiddeld 7% van de tijd regent blijkt felle wind dus relatief dikwijls met regen gepaard te gaan ;
- de hevige wind vindt men enkel uit de orientaties SSE t/m NNW ; SSE t/m SSW zijn veruit het belangrijkste ;
- tijdens de maanden juni t/m september zijn er geen sterke winden. Deze zijn voornamelijk te vinden van november tot februari ;
- deze hevige winden komen voor op alle uren van de dag, maar voornamelijk van 8h tot 18h. Ze kunnen tot 10h ononderbroken aanhouden. Ook heeft men 6 uur zware wind met tegelijkertijd regen genoteerd.

Tabel 7 - Windsnelheid ≥ 50 km/h (gemeten per 2 h voor de periode 1931 - 1945)																						
Jaar	Windsnelheid (km/h)				Windrichting								Maanden									
	≥ 50	≥ 60	≥ 70	SS	SS	S	MSS	MS	MSM	M	MNM	MN	MNN	1	2	3	4	5	9	10	11	12
	regen	regen	regen	SS	SS																	
1934	3x	1x	-	-	-	4x	1x	2x	1x	-	-	-	-	4x	-	-	-	-	-	-	-	-
1935	3x	7x	-	-	-	6x	1x	1x	1x	-	-	-	-	2x	3x	-	-	-	-	-	5x	-
1936	-	1x	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-
1938	1x	2x	-	-	-	3x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2x	1x	-
1940	1x	5x	-	-	1x	2x	1x	1x	1x	1x	-	-	1x	-	-	1x	-	-	-	1x	4x	-
1943	5x	8x	-	-	-	3x	1x	-	-	-	-	-	-	4x	2x	-	3x	1x	-	-	-	3x
1944	1x	3x	-	-	-	2x	1x	-	-	-	-	-	-	2x	-	-	-	-	-	-	-	2x
1945	1x	4x	-	-	-	-	3x	-	2x	-	-	-	-	1x	1x	-	-	-	-	-	-	3x
	15x	31x	1x	2x	1x	11x	15x	3x	4x	1x	-	2x	2x	14x	6x	1x	3x	1x	-	3x	10x	8x

Tabel 7 - Windsnelheid ≥ 50 km/h (gemeten per 2 h) voor de periode 1931 - 1945 (vervolg)																						
Jaar	Uren												Slaegregen (mm/h ²)					Duur (h)				
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	0,1	50	100	150		zware wind ≥ 50 km/h				
1934	-	-	-	-	1x	1x	1x	-	-	-	-	-	3x	-	-	-	-	4 h				
1935	1x	-	-	1x	2x	2x	2x	1x	1x	-	-	-	2x	-	1x	-	-	10h, 4h met regen				
1936	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 h				
1938	1x	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	4 h				
1940	1x	1x	1x	-	-	-	-	1x	1x	1x	1x	-	-	-	1x	-	-	3h geen regen				
1943	1x	-	1x	1x	2x	2x	1x	2x	2x	1x	1x	-	4x	1x	1x	-	-	8h, 6h met regen				
1944	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	1x	1x	-	1x	-	-	-	-	4 h				
1945	-	-	-	-	-	1x	2x	1x	1x	-	-	-	-	-	1x	-	-	6h geen regen				
	4x	1x	2x	5x	5x	6x	6x	4x	5x	3x	3x	2x	10x	2x	3x	-	-	tot 10 h				

Tabel 8 - Windsnelheid ≥ 40 km/h (gemeten per 2 h) bij regenweer, voor de periode 1931-1945																									
Jaar	Windsnelheid (km/h) met regen		Windrichtingen met regen										Maanden met regen												
	40-4950-5950-69		SS	SSR	S	MSS	MS	MSM	M	MNM	MN	MNN	1	2	3	4	5	7	9	10	11	12			
	1x	2x	1x	2x	3x	4x	5x	6x	7x	8x	9x	10x	1x	2x	3x	4x	5x	1x	1x	2x	3x	4x	5x	6x	
1931	1x	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1932	10x	-	-	-	1x	3x	1x	1x	-	-	-	-	3x	3x	-	-	-	-	1x	6x	-	-	-	-	
1933	8x	-	-	-	-	2x	3x	-	-	-	-	-	1x	-	3x	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	
1934	13x	3x	-	-	5x	2x	2x	-	-	-	-	-	10x	5x	5x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	
1935	24x	3x	-	-	5x	8x	4x	2x	-	-	-	-	-	9x	-	2x	-	-	1x	2x	4x	-	-	4x	
1936	7x	-	-	1x	1x	3x	1x	-	-	-	-	-	-	3x	-	-	-	1x	1x	-	-	-	-	2x	
1937	4x	-	-	-	1x	1x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1938	6x	1x	-	-	2x	1x	1x	3x	-	-	-	-	-	2x	-	-	1x	-	-	2x	-	-	-	-	
1939	15x	-	-	-	-	3x	3x	1x	1x	1x	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	12x	1x	-	-	
1940	13x	1x	-	-	-	4x	5x	1x	1x	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	2x	10x	1x	-	-	
1941	2x	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2x	
1942	1x	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	4x	
1943	24x	4x	1x	6x	8x	5x	2x	1x	3x	2x	1x	1x	1x	8x	2x	5x	4x	-	2x	-	4x	3x	-	3x	
1944	6x	1x	-	2x	4x	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	3x	-	-		
1945	13x	1x	-	2x	1x	6x	-	-	-	-	-	-	-	3x	3x	-	-	-	-	6x	-	-	2x		
Totaal met regen	147x	15x	1x	2x	26x	44x	35x	24x	11x	5x	3x	1x	39x	18x	10x	10x	5x	1x	5x	20x	35x	19x	-	-	
Zonder regen	247x																								

Tabel 8 - Windsnelheid ≥ 40 km/h (gemeten per 2 h) bij regenweer, voor de periode 1931-1945 (vervolg)

Jaar	Uren met regen												Slagregen m ² /h ²								Duur (h)	
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	0,1	50	100	150	200	250	300	350		
1931	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	2	
1932	1x	1x	-	-	-	2x	-	-	1x	1x	2x	2x	6x	2x	2x	-	-	-	-	-	4	
1933	1x	1x	2x	-	-	2x	-	-	2x	-	-	-	7x	1x	-	-	-	-	-	-	6	
1934	1x	1x	1x	2x	-	3x	2x	1x	-	-	2x	3x	14x	2x	-	-	-	-	-	-	10	
1935	1x	3x	2x	3x	3x	3x	2x	-	1x	1x	4x	4x	22x	3x	1x	1x	1x	-	1x	-	4	
1936	1x	-	-	-	1x	-	1x	-	-	2x	1x	1x	6x	-	1x	-	-	-	-	-	10	
1937	-	-	-	-	-	-	-	2x	1x	1x	-	-	3x	-	-	-	-	-	-	-	6	
1938	-	1x	1x	-	-	-	1x	1x	1x	1x	1x	1x	5x	2x	-	-	-	-	-	-	4	
1939	-	2x	1x	1x	1x	3x	2x	2x	1x	1x	-	2x	8x	5x	2x	-	-	-	-	-	6	
1940	1x	1x	1x	1x	1x	2x	2x	-	1x	2x	2x	-	9x	4x	1x	-	-	-	-	-	4	
1941	-	1x	1x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2x	-	-	-	-	-	-	4	
1942	-	-	-	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	1x	-	-	-	-	-	-	-	10	
1943	1x	3x	2x	4x	2x	3x	3x	3x	1x	4x	2x	1x	20x	8x	-	-	-	1x	-	-	10	
1944	1x	1x	1x	1x	-	2x	-	-	-	1x	-	1x	4x	-	1x	-	1x	-	-	-	6	
1945	-	-	1x	3x	-	1x	1x	1x	1x	3x	3x	-	9x	4x	1x	-	-	-	-	-	6	
Totaal met regen	8x	15x	13x	14x	10x	19x	14x	11x	9x	15x	10x	15x	114x	34x	10x	2x	1x	1x	1x	1x		
zonder regen	x Begin 1934 was er een wind ≥ 40 km/h die 30 - 34 h ononderbroken aanhield.																				x	

* Begin 1934 was er een wind ≥ 40 km/h die 30 - 34 h ononderbroken eschield.

- de hevigste slagregen bedroeg $122,4 \text{ m}^2/\text{h}^2$ (jaar 1935) wat minder dan een derde is van de hoogst gekende waarden (378 - juli 1942). Het is dus duidelijk dat men de zware slagregen niet bij hevige wind moet zoeken. Men kan zich natuurlijk afvragen of bij hevige wind een juiste regenmeting mogelijk is ;

Aangaande tabel 8 - windsnelheden $\geq 40 \text{ km/h}$ bij regenweer kan men het volgende zeggen :

- bij regen was er 163 maal een gemiddelde windsnelheid van minstens 40 km/h . Zonder regen was dit 247 maal met deze minimumsnelheid : dit wil zeggen dat 4 op 10 dergelijke winden ook met regen gepaard gaan ;
- slechts éénmaal kwam er regen voor bij een windsnelheid hoger dan 60 km/h (april 1943 - 61 km/h - $0,7 \text{ mm/h}$) ; tussen 50 en 59 km/h gebeurde dit 14 maal (gemiddeld eens per jaar) en tussen 40 en 49 km/h was dit 147 maal (gemiddeld 10 maal per jaar)); in 1931 en 1942 kwam telkens slechts 1 maal een wind $\geq 40 \text{ km/h}$ voor, daar waar dit in 1943 28 maal was.
- de regenbrengende winden ($\geq 40 \text{ km/h}$) komen meestal uit zuid t/m west. Ze komen nooit uit N t/m ESE
- tijdens de wintermaanden oktober t/m februari zijn er de meeste hevige winden ($> 40 \text{ km/h}$) met regen. In de zomermaanden juni - juli - augustus komen ze slechts uitzonderlijk voor ;
- deze combinatie van regen en hevige wind ($> 40 \text{ km/h}$) komt voor op alle uren van de dag zonder (veel) onderscheid ;
- de slagregen (wind x regen) die met deze hevige winden gepaard gaat, ligt meestal relatief laag ($< 50 \text{ m}^2/\text{h}^2$) ; hij bedraagt zelden meer dan $150 \text{ m}^2/\text{h}^2$ en komt slechts uitzonderlijk tot $300 \text{ m}^2/\text{h}^2$ ($302 \text{ m}^2/\text{h}^2$ in dec. 1935) voor ;
- de combinatie van regen en hevige wind ($> 40 \text{ km/h}$) kan evenwel lang aanhouden, nl. tot 10h zonder onderbreking. De wind $\geq 40 \text{ km/h}$ houdt tot 30h(34h) ononderbroken aan, tijdens deze periode viel er gedurende 8h regen waarvan 6h ononderbroken.

1.1.1.4. De slagregen volgens de verschillende orientaties

Voor de slagregen volgens de verschillende orientaties werden per jaar volgende gegevens verzameld :

- de 3 zwaarste regenbuien gedurende een uur met de wind, de datum en het uur (INT. EXT. PLUIE) ;
- de regenduur^(*) (DUR) en hoeveelheid regen (TOT) uit de verschillende windrichtingen ;
- de zwaarste regenval per uur (EXT) met datum (DATE) en uur (H) per richting ;

(*) hierbij dient gezegd dat elk uur met een meetbare hoeveelheid regen als 1h genoteerd wordt, zelfs al duurde de bui slechts enkele minuten. Er is immers geen meer nauwkeurige informatie beschikbaar.

Uit deze tabellen leidt men voor de 15 observatiejaren per windrichting volgende gegevens af (telkens uiterste en gemiddelde waarden) :

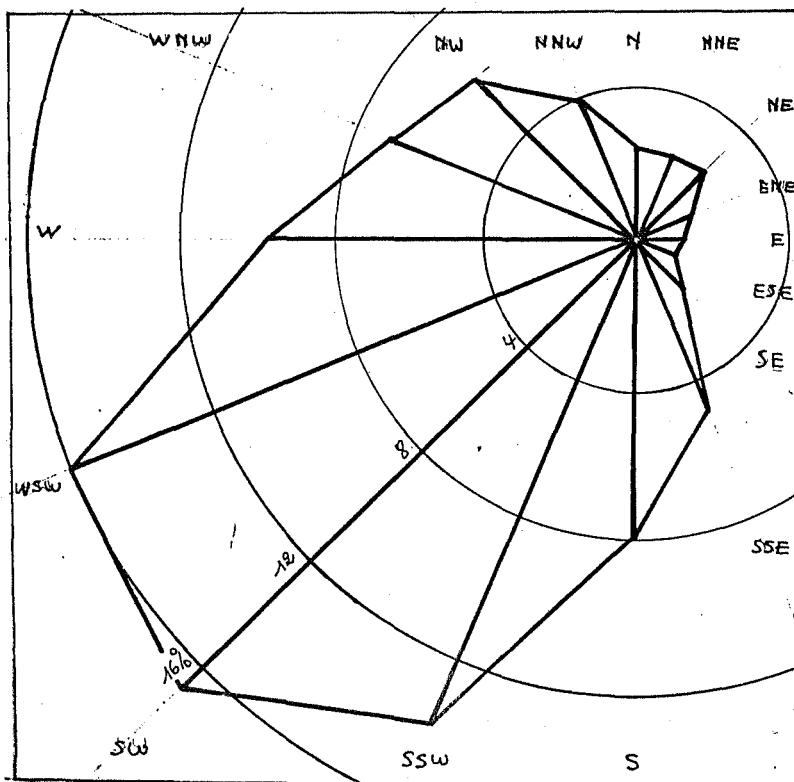
- de duur van de regen
- de regenval
- de zwaarste regenbui per jaar
- de gemiddelde snelheid van de wind tijdens de regen
- de gemiddelde slagregen
- de combinatie van de gemiddelde slagregen per jaar met de gemiddelde regenduur
- de hevigste slagregen.

a) Aantal_uren met regen per jaar volgens de verschillende windrichtingen.

Tabel 10 geeft het aantal uren regen volgens de verschillende windrichtingen per jaar (maximale en minimale gemiddelde waarden).

Tabel 10 - Duur (h) van de regen te Ukkel volgens de verschillende windrichtingen per jaar (1931 - 1945)																		
	CAL	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	TOT
MAX (h)	35	39	45	23	20	27	32	71	132	169	223	184	143	85	82	77	48	
MIN (h)	0	5	10	6	2	1	8	13	46	85	104	85	46	38	18	8	5	
GEM (h)	9	21	22	14	11	10	16	43	68	120	144	140	83	61	51	34	22	869
GEM (%)	1,0	2,4	2,5	1,6	1,3	1,2	1,8	4,9	7,8	13,8	16,6	16,1	9,6	7,0	5,9	3,9	2,5	100

De gemiddelde waarden (%) zijn in afb. 1 voorgesteld ; de maximale waarden liggen 1,5 (voor de hoogste gemiddelden) à 2 maal (voor de lagere gemiddelden) hoger dan de gemiddelde waarden.



Afb. 1 - Gemiddeld aantal uren met regen (%) volgens de verschillende windrichtingen te Ukkel (1931-1945)

Het valt op dat de hoek S tot W veruit gedurende de meeste tijd regen krijgt, nl. 55%.

Het aantal uren tijdens dewelke men regen noteert bedraagt 869 h of 9,9 % (869/365.24). Indien men dit vergelijkt met de werkelijke duur zoals deze genoteerd werd in het eindverslag (mei 1975 - blz.40) 603 uur - 6,9 % (1961-1970) merkt men dat er 3% verschil is; dit verschil is uit te leggen door het feit dat 6,9% de werkelijke duur is van de regen, daar waar in het eerste geval een uur met regen als 60' gerekend werd. Men zou hier kunnen uit afleiden dat gemiddeld gedurende 70% (6,9% en 9,9%) van het uur met regen, regen valt maar de 2 periodes schijnen niet goed vergelijkbaar te zijn (zie b).

b) Hoeveelheid regen per jaar volgens de verschillende windrichtingen.

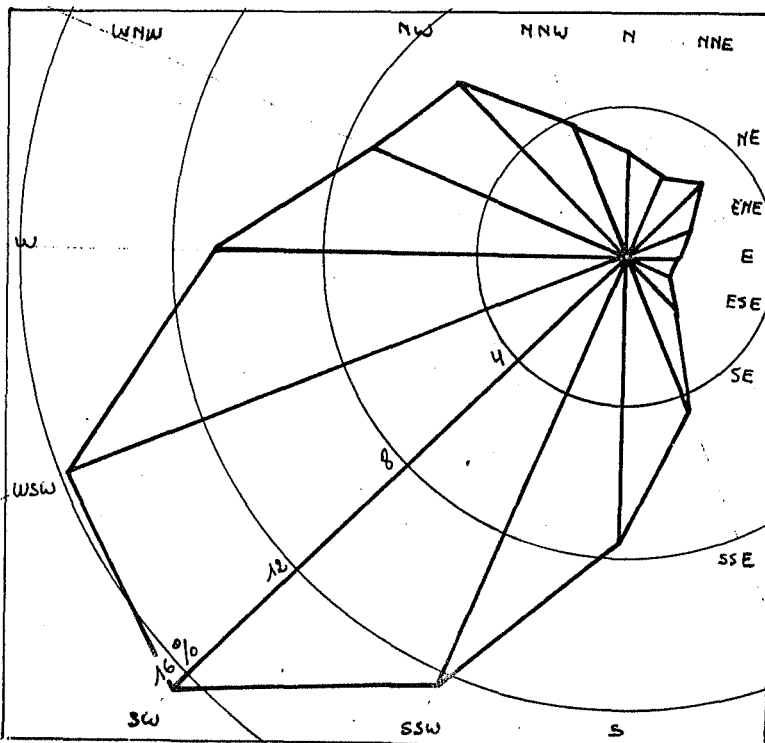
Tabel 11 geeft de hoeveelheid regen (maximale, minimale en gemiddelde waarden) volgens de verschillende windrichtingen.

De gemiddelde waarden zijn in afb. 2 voorgesteld.

Voor de windrichtingen met veel regen bedragen de maximale waarden minder dan het dubbel van de gemiddelde waarden ; bij de windrichtingen met weinig regen is deze verhouding ongeveer 3.

Tabel 11 - Regenval (mm) per jaar te Ukkel volgens de verschillende windrichtingen (1931 - 1945)

	CAL	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	TO
MAX (mm)	36,3	42,2	59,1	30,1	22,5	21,4	43,2	49,1	80,2	115,4	146,2	166,1	125,3	68,4	71,9	69,9	61,5	
MIN (mm)	0	3,0	3,6	2,7	1,9	0,6	2,1	2,6	26,7	27,6	68,9	43,9	31,5	20,3	18,0	8,1	1,3	
GEM (mm)	7,8	14,6	17,9	11,4	8,9	8,1	12,2	28,1	47,8	78,9	105,6	100,6	68,8	46,7	40,7	23,9	17,7	639,7
GEM (%)	1,2	2,3	2,8	1,8	1,4	1,3	1,9	4,4	7,5	12,3	16,5	15,7	10,8	7,3	6,4	3,7	2,8	100



Afb. 2 - Verdeling (%) volgens de verschillende windrichtingen van de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid regen te Ukkel (1931-1945)

Er is een goed verband tussen de regenhoeveelheid en de regenduur per windrichting. Het valt wel op dat de percentages bij de lage waarden iets hoger liggen dan op vorige grafiek en andersom. De hoek S tot W krijgt opnieuw veruit het meeste regen, nl. 53,5 %.

De totale jaarlijkse regenval bedraagt 639,7 mm wat per uur met regen 0,74 mm (639,7 mm/869 h) uitmaakt.

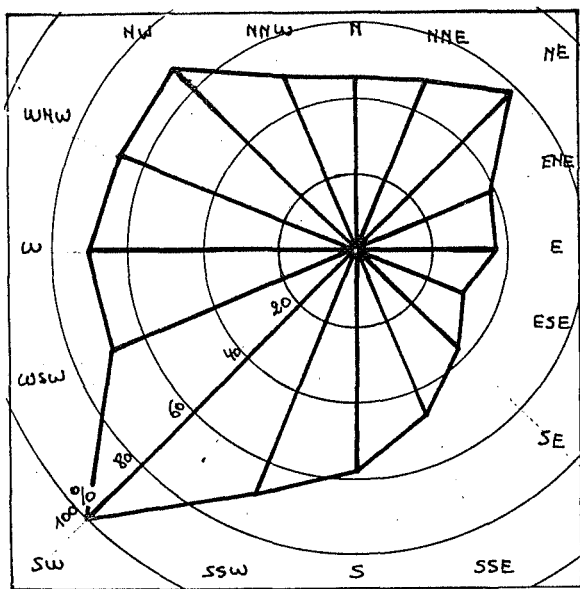
Tijdens de periode 1956-1970 bedroeg de gemiddelde jaarlijkse neerslag 813 mm (vorig eindverslag blz. 40), wat 27% meer is dan de periode 1931-1945

c) De zwaarste regenbui per jaar volgens de verschillende windrichtingen

Tabel 12 geeft de zwaarste regenbui (mm/h) per jaar volgens de verschillende windrichtingen (maximale, minimale en gemiddelde waarden).

Tabel 12 - Zwaarste regenbui per jaar (mm/h) te Ukkel volgens de verschillende windrichtingen (1931 - 1945)																	
	CAL	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	W
MAX (mm/h)	6,5	13,5	15,7	9,7	11,8	6,9	9,6	10,7	11,6	18,3	29,1	11,1	10,7	19,4	10,0	12,8	12,2
MIN (mm/h)	0	1,6	0,7	0,8	0,6	0,2	0,7	0,4	2,0	3,0	3,4	3,8	3,4	2,3	2,3	1,7	0,6
GEM (mm/h)	2,1	4,0	4,7	3,2	3,0	2,5	3,1	3,9	4,8	5,7	8,2	5,7	5,8	5,5	5,5	4,1	3,7
GEM (%)	25,6	48,8	57,3	39,0	36,6	30,5	37,8	47,6	58,5	69,5	100,0	69,5	70,7	67,0	67,0	50,0	45,1

De maximumwaarden liggen minstens 2 à 4 maal hoger dan de gemiddelde waarden. Deze gemiddelde waarden (hoogste waarde = 100%) zijn in afb. 3 voorgesteld.



Afb. 3 - Gemiddelde zwaarste jaarlijkse regenbui per uur volgens de verschillende windrichtingen te Ukkel (1931-1945).

De zwaarste regenval komt voor bij SW-wind, nl. tot 29,1 mm/h ; de andere oriëntaties hebben lagere waarden - minder dan 20 mm/h - gaande tot 30,5% van de hoogste waarde. Het valt op dat bij windstilte enkel zwakke regenval voorkomt.

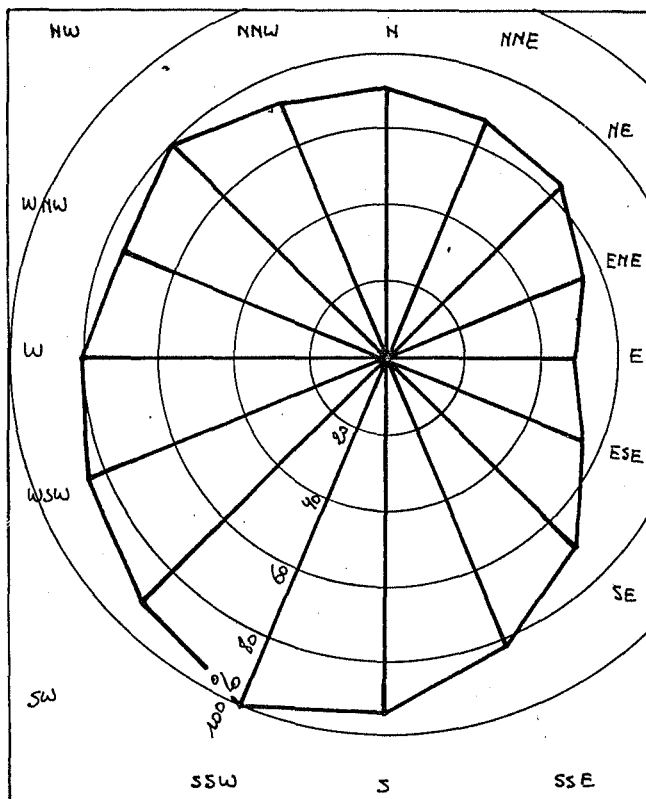
d) Gemiddelde snelheid van de wind volgens de verschillende windrichtingen tijdens regenweer

Tabel 13 geeft de gemiddelde snelheid van de wind (km/h) voor de uren tijdens dewelke er regen viel : maximale, minimale en gemiddelde waarden over 15 jaar.

Tabel 13 - Windsnelheid (km/h) bij regenweer volgens de verschillende windrichtingen te Ukkel (1931 - 1945)																	
	CAL	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
MAX km/h	-	17,9	19,8	18,0	22,6	18,2	21,9	27,1	25,8	25,0	23,1	23,0	21,4	23,9	21,0	21,5	19,6
MIN km/h	-	8,7	8,8	6,8	5,7	8,5	9,1	12,6	15,5	18,1	15,6	14,5	14,6	10,2	10,4	10,4	8,8
GEM km/h	-	14,5	14,0	12,1	10,7	12,1	15,2	17,9	20,3	21,6	19,7	18,3	17,5	16,0	17,2	15,7	15,4
GEM %	-	67,0	64,8	56,0	49,5	56,0	70,4	82,9	94,0	100,0	91,2	84,7	81,0	74,1	79,6	72,7	71,3

De maximale waarden liggen meestal minder dan de helft hoger dan de gemiddelde waarden ; in één geval (E) liggen ze dubbel zo hoog.

Deze gemiddelde waarden (hoogste waarde = 100%) worden in afb. 4 voorgesteld



Afb. 4 - Gemiddelde windsnelheid te Ukkel bij regenweer volgens de verschillende windrichtingen (1931-1945)

Tijdens de regen is de gemiddelde windsnelheid het hoogst uit SSW, nl. 21,6 km/h ; de windsnelheid uit de andere richtingen bedraagt 50 à 91% in vergelijking met SSW.

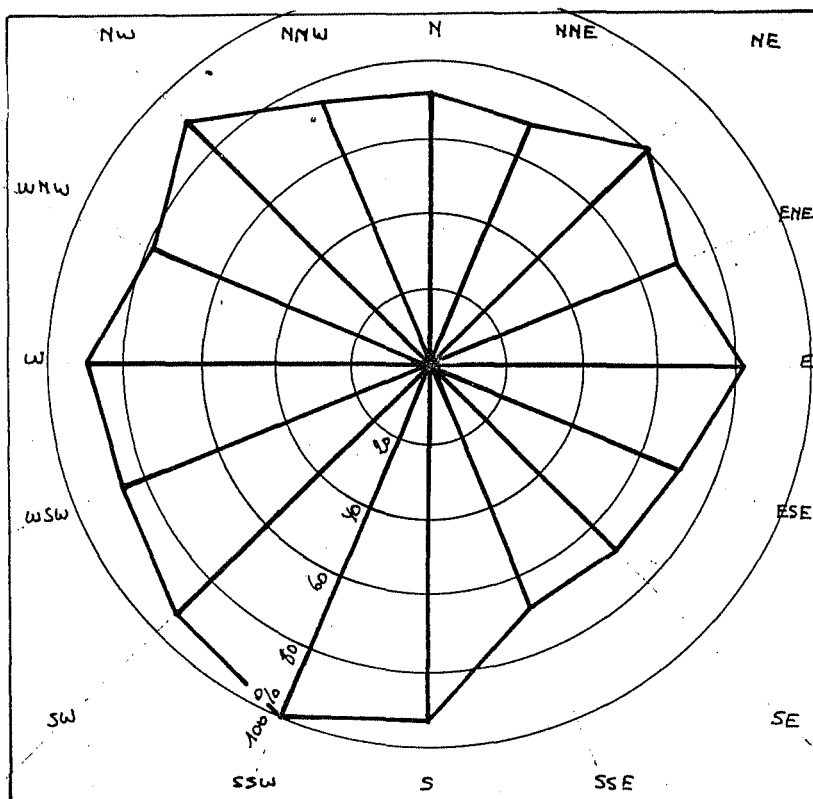
e) Gemiddelde slagregen per jaar volgens de verschillende windrichtingen

Tabel 14 geeft de gemiddelde intensiteit van de slagregen volgens de verschillende windrichtingen (maximale, minimale en gemiddelde waarden).

Tabel 14 - Gemiddelde intensiteit van de slagregen voor de verschillende windrichtingen te Ukkel (1931 - 1945)																
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
MAX m ² /h ²	22,8	50,2	39,7	49,0	37,7	28,1	18,7	18,3	23,4	19,0	23,4	24,0	20,6	22,4	19,9	18,6
MIN m ² /h ²	5,3	3,8	2,5	1,4	1,1	3,8	4,0	9,8	11,9	9,1	8,7	10,7	5,7	7,0	7,4	2,8
GEM m ² /h ²	10,7	12,5	10,7	12,8	11,1	10,7	10,8	14,4	15,5	14,5	13,6	15,2	12,4	14,0	11,6	11,2
GEM %	69,0	80,6	69,0	82,6	71,6	69,0	69,7	92,9	100,0	93,5	87,7	98,1	80,0	90,3	74,8	72,3

De gemiddelde slagregenintensiteit verschilt relatief weinig van de ene windrichting tot de andere : als men de hoogste waarde (15,5 m²/h² uit SSW) gelijk stelt aan 100% bedraagt de laagste waarde bijna 70%.

De gemiddelde slagregenintensiteit per windrichting verschilt zeer sterk van jaar tot jaar tussen N en SSE en veel minder voor de andere richtingen. De gemiddelde waarden (hoogste waarde = 100%) zijn voorgesteld op afb. 5.



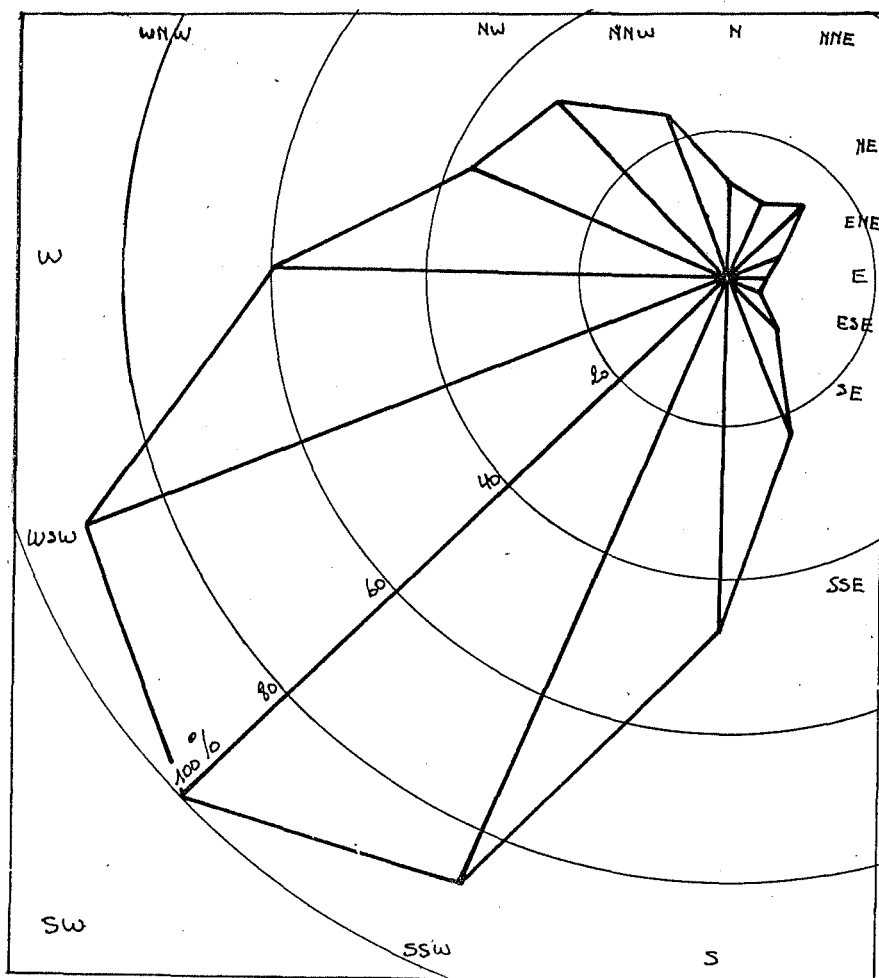
Afb. 5 - Gemiddelde intensiteit van de slagregen voor de verschillende windrichtingen te Ukkel (1931-1945)

f) Kombinatie van de gemiddelde slagregen per jaar met de gemiddelde regenduur per oriëntatie

De combinatie van a) en e) laat toe de hoeveelheid regen te bepalen die theoretisch valt op de verticale vlakken volgens de verschillende oriëntaties gedurende 1 jaar. Tabel 15 geeft deze combinatie voor 15 jaar (maximale, minimale en gemiddelde waarden).

Tabel 15 - Jaarlijkse hoeveelheid slagregen voor de verschillende wind-richtingen te Ukkel (1931 - 1945)																	
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	TO
MAX m ² /h	798	1054	437	441	294	614	1044	1705	2527	3122	4118	2105	1298	1415	1592	686	
MIN m ² /h	69	57	25	15	6	19	12	490	1428	1028	848	538	262	305	172	14	
GEM m ² /h	221	284	144	109	98	195	476	969	1832	2098	1905	1250	771	682	468	273	11802
GEM %	10,5	13,5	6,9	5,2	4,7	9,3	22,7	46,2	87,3	100,0	90,8	59,6	36,7	32,5	22,3	13,0	

Voor de oriëntaties met veel slagregen zijn de maximumwaarden tot 2 maal groter dan de gemiddelde waarden, voor de andere waarden zijn ze 3 - 4 maal groter. De grootste maximumwaarde bedraagt 4118 m²/h (WSW). De gemiddelde waarden worden in afb. 6 voorgesteld (hoogste waarde = 100%).



Afb. 6 - Produkt van de gemiddelde slagregenintensiteit met de gemiddelde duur gedurende één jaar van de slagregen (1931-1945).

De theoretische hoeveelheid regen die op de gevels volgens de verschillende oriëntaties valt, kan uit deze tabellen worden afgeleid : de som van de gemiddelde waarden bedraagt 11.802 m²/h. Dit getal is te delen door 25,2 (valsnelheid druppel - km/h - vorig verslag blz. 14), wat 468 mm geeft als regen op alle vlakken of 73% (468/639,7) van de neerslag op een horizontaal vlak.

g) Hevigste slagregen gedurende een uur per jaar volgens de verschillende windrichtingen.

Tabel 16 geeft een overzicht van de zwaarste slagregen die jaarlijks (maximale, minimale en gemiddelde waarden) volgens de verschillende windrichtingen voorkomen.

Tabel 16 - Hevigste slagregen gedurende één uur per jaar volgens de verschillende windrichtingen (Ukkel 1931 - 1945)																
	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N
MAX m ² /h ²	216,0	366,3	179,5	188,2	67,2	178,6	111,7	262,6	228,8	261,3	275,4	322,0	378,3	158,4	217,6	231,8
MIN m ² /h ²	23,0	12,0	8,4	2,8	1,6	9,4	8,0	54,0	69,8	55,0	58,9	73,2	38,3	40,0	40,5	6,5
GEM m ² /h ²	59,5	84,6	48,9	39,3	27,9	45,3	59,7	115,4	118,8	147,7	126,6	144,8	106,8	83,9	73,7	65,4
GEM %	40,3	57,3	33,1	26,6	18,9	30,7	40,4	78,1	80,4	100,0	85,7	98,0	72,3	56,8	49,9	44,3

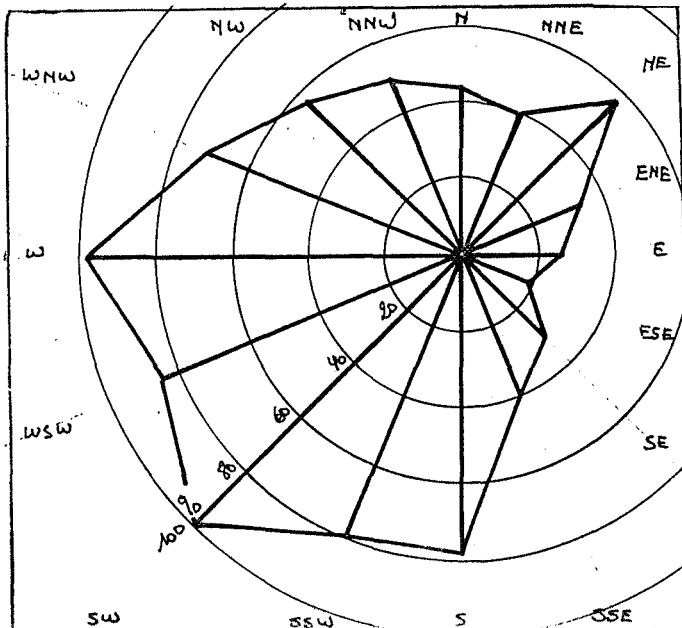
De zwaarste jaarlijkse slagregen (gemiddelde waarde) komt uit het SW en bedraagt 147,7 m²/h² ; de zwaarste slagregen gedurende de periode 1931-1945 kwam echter uit NW (378,3 m²/h²), NE (366,3 m²/h²) en W (322 m²/h²).

Men kan dus zeggen dat de zware slagregen meestal uit de hoek S tot W komt, maar dathij in feite uit alle richtingen kan komen.

De theoretische hoeveelheid regen die bij deze slagregen in een uur op de gevels vallen bedragen dan :

- bij 378,3 m²/h² (WNW) : 15,0 l/m²
- bij 366,3 m²/h² (NE) : 14,5 l/m²
- bij 322,0 m²/h² (W) : 12,8 l/m²

De gemiddelde waarden van tabel 16 zijn in afb. 7 voorgesteld.



Afb. 7 - Gemiddelde zwaarste jaarlijkse slagregen per uur volgens de verschillende windrichtingen te Ukkel (1931 - 1945)

1.1.1.5. De slagregen $\geq 75 \text{ m}^2/\text{h}^2$

Voor de slagregens met waarde $\geq 75 \text{ m}^2/\text{h}^2$ werden per jaar volgende gegevens verzameld :

- de intensiteit van de slagregen ($\text{INDEX M}^2/\text{H}^2$)
- de regen (PLUIE) en de windsnelheid- en richting (PLUIE, VENT) die met de slagregen overeenstemmen, evenals de datum en het uur (DATE, H) waarop hij voorkomt
- de slagregenindex 2 uur (H-2) voor, 1 uur (H-1) voor, 1 uur (H+1) na en 2 uur (H+2) na de eigenlijke index, evenals de eigenlijke index (H)
- de temperatuur tijdens de zware slagregen (T°C).

Tabel 17 geeft een voorbeeld voor 1945.

Tabel 17 - Slagregenindexen $\geq 75 \text{ m}^2/\text{h}^2$											Jaar : 1945	
INDEX M2/H2	PLUIE MM/H	VENT KM/H	OR	DATE	H	INDEX M2/H2					T °C	
						H-2	H-1	H	H+1	H+2	H	
80.0	1.6	50.0	SSW	18.	1.45	17	0.0	0.0	80.0	110.0	34.0	2.9
110.0	2.2	50.0	SSW	18.	1.45	18	0.0	80.0	110.0	34.0	14.6	2.9
131.3	3.5	37.5	S	4.	2.45	8	0.0	63.8	131.3	59.2	11.1	5.1
76.5	1.8	42.5	SSE	8.	2.45	20	0.0	0.0	76.5	32.0	56.0	7.4
77.0	2.8	27.5	SE	11.	2.45	17	30.0	45.0	77.0	88.0	8.3	5.1
88.0	3.2	27.5	SE	11.	2.45	18	45.0	77.0	88.0	8.3	5.5	5.1
80.4	2.4	33.5	S	29.	4.45	6	0.0	0.0	80.4	6.3	3.2	2.8
84.6	4.7	18.0	SW	12.	6.45	19	0.0	0.0	84.6	21.6	0.0	11.5
330.0	10.0	33.0	NE	26.	7.45	17	0.0	0.0	330.0	366.3	0.0	17.7
366.3	11.1	33.0	NE	26.	7.45	18	0.0	330.0	366.3	0.0	0.0	17.7
93.8	6.7	14.0	WNW	10.	8.45	3	38.5	46.8	93.8	82.6	124.6	15.4
82.6	5.9	14.0	WNW	10.	8.45	4	46.8	93.8	82.6	124.6	87.5	15.4
124.6	4.7	26.5	NW	10.	8.45	5	93.8	82.6	124.6	87.5	79.2	16.6
87.5	3.3	26.5	NW	10.	8.45	6	82.6	124.6	87.5	79.2	26.4	16.6
79.2	2.4	33.0	NW	10.	8.45	7	124.6	87.5	79.2	26.4	60.8	16.6
133.5	15.7	8.5	NE	30.	8.45	7	0.0	11.1	133.5	62.1	158.4	16.8
158.4	9.9	16.0	NW	30.	8.45	9	133.5	62.1	158.4	28.8	16.2	15.9
98.9	4.6	21.5	N	5.	9.45	20	0.0	19.4	98.9	36.0	24.0	15.2
79.2	1.6	49.5	SSW	25.10.45	22		0.0	0.0	79.2	148.2	140.4	11.7
148.2	3.8	39.0	WSW	25.10.45	23		0.0	79.2	148.2	140.4	29.0	10.2
140.4	3.6	39.0	WSW	25.10.45	24		79.2	148.2	140.4	29.0	0.0	10.2
82.7	1.9	43.5	SW	26.10.45	19		0.0	30.4	82.7	34.8	25.5	9.9
123.2	3.2	38.5	SW	26.10.45	23		25.5	25.5	123.2	38.5	0.0	9.1
91.8	3.4	27.0	W	2.12.45	18		5.5	10.8	91.8	27.0	15.0	8.8

Tijdens de jaren 1931 - 1945 kwamen er 279 slagregens voor met een intensiteit $\geq 75 \text{ m}^2/\text{h}^2$. De verdeling wordt in tabel 18 gegeven.

Tabel 18 - Aantal slagregens per intensiteit (telkens gedurende 1 uur)							
Intensiteit (m ² /h ²)	75 à 99	100 à 149	150 à 199	200 à 249	250 à 299	300 à 349	350 à 399
1931 - 35	50	35	9	4	2	1	0
Aantal 1936 - 40	52	28	10	2	0	1	0
1941 - 45	50	26	3	3	1	1	2
1931 - 45	151	89	22	9	3	3	2

Voor de 250 slagregens tussen 75 en 149 m²/h² en de 39^(*) slagregens van minstens 150 m²/h² worden windrichting, maand en uur opgezocht (tabellen 19 en 20). De slagregens vanaf 150 m²/h² en de overeenstemmende windrichting worden bovendien ook in grafiek gebracht (afb. 8) ; de slagregens boven 250 m²/h² worden in tabel 21 gegeven.

Tabel 21 - Zwaarste slagregens te Ukkel (1931 - 1945)										
PLUIE MM/H	VENT KM/H	ORIEN- TATION	DATE	HEURES	PLUIE X VENT M ² /H ²					Temp.° H
					H-2	H-1	H	H+1	H+2	
19,4	19,5	WNW	10.07.42	24	0	0	378,3	143,4	6,1	12,6
11,1	33,0	NE	26.07.45	18	0	330,0	366,3	0	0	17,7
10,0	33,0	NE	26.07.45	17	0	0	330,0	366,3	0	17,7
9,2	35,0	W	27.11.39	17	99,0	67,5	322,0	94,5	2,2	9,1
6,1	49,5	W	01.12.35	2	39,2	69,3	302,0	14,0	0	6,3
6,8	40,5	WSW	10.10.35	11	0	0	275,4	226,8	32,9	12,9
5,9	44,5	S	28.09.43	12	7,1	66,8	262,6	12,2	97,2	6,8
7,8	33,5	SW	24.09.35	23	0	39,6	261,3	113,9	101,8	12,3

Uit tabel 19 (slagregen ≥ 75 , < 150 m²/h² - 1931 - 1945) kan worden afgeleid dat slagregen tussen 75 en 150 m²/h² :

- meestal uit SSE tot en met NW en dan voornamelijk SSW tot W komt
 - tijdens alle maanden voorkomt, maar vooral in oktober en november
 - vooral tijdens het 2de deel van de dag (13 tot 24h) voorkomt
 - tot 5 uur na elkaar voorkwam in augustus 1945. Het gedetailleerde verloop ervan is terug te vinden in afb. 9.
- Tijdens deze aanhoudende slagregen evolueerde de wind over 90° tussen SW en NW en viel er ongeveer 46,3 l water per m² op een theoretisch vertikaal vlak.

Uit tabel 20 (slagregen ≥ 150 m²/h² - 1931 - 1945) kan worden afgeleid :

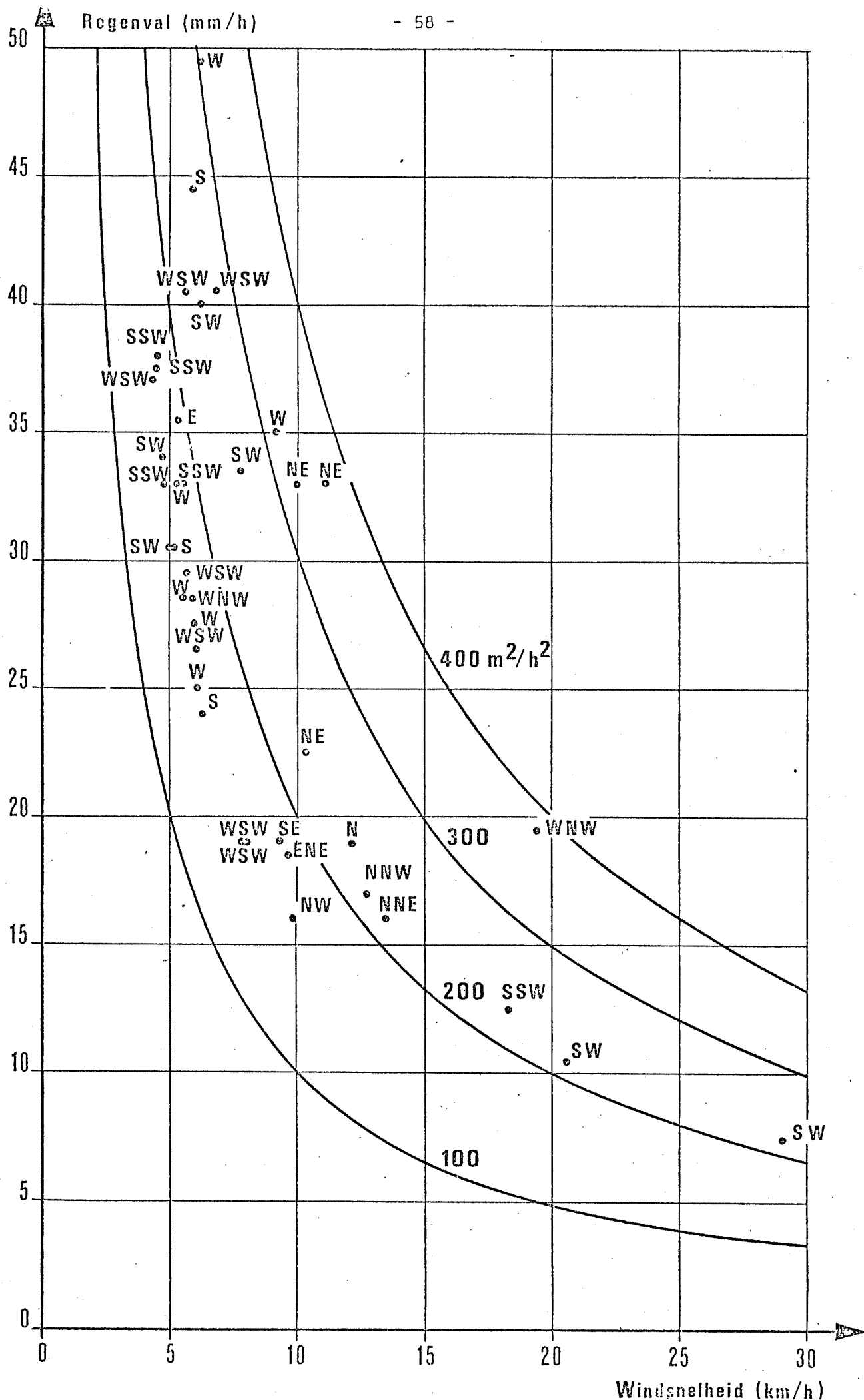
- dat er jaren zijn waarin geen zware slagregen voorkomt (1933 en 1941) en dat er jaren zijn waarin deze meermaals voorkomen (1935)
- dat slagregen ≥ 150 m²/h² uit bijna alle windrichtingen te verwachten is, maar voornamelijk uit S t/m W

(*) Voor de periode 1956 - 1970 noteerde men 45 slagregens ≥ 150 m²/h² (vorig jaarverslag blz. 15)

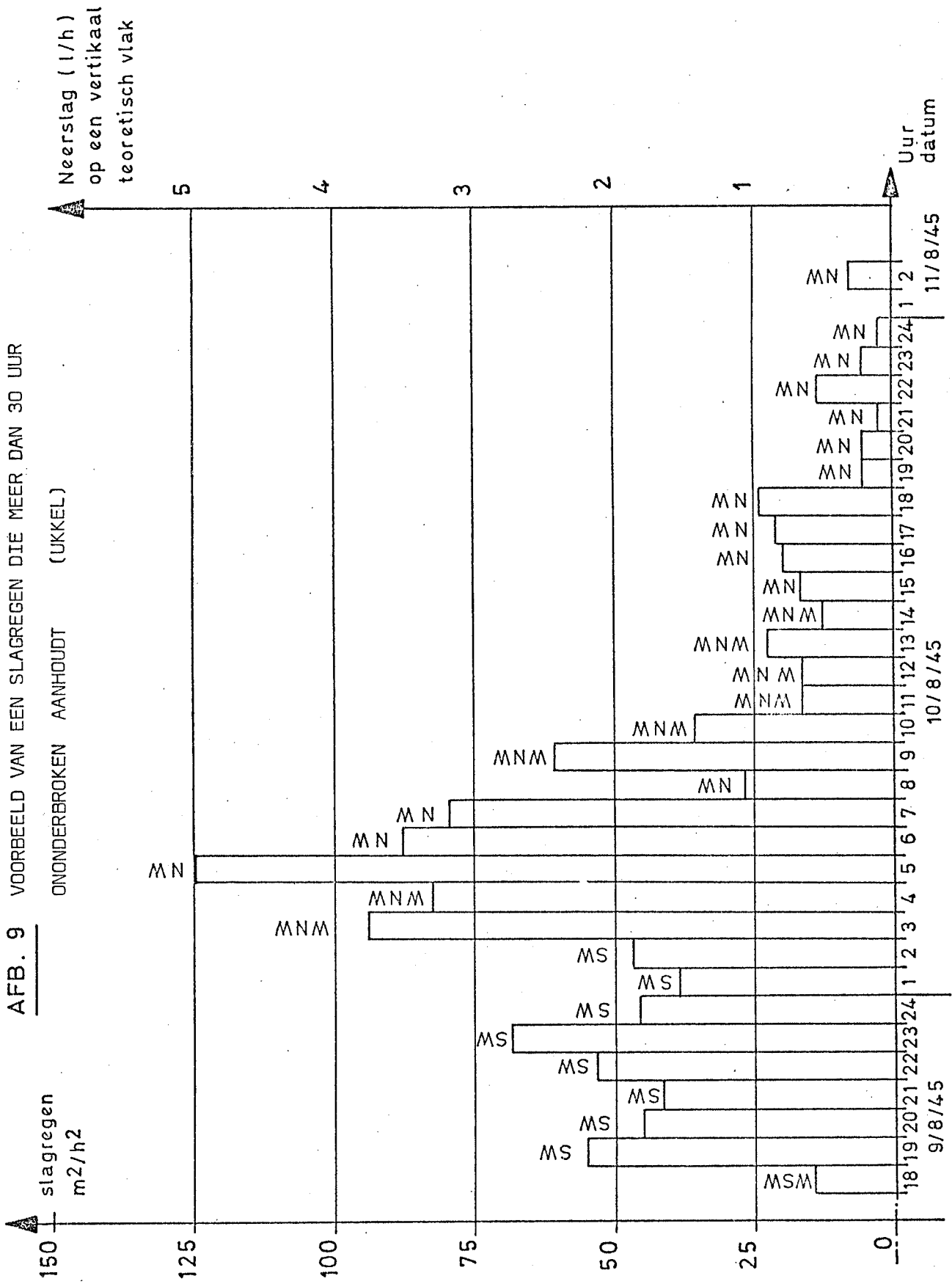
Tabel 19 - Slagregen tussen 75 en 149 m ² /h ² (Ukkel 1931-1945)																													
Jaar	Aantal	Windrichting															Maand												
		E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1931	6	-	-	-	-	-	1	-	1	2	1	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-
1932	18	-	-	-	-	2	6	1	2	4	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	5	10	1	-
1933	21	-	-	-	1	1	4	3	3	3	3	-	2	-	-	-	1	-	-	4	-	2	4	3	1	1	6	-	-
1934	15	-	-	-	-	1	2	3	3	1	-	2	-	2	1	-	-	1	-	3	1	2	2	-	1	1	2	1	1
1935	25	-	-	-	-	3	4	4	10	2	-	1	-	-	-	-	1	2	1	1	4	-	3	-	1	5	5	-	3
1936	14	-	-	-	-	1	3	3	2	3	1	2	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	4	-	-	-	5	2	-
1937	12	-	-	-	-	1	3	3	3	-	1	1	-	-	-	1	-	4	2	1	2	-	1	1	1	-	-	-	-
1938	8	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1	2	1	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	5	-	-
1939	24	-	-	-	-	-	5	6	3	2	3	4	-	-	-	1	-	3	1	1	2	-	-	-	1	1	-	13	2
1940	21	-	-	-	2	2	3	2	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	-	-	1	-	1	1	11	2
1941	14	-	-	-	-	1	4	5	-	2	1	-	1	-	-	-	-	1	-	3	-	-	-	1	3	-	3	-	3
1942	6	-	-	-	-	-	2	2	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	2	-	1
1943	22	1	-	-	4	-	4	2	4	3	3	1	-	-	-	-	-	3	2	-	1	3	-	1	3	3	-	2	4
1944	13	-	-	-	4	-	3	1	1	2	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	4	4	3
1945	21	-	-	2	1	2	3	3	2	1	2	3	-	1	-	1	-	2	4	-	1	-	1	-	6	1	5	-	1
Totaal	240	1	-	2	12	15	47	37	43	29	17	17	5	5	4	4	2	18	13	16	16	10	11	14	18	20	45	39	20

Tabel 19 - Slagregen tussen 75 en 149 m ² /h ² (Ukkel 1931-1945) (vervolg)													
Jaar	Uur												Duur h (> 75 m ² /h ²)
	1/2	3/4	5/6	7/8	9/10	11/12	13/14	15/16	17/18	19/20	21/22	23/24	
1931	-	-	1/1	-	-/1	-	-	-	-/1	-	-/1	-/1	3
1932	-/1	1/1	-/2	-	-	1/1	1/2	1/-	-/2	1/1	1/2	-	3
1933	-	-	2/1	2/-	1/2	2/-	-/1	1/-	-/2	3/1	1/1	1/-	2
1934	2/-	1/1	-/1	-	1/1	-	-/1	-	1/1	-/2	1/-	1/1	2
1935	2/-	1/-	-	-/1	-	1/1	-/4	3/-	-/2	2/-	3/2	2/1	2
1936	-	-/1	-	1/-	-	-/1	1/-	2/2	-	-/1	1/2	1/1	2
1937	-	-	-	-	2/1	1/1	-/1	1/-	1/3	-	-	1/-	3
1938	-	-	-/1	-	-	-	-/1	1/-	1/1	1/2	-	-	3
1939	-/1	1/1	-/1	1/-	1/-	1/1	2/1	2/2	1/2	-/3	2/-	-/1	3
1940	1/-	-	-/1	-/1	2/1	2/-	2/2	1/-	1/1	-	2/2	2/-	3
1941	1/-	1/1	2/2	-	1/1	-/1	-/1	1/-	-	-	-/2	-	2
1942	1/-	-	-	-/1	-	-	-/2	-	1/-	-/1	-	-	-
1943	-	1/-	-	2/1	-	-/1	5/3	2/1	1/1	1/1	-/1	-/1	2
1944	-	-/1	-	1/-	1/1	-	-/1	1/1	1/1	-/1	1/-	1/1	2
1945	-	1/1	1/2	2/1	-	-	-	-	2/3	2/2	-/1	2/1	5
Totaal	7/2	7/7	6/12	9/5	9/8	8/7	11/20	16/6	10/20	10/15	12/14	11/8	

zijn oriëntatie voor de slagregens hoger dan $250 \text{ m}^2/\text{h}^2$
te Ukkel gedurende de periode van 1931-1945



AFB.8. Betrekking tussen de regenintensiteit en de windsnelheid met
zijn oriëntatie voor de slagregens hoger dan $250 \text{ m}^2/\text{h}^2$
te Ukkel gedurende de periode van 1931-1945



- dat deze slagregen tijdens alle maanden van het jaar voorkomt maar vooral tijdens de 6 laatste maanden van het jaar
- dat deze slagregen - zonder veel onderscheid - tijdens alle uren van de dag voorkomt
- dat deze zware slagregen 3 uur na elkaar kan aanhouden.

Wat de temperaturen tijdens de slagregen betreft, valt het op dat deze dicht bij de voor de maand gemiddelde luchttemperatuur liggen; wel zijn ze eerder hoog in de winter ($>$ gemiddelde luchttemperatuur) en eerder laag in de zomer ($<$ gemiddelde luchttemperatuur).

Men heeft ook nagegaan hoe de temperatuur stijgt of daalt voor en na een slagregen. Men konstateerde zowel temperatuursverhogingen als dalingen, maar deze temperatuursveranderingen waren steeds tot enkele graden beperkt.

1.1.1.6. Besluiten aangaande de wind en de regen in het vrije veld (Ukkel 1931-1945)

1. De zwaarste regenval bedroeg 29,1 mm/h, de hevigste wind (die gepaard ging met regen) 61 km/h en de grootste slagregen 378,3 m²/h² (15 l/h.m²).
2. Hevige regenval ($>$ 10 mm/h) komt gedurende minder dan 4 maanden per jaar voor (eind mei tot half augustus) en dan meestal nog in juli en augustus. Hevige wind komt vooral voor van november tot februari en komt niet voor van juni tot september !
3. Hevige regenval gaat dikwijls gepaard met hevige slagregen, dit in tegenstelling met hevige wind waarbij de regenval meestal beperkt is ; toch vindt men bij felle wind relatief dikwijls regen.
4. De tijd gedurende dewelke hevige regen (ononderbroken) voorkomt is steeds beperkt tot 2 - 3 h ; hevige wind kan daarentegen tot 30 h aanhouden.
5. Uit de combinatie van slagregen en regenduur kan men afleiden dat per jaar theoretisch 468 l water (gemiddelde waarde) viel op een vertikaal vlak dat steeds loodrecht staat op de windrichting, daar waar gemiddeld 640 l water viel op een horizontaal vlak of een verhouding van 73% tussen een vertikaal en een horizontaal vlak.
6. Men heeft de meeste kansen op zware slagregen :
 - tijdens de maanden oktober en november
 - tijdens de 2de helft van de dag (13h - 24h)
 - met wind uit S tot W.
7. Tijdens, voor en na de slagregen ligt de luchttemperatuur dicht bij de luchttemperatuur die voor dat deel van het jaar als gemiddeld te beschouwen is. In de winter is ze meestal (iets) hoger dan de gemiddelde waarde, in de zomer (iets) lager.

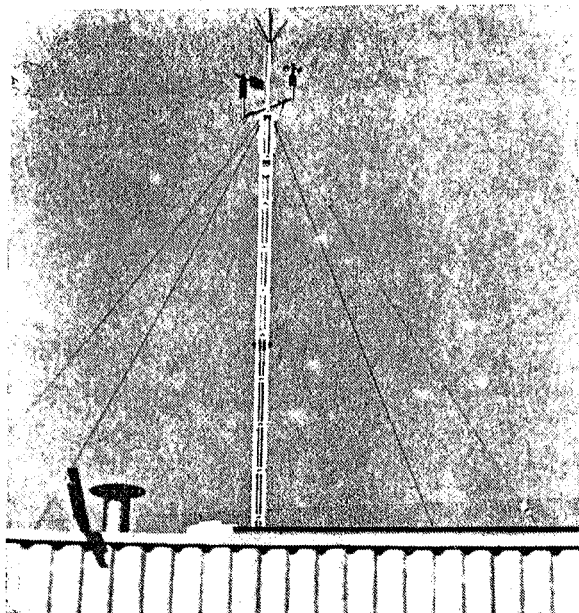
Meer gedetailleerde besluiten zijn terug te vinden op vorige bladzijden.

1.1.1.7. Meting van de wind (snelheid en richting) en regenval

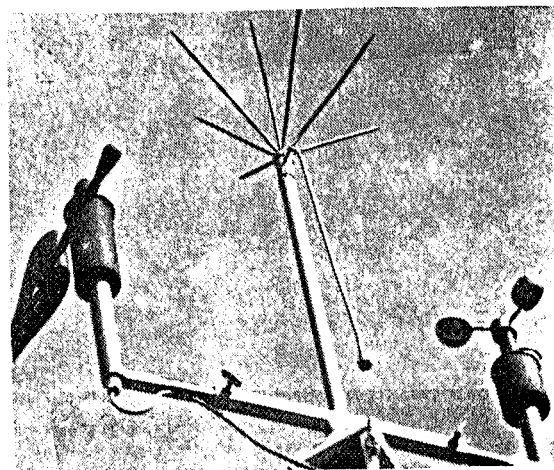
Om het verband te kennen tussen wind en regen in de vrije lucht enerzijds en winddruk en slagregen op een gebouw anderzijds, worden in het proefstation van het W.T.C.B. te Limelette

- in de vrije lucht
 - . de windsnelheid (anemometer) en windrichting (weerhaan) gemeten op 10 m boven de toren van het proefstation(*) (afb. 10 en 11) ;
 - . de intensiteit van de regenval gemeten op het blootstellingsterrein (afb. 12)
- op proefgebouwen
 - . winddruk en
 - . slagregen gemeten.

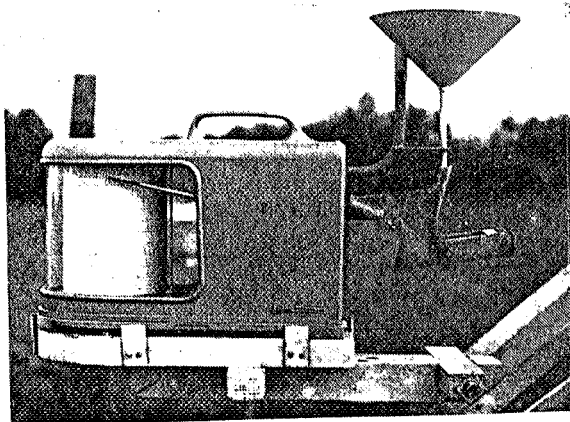
De resultaten van de metingen in het vrije veld en de beschrijving van de resultaten bekomen met de slagregen- en winddruk apparatuur worden in volgende paragraaf beschreven.



Afb. 10 - Opstelling en toestel voor de meting van de windsnelheid en windrichting op de toren van het proefstation te Limelette.



Afb. 11 - Detail. Links, weerhaan (windrichting), rechts, anemometer (windsnelheid), in het midden, bliksemafleider.



Afb. 12 - Regenmeter

(*) In afspraak met Dr. Sneyers van het K.M.I.

1.1.2. Slagregenmetingen op gebouwen

1.1.2.1. Inleiding

Er is een groot verschil tussen de slagregen in de vrije lucht (§ 1.1.1.) en de slagregen op een gevel :

De botsing van de regen met een gebouw is een ingewikkeld gebeuren ; de wind waait er in grote bogen horizontaal en vertikaal omheen. Op de gevels naar de wind gericht treden er tangentiële drukgradiënten op die het water naar de randen van de gevel duwen en dit zelfs naar boven.

Hoeveel regen er werkelijk op een bepaalde gevel terecht komt en welke de verdeling ervan is kan enkel proefondervindelijk worden vastgesteld omdat dit bepaald wordt door de stromingseigenschappen van het gebouw zelf. Er bestaan hierover tot nogtoe weinig gegevens.

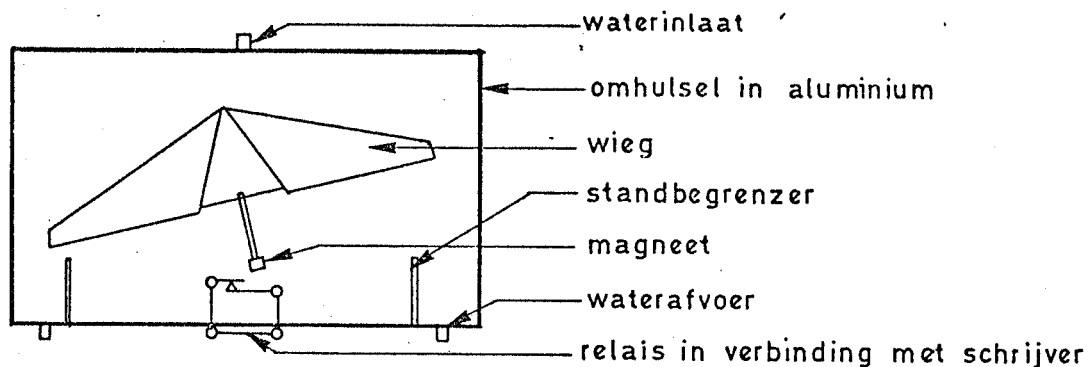
Hierna stelt men de meetapparatuur voor evenals de proefgebouwen waarop de metingen in situ van de slagregen worden gedaan ; tenslotte geeft en bespreekt men de meetresultaten.

1.1.2.2. Meetapparatuur

Zoals reeds in vorig verslag (mei 1975) beschreven is, wordt de slagregen opgevangen op 2 wijzen : via slagregenopnemers ($+ 0,1 \text{ m}^2$) of via goten die het afstromende water van een oppervlak ($> 17 \text{ m}^2$) opvangen.

De debieten worden op 3 wijzen gemeten :

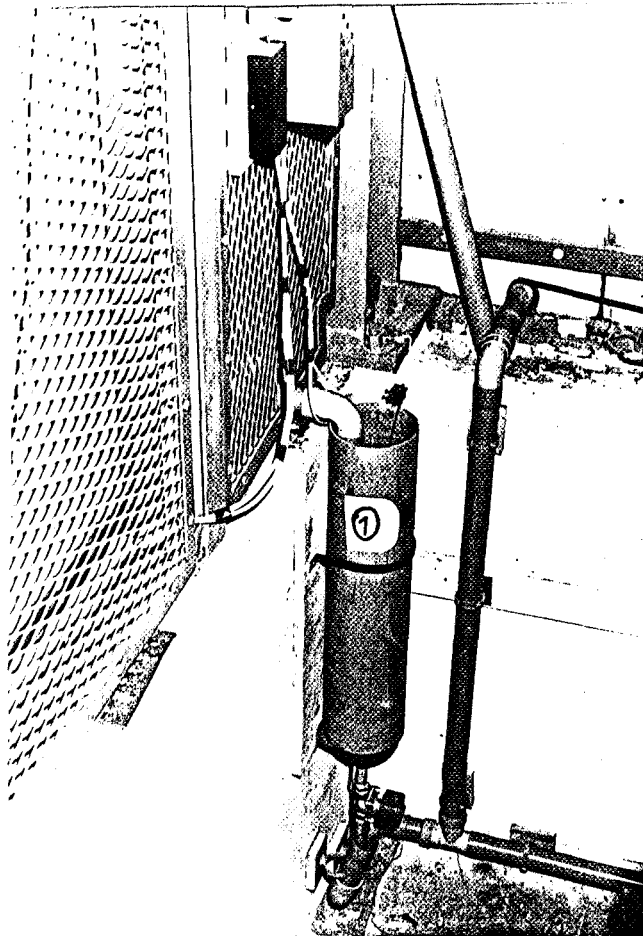
- met behulp van "wieg"-pluviometers (afb. 13)



Afb. 13 - Omhulsel (24 x 16 x 8,5 cm) met wieg en toebehoren

Telkens een debiet van ongeveer 18 à 44 ml (verschillend van pluviometer tot pluviometer) in de wieg stroomt, slaat deze om, ledigt zich en stuurt een signaal naar de schrijver.

- met behulp van een "vlotter-relais" systeem (afb. 14)



Afb. 14 - Debietmeter met vlotte relais-systeem

Bij hoog-waterstand in de vergaarbak^① sluit de vlotter een schakelaar kort die op zijn beurt een impuls geeft naar de schrijver en naar een relais die de magnetische kraan gedurende een bepaalde instelbare tijd - tijdens dewelke water wegloopt - opent.

- met behulp van eenvoudige recipiënten : deze worden op geregelde tijdstippen geledigd nadat de inhoud werd gemeten.

De resultaten over de gemeten slagregen worden verder gegeven.

1.1.2.3. Plaats van de metingen

De slagregen wordt gemeten op 3 plaatsen :

- de akoestische hall van het proefstation van het W.T.C.B.
- de proeftoren van het proefstation
- een schoolgebouw in Aalst.

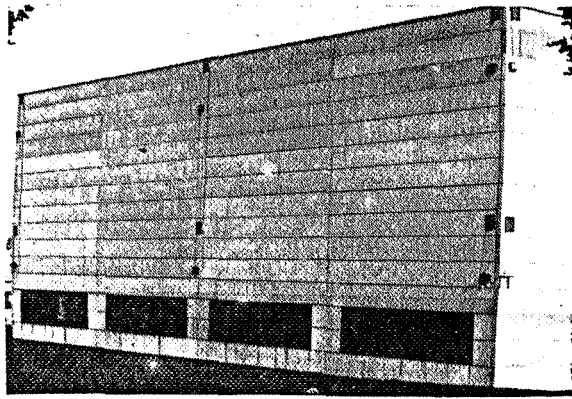
Deze gebouwen en de plaats van de regenopnemers worden hierna beknopt besproken.

a) Akoestische hall te Limelette (W.T.C.B.)

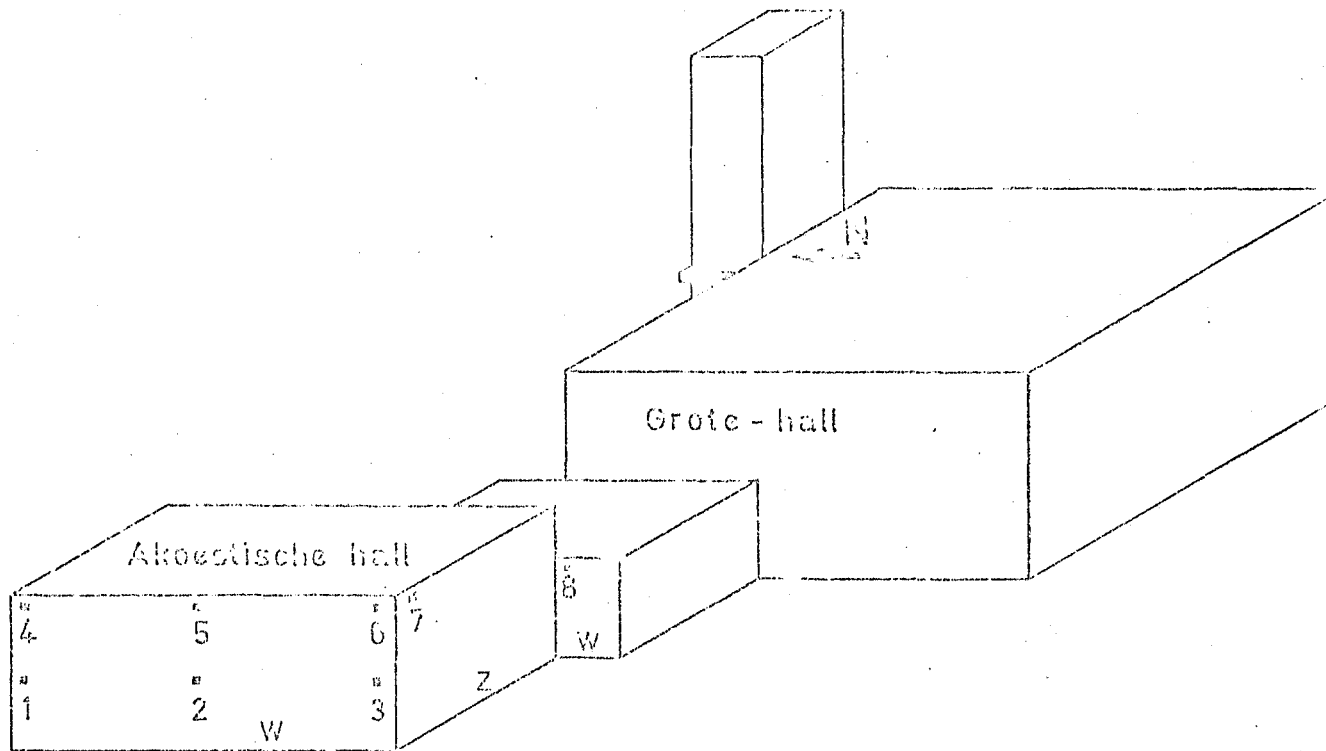
Op de akoestische hall (25 m breed, 12 m diep en 10 m hoog) zijn er 8 regensmeters aangebracht (afb. 15 en 16).

Bij de eerste reeks metingen bleek er een gebrek aan fiabiliteit van de slagregensmeters vooral wat het magnetisch kontakt betreft.

Deze normale "kinderziekten" zijn nu verholpen ; begin en half 1976 was er echter weinig slagregen ; interessante metingen begonnen pas in oktober 1976. Ze worden verder gegeven.



Afb. 15 - Slagregenopnemers en pluviometers op de akoestische hall



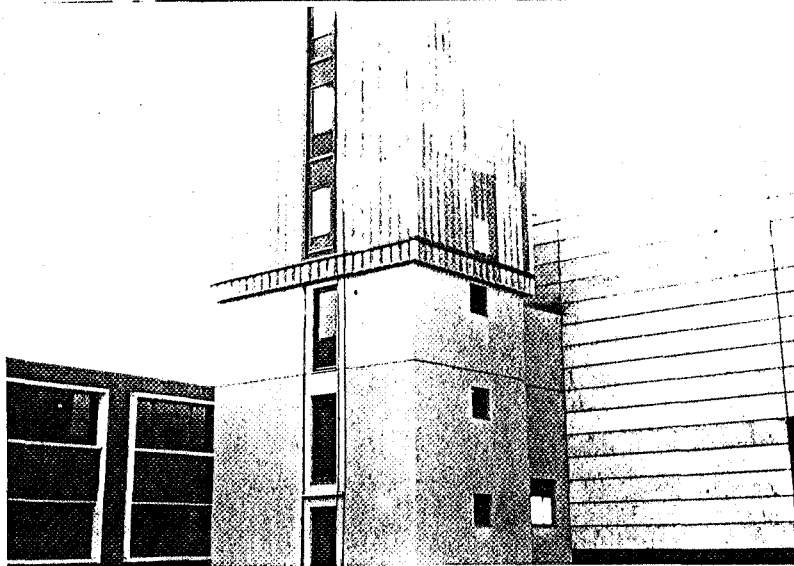
Afb. 16 - Plaats van de slagregenmeters op de akoestische hall

b) Proeftoren te Limelette (W.T.C.B.)

Op de toren "hydraulika" (hoogte 24,5 m, grondvlak 7 x 5 m) van het W.T.C.B. proefstation wordt slagregen opgevangen op vier gevels ; dit gebeurt op oppervlakten die 17 m hoog zijn en ≥ 1 m breed (afb. 17)

Het bovendeel van de gevels is bekleed met asbestcementplaten die onderaan voorzien zijn van een hanggoot in kunststof ; de goten worden om de meter (of meer) afgetakt zodat men met behulp van meetapparaten de regendeblaten kan meten (afb. 14).

De porositeit van de gevelplaten brengt mee dat niet alle slagregen in de goot zal terecht komen ; men kan echter aannemen dat het materiaal snel verzadigd is en de verliezen tijdens de zware slagregen beperkt zijn.



Afb. 17 - Toren "Hydraulika" met de opvanggoten voor de meting van het afstromende water. Totale hoogte van de toren : 24,5 m ; de regenopvang geschiedt op de bovenste 17 m.

Van deze metingen zijn te weinig resultaten voorhanden : er zal later op terug worden gekomen.

c) Schoolgebouw te Aalst

Met de medewerking van studenten-ingenieurs (*) worden er op een schoolgebouw (afb. 17a) en "in de vrije lucht" slagregenmetingen verricht.

Op 2 gevels van het gebouw zijn respectievelijk 9 en 3 regenopnemers (**) (afb. 18 en 19) aangebracht ; ze zijn geplaatst op 0,4 m en 7 m (midden) van de zijkant van de gevel. Ze bevinden zich op een hoogte van 2,50 m (Z.W.), 4,50 m (Z.W. en N.O.) en 6,50 m (Z.W.) boven de begane grond.

De metingen in de "vrije lucht" gebeurden met behulp van een meetinstallatie die bestond uit een samenvoeging van 4 slagregenmeters (resp. gericht naar Z.W., N.W., N.O. en Z.O.) en een bovenpaneel dat eveneens werd uitgevoerd als meetrecipiënt (voor horizontale regenval). Dit geheel werd geplaatst bovenop een (niet gebruikte) schoorsteen die ongeveer 10 m uitstak boven het maaiveld (zie afb. 20).

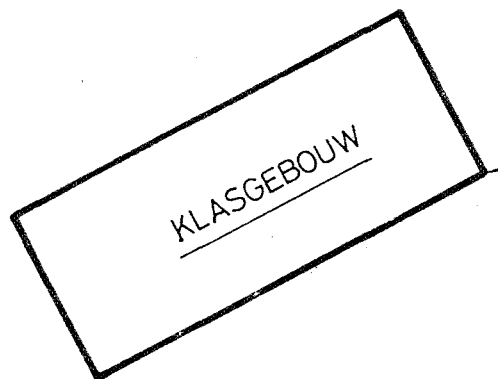
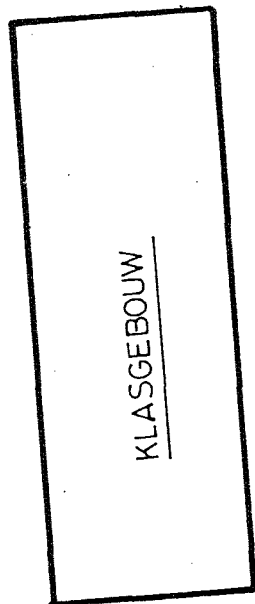
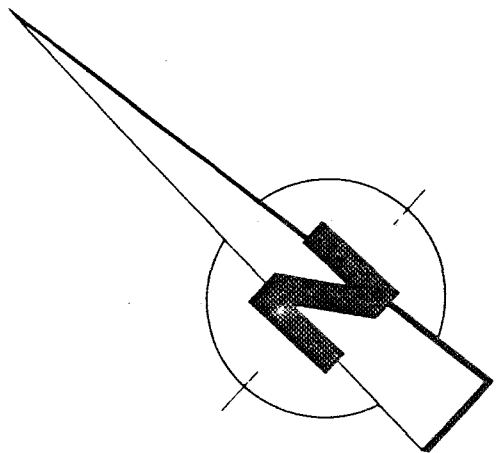
Deze laatste meting geeft de mogelijkheid het theoretisch verband tussen neer slag op vertikaal vlak en neerslag op horizontaal vlak proefondervindelijk te onderzoeken.

Met deze metingen was het ook mogelijk de gegevens van de regenval te vergelijken met deze die worden verstrekt door het K.M.I.

De resultaten van deze metingen worden verder gegeven.

(*) voornamelijk de heer W. Van den Brande

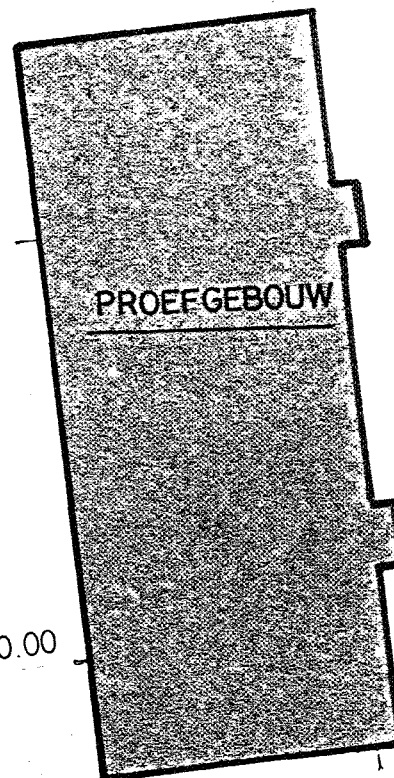
(**) 0,1 m² oppervlakte



20.00

10.00

10.00

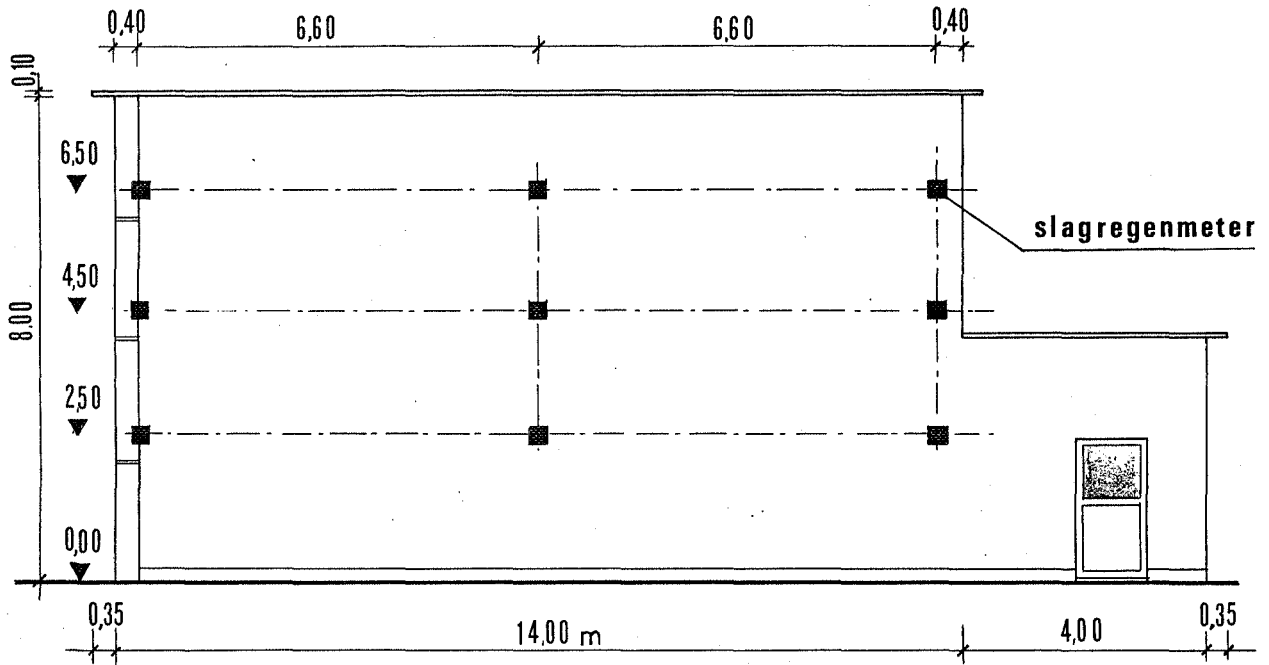


INPLANTING VAN HET PROEFGEBOUW

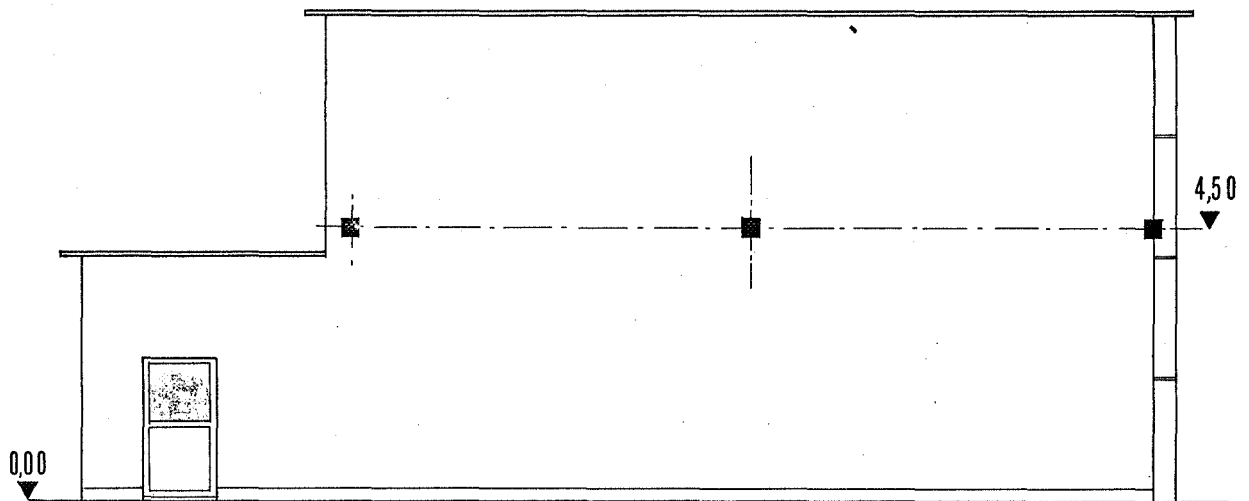
Getek.: W. van den Brande

Afb. 17a.

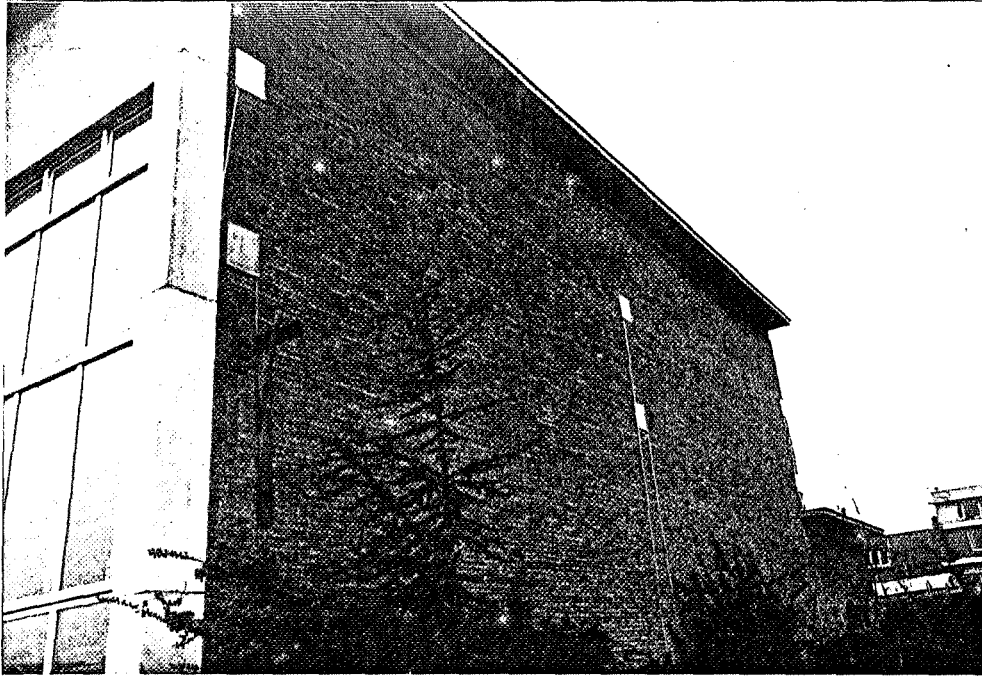
✓ (kale bomen)



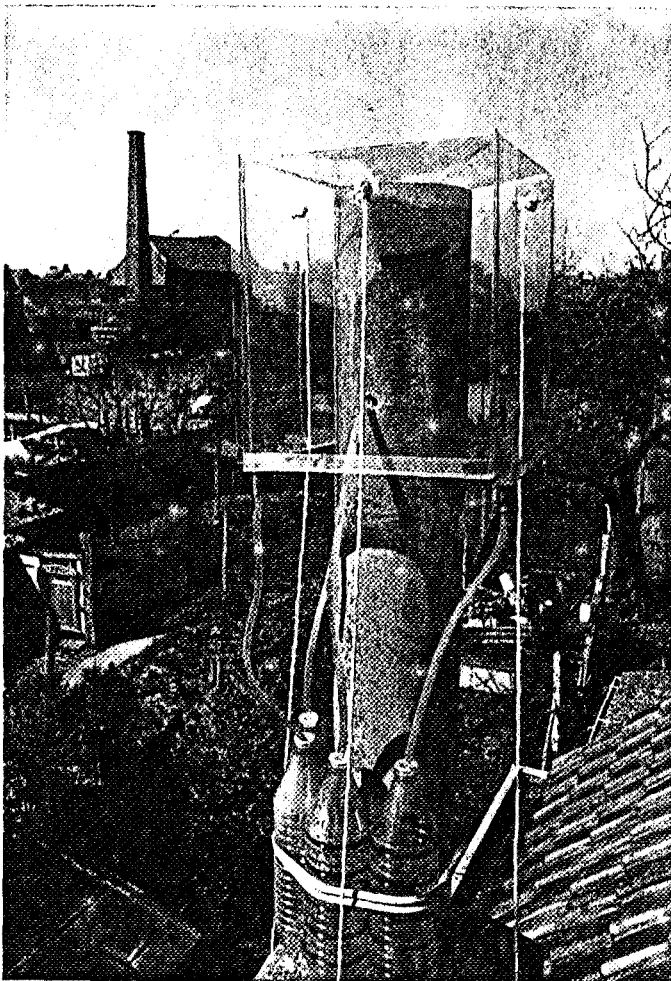
Z.W. - ZIJGEVEL



N.O. - ZIJGEVEL



Afb. 19 - Z.W.-gevel met slagregenmeters.



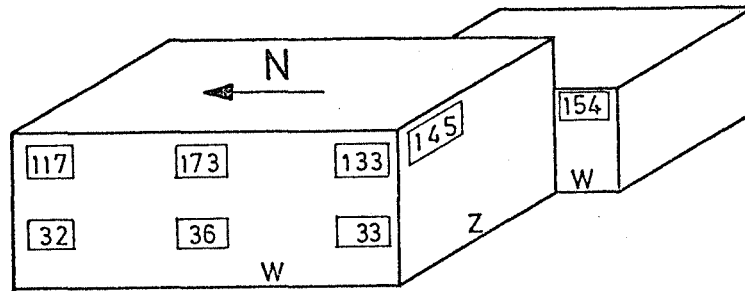
Afb. 20 - Slagregenmeting in de "vrije lucht"

1.1.2.4. Meetresultaten

a) Akoestische hall

1. Tabel 22 geeft de hoeveelheid slagregen die van oktober 1976 tot mei 1977 per dag voor de verschillende opnemers werd opgetekend. De resultaten zijn ugedrukt in l/m^2 .

De totale hoeveelheid regen (in l/m^2) die gedurende 6 1/2 maanden van 24.10.1976 tot 10.05.1977 (winterperiode) per regenopnemer viel, bedraagt (afb. 21) :



Afb. 21 - Hoeveelheid regen (l/m^2) die van 24.10.1976 tot 10.05.1977 voor de verschillende regenopnemers genoteerd werd.

2. Op dit gebouw werden 2 soorten opnemers gebruikt : de eerst geplaatste hadden een vorm zoals aangegeven op afb. 22a.

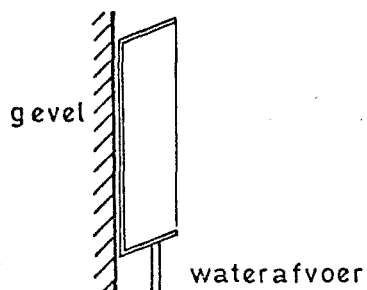


Fig. 22a

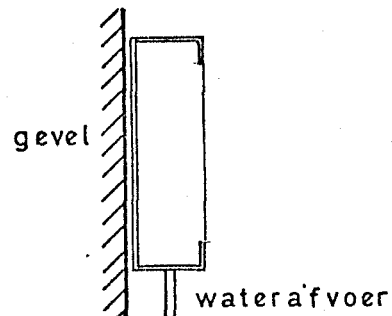


Fig. 22b

Afb. 22 - Vertikale doorsnede van de gebruikte regenopnemers. (*)

Omdat echter gevreesd werd dat de wind water van de slagregenmeters zou meezuigen, werden de meeste opnemers begin maart (*) vervangen door deze voorgesteld op afb. 22b. De vergelijking tussen de 2 types opnemers wordt hierna besproken.

De invloed van het type regenmeter kan worden afgeleid uit de hoeveelheid water die sinds begin maart 1977 (wijziging van de meeste opnemers) per opnemer genoteerd werd t.o.v. de totale hoeveelheid (tabel 23).

Men merkt (tabel 23) dat de niet gewijzigde opnemers (3 en 6) vanaf de maand maart meer dan 40% van de totaal gemeten regen gaven, daar waar de gewijzigde (1, 2, 4 en 5) in dezelfde periode slechts 30% (eenmaal 45%) van het water opvingen.

(*) Zie ook afb. 27a en 27b.

(**) Opnemers 4, 5, 7 en 8 vervangen op 01.03.1977; opnemers 1 en 2 op 08.03.1977

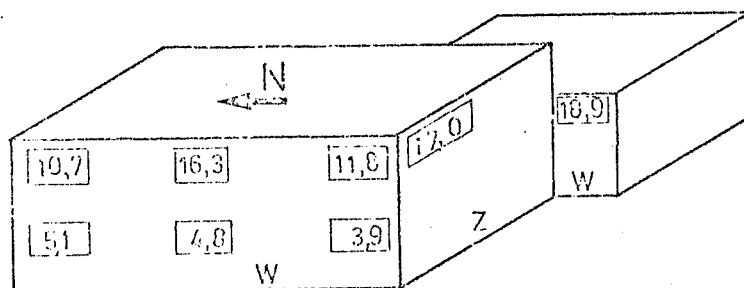
Tabel 23 - Invloed van de vorm van de opnemer op het geregistreerde regendebiet						
	Nummer van de opnemer					
Vorm van de opnemer sinds maart 1977	1 [	2 [	3 [	4 [	5 [	6 [
hoeveelheid water sinds maart 1977 (l/m ²)	9,6	10,8	13,3	52,5	53,2	55,9
totale hoeveelheid (l/m ²)	32,2	35,7	33,0	116,9	172,5	133,2
verhouding (%)	29,8	30,3	40,3	44,9	30,8	42,0

De niet gewijzigde opnemers 3 en 6 schijnen dus in verhouding met de gewijzigde - in tegenstelling met wat men zou kunnen verwachten - eerder veel regen op te nemen. De verschillen zijn echter niet zo groot dat de grootte-orde niet kunnen worden vergeleken (zie ook § 1.1.2.5.).

3. Uit afb. 21 kan men afleiden dat :

- op meer dan 6 maanden maximaal 173 en minimaal 32 l regen per m² gevel genoteerd wordt.
- de opnemers op halve gebouwhoogte slechts één vierde neerslag opnemen in vergelijking met deze die zich bovenaan bevinden
- de 6 opnemers die zich bovenaan bevinden vergelijkbare hoeveelheden water (117 à 173 l/m²) kregen
- op de westgevel de centraal gelegen opnemers (28 en 139 l/m²) meer water kregen dan deze op de boorden.

4. De grootste hoeveelheid regen (l/m²) die op één dag^(*) voor de verschillende opnemers tijdens de proefperiode genoteerd werd is gegeven op afb. 23.



Afb. 23 - Grootste hoeveelheid regen (l/m²) die op één dag door de verschillende opnemers opgetekend werd.

(*) Het betreft hier echter niet steeds dezelfde dag voor de verschillende opnemers

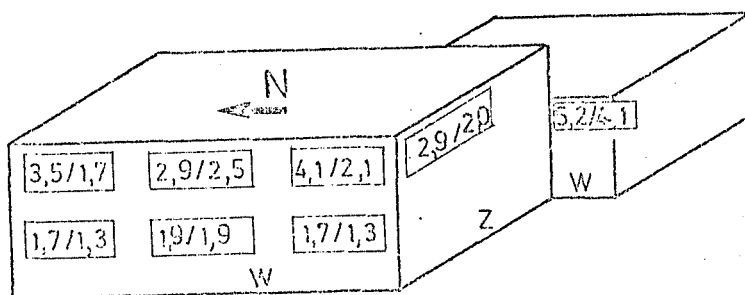
Uit afb. 23 kan men afleiden dat :

- de regenval die op één dag opgetekend werd varieert tussen 3,9 en 18,9 l/m^2 , wat 12% (opnemer 6) à 22% (opnemer 1) uitmaakt voor de slagregen die er op meer dan 6 maand viel
- de opnemers op halve gebouwhoogte ook bij zware regen merkelijk minder regen noteren dan de bovenste (de helft tot één derde) waar de slagregen op één dag varieert tussen 10,7 en 18,9 l/m^2 .
- op de westgevel de centraal gelegen opnemers relatief veel water opvangen in vergelijking met deze bij de zijkanten.

5. De periode 29.11.1976 - 01.12.1976 was deze met de hevigste slagregen : voor deze periode vindt men in afb. 24 de hoeveelheid slagregen uur per uur ; ook geeft men inlichtingen over de windsnelheid en windrichting en, wanneer mogelijk, de zwaarste slagregen gedurende 5 minuten.

Hieruit kan het volgende worden afgeleid :

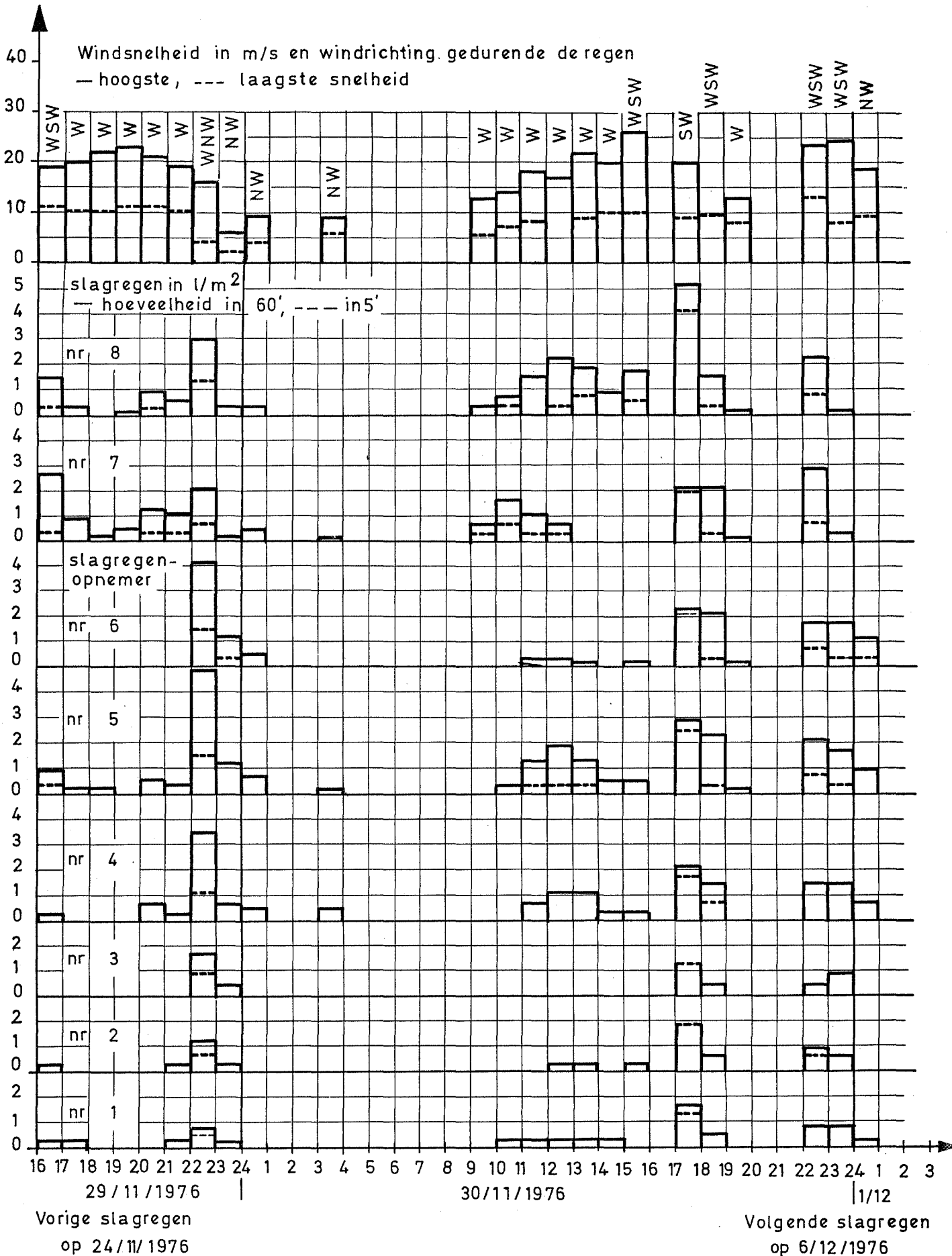
- de grootste hoeveelheid slagregen die, op 60' en 5' voor de verschillen- de opnemers in de periode 29.11.1976 - 01.12.1976 opgetekend werd, is gegeven in afb. 25.



Afb. 25 - Zwaarste slagregen (l/m^2) per uur/5' die voor de opnemers opgetekend werd in de periode van zware slagregen 29.11.1976-01.12.1976.

- de grootste waarde van slagregen gedurende 5' bedroeg 4,1 l/m^2 wat op uurbasis met 50 l/m^2 overeenstemt
- het verschil tussen het grootste debiet op 60' verschilt meestal weinig of niets van dit op 5' wat er op wijst dat de intensiteit van de regen op korte tijd wijzigt
- daar waar de regen grillig is, dient het tegengestelde te worden gezegd van de wind die relatief konstant is, zowel van uur tot uur als binnen het uur
- het verband tussen windrichting en verdeling van de regen over de verschillende gevels is niet altijd zeer duidelijk ; wel valt op dat bij N.W.-wind opnemers 7 en 8 geen en bij W.N.W.-wind weinig water krijgen wat normaal is omdat zij dan uit de wind zitten.

Afb. 24 - Slagregen op de akoestische hall van het W.T.C.B.-proefstation
gedurende een periode met zware slagregen



Nota: Door een defekt aan de regenmeter is de horizontale regenval
tijdens deze periode niet gekend

b) Schoolgebouw

De metingen op het schoolgebouw strekken zich uit over een periode van 3 maanden nl. februari, maart en april 1977. Men geeft in tabel 26 de resultaten van 3 representatieve dagen met veel regen in de maand april.

Indien men de slagregen in de "vrije lucht" vergelijkt met deze op analoog georiënteerde gevels merkt men dat de slagregen in de vrije lucht steeds groter is dan op de gevels alhoewel het verschil in enkele gevallen klein is.

De bovenste opnemers ontvingen slechts weinig meer water dan de middenste ; dit is te wijten aan de dakoversteek van ongeveer 60 cm die de wind bovenaan afremt.

Bij de in het midden (op 7 m van de zijkant) van de gevel gelegen opnemers valt het op dat de bovenste meer dan de helft, de middenste iets minder dan de helft en de onderste opnemers geen regen krijgen in vergelijking met de op de zijkant gelegen opnemers. Dit is niet in overeenstemming met de resultaten verkregen in het proefstation : waarschijnlijk is dit uit te leggen door het al dan niet aanwezig zijn van een dakoversteek.

Wanneer men de berekening maakt van de slagregen op de meters in vrije lucht aan de hand van volgende formule :

$$R_S \text{ (mm/dag)} = \frac{R_N \text{ (mm/dag)} \times V \text{ (km/h)}}{V_F \text{ (km/h)}} \quad (*)$$

R_S : slagregen op vertikaal vlak

R_N : neerslag op horizontaal vlak

V : windsnelheid

V_F : valsnelheid druppel (25,2 km/h)

komt men tot volgende bevindingen :

Toegepast op 3 april 1977

$$R_S = \frac{4,2 \text{ mm/dag} \times 12,6 \text{ km/h (N.O.)}}{25,2 \text{ km/h}} = 2,1 \text{ mm of 1 per dag.}$$

wat een weinig meer is dan de 2 l/m^2 die opgevangen werd op het N.O. gerichte paneel.

Toegepast op 7 april 1977

$$R_S = \frac{4,7 \text{ mm/dag} \times 7,2 \text{ km/h (W)}}{25,2 \text{ km/h}} = 1,34 \text{ mm of 1 per dag.}$$

op een naar het W gericht oppervlak of $1,34 \text{ mm} \cos 45^\circ$ of $0,95 \text{ mm}$ op naar ZW en NW gerichte panelen waar in werkelijkheid iets meer gemeten werd : $1,0$ en $1,2 \text{ l/m}^2$.

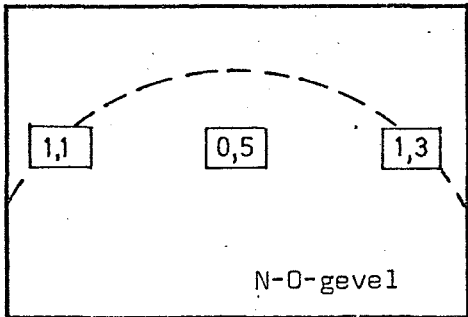
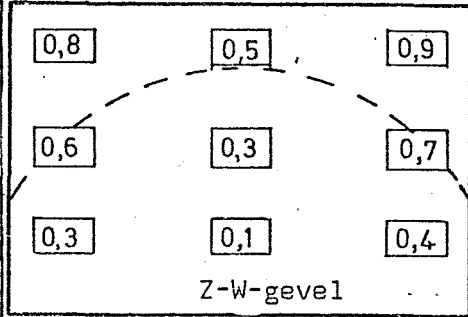
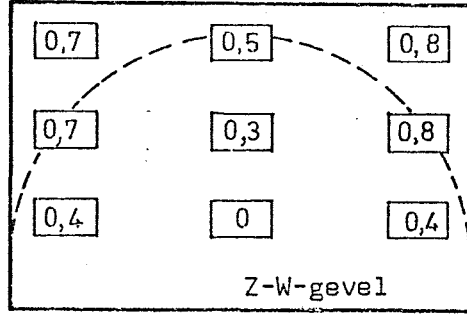
Toegepast op 11 april 1977

$$R_S = \frac{2,6 \text{ mm/dag} \times 7,2 \text{ km/h (W)}}{21,2 \text{ km/h}} = 0,74 \text{ mm/dag}$$

wat minder dan de helft is van de werkelijk gemeten waarden ; dit is uit te leggen door het feit dat de windsnelheid tijdens de buien vermoedelijk hoger lag dan de aangenomen gemiddelde waarde.

(*) Vorig eindverslag blz.14.

Tabel 24 - Slagregen op een schoolgebouw

Datum	3 april 1977	7 april 1977	11 april 1977
Wind te Ukkel - richting gedurende 24h - snelheid	N.O. 3,5 m/s	W. 2 m/s	W. 2 m/s
Regen te Ukkel Regen "op schoorsteen"	4,0 l/m ² 4,2 l/m ²	4,0 l/m ² 4,7 l/m ²	2,2 l/m ² 2,6 l/m ²
Slagregen in het "vrije veld"			
N.O.-paneel	2,0 l/m ²	0,2 l/m ²	0,3 l/m ²
Z.O.-paneel	0,1 l/m ²	0,1 l/m ²	0,1 l/m ²
Z.W.-paneel	0,1 l/m ²	1,0 l/m ²	1,5 l/m ²
N.W.-paneel	0,8 l/m ²	1,2 l/m ²	1,8 l/m ²
Slagregen op het schoolgebouw	 N-O-gevel Z.W.-gevel : verwaarloosbaar	 Z-W-gevel N.O.-gevel : geen neerslag	 Z-W-gevel N.O.-gevel : geen neerslag
Grootste slagregen te Limelette met oriëntatie	0 l/m ² (geen metingen vlg.NO)	0,7 l/m ² (opnemers 4 en 6)	3,9 l/m ² (opnemers)

1.1.2.5. Invloed van de vorm van de slagregenopnemers

Zoals eerder gezegd werden de meeste slagregenopnemers van de akoestische hall vervangen in maart 1977 door andere (afb. 22).

Om een beter inzicht te krijgen op de invloed van de vorm, werden op een gevel 4 verschillende opnemers naast elkaar geplaatst (afb.26 en 27), dit met de bedoeling te onderzoeken hoeveel water zij per eenheidsoppervlakte opvangen.



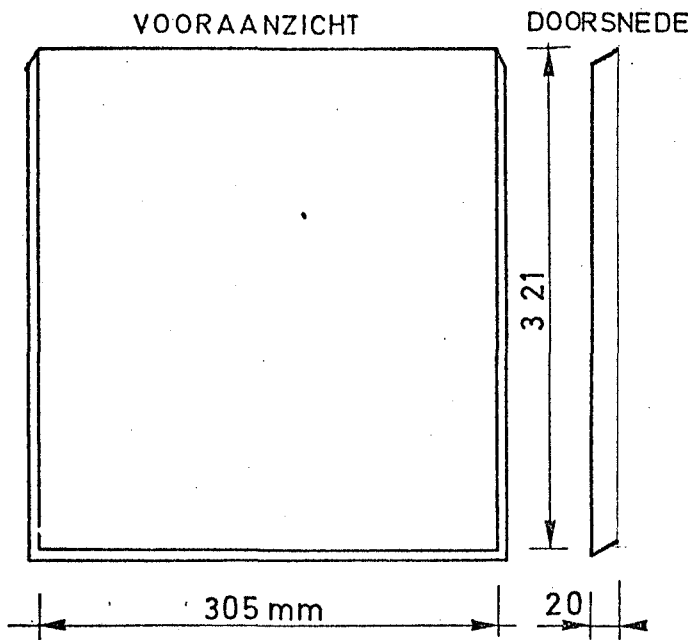
Afb. 26 - Vergelijking van verschillende slagregenopnemers.

De vorm en afmetingen van deze verschillende opnemers is gegeven in afb. 27. De opnemers die in gebruik zijn op de akoestische hall zijn deze van afb.27a en (sinds maart 1977) afb.27b.

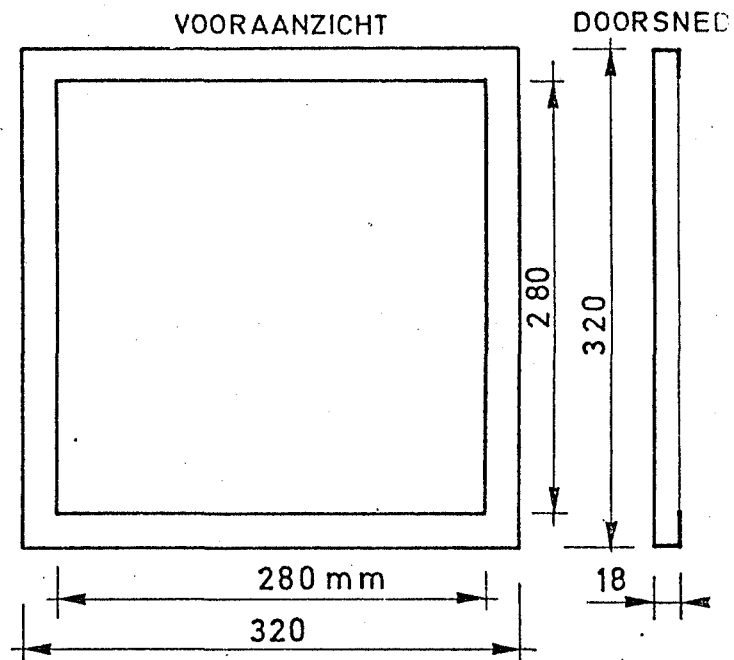
De hoeveelheid regen die door de verschillende opnemers werd opgevangen is terug te vinden in tabel 25.

Tabel 25- Regen (in l/m ²) opgevangen door verschillende opnemers							
Datum	Duur van de waarneming	Wind		Regen (l/m ²) per opnemer			
		snelheid	richting	A	B	C	D
11/5/77	2 min.	11	W	-	0,18	0,03	0,19
12/5/77	50 min.	19	{ WSW à	-	0,27	0,25	0,33
12/5/77	127 min.	12	{ WNW	-	0,51	0,56	0,71
13/5/77	15 min.	13	W	-	0,59	0,44	0,90
				-	0,60	-	0,71
				0,53	0,68	-	0,93
				0,39	0,54	-	0,58
09/6/ 77	200 min.	19	W	-	0,73	0,77	0,93

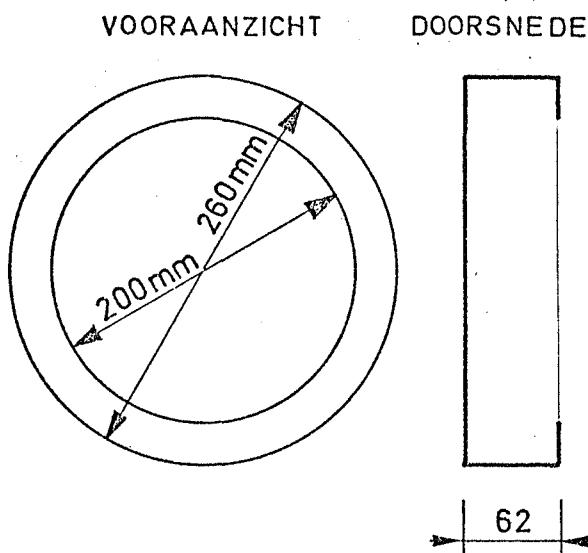
AFB. 27 Vorm en afmetingen van de gebruikte opnemers



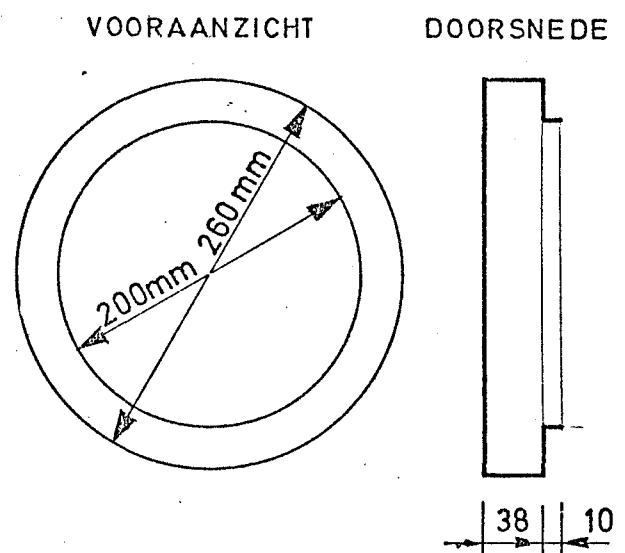
Afb. 27a Vierkante opnemer in (geverfd)aluminium ($0,098 \text{ m}^2$)



Afb. 27b Vierkante opnemer in mat aluminium ($0,078 \text{ m}^2$)



Afb. 27c Ronde opnemer in PVC ($0,031 \text{ m}^2$)



Afb. 27d Ronde opnemer in P V C ($0,031 \text{ m}^2$)

1.1.2.6. Besluiten aangaande de slagregenmetingen op gebouwen

1. De grootste hoeveelheden slagregen op gebouwen die opgetekend werden bedragen 4 l/m^2 op 5', 5 l/m^2 op 60', 19 l/m^2 op 24h en 173 l/m^2 op meer dan 6 (winter) maanden.
Op een horizontaal vlak valt gedurende de 6 wintermaanden ongeveer 3 x meer dan wat dan op een vertikaal vlak werd genoteerd.
 2. De hoeveelheid slagregen neemt toe met de hoogte van het gebouw ; men moet echter rekening houden met een eventuele dakoversteek die de slagregen sterk beperkt bij de dakoversteek.
 3. Het is duidelijk dat de vorm en de afmetingen van de slagregenopnemers de hoeveelheid opgevangen regen beïnvloeden ; om dit echter precies uit te zoeken is meer systematisch onderzoek nodig.
 4. Uit vergelijking van de slagregen afgeleid uit de metingen in het vrije veld (§ 1.1.1.) en deze metingen kan men afleiden dat, zelfs de meest belaste punten van de gevel, minder water krijgen dan berekend, dit door de invloed van het gebouw.
- Meer gedetailleerde besluiten zijn op de vorige bladzijde terug te vinden.

1.1.3. Winddrukmetingen op gebouwen

1.1.3.1. Inleiding

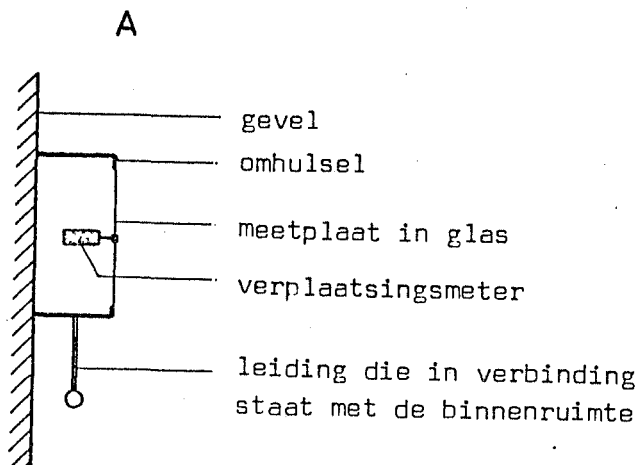
Zoals reeds gezegd is in verband met de slagregen is de werking van de wind op een gebouw een ingewikkeld gebeuren ; de belgische windnormen geven al een goed beeld van de optredende winddrukken maar geven slechts weinig inlichtingen over de verdeling van de drukken over een gevel en de evolutie van de drukken in de tijd.

Naast de slagregenmetingen is het bovendien ook interessant te weten met welke druk het water op de gevel en eventueel naar binnen wordt gedrukt.

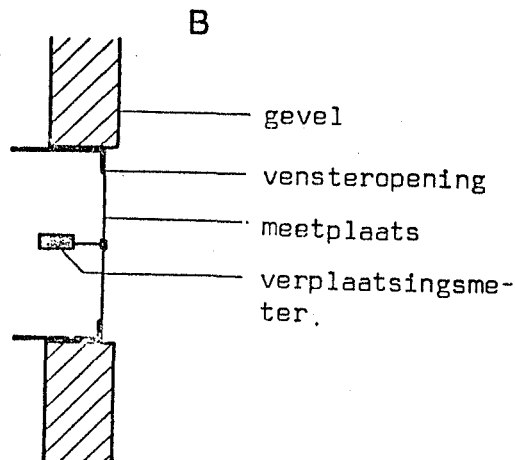
Hierna geeft men een beschrijving van de gebruikte meetapparatuur en geeft men de eerste resultaten.

1.1.3.2. Gebruikte apparatuur

De winddruk wordt afgeleid uit de vervormingen van een dunne glazen plaat die met silikoontkit gemonteerd is in een stijve kast ; dit geheel wordt in principe op de muur geplaatst (afb. 28a), maar kan eventueel ook in een opening worden geplaatst (afb. 28b).

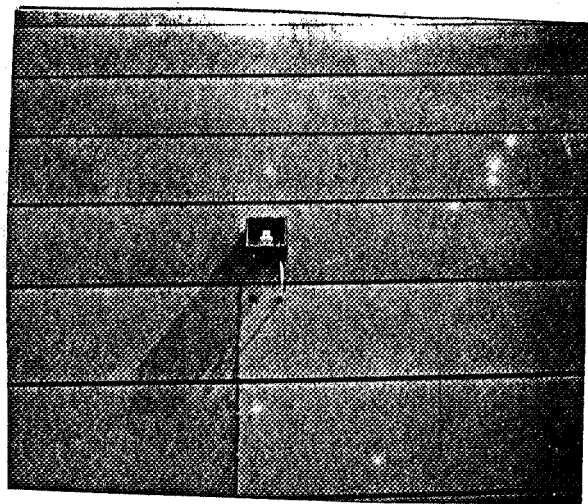
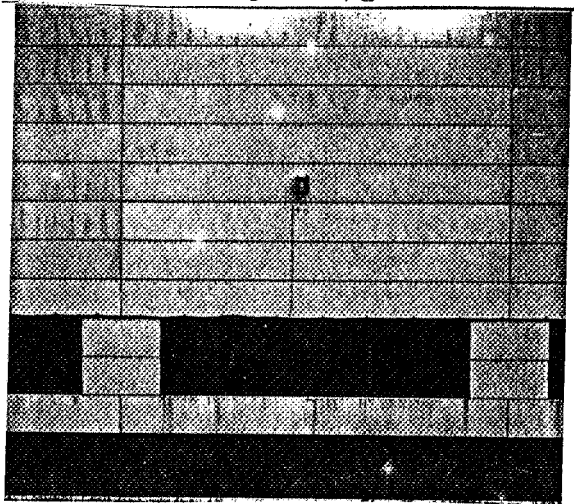


Afb. 28a.



Afb. 28b.

De signalen verkregen van de verplaatsingsmeter worden door een potentiometrische schrijver opgetekend.



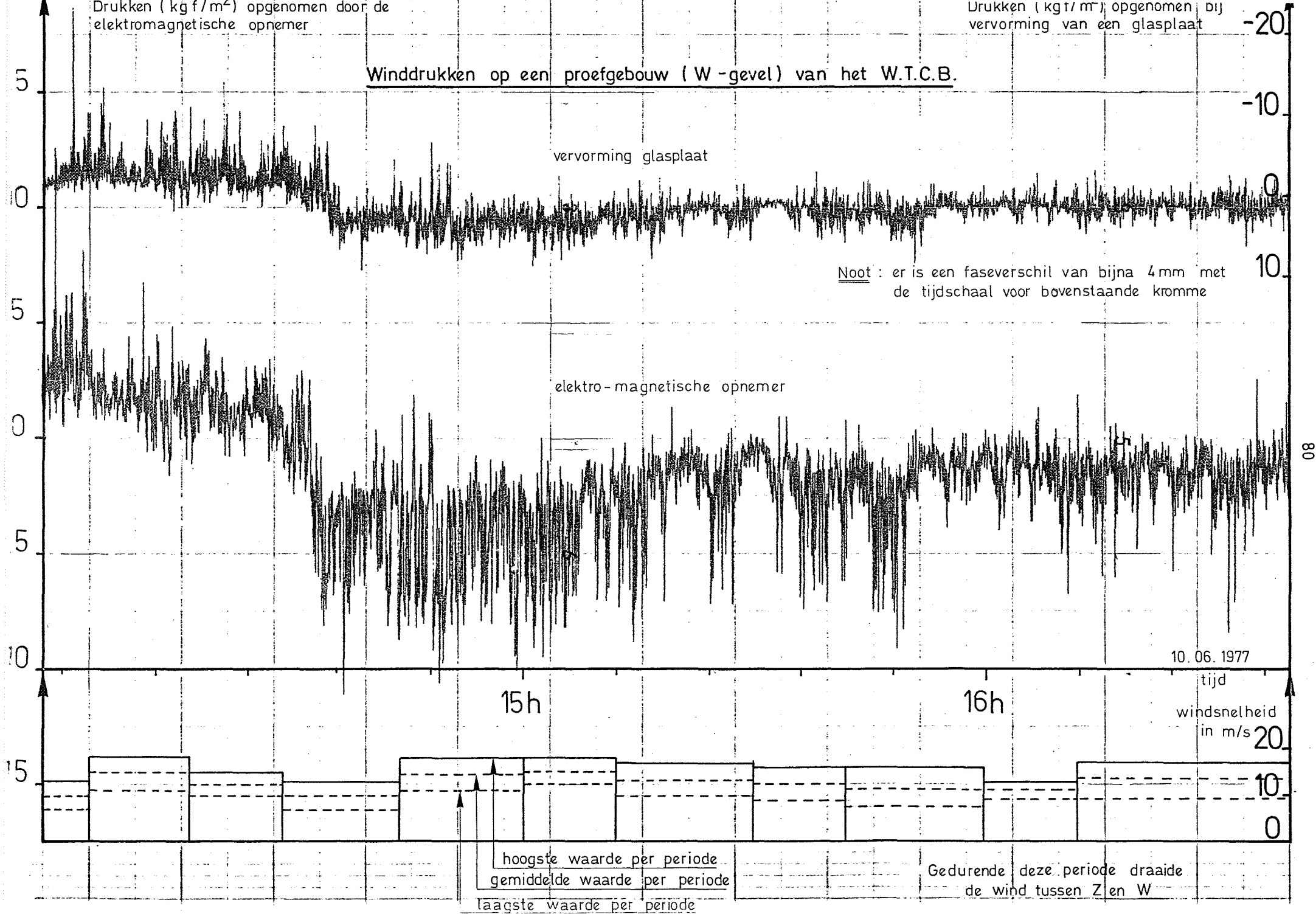
Afb. 29 - Winddrukmeter (rechts : opname van dichterbij)

1.1.3.3. Meetresultaten

Er zijn nog niet voldoende meetresultaten voorhanden om besluiten toe te laten. Hierna geeft men een vergelijking van de signalen verkregen door de hierboven beschreven drukmeter en een nieuw type drukmeter (*) dat door de kollega's G.M.V. wordt gebruikt (afb. 30).

Men heeft een goede overeenkomst tussen de resultaten verkregen met de 2 opnemers.

(*) Deze drukmeter schijnt vooral interessant te zijn in geval van metingen van kortere duur waarbij het aantal ijkings beperkt kan blijven.



1.2. Meting van de weersdichtheid in het laboratorium

Voor de controle van de wind- en waterdichtheid van gevelelementen in het laboratorium moeten deze worden blootgesteld aan een winddruk en een waterbesproeiing die overeenstemt met de inwerking van wind en regen in de werkelijkheid.

De installatie die hierna beknopt wordt beschreven (*) is zo opgevat dat er vlakke elementen met grote afmetingen (tot 7 m breed en 8,5 m hoog) kunnen worden getest evenals 3 dimensionele elementen.

1.2.1. Simulatie van de wind (afb. 31 en 32) (**)

De simulatie van de wind wordt verkregen door een installatie bestaande uit een ventilator en een omkeerinrichting voor de drukregeling ; de luchtverliezer worden met rotameters gemeten.



Afb. 31 - Blaas- en meetinstallatie

1.2.1.1. Ventilator (blaasinrichting)

De grootste windbelasting die men in België mag verwachten bedraagt 400 kg/m^2 (op een 200 m hoog gebouw) met drukstoten van 1 tot $1/3 \text{ Hz}$.

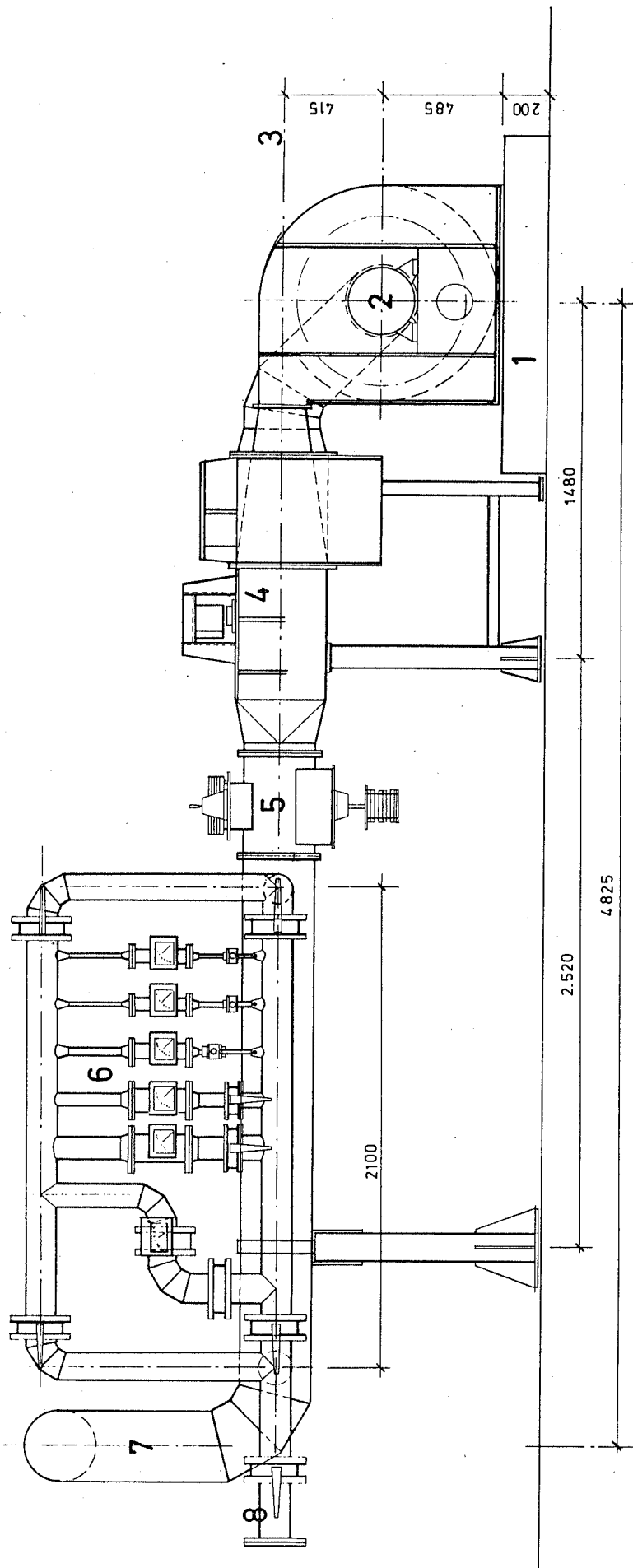
Om deze drukstoten en extreme drukken te kunnen uitoefenen op bouwelementen tot ongeveer 50 m^2 is er een ventilator met 600 kg/m^2 opvoerhoogte en met een debiet van $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ nodig. De ventilator wordt aangedreven door een elektrische motor van 20 Pk.

1.2.1.2. Omkeerinrichting (drukregeling)

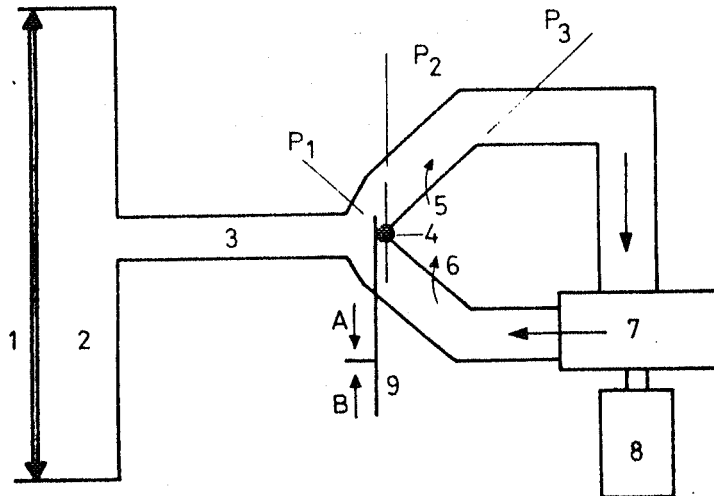
Gedurende de proefbelasting blaast de ventilator altijd met volle vermogen in dezelfde richting ; de gewenste over- en onderdrukken worden verkregen met behulp van de in afb. 33 geschematiseerde inrichting.

(*) Meer details zijn terug te vinden in het onderzoeksverslag van mei 1975.

(**) W.T.C.B.-Tijdschrift 1 - 1975.



Afb. 32- Dichtheid van gevels. Proefpost voor het onder druk en in onderdruk brengen. Vooraanzicht.
 1. sokkel in beton - 2. ventilator - 3. stuwvas van de ventilator - 4. drijwegkraan met bedieningsmechanisme - 5. veiligheidsklep - 6. rotatiemeters - 7. kanaal naar de proefmuur - 8. kanaal naar de elementen 3-D



Verklaring

1. Te testen element
2. Proefkast en proefmuur
3. Pers- en zuigleiding
4. Driewegklep met tandwiel (omkeerinrichting)
5. Inlaat voor aangezogen lucht
6. Uitlaat voor geperste lucht
7. Ventilator (doorstroomrichting aangegeven door pijlen)
8. Elektrische motor
9. Op afstand bediende tandlat met koersbeperking in A en B.

Afb. - Schema van de installatie.

Met P_1 , P_2 en P_3 worden de klepstanden aangeduid: P_1 zijnde de stand voor maximale overdruk, P_3 maximale onderdruk en P_2 nuldruk.

Door het regelsysteem kunnen alle drukken tussen P_1 en P_3 worden verkregen.

1.2.1.3. Rotameters (luchtdebietmeting)

De luchtlekken worden enkel bij statische druk gemeten; dit gebeurt door de inschakeling van één van de 6 rotameters met een globaal meetbereik van 0,2 tot 2400 m³/h.

Deze installatie voor de simulatie van de wind zoals deze voor de simulatie van de regen (§ 1.2.2.) werden tijdens deze biënnale regelmatig gebruikt voor het testen van 3-dimensionele elementen (zie globale proef § 1.5.).

1.2.2. Simulatie van de regen

De simulatie van de regen wordt verkregen met sproeiers die gevoed worden door een waterpomp (gesloten watercircuit); de juiste waterdebieten worden ingesteld via regelkranen en gecontroleerd met rotameters.

Deze verschillende delen van de installatie worden hierna kort besproken.

1.2.2.1. Waterpomp

Er is nog geen akkoord op Europees niveau betreffende de te gebruiken waterdebieten: deze variëren tussen 6 en 240 l/h.m² in de verschillende Europese landen; waarschijnlijk zal echter 200 l/h.m² niet overschreden worden (huidig CEN-voorstel: 120 l/h.m²). Dit maximum van 200 l/h.m² op een proefoppervlakte van 50 m² geeft 10 m³/h.

Voor de opvoerhoogte van de pomp wordt rekening gehouden met de verschillen de ladingsverliezen (o.a. 6 kg/cm² voor de sproeiers) voor een totaal van 8 kg/cm².

De pomp (met debiet van 10 m³/h bij een opvoerhoogte van 8 kg/cm²) wordt aangedreven door een elektrische motor van 10 Pk.

1.2.2.2. Sproeiers

De "beregening" gebeurt met behulp van platte sproeiers die bij 6 kg/cm^2 waterdruk $3,4 \text{ l/min}$ geven onder een hoek van 117° .

In verband met de verbetering van de sproei-installatie is in de Rijksuniversiteit van Gent een onderzoek geweest over de wijze waarop de regen best kan worden nagebootst (§ 1.2.5.).

1.2.2.3. Rotameters

De controle van de juiste waterdebieten gebeurt per horizontale sproeilijn (er zijn er maximaal 4) telkens met behulp van 2 rotameters met een meetbereik van 60 en 2500 l/h .

1.2.3. Proefmuur (*)

Voor het beproeven van tot $8,5 \text{ m}$ hoge en 7 m brede gevelelementen werd een proefmuur van $7 \times 9 \text{ m}$ gebouwd (afb. 34).

Fundering

Als fundering zijn er 2 gewapend-betonvoeten in de grond onder de proefmuur.

Kolommen

Op elke funderingsblok werd een 9 m hoge metalen kolom (HEA 650) met bouten verankerd.

Panelen

Tegen de kolommen werden 16 cm dikke betonpanelen gemonteerd d.m.v. trekbouten. Er zijn vier panelen van $2 \text{ op } 7 \text{ meter}$ en één van $1 \text{ op } 7 \text{ meter}$. De bruikbare breedte van de muur is 7 m en de bruikbare hoogte $8,5 \text{ m}$.

De betonnen panelen zijn gewapend en hebben een metalen omkadering. Het beton van de panelen werd glad gemaakt en gepolierd en curing behandeld (afb. 35 t/m 38).

De voeg tussen de panelen wordt met elastische kit afgedicht.

De panelen bevatten in horizontale richting om de 54 cm en in verticale richting om de 50 cm gegalvaniseerde hulzen ter bevestiging van de proefstukken.

In het midden van de muur en op 2 m boven de grond is er een toevoerbuiss (diameter 32 cm) voor de nodige luchtdruk en zijn er vier kleinere buizen om de waterleidingen door te laten.

Berekeningsvoorwaarden

Verankeringspunten 9810 N (100 kg)

Doorbuigingen : 2 mm/9 m op + en - 600 kg/m^2 druk

Toevallige stoot op de bovenkant van de muur = 10 ton

Druksterkte van het beton = 350 kg/cm^2 .

Uitvoeringseisen

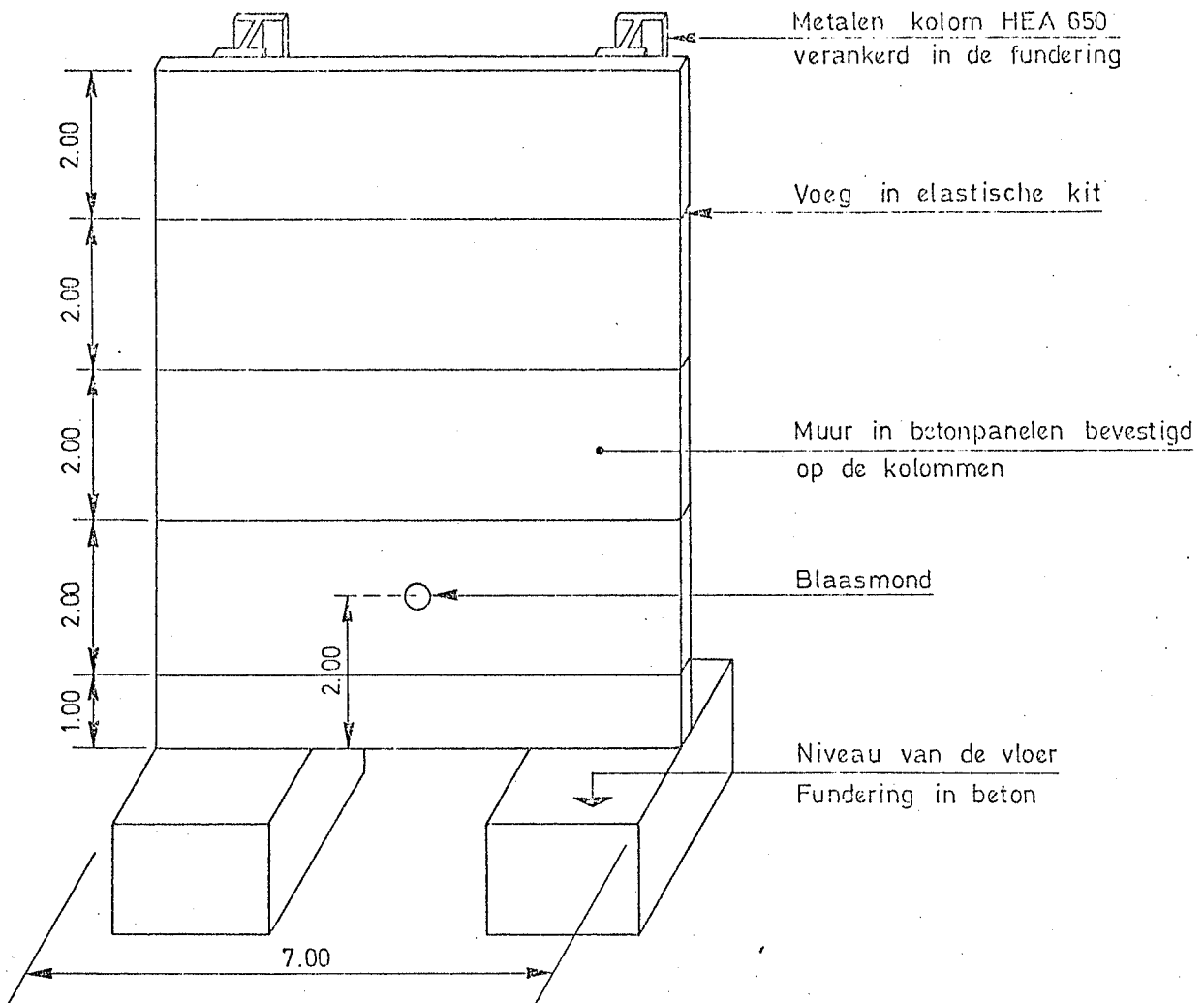
De afmetingen zijn op $\pm 1 \text{ mm}$ nauwkeurig volgens plan. De verticale stand van het proefoppervlak moet $\leq \pm 1 \text{ cm}$ op 9 m . De vlakheid is $\leq 4 \text{ mm}$ op 9 m , $\leq 2 \text{ mm}$ op 2 m , $\leq 1 \text{ mm}$ op 30 cm .

Alle metalen onderdelen werden tegen corrosie beschermd voor de montage.

Alle lassen zijn continue en hebben een doorsnede van tenminste $5 \times 5 \text{ mm}^2$

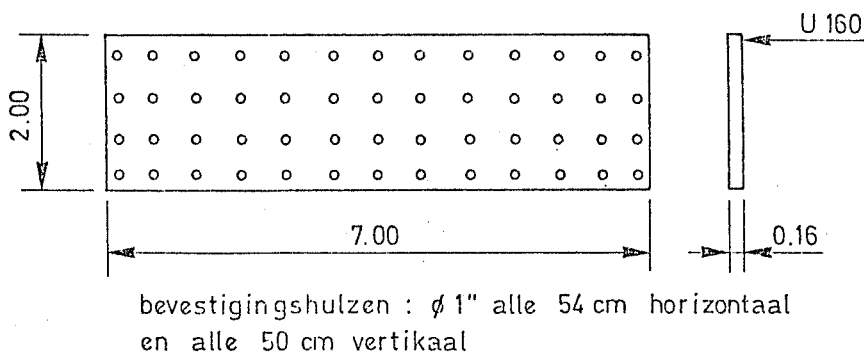
(*) De geïnteresseerden kunnen de gedetailleerde plannen van deze muur bij het W.T.C.B. verkrijgen.

Afb. Proefmuur voor de controle van de dichtheid van gevels en gevelelementen.

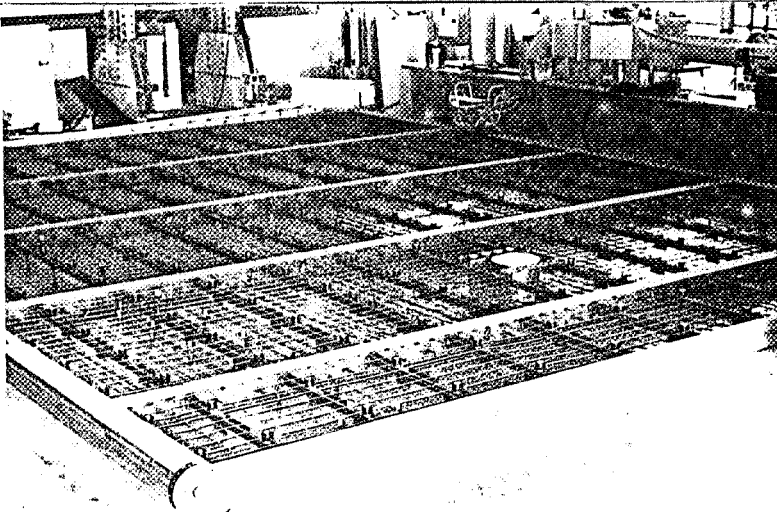


Afb. 34 - Proefmuur.

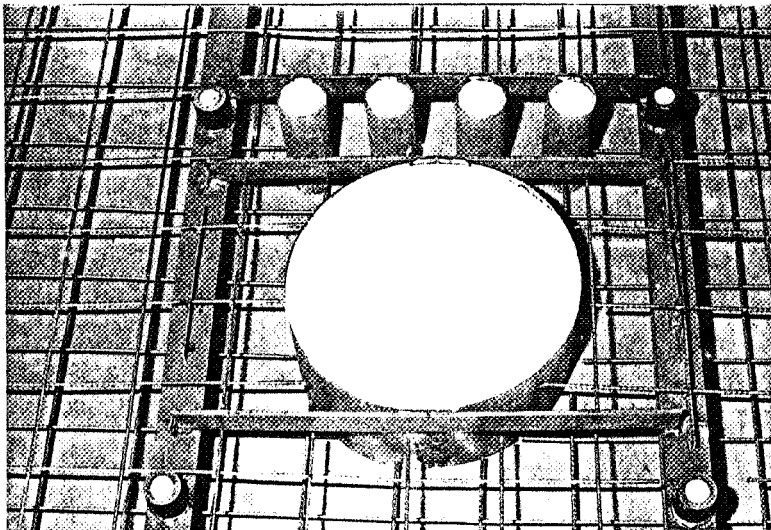
Betonpaneel



Afb. 35 - Betonpaneel.



Afb. 36 - Metalen omkaderingen en wapening, horizontaal gemonteerd voor het storten van het beton.



Afb. 37 - Uitsparingen voor de luchtleiding ($\varnothing$ 320 mm) en de waterleidingen gevuld met polystyreen voor het storten van het beton.



Afb. 38 - Verankeringschulzen van de proefmuur (eveneens gevuld met polystyreen)

1.2.4. Aanvulling van de evaluatiemethoden en bestaande criteria op gebied van luchtdoorlaat door luchtdoorlaatmetingen op vensterramen bij buitentemperaturen verschillend van de binnentemperatuur(*).

1. INLEIDING.

De luchtdoorlaat van vensterramen wordt tot nu toe in België gemeten volgens de methodes beschreven in de Eengemaakte Technische Specificaties STS 36 voor metaalschrijnwerk en STS 52 voor houten buitenschrijnwerk. Dit gebeurt met behulp van een installatie bestaande uit ventilatoren, een drukregelsysteem, een drukmeetsysteem, een luchtdebietsysteem en een testmuur waarop het venster raam op een luchtdichte manier gemonteerd kan worden. Hiermede kan de luchtdoorlaat van het venster raam gemeten worden bij constante drukverschillen tussen binnen- en buitenzijde, die in situ ontstaan ten gevolge van de inwerking van de wind (zie NBN 460.01).

Bij deze metingen is de temperatuur langs de buitenzijde van het raam echter steeds gelijk aan de temperatuur langs de binnenzijde. Deze toestand, die praktisch nooit in werkelijkheid voorkomt, zou een verschillende luchtdoorlaat kunnen geven dan die voorkomende bij zeer hoge of zeer lage buitentemperaturen, dit wegens de verschillende thermische uitzettingen van de samenstellende delen en ook wegens belangrijke veranderingen van de stijfheid van de dichtingen en andere kunststofdelen.

Het meten van de luchtdoorlaat bij verschillende buitentemperaturen is nog maar op een zeer klein aantal vensterramen gebeurd, zodat een gefundeerd besluit nog onmogelijk is. Een verder onderzoek is dan ook noodzakelijk.

Tot nog toe werd steeds de globale luchtdoorlaat gemeten. Dat deze belangrijk is voor de evaluatie van de thermische en acustische isolatie is vanzelfsprekend. Het comfort van de bewoners kan echter nadelig beïnvloed worden door toechthinder te wijten aan een grote plaatselijke luchtdoorlaat, zelfs indien de globale luchtdoorlaat van het raam binnen aanvaardbare waarden blijft. Een onderzoek van de verdeling van de luchtdoorlaat en het opsporen van te grote luchtdoorlaatconcentraties dringt zich dan ook op.

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het W.T.C.B. - Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor de Bouw - dat ons negen horizontaal pivoterende ramen van ongeveer 1,50 m op 1,50 m ter beschikking heeft gesteld : drie in hout, drie in aluminium en drie in PVC.

2. BESCHRIJVING VAN DE PROEFOPSTELLING.

Een testkast in hout en glas wordt luchtdicht tegen de bestaande testmuur gemonteerd. Zo ontstaat een kamer van 0,8 x 2,5 x 2,5 m³ met één open wand van 2,5 x 2,5 m².

In deze opening wordt het te onderzoeken venster raam gemonteerd met zijn binnenzijde naar de testmuur gekeerd. De aldus gevormde kamer wordt nu "binnenkamer" genoemd.

(*) Proeven uitgevoerd door het laboratorium voor Voertuigtechniek (Prof. F.P. Malschaert en ir. Glazemakers), van de Rijksuniversiteit Gent. Het volledige verslag (ref. 779/W.T.C.B.) kan worden aangevraagd in voornoemd laboratorium of bij het W.T.C.B.

Een tweede kamer van $0,5 \times 2,5 \times 2,5 \text{ m}^3$ op wielen gemonteerd, samen met een koelinstallatie en verwarmingselementen, wordt tot tegen het vensterraam gerold. Deze kamer wordt in het vervolg "buitenkamer" genoemd. Zie fig. 779/WTCB/I2. De bestaande installatie van de testmuur laat toe in de binnenkamer een gewenste druk of onderdruk op te wekken met behulp van ventilatoren, en terzelfdertijd het luchtdebiet te meten nodig om de kamer op een bepaalde constante druk te houden. Dit luchtdebiet is gelijk aan de som van de luchtdoorlaat van het vensterraam en de lekverliezen van de installatie (leidingen en kamer).

Vermits de installatie in de binnenkamer uitmondt zal men hierin een onderdruk moeten opwekken om de toestand te simuleren van een vensterraam onderworpen aan een hogere buitendruk, b.v. ten gevolge van de wind ; m.a.w. de luchtdoorlaatmetingen bij drukken (luchtdruk langs buitenzijde van raam groter dan langs binnenzijde) gebeuren niet zoals gewoonlijk door de druk langs de buitenzijde te verhogen, doch door de druk langs de binnenzijde te verminderen.

In de binnenkamer wordt de temperatuur met behulp van elektrische verwarmingselementen en thermostaat op $+ 20^\circ \pm 1^\circ \text{C}$ gehouden.

De temperatuur in de buitenkamer kan met behulp van geforceerde luchtcirculatie hetzij over een koelgroep tot $- 20^\circ \text{C}$, hetzij over verwarmingselementen tot $+ 50^\circ \text{C}$ gebracht worden.

In de binnenkamer, in de buitenkamer en op het vensterraam worden Ni-Cr thermokoppels aangebracht om de temperatuursverdeling en verandering te volgen.

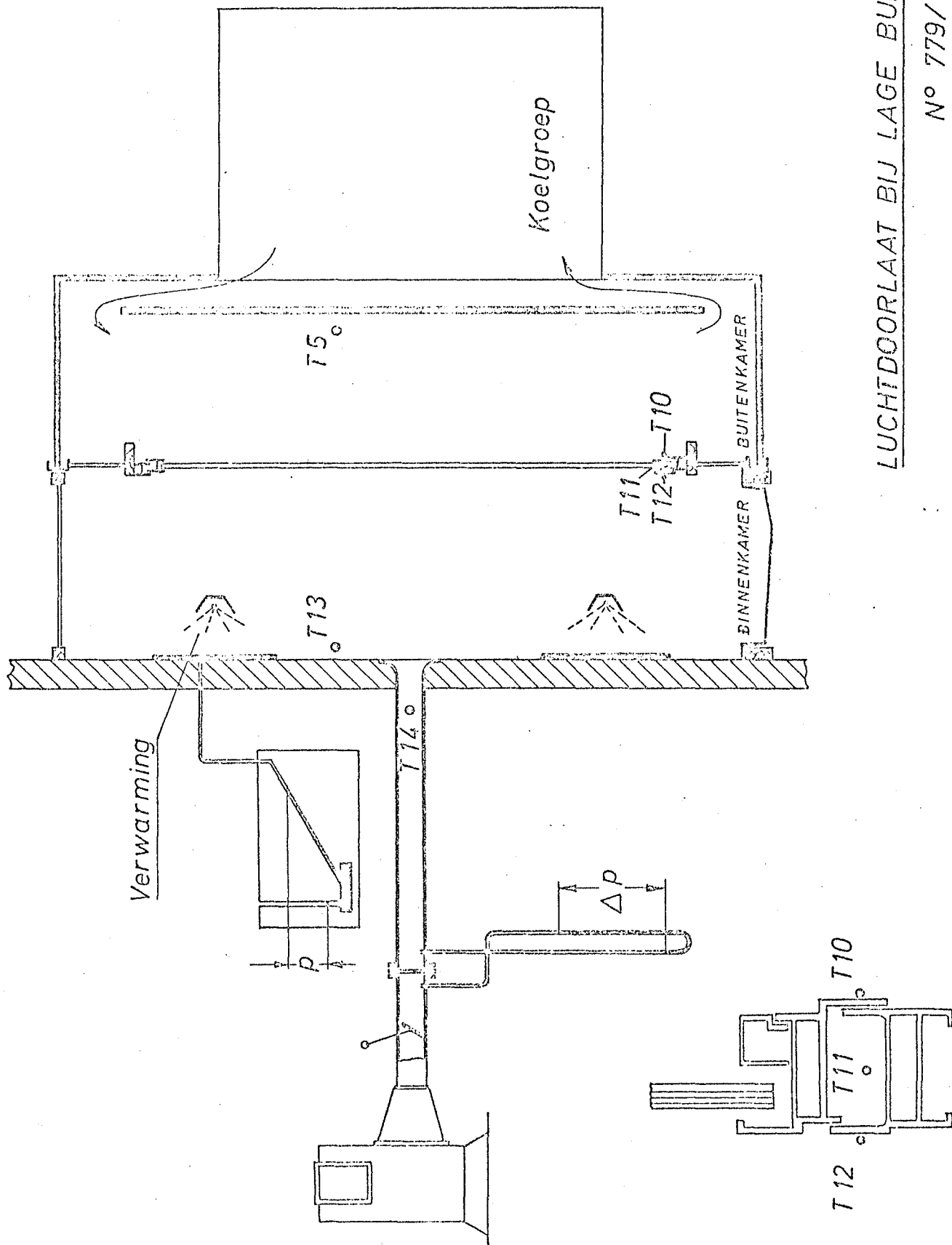
3. MEETMETHODE.

Na montage van het te beproeven vensterraam op de installatie wordt de globale luchtdoorlaat gemeten tot 50 mm WZ, bij drukken en bij zuigen. Na aftrekken van de vooraf bepaalde lekverliezen van de installatie (leidingen, binnenkamer, montage) bekomt men de werkelijke luchtdoorlaat van het vensterraam.

De plaatselijke luchtdoorlaten worden opgespoord met behulp van een hete draad anemometer merk Fuess, op de volgende manier (zie fig. 779/WTCB/I3) :

- de opengaande slagen worden langs de binnenzijde verdeeld in stukken van 10 cm lengte,
- een mondstuk van 10 cm lang wordt telkens op een stukje slag geplaatst,
- de lucht die door dat gedeelte van de slag komt gaat via het mondstuk en een buigzame leiding door de anemometer, naar de buitenlucht,
- de gemeten luchtsnelheid is recht evenredig met de luchtdoorlaat door het 10 cm lange stuk slag.

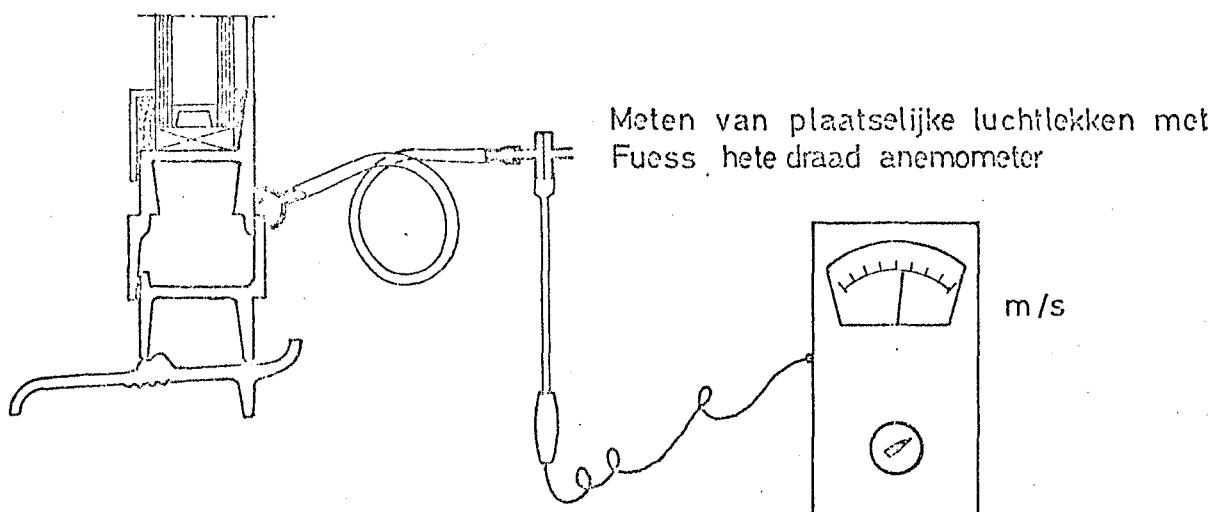
Aan de hand van deze metingen kan het verloop van de luchtdoorlaat over de volledige lengte van de slag getekend worden en dit bij verschillende drukken. Het opmeten van de plaatselijke luchtdoorlaten gebeurt steeds langs de binnenzijde van het raam vermits een grote lokale luchtdoorlaat langs de buitenzijde niet noodzakelijk een grote lokale luchtdoorlaat langs de binnenkant geeft, en dus ook niet het optreden van toechthinder.



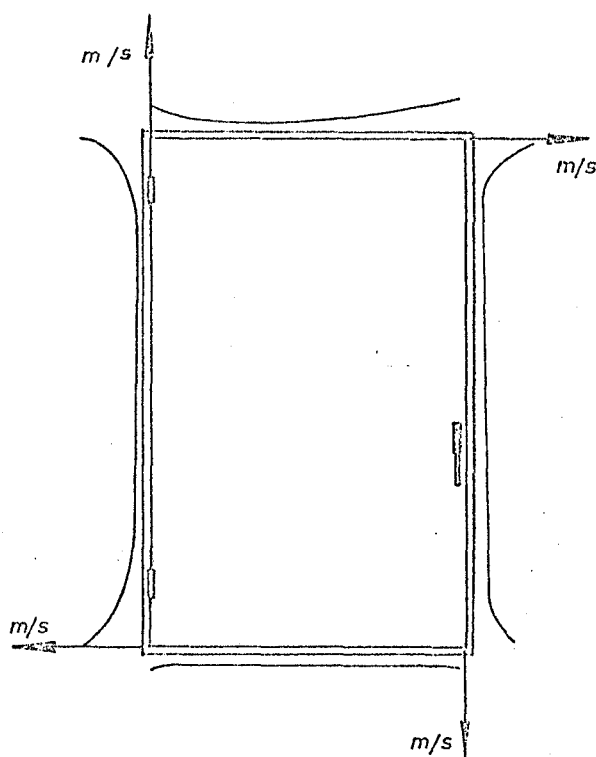
LUCHTDOORLAAT BIJ LAGE BUITENTEMPERATUUR

N° 779/WTCB I/02

Datum: 29.9.75



MEETOPSTELLING



MEETRESULTAAT

Al deze metingen werden uitgevoerd bij de volgende acht luchttemperaturen in de buitenkamer : - 20, - 10, 0, + 10, + 20, + 30, + 40 en + 50°C + 2°C, met een binnenkamertemperatuur van 20° + 1°C voor buitentemperaturen beneden de 20°C, iets meer dan 20°C voor hogere buitentemperaturen.

Alle luchtdoorlaatmetingen gebeuren in thermisch stationaire toestand. Dit wordt gecontroleerd door de temperaturen op de buitenzijde van een raamprofiel, in de slag, en op de binnenzijde van een raamprofiel te meten met behulp van Ni-Cr thermokoppels en deze temperaturen op een traaglopende x-t schrijver te noteren. Zie fig. 779/WTCB/I4.

Opmerkingen :

De voor het onderzoek aangeboden houten ramen kunnen op twee manieren geopend worden : hetzij als horizontaal pivoterend raam, hetzij als klapraam. De omschakeling gebeurt door het solidariseren van het oplegprofiel hetzij met de vaste kader, hetzij met de opengaande kader door middel van één metalen pen aan elke stijl. Tussen deze profielen bevindt er zich geen enkele strip of dichtingsmiddel, de speling toegelaten door de solidariseringspen bedraagt + 1 mm, de sluitinrichting van het opengaande raam beperkt zich tot 3 sluitpunten onderaan, geen enkel bovenaan of zijdelings.

Na montage op de testinstallatie stellen wij vast dat de globale luchtdoorlaat bij een drukverschil van 10 mm WZ ver boven de 6 Nm³ per uur en per m slag ligt, hetgeen betekent dat deze ramen veruit niet voldoen aan de STS-voorschriften. Reeds bij 10 mm WZ komt de bovenste slag open, en met een debiet van 250 m³ per uur kan het drukverschil van 50 mm WZ niet bereikt worden.

In die omstandigheden worden er dan ook geen verdere proeven op deze drie houten constructies uitgevoerd.

Na levering van drie behoorlijk geconstrueerde houten ramen, zullen deze volledig onderzocht worden, zoals de alu en de P.V.C. ramen.

4. MEETRESULTATEN.

4.1 Globale luchtdoorlaat bij verschillende buitentemperaturen op drie horizontaal pivoterende P.V.C. ramen in Nm³/h.m slag.

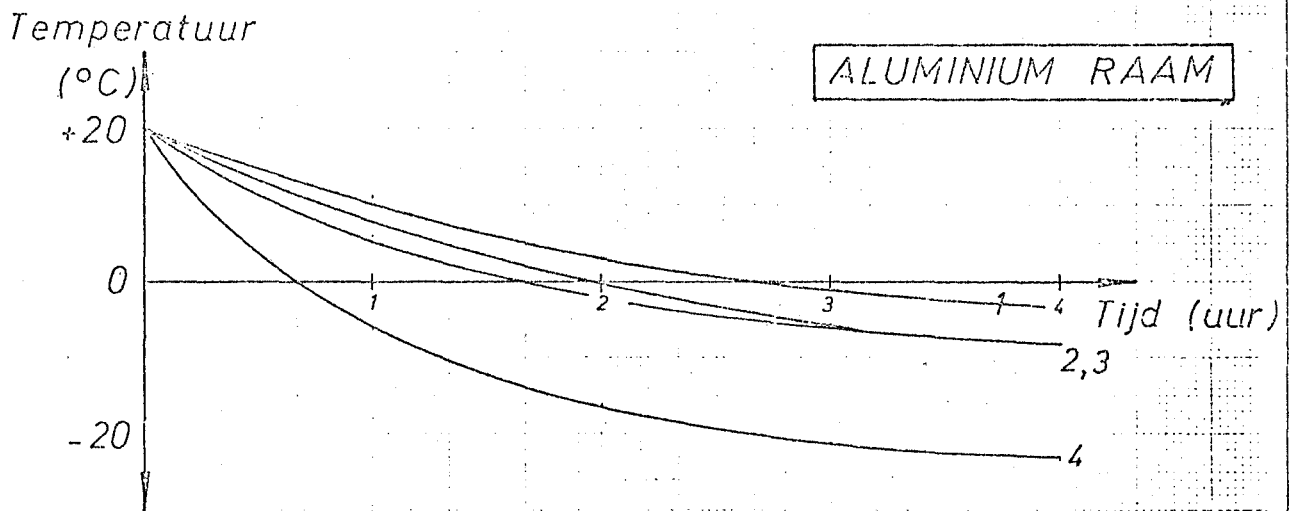
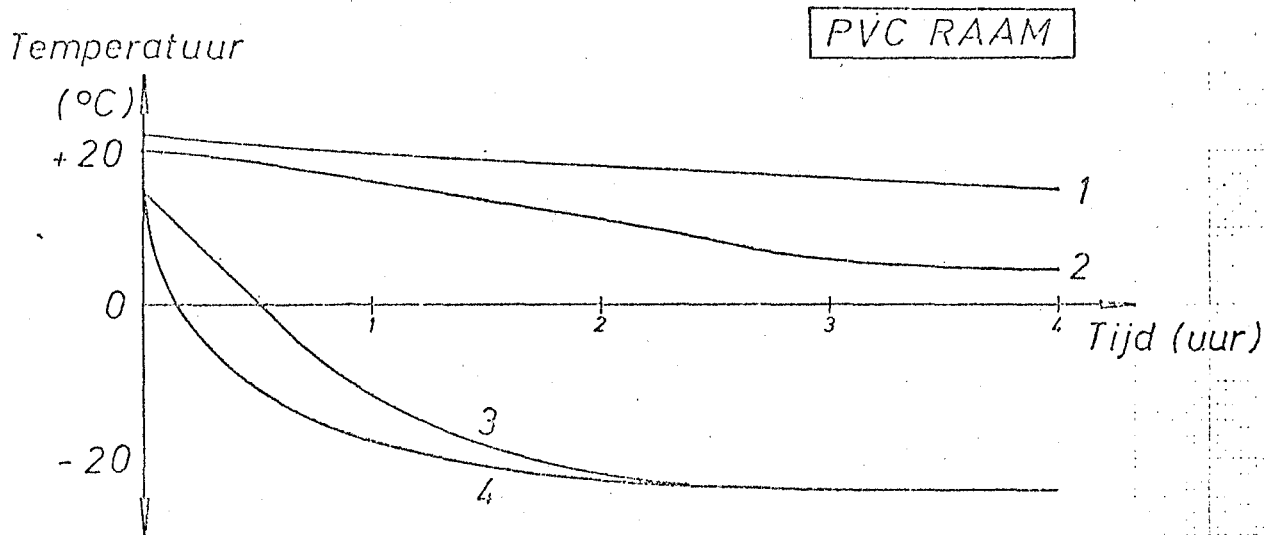
De opgemeten globale luchtdoorlaten worden in grafieken uitgezet. Men geeft als voorbeeld het minst goede raam van de 3.

Conclusies :

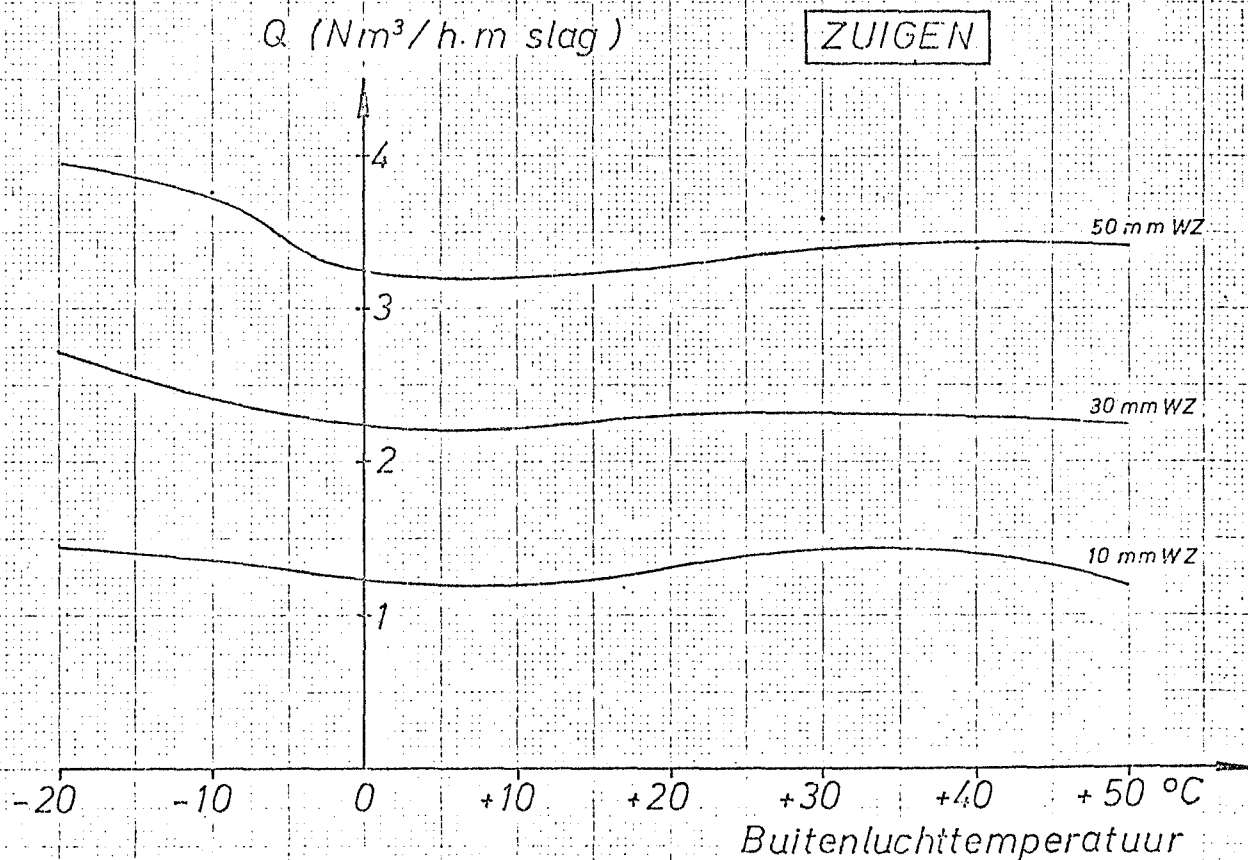
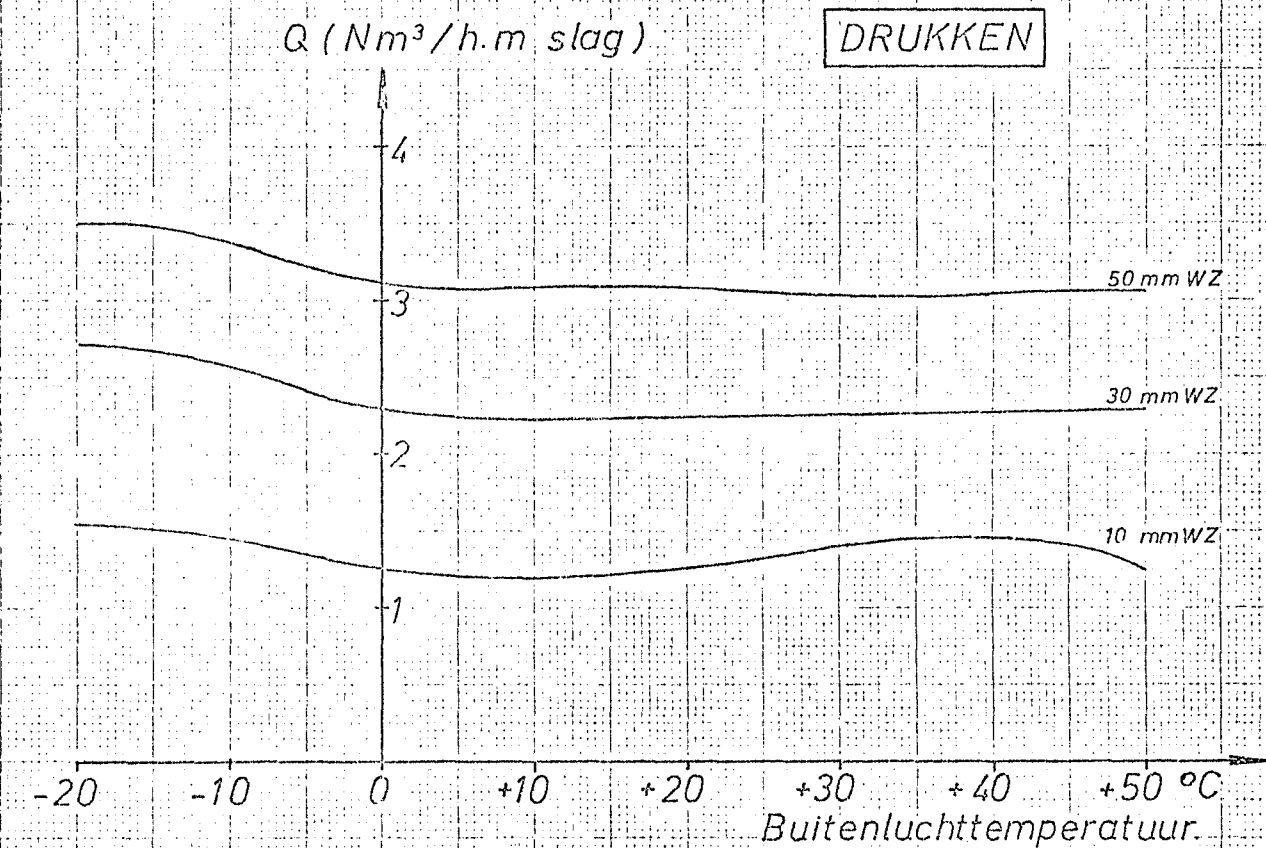
voor raam P.V.C. 1.

Zie fig. 779/WTCB/I5.

- zeer kleine luchtdoorlaten : nl. tussen 1,21 en 1,55 Nm³/h.m slag.
- kleine veranderingen van luchtdoorlaat : maximum 20 %.
- stijging van de doorlaat bij dalende temperatuur onder 0°C.
- lichte daling van de doorlaat bij + 10°C.
- tendens tot lichte stijging van de doorlaat boven de 20°C met teruggdaling naar + 50°C.



1. Temperatuur aan binnenzijde van raamprofiel.
2. Temperatuur in de slag.
3. Temperatuur aan buitenzijde van raamprofiel.
4. Temperatuur lucht buitenkamer.



Globale Luchtdoorlaatverloop bij veranderende
buitentemperaturen. Raam PVC 1

voor raam P.V.C. 2.

- zeer kleine luchtdoorlaten : nl. tussen 1,15 en 1,26 Nm³/h.m slag.
- zeer kleine veranderingen van luchtdoorlaat : ongeveer 5 %.
- geen tendens vast te stellen in de kleine verandering van de luchtdoorlaat.

voor raam P.V.C. 3.

- zeer kleine luchtdoorlaten : nl. tussen 1,21 en 1,36 Nm³/h.m slag.
- kleine veranderingen van luchtdoorlaat : ongeveer 10 %.
- stijging van de doorlaat bij dalende temperaturen onder 0°C.
- lichte daling van de doorlaat bij + 10°C.
- stijging van de doorlaat bij temperaturen boven de 20°C, echter met daling bij zuigen bij + 50°C.

Algemeen :

Alle gemeten luchtdoorlaten zijn zeer klein en ver beneden de door de STS vastgestelde niveaus. De verschillen in functie van de buitentemperatuur zijn ook zeer klein.

Ramen P.V.C. 1 en P.V.C. 3 reageren bijna op dezelfde manier.

Raam P.V.C. 2 geeft praktisch geen wijzigingen van doorlaat. Dit raam had eveneens de kleinste luchtdoorlaat bij kamperatuur.

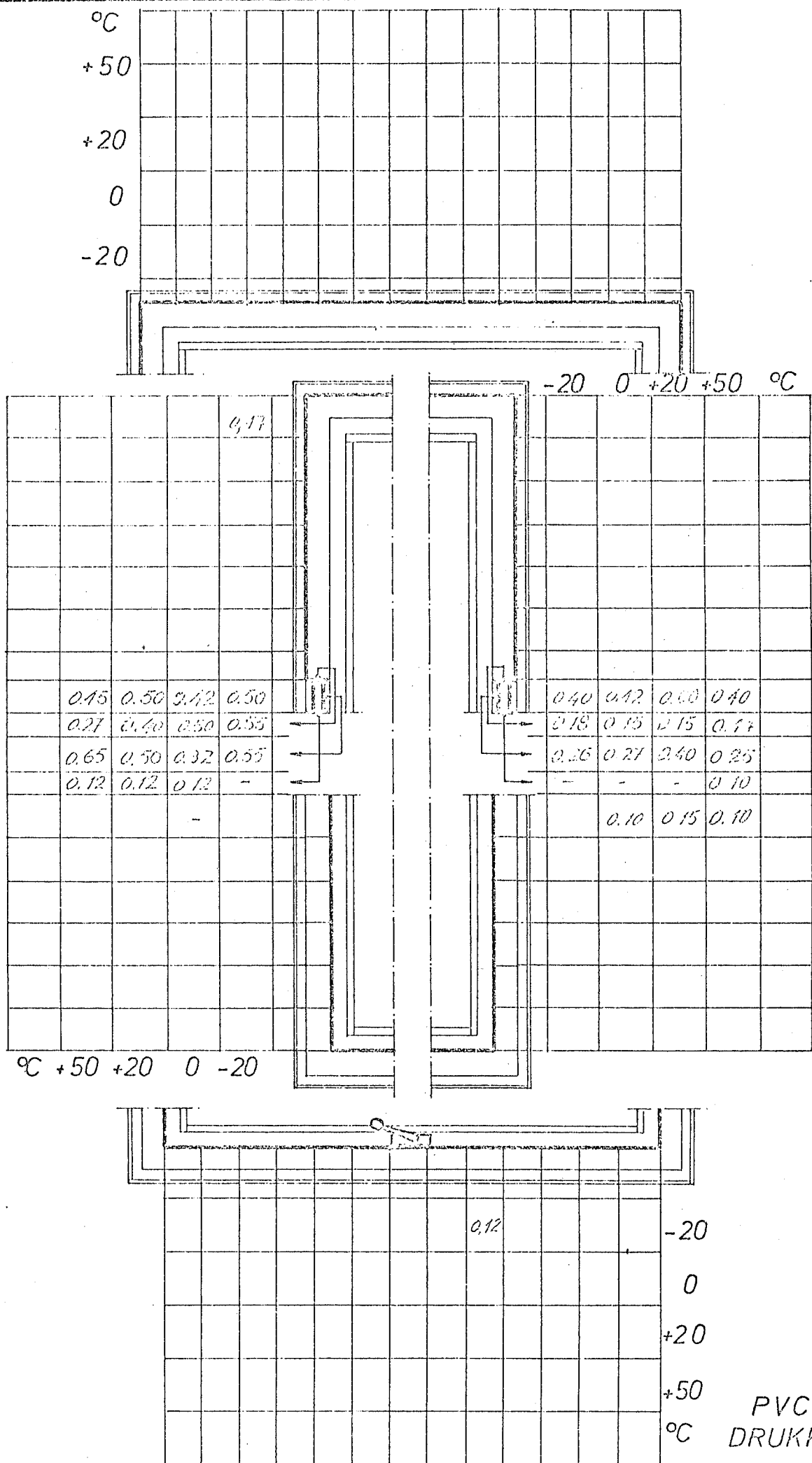
4.2 Verdeling over de slaglengte van de luchtdoorlaat door drie horizontaal pivoterende P.V.C. ramen bij verschillende buitentemperaturen.

De verdeling over de slaglengte van de luchtdoorlaat wordt onderzocht volgens de in § 3 beschreven methode. De waarden zijn in meter per seconde gemeten ter hoogte van de hete draad waar de doorstromingssectie 12 x 8 mm² bedraagt.

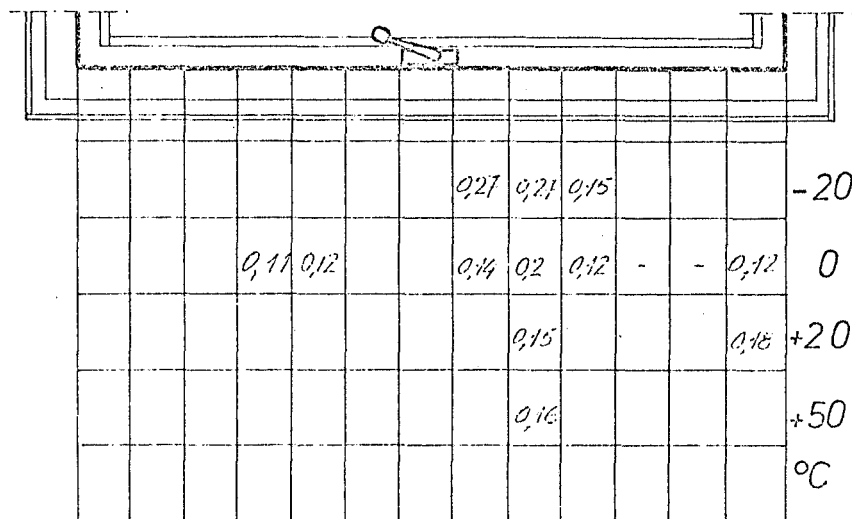
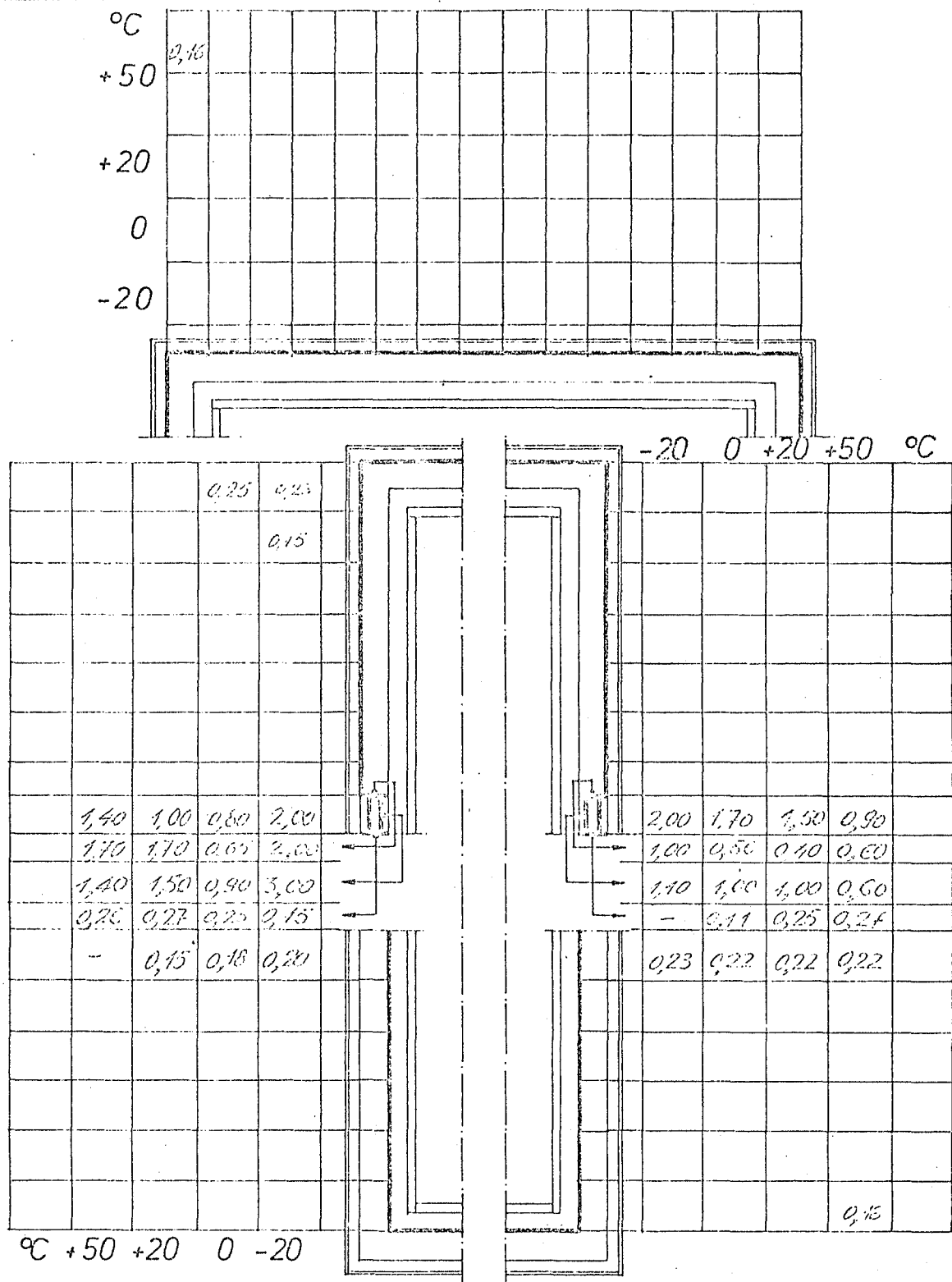
Het was tot nog toe niet mogelijk om de gevonden snelheden om te rekenen tot een luchtdebiet door een elementaire slaglengte, en deze debieten te sommeren om de globale luchtdoorlaat terug te vinden. Er blijven twee belangrijke onbekenden, nl. : de vorm van de luchtstroom rond de hete draad en de invloed van de ladingsverliezen in de meetapparatuur op het effectieve drukverschil door de slag.

Meting van luchtsnelheden kleiner dan 0,1 m/sec worden door de fabrikant van het meettoestel als onbetrouwbaar bestempeld en werden dan ook niet vermeld in bijgevoegde tabellen, met de gemeten luchtsnelheid ter hoogte van de elementaire slaglengte of taatsdoos, dit voor een buitenluchttemperatuur van resp. - 20, 0, + 20 en + 50°C.

<u>Nr figuur</u>	<u>raam</u>	<u>drukverschil</u>
779/WTCB/I8	P.V.C. 1	10 mm WZ drukken
779/WTCB/I9	P.V.C. 1	50 mm WZ drukken



PVC 1
DRUKKEN



PVC 1
DRUKKEN

Conclusies :

- Bij de drie ramen zijn de opengaande slagen zeer luchtdicht ; er worden praktisch geen waarden boven de 0,1 m/sec vastgesteld zelfs bij een drukverschil van 50 mm WZ.

- Er treden wel belangrijke luchtdoorlaten op aan de taatsdozen. Deze worden als storend ondervonden op een afstand van 20 cm voor koude buitenluchttemperaturen vanaf doorlaten overeenstemmende met 1 m/sec.

- Aan de glaslatten, vooral in de hoeken, werden kleine luchtlekken vastgesteld.

Volgens Ir. E. Van Gunst in artikel "Ventilatie" publicatie n° 101 van het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O. komen er klachten over tochtthinder voor bij luchtsnelheden boven de 0,35 m/sec.

Metingen van de plaatselijke luchtdoorlaat werden eveneens uitgevoerd bij zuigen, met als doel het gedrag van het raam beter te leren kennen.

Bij zuigen geven grote plaatselijke doorlaten geen enkele tochtthinder. De resultaten zijn praktisch gelijk aan deze gevonden bij drukken

4.3 Globale luchtdoorlaat bij verschillende buiten-temperaturen op drie horizontaal pivoterende aluminium ramen (Nm³/h.m slag).

De ramen ontwikkelen een lengte van de opengaande slagen van 5,04 m. Zoals te zien in de grafiek van fig. 779/WTCB/I4 die het temperatuurverloop van het vaste aluminium profiel geeft, bereikt de temperatuur waarden beneden het nulpunt, zelfs langs de binnenzijde. Dit heeft voor gevolg dat het vooraf op het glas en op de profielen gecondenseerde water bevriest en er zo een ijslaag ontstaat over de opengaande slagen met als gevolg een totale dichtheid van het raam.

Om toch de invloed te kunnen onderzoeken van de temperatuur op de luchtdoorlaat wegens verandering van de karakteristieken en afmetingen van de dichtingsstrips en van de aluminium profielen, werd het raam vóór elke meting met temperaturen beneden nul, geopend en gesloten, zodat de gevormde ijslaag telkens gebroken werd.

Conclusies :

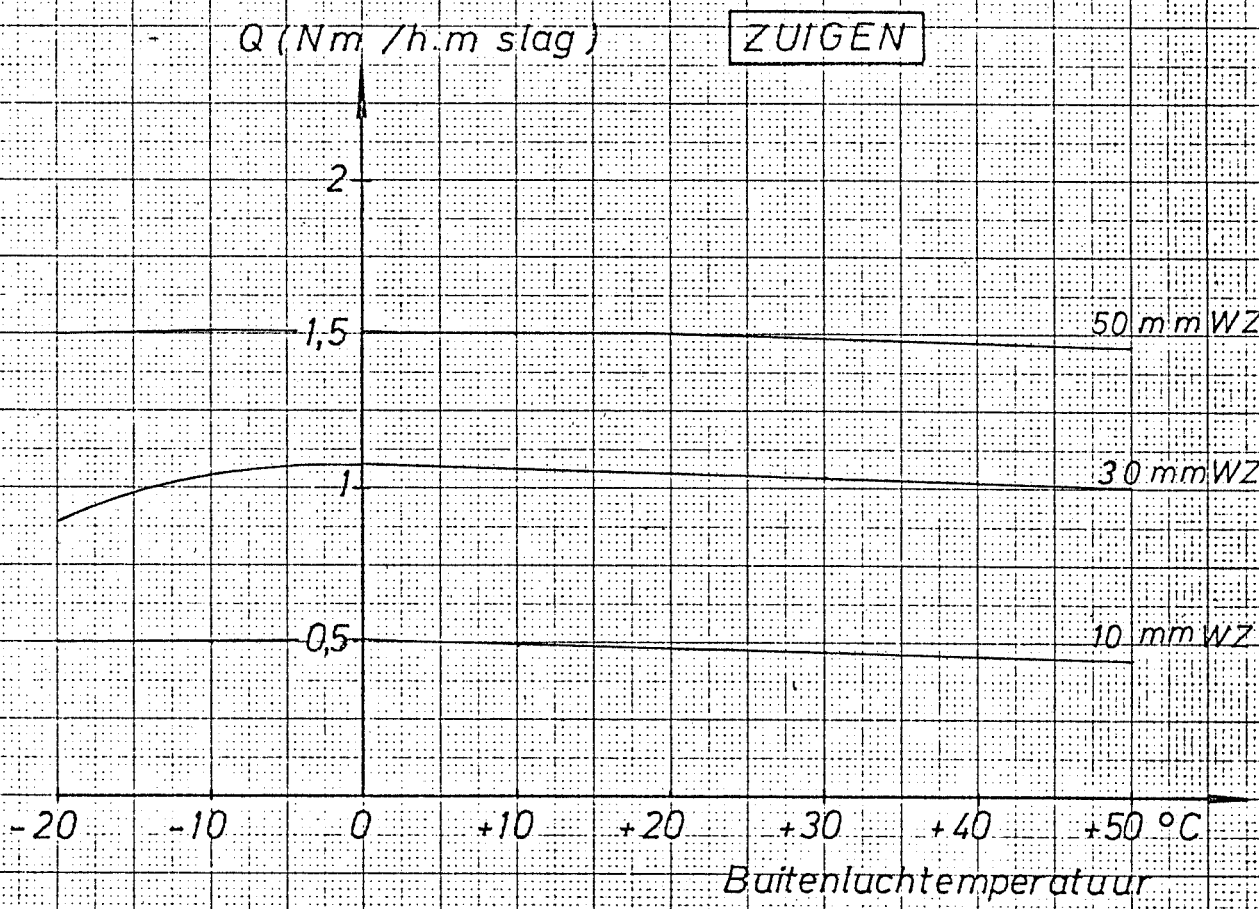
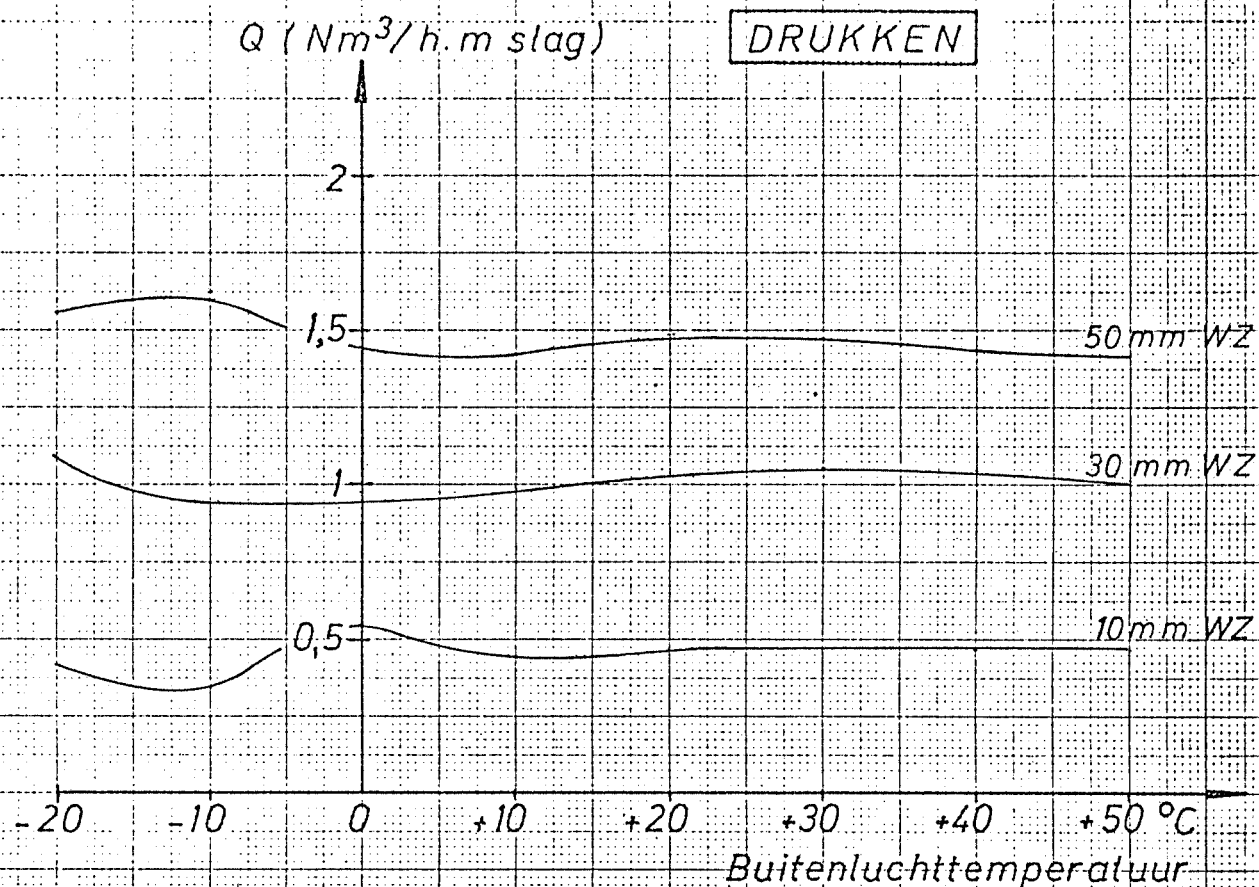
voor raam ALU 1.

Zie luchtdoorlaatverloop in fig. 779/WTCB/I20.

- zeer kleine luchtdoorlaten : minder dan 0,5 Nm³/h.m slag bij 10 mm WZ tot 1,5 Nm³/h.m slag bij 50 mm WZ, zowel bij drukken als bij zuigen.
- luchtdoorlaat praktisch constant over het volledige temperatuurinterval.

voor raam ALU 2.

- zeer kleine luchtdoorlaten : praktisch dezelfde als raam ALU 1.
- luchtdoorlaat praktisch constant over het volledige temperatuurinterval met zeer lichte tendens van kleiner wordende doorlaat bij hoge buiten-temperaturen en groter wordende doorlaat bij lage buiten-temperaturen.



Globale luchtdoorlaatverloop bij veranderende
 Buitentemperaturen - Raam ALU 1

FIG. 779 / WTCB / I 20

- zeer kleine luchtdoorlaten : praktisch dezelfde als ramen ALU 1 en ALU 2. Iets kleiner bij drukken, iets groter bij zuigen.
- de tendens van kleiner wordende doorlaat bij hoge buitentemperaturen en groter wordende doorlaat bij lage buitentemperaturen is iets sterker. In absolute waarde blijven de vastgestelde verschillen echter zeer klein, nl. van 0,56 tot 0,46 bij 10 mm WZ drukken,
van 1,56 tot 1,33 bij 50 mm WZ drukken,
van 0,61 tot 0,45 bij 10 mm WZ zuigen,
van 1,64 tot 1,46 bij 50 mm WZ zuigen.

Algemeen :

Alle vastgestelde luchtdoorlaten zijn buitengewoon klein. STS 36 laat voor dit type raam 3 Nm³/h.m slag toe bij 10 mm WZ, hetgeen normaal tot meer dan 8 Nm³/h.m slag mag stijgen voor een drukverschil van 50 mm WZ.

De onderzochte ramen laten slechts ongeveer één zesde van deze waarden door, hetgeen normaal niet wordt aangetroffen in de doorsnee aluminium horizontaal pivoterende ramen en ook niet wordt nagestreefd vermits in de meeste gebruiksomstandigheden het raam moet bijdragen tot de luchtverversing.

De vastgestelde verschillen in luchtdoorlaat bij verschillende buitentemperaturen zijn zeer klein. Praktisch nul voor de ramen ALU 1 en ALU 2 ; iets groter bij raam ALU 3 met kleiner wordende doorlaat bij zeer hoge buitentemperaturen (tot +50°C) en groter wordende doorlaat bij zeer lage buitentemperaturen (tot -20°C).

4.4 Luchtdoorlaatverdeling bij verschillende buitentemperaturen op drie horizontaal pivoterende aluminium ramen.

Er wordt op elk van de drie ramen bij elke buitenluchttemperatuur gezocht naar geconcentreerde luchtlekken, met behulp van de hete draad anemometer Fuess. In geen enkel geval kan een luchtdoorlaat gevonden worden waarvoor de uitwijking op de Fuess meterschaal groter is dan 0,1 m/sec.

5. ALGEMEEN BESLUIT.

Na het meten van de luchtdoorlaat van drie P.V.C. en drie aluminium horizontaal pivoterende ramen bij verschillende buitentemperaturen van - 20 tot + 50°C bij een binnentemperatuur van + 20°C, vindt men bij de onderzochte ramen dezelfde tendens weer, nl. vermindering van de luchtdoorlaat bij stijgende buitentemperaturen en een vermeerdering bij dalende buitentemperaturen. De luchtdoorlaten en zeker de gevonden verschillen in luchtdoorlaat zijn echter zo klein dat zij in geen enkel geval de zeer goede prestaties van deze ramen in gedrang brengen.

1.2.5. Aanvulling van de evaluatiemethoden en bestaande criteria op gebied van waterdichtheid van vensterramen door onderzoek van verschillende sproeisystemen voor simulatie van regen bij waterdichtheidsproeven(*)

1. INLEIDING.

a) Methode.

Op een reeks verschillende vensterramen waterdichtheidsproeven uitvoeren met vijf verschillende sproeisystemen, met als doel de invloed te onderzoeken van het sproeisysteem op de waterdichtheid van het raam.

b) De aangebrachte hoeveelheid water, de luchtdrukken en sproeitijden van deze waterdichtheidsproeven zijn gesteund op de werkzaamheden in CEN GT 33 "Essais Technologiques des Portes, Fenêtres et Quincailleries du Bâtiment". De sproeisystemen zijn verschillend.

c) Gebruikte sproeiwijzen.

- bandsproeien : het water wordt op het bovenste gedeelte van het raam zo homogeen mogelijk aangebracht opdat het in een ononderbroken film over het raam naar beneden zou vloeien.

- oppervlaktesproeien : het water wordt zo homogeen mogelijk over de gehele oppervlakte van het raam aangebracht.

- gemengd band- + oppervlaktesproeien.

Met elk van deze drie sproeiwijzen komt een in situ voorkomende situatie overeen. Een vensterraam ontvangt bij regen immers zowel water dat er rechtstreeks op valt (oppervlaktesproeien) als water dat op hoger gelegen gedeelten van de gevel viel en naar beneden stroomt over het raam (bandsproeien). De verhouding van beide wijzen hangt af van de afmetingen en plaats van het raam in de gevel en van de afmetingen en vorm van de gevel.

d) Waterdebiet.

Zowel voor oppervlaktesproeien als voor bandsproeien bepaalt de CEN GT 33 het aan te brengen waterdebiet : 2 liter per minuut en per vierkante meter.

Bij bandsproeien loopt dus over elke plaats van het raam een gelijke hoeveelheid water. Bij oppervlaktesproeien stijgt deze hoeveelheid naar beneden toe.

Ter hoogte van de onderkant van het raam zijn de hoeveelheden praktisch gelijk. Aan de taatsdozen bij horizontaal pivoterende ramen, zoals bij dit onderzoek gebruikt, is de hoeveelheid bij oppervlaktesproeien slechts de helft van deze bij bandsproeien.

Bij oppervlaktesproeien is de debietsbepaling per vierkante meter logisch. Bij bandsproeien zou het debiet echter moeten bepaald worden per meter te besproeien breedte.

(*) Proeven uitgevoerd door het laboratorium voor Voertuigtechniek (Prof. F.P. Malschaert en ir. Glazemakers) van de Rijksuniversiteit Gent. Het volledig verslag (ref. 779/W.T.C.B.) kan worden aangevraagd in voornoemd laboratorium of bij het W.T.C.B.

2. BESCHRIJVING EN VERANTWOORDING VAN DE ONDERZOCHE SPROEISYSTEMEN.

2.1 Algemeen.

a) Gekozen systemen.

- Systeem 1 : bandsproeisysteem met behulp van evenwijdige waterstralen.
- Systeem 2 : bandsproeisysteem met behulp van hoge druk sproeiërs.
- Systeem 3 : bandsproeisysteem met dubbele sproeibuis met platte straal sproeiërs.
- Systeem 4 : oppervlaktesproeisysteem met sproeiërs met vierkant sproeibeeld.
- Systeem 5 : oppervlaktesproeisysteem met sproeiërs met overlappende cirkelvormige sproeibeelden.

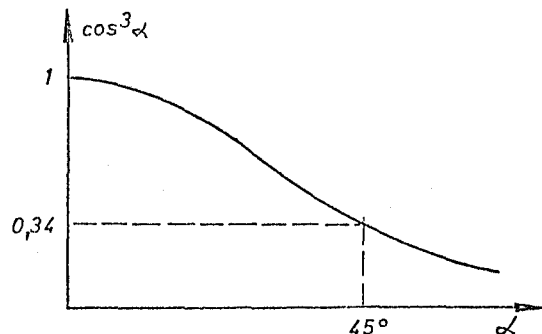
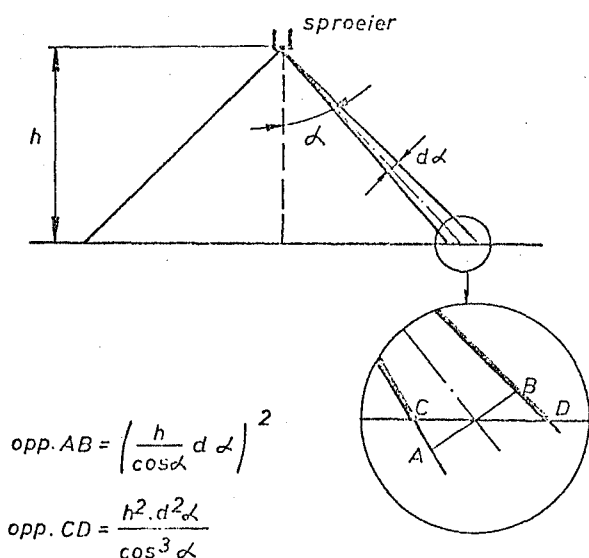
Een band- + oppervlaktesproeisysteem werd niet onderzocht omdat dit bij het gekozen debiet van 2 liter per minuut en per vierkante meter, tot te ingewikkelde constructies leidt voor het oppervlaktesproeien. Er zijn namelijk geen sproeiërs op de markt die oppervlaktesproeien toelaten bij debieten kleiner dan 1 liter per minuut en per vierkante meter.

b) Algemene kenmerken van de sproeiërs.

In een sproeier wordt aan het water een roterende beweging gegeven met behulp van een vaste of van een draaiende rotor. Door de middelpuntvliedende kracht zal de waterstraal bij het buitenkomen uit de sproeicropening uiteenspatten en sproeien in een kegel waarvan de tophoek bepaald wordt door de constructieve kenmerken en afmetingen van de sproeier.

Het is nodig dat het sproeisysteem een homogene verdeling van het water verzorgt, omdat bij een heterogene besproeiing de waterdichtheid van het raam zou kunnen beïnvloed worden door de relatieve ligging van raam en sproeisysteem, en ook opdat herhaald onderzoek van eenzelfde raam in hetzelfde of in verscheidene laboratoria dezelfde uitslagen zou tonen.

Bij homogeen sferisch sproeien (= zelfde waterhoeveelheid per eenheid ruimtehoek) zal de hoeveelheid water per eenheid oppervlakte van het raam evenredig zijn met $\cos^3 \alpha$. (α = halve tophoek).



Voor een gelijk top-hoekelement α/α is de besproeiende oppervlakte omgekeerd evenredig met $\cos^3 \alpha$ en de hoeveelheid water per eenheid oppervlakte evenredig met $\cos \alpha$.

Hieruit volgt dat de homogene besproeiing van een oppervlakte onmogelijk is met behulp van een sproeier die homogeen in de ruimte sproeit.

c) Het sproeibeeld. Onderzoek naar waterverdeling per oppervlakte eenheid.

- Het gesproeiende water wordt opgevangen in een raster van kleine potjes die op dezelfde plaats als het raam worden geplaatst.

- De invloed van de druk op het sproeibeeld wordt onderzocht met als voorbeeld de volle-kegelsproeier van systeem 2. De resultaten zijn grafisch voorgesteld in figuren 363/3-1 en 363/3-7. De horizontale lineaire spreiding over de dorpel werd bekomen door de opgevangen waterhoeveelheden in elke verticale band samen te tellen. Men ziet dat de middelpuntvliedende kracht bij stijgende drukken belangrijk wordt: meer water aan de kanten, minder in het centrum. Dit geeft een verbetering van de lineaire homogeniteit, die belangrijk is bij bandsproeien. Voor systeem 2, dat een bandsproeisysteem is, werd dan ook een hoge druk gekozen, nl. 5,5 kg/cm².

- De oppervlaktespreiding van het water voor de andere gebruikte sproeiers is weergegeven in figuren 363/3-8 tot en met 3-10.

- Verschillen in de hoeveelheid opgevangen water van 1 tot 4 zijn niet zeldzaam.

2.2. Beschrijving en eigenschappen van de sproeisystemen.

De beschrijving en de eigenschappen van de sproeisystemen gebruikt voor dit onderzoek, worden gegeven in volgende tabel.

2.7 SAMENVATTENDE TABEL ONDERZOCHE SPROEISYSTEMEN

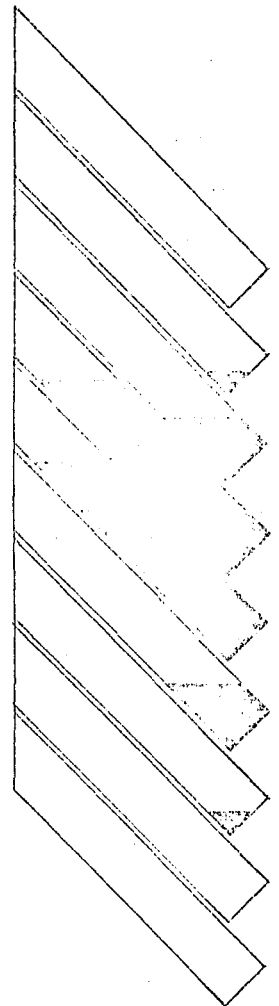
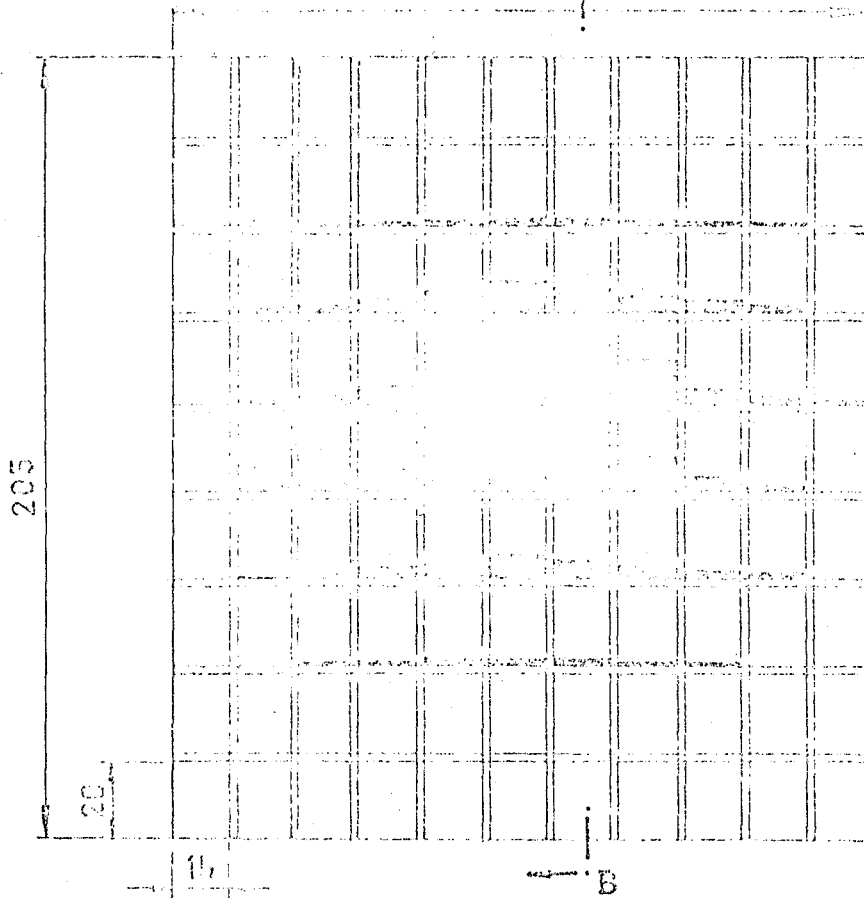
Systeem	Oorsprong	Gebruikte sproeiers	Afstand (mm)		Druk (kg/cm ²) in toevoer- leiding voor raam 1,5 x 1,5 m met 2 l/min.m ²	Voordelen	Nadelen	
			tussen sproeiers	tussen raam en sproeiers				
			hor.	vert.				
1	STS 36 STS 52 (NIH)	geen openingen Ø 0,05 in ronde koperen buis Ø 40 mm	40	-	150	0,9	-eenvoudig en dus goedkoop, eenvoudige aanpassing en minder kans op afwijkingen. -geen diepe kast nodig. -regelbaar in zeer groot debietsinterval (onmogelijk met sproeiers) zonder hoge drukken.	-mogelijkheid dat één waterstraal juist in slag of zwakke plaats terechtkomt en daardoor de resultaten beïnvloed worden door de positie van het raam t.o.v. de sproei-installatie.
2	RUG	volle kegel Ø 0,09 tophoek 60° merk Birchmeyer Afb. 363/3-1 en 7	115	-	150	5,5	-goede bevochtiging door verstuuving in fijne druppels.	-grote druk nodig. -beperkte debietsregeling. -zeer fijne waterdruppels waarbij gedeelte water niet op raam komt.
3	CEN/ GT 33/ 189	horizontale platte straal tophoek 100° merk Delavan AJ 17 Afb. 363/3 - 8	250	300	150	0,8	-mogelijkheid rekening te houden met eventuele bescherming van het raam in de gevel.	-homogenisatieruimte nodig. -min of meer overlappen van de sproeiers naar gelang debiet (hoogte van raam).
4	CEN/ GT 33/ 189	volle pyramide, vierkant beeld tophoek 90° merk Schlick 556/0 Afb. 363/3 - 9	700	650	300	2,8	-goede bevochtiging: geen "delta"vorming zelfs bij kleine debieten of slechte gordijnvorming.	-diepe kast met homogenisatieruimte nodig.
5	RUG	volle kegel Ø 2 tophoek 120° merk Fulljet 1/8 GG 4.3 W Afb. 363/3 - 10	800	800	300	0,6	-dikke druppels spat- ten naar willekeurige plaatsen. Beeld op raam zoals zichtbaar bij regen.	-diepe kast met homogenisatieruimte nodig.

OVERVIAALTIJDSNOMMER

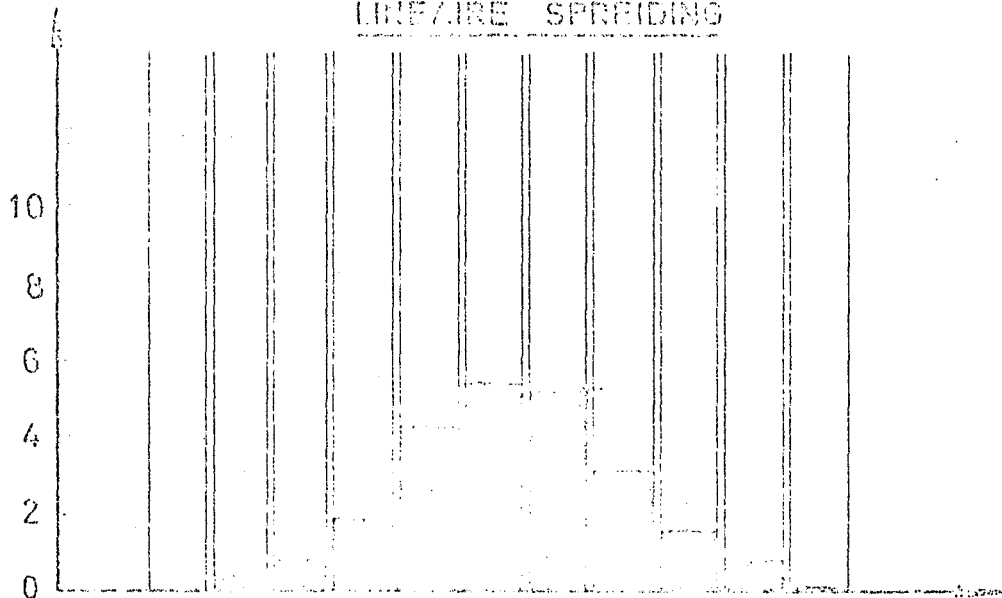
185

A

DOORENEDEN AB



LINEAIRE SPREIDING



TESTROOSTER VOOR SPREIERS.
SPREIDING GEDRAGEN IN WATER.

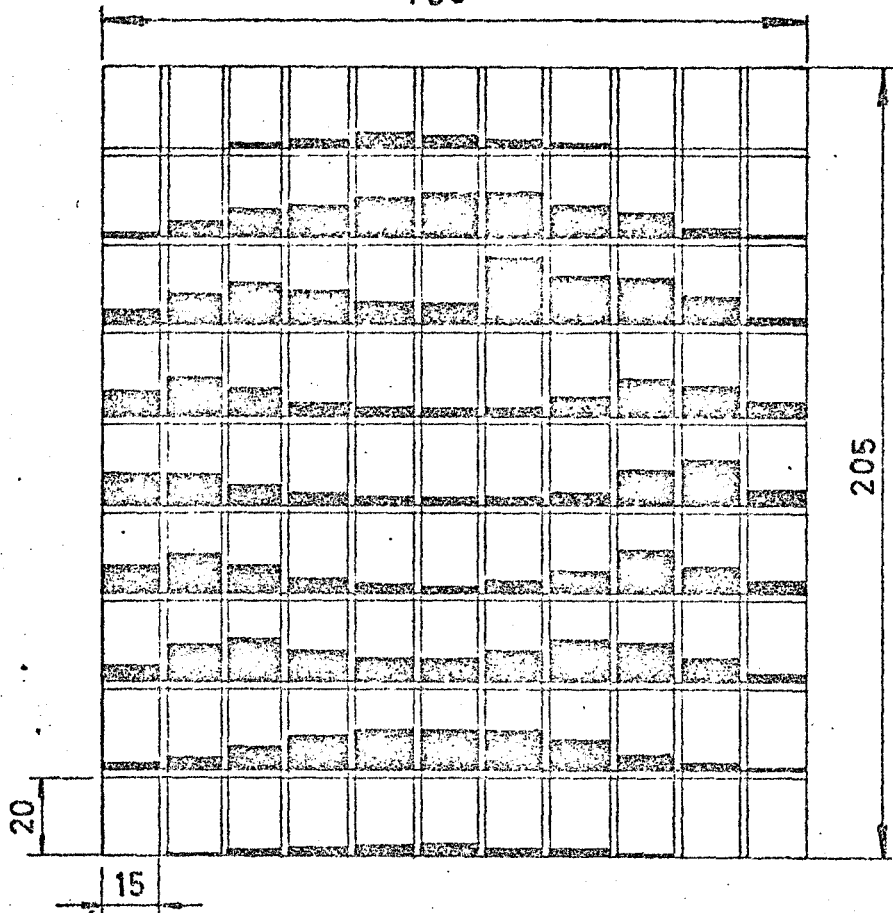
LABORATORIUM VOOR
VOERTUIGTECHNIEK

GETESTE STOF: BIRCHMEER ϕ 0,55mm
WATER: BEELD 0,1 l/min

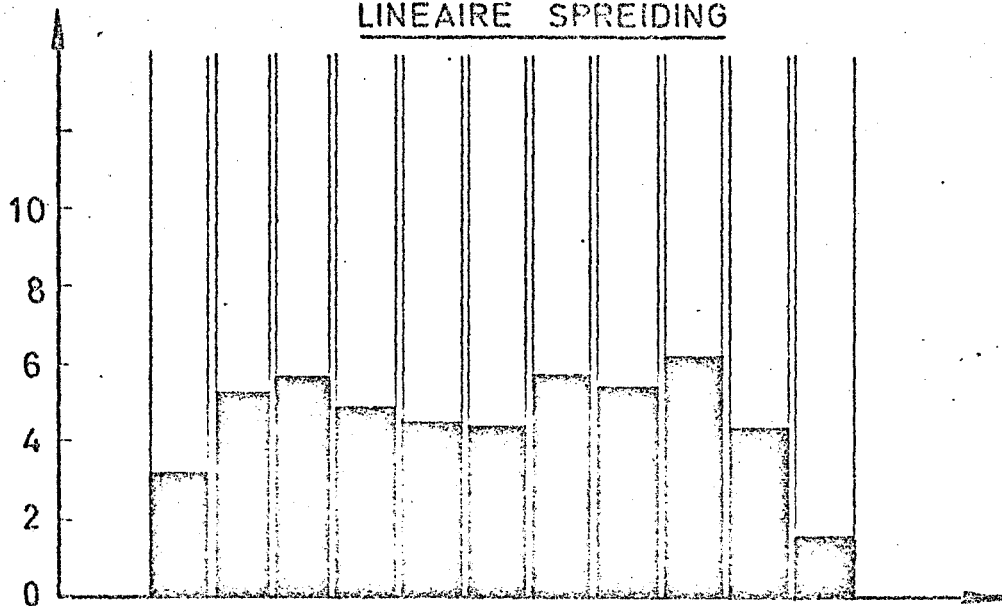
363/3 .1

OPPERVLAKTESPREIDING

185



LINEAIRE SPREIDING



TESTROOSTER VOOR SPROEIERS.
SPREIDING OPGEVANGEN WATER.

LABORATORIUM VOOR
VOERTUIGTECHNIEK

GETESTE SPROEIER: DIRCHMEIER $\varnothing$ 0.55mm
WATER DEBIET 0,25 L /min
DRUK 8 kg /cm²

TEKENING N°
363/3 -7

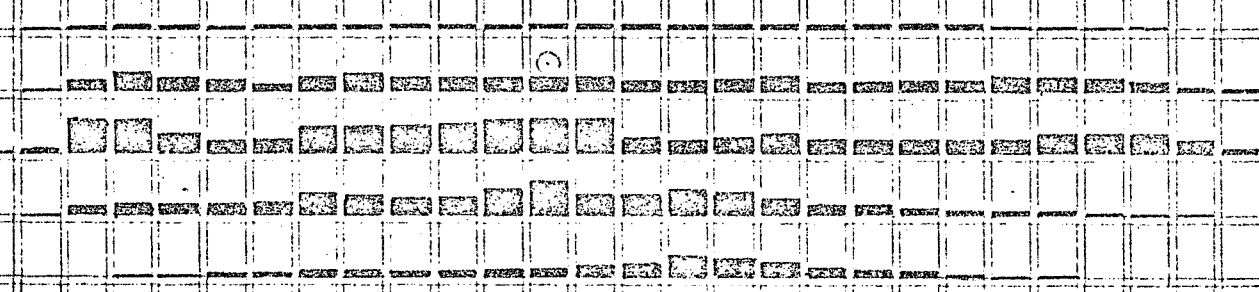
MATERIAAL

SCHAAL:

DATUM:
26.3.75

15 21
1

700



TESTROOSTER VOOR SPROEIERS.

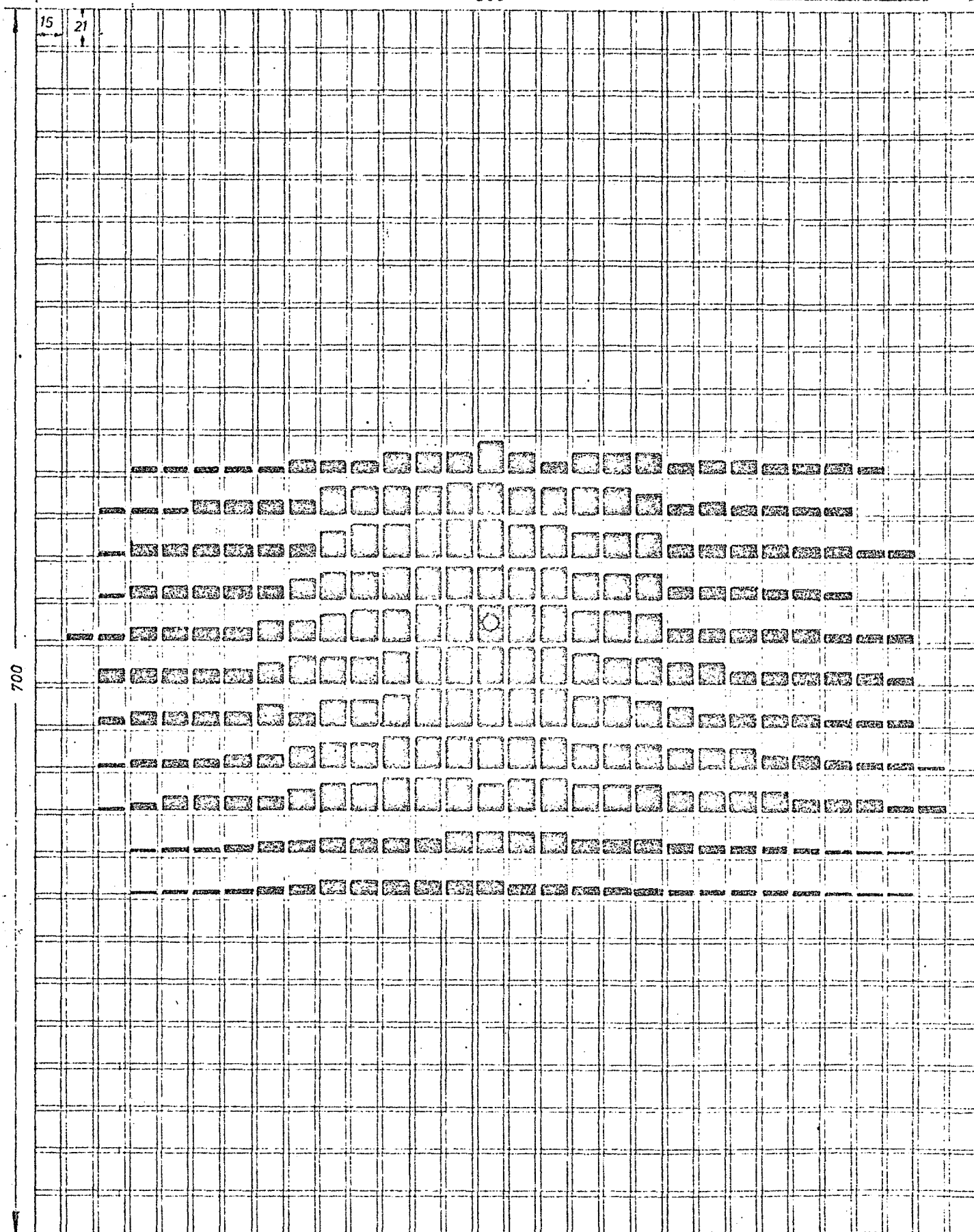
- Geteste sproeier: Delavan
- Waterdebiet 0,75 L/min bij een
- Druk van 2,6 kg/cm²
- Plaats van de sproeier: zie ⊙ en op 300 mm vóór het rooster.

R.U. GENT

Laboratorium voor
Voertuigtechniek

Nr.: 363/3-8

Datum: 7.11.75



TESTROOSTER VOOR SPROEIERS.

- Geteste sproeier: Schlick
- Waterdebiet 0,9 L/min bij een
- Druk van 2,5 kg/cm²
- Plaats van de sproeier: zie ⊙ en op 300 mm vóór het rooster.

R.U. GENT

Laboratorium voor
Voertuigtechniek

Nr.: 363/3-9

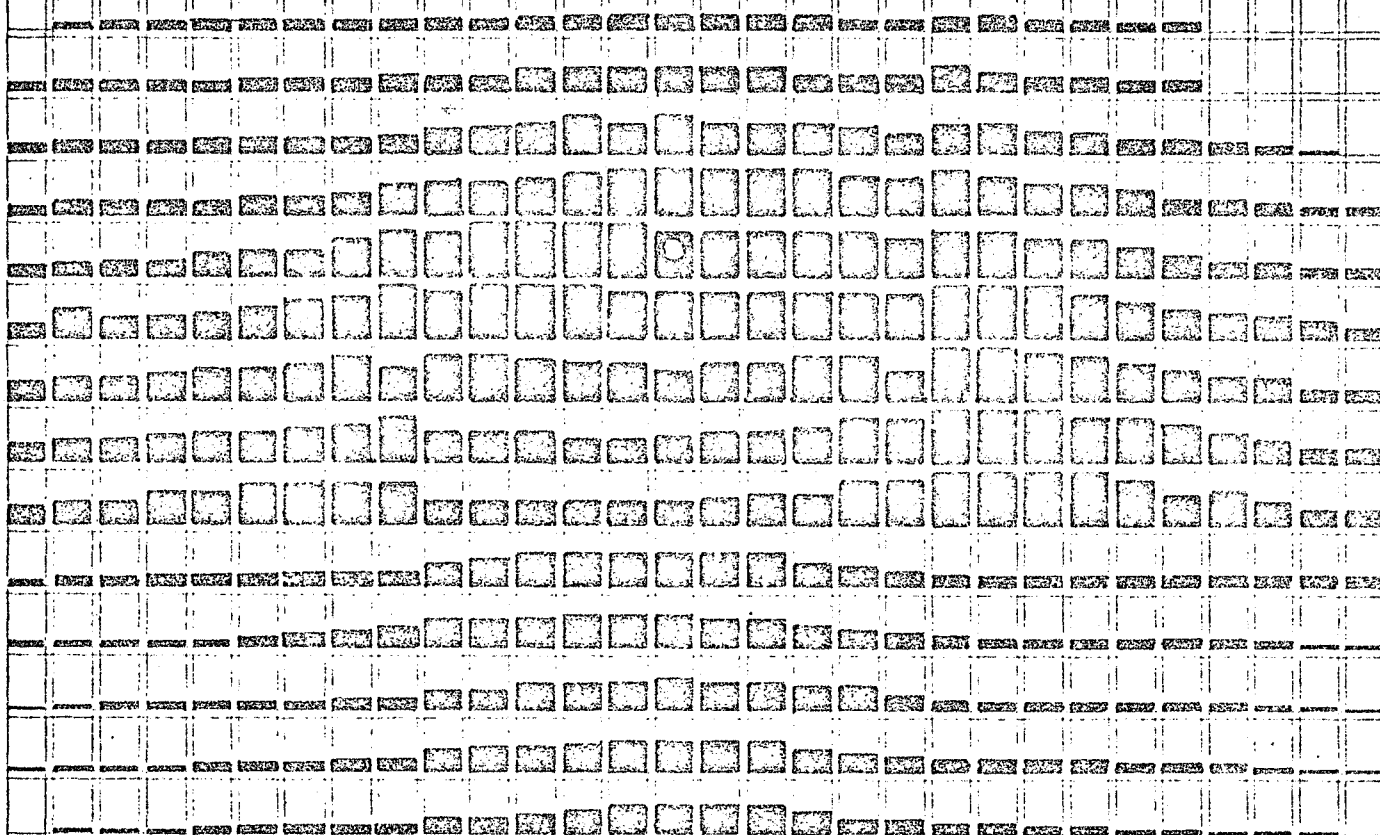
Datum: 7.11.75

500

15

21

700



TESTROOSTER VOOR SPROEIERS.

- Geteste sproeier: Fulljet
- Waterdebiet 1,28 L/min bij een
- Druk van 0,6 kg/cm²
- Plaats van de sproeier: zie ⊙ en op 300 mm vóór het rooster.

R.U. GENT

Laboratorium voor
Voertuigtechniek

Nr.: 363/3-10

Datum: 7.11.75

3. MEETMETHODE.

3.1 Montage van de ramen.

De vijf beschreven sproeisystemen worden in de hoger beschreven testkast van 2,50 m x 2,50 m x 0,80 m gemonteerd. De te beproeven ramen van 1,50 m op 1,50 m worden één na één in het midden van de opening gemonteerd met de buitenzijde naar de proefmuur en de sproei-installaties. Hierbij bekomt men langs alle kanten van het raam en homogenisatieruimte van 0,50 m.

3.2 Voeding van de sproeiers.

Zie fig. 779/WTCB/II6.

De voeding van de sproeiers gebeurt met een meertrappige centrifugaalpomp die gewoon regenwater uit een reservoir op hoge druk brengt. Het debiet naar de sproeiers wordt geregeld met een regelkraan in de toevoerleiding en één in een by-pass leiding. Het ingestelde debiet wordt gemeten met een vooraf geijkte rotameter. De drukken worden gemeten in de toevoerleiding en vóór en na de pomp om de werking van de pomp en de vervuilingsgraad van de filter te controleren.

3.3 Bepaling van de in te stellen debieten voor 2 liter per minuut en per vierkante meter.

Systeem 1 en 2.

Vermits de sproeibuizen 2,50 m lang zijn is de in rekening te brengen oppervlakte $2,50 \text{ m breedte} \times 1,50 \text{ m hoogte} = 3,75 \text{ m}^2$, $\hat{=}$ 2 liter/min.m² = 7,50 liter/min. of 450 liter/h : rotameter op 95 mm.

Systeem 3.

Berekend volgens de voorschriften van document CEN/GT 33/189 (zie § II.2) zou men in totaal 8,75 liter/min. moeten sproeien, nl. de bovenste buis 5,00 liter/min (2 liter/min.m breedte x 2,50 m breedte) en de onderste buis 3,75 liter/min (1 liter/min.m² x 3,75 m²). Wij willen hier echter de invloed van het sproeisysteem onderzoeken en niet van de waterhoeveelheid zodat wij systeem 3 ook zullen gebruiken met een debiet van 7,50 liter/min. gelijk verdeeld over de twee buizen.

Systeem 4.

De sproeiers staan horizontaal 0,70 m en vertikaal 0,65 m van elkaar. Elke sproeier verzorgt dus een oppervlakte van $0,70 \times 0,65 = 0,455 \text{ m}^2$ wat aan 2 liter/min.m² een debiet per sproeier geeft van 0,9 liter/min., of voor 12 gemonteerde sproeiers 10,80 liter/min. of 648 liter/h : rotameter op 130 mm.

Systeem 5.

De afstand tussen de sproeiers is horizontaal en vertikaal 0,80 m. Elke sproeier verzorgt dus een oppervlakte van $0,80 \times 0,80 = 0,64 \text{ m}^2$ wat aan 2 liter/min.m² een debiet per sproeier geeft van 1,28 liter/min., of voor 10 gemonteerde sproeiers 12,80 liter/min. of 768 liter/h : rotameter op 150 mm.

Dat de gesproeide hoeveelheden water niet gelijk zijn voor elk systeem, ondanks men steeds uitgaat van 2 liter per minuut en per vierkante meter, komt omdat de effectief besproeide oppervlakken niet dezelfde zijn.

3.4 Uitgevoerde waterdichtheidsproeven.

De waterdichtheidsproeven worden uitgevoerd met constant waterdebiet en trapsgewijs stijgende luchtdrukken :
15 minuten zonder druk, daarna telkens 5 min. bij 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 en 700 Pa zonder tussen de verschillende luchtdrukken terug te keren tot nul. De waterdichtheidsproef wordt stilgelegd na het optreden van een belangrijke waterindringing. Wordt nog geen enkele waterindringing vastgesteld bij 700 Pa dan wordt de proef gestopt daar verdere resultaten geen enkel reëel karakter meer zouden hebben :

- 700 Pa komt overeen met een frontale windsnelheid van 120 km/h, hetgeen nooit optreedt samen met zware regenval.

- STS 36 en STS 52 voorzien maar waterdichtheidsproeven tot 400 Pa.

- de zwaarste waterdichtheids categorie E4 in de U.E.A.T.C. (Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction) vraagt een waterdichtheid tot en met 500 Pa.

Tussen twee waterdichtheidsproeven wordt het raam geopend en volledig gedroogd, om de volgende proef zoveel mogelijk in dezelfde omstandigheden te kunnen beginnen.

Hieraan is het gevaar verbonden dat het raam op een verschillende manier kan gesloten worden. Of dit een invloed op de uitslagen van de waterdichtheidsproeven heeft gehad is niet geweten. Dit zou onderzocht kunnen worden door verscheidene malen eenzelfde proef op eenzelfde raam uit te voeren.

4. MEETRESULTATEN.

4.1 Waterdichtheidsproeven uitgevoerd op drie horizontaal pivoterende ramen in P.V.C. (1,50 x 1,50 m).

Zie fig. 779/WTCB/II8.

De dikke lijnen stellen de opengaande slagen voor.

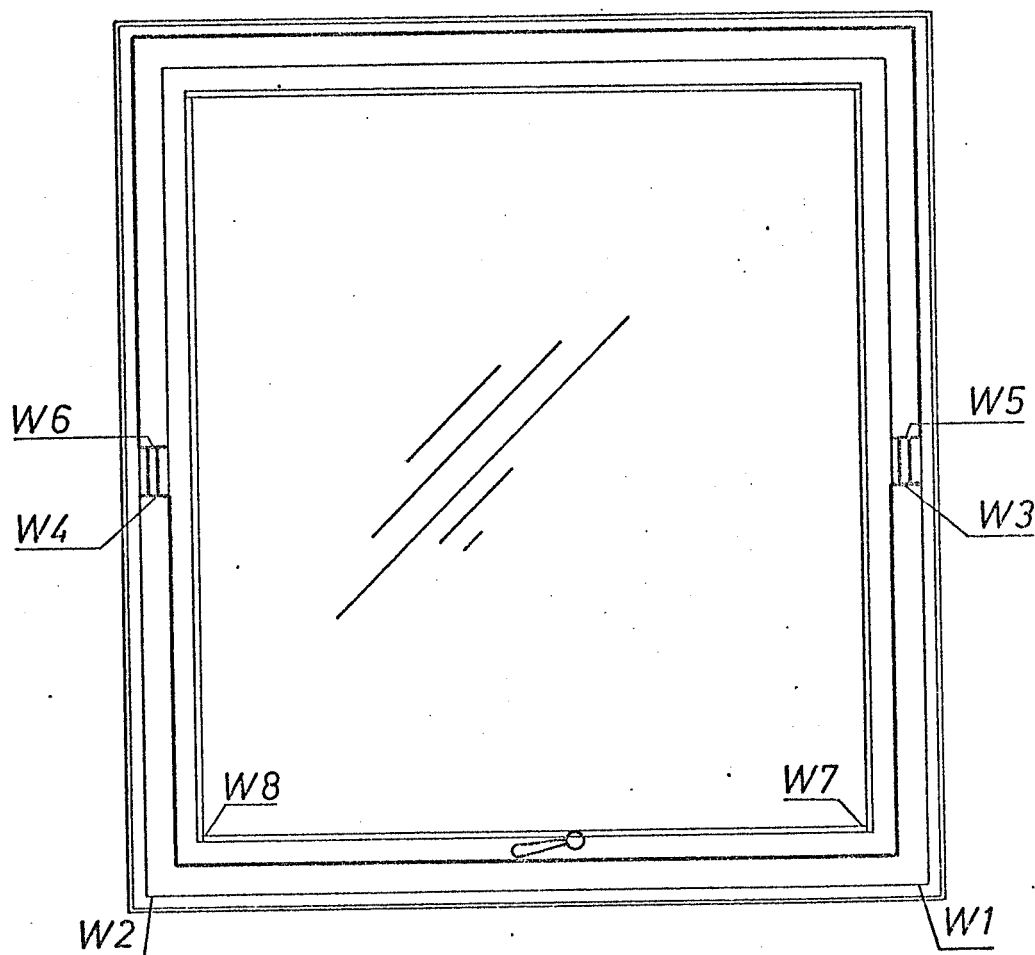
Gebruikte tekens in volgende tabel :

O	geen waterinfiltratie.
X	geen nieuwe waterinfiltratie.
-	proef stopgezet.
W	waterinfiltratie.

Vastgestelde waterinfiltratieplaatsen :

W ₁	verbinding oplegprofiel/vaste kader in hoek rechts onderaan.
W ₂	idem links onderaan.
W ₃	verbinding onderkant taatsdoos/oplegprofiel rechts.
W ₄	idem links.
W ₅	verbinding bovenkant taatsdoos/oplegprofiel rechts.
W ₆	idem links.
W ₇	hoek van glaslatten rechts onderaan.
W ₈	idem links onderaan.

Als voorbeeld geeft men de waterinfiltraties bij het 2de PVC-raam waar vanaf 200 Pa waterinfiltratie was waar dit voor de 2 andere pas vanaf 250 en 350 Pa was.



WATERDICHTHEIDSPROEVEN PVC RAMEN.

Nº 779 / WTCB / II 8

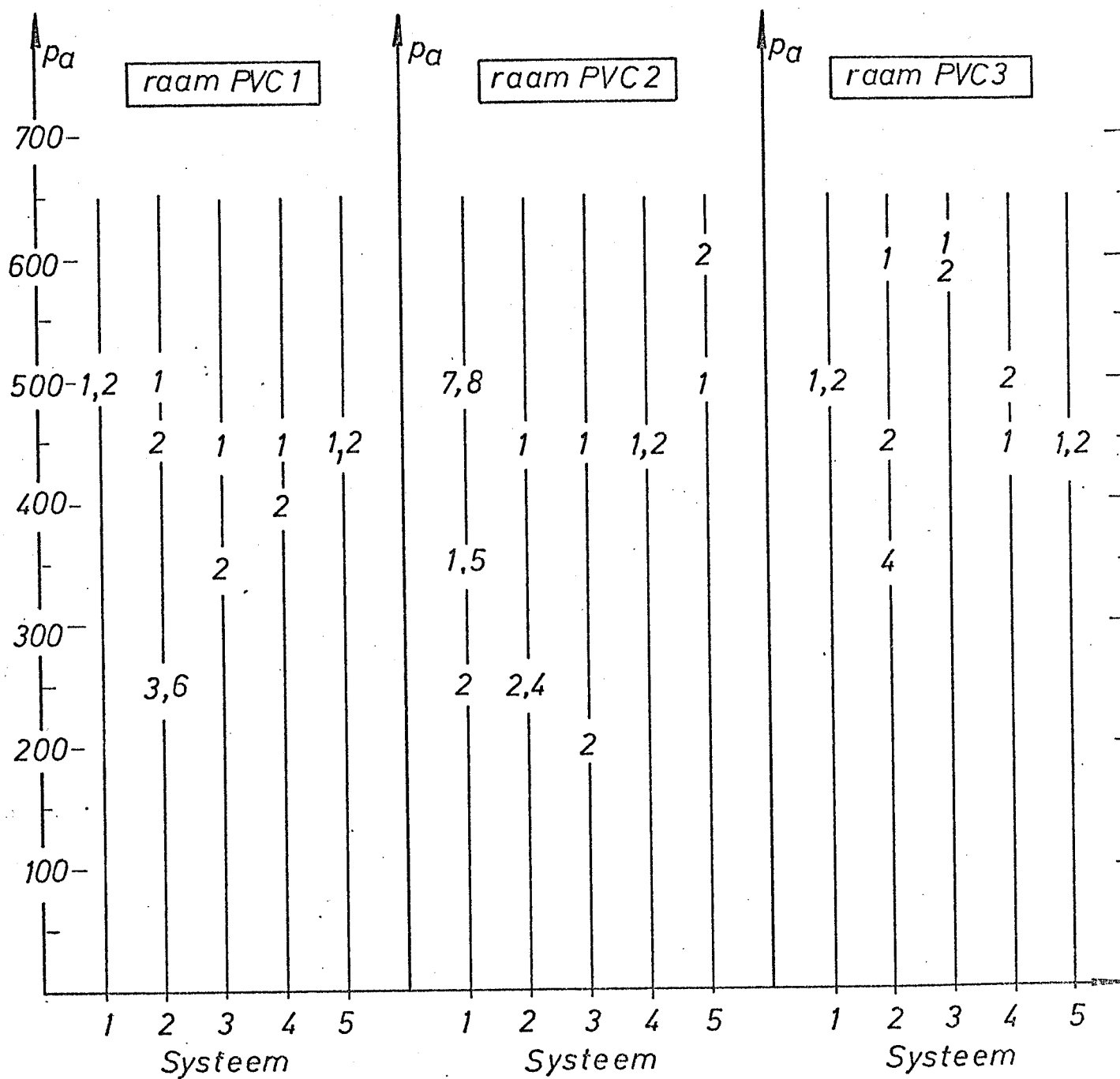
76 05 04

Vastgestelde waterinfiltraties bij raam P.V.C. 2.

Sproeisysteem		1	2	3	4	5
Datum der proeven		9.1.1976	8.1.1976	12.1.1976	7.1.1976 (2)	7.1.1976 (1)
Druk (Pa)	Tijd (min)					
0	15	0	0	0	0	0
50	5	0	0	0	0	0
100	5	0	0	0	0	0
150	5	0	0	0	0	0
200	5	0	0	na 2 min W_2	0	0
250	5	na 3 min W_2	onmiddellijk W_4 daarna W_2	X	0	0
300	5	X	X	X	0	0
350	5	na 1 min W_5 na 4 min W_1	X	X	0	0
400	5	X	X	X	0	0
450	5	X	onmiddellijk W_1	na 1 min W_1	onmiddellijk W_1 na 1 min W_2	0
500	5	na 3 min W_7 na 4 min W_8	X	X	X	na 3 min W_1
600	5	-	-	-	-	onmiddellijk W_2
700	5	-	-	-	-	-

Opmerkingen :

- De vastgestelde waterinfiltraties op de plaatsen W_1 en W_2 kunnen te wijten zijn aan water dat langs de taatsdozen binnenkomt en tussen oplegprofiel en vaste kader naar beneden loopt. De afdichting tussen oplegprofiel en vaste kader gebeurt door een dichtingsstrip, in de hoeken geplooid.
- Er werd geen rekening gehouden met waterinfiltraties tussen vast raam en dorpel profiel omdat deze reeds optraden zonder druk, waarschijnlijk als gevolg van loswringing van de dorpel gedurende het transport en de montage van de ramen, die niet in een stijve kader geplaatst waren. Ook omdat andere ramen zonder dorpelprofiel werden geleverd.



VASTGESTELDE WATERINFILTRATIES
BIJ DE DRIE PVC RAMEN

N° 779/WTB/II 9

76 05 04

In fig. 779/WTCB/II9 worden alle vastgestelde waterinfiltraties bij de drie P.V.C. ramen grafisch voorgesteld, met horizontaal het gebruikte sproeisysteem en vertikaal de druk waarbij de infiltratie begon. Het cijfer duidt de infiltratieplaats aan volgens fig. 779/WTCB/II8.

raam P.V.C. 1.

- de infiltraties aan de taatsdozen (W_3 , W_6) treden maar éénmaal op, nl. met sproeisysteem 2,
- de andere infiltraties zijn voor de vijf sproeisystemen praktisch gelijk; iets vroeger bij systemen 3, 4 en 5 (oppervlaktesproeien?).

raam P.V.C. 2.

- vroeg optredende infiltratie bij W_2 voor systemen 1, 2 en 3 (= bandsproeien),
- zeer goede dichtheid bij systemen 4 en 5 (= oppervlaktesproeien).

raam P.V.C. 3.

- infiltratie aan een taatsdoos (W_4) enkel met sproeisysteem 2,
- andere infiltraties praktisch gelijk; iets vroeger bij systemen 4 en 5 en later bij systeem 3.

Algemeen :

Er is geen algemene lijn door de uitslagen van de drie ramen te trekken. De infiltraties zijn meer een gevolg van uitvoeringsimperfecties dan van de verzadiging door het dichtheidssysteem - er werd geen enkele infiltratie aan de opengaande slagen vastgesteld. Wat hierbij de invloed van het tussen de proeven openen en sluiten van het raam en wat de invloed van het sproeisysteem is geweest, is niet van elkaar te scheiden.

De enige tendens die men zou kunnen vaststellen is dat systeem 2 met zijn hoge druk en fijne nevelvorming vroeg optredende infiltraties aan de taatsdozen geeft.

4.2 Waterdichtheidsproeven uitgevoerd op drie horizontaal pivoterende ramen in aluminium, gemonteerd met behulp van doken in een stijve lijst op dezelfde manier als in het gebouw, zowel wat mechanische verbinding als afdichting betreft.

Zie fig. 779/WTCB/III10.

De dikke lijnen stellen de opengaande slagen voor.

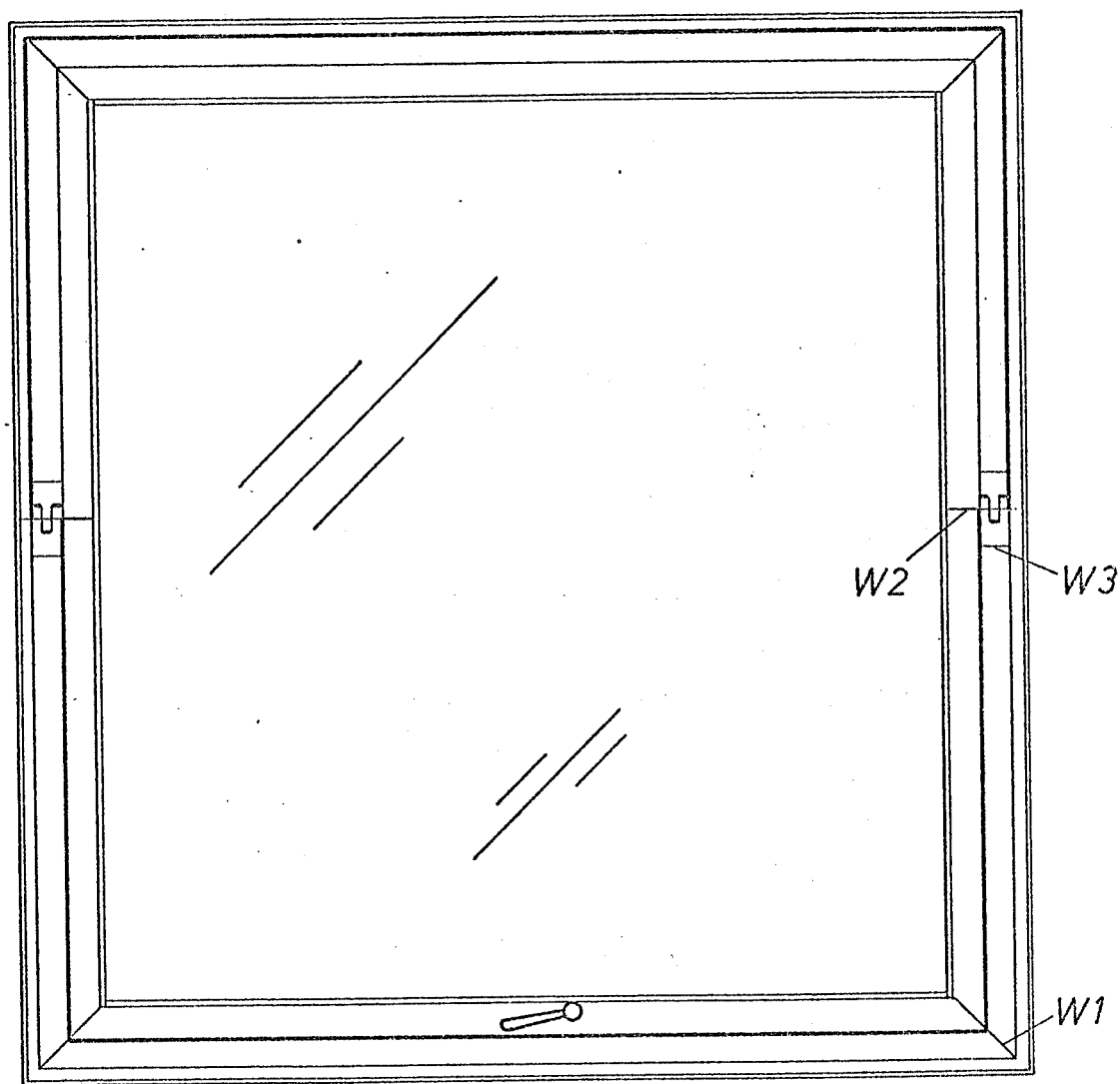
Gebruikte tekens in volgende tabellen :

O	geen waterinfiltratie.
X	geen nieuwe waterinfiltratie.
-	proef stopgezet.
W	waterinfiltratie.

Vastgestelde waterinfiltratieplaatsen :

W_1	hoekverbinding vaste kader rechts onderaan.
W_2	verbinding twee delen van opengaande vleugel ter hoogte van rechterscharnier.
W_3	scharnier rechts.

Als voorbeeld geeft men de waterinfiltraties bij het 1ste aluminium raam waar het eerst waterinfiltratie was, nl. vanaf 400 Pa.



WATERDICHTHEIDSPROEVEN ALUMINIUM RAMEN.

N° 779 / WTCB / II 10

76 05 04

Vastgestelde waterinfiltraties bij raam alu 1.

Sproeisysteem		1	2	3	4	5
Datum der proeven		27.1.1976	26.1.1976	23.1.1976	22.1.1976	21.1.1976
Druk (Pa)	Tijd (min)					
0	15	0	0	0	0	0
50	5	0	0	0	0	0
100	5	0	0	0	0	0
150	5	0	0	0	0	0
200	5	0	0	0	0	0
250	5	0	0	0	0	0
300	5	0	0	0	0	0
350	5	0	0	0	0	0
400	5	0	0	0	0	W ₂ -1 druppel
450	5	0	0	0	0	X
500	5	0	0	0	0	X
600	5	0	0	na 4 min W ₁ -5 druppels	0	X
700	5	0	0	X	0	W ₃

Conclusies.

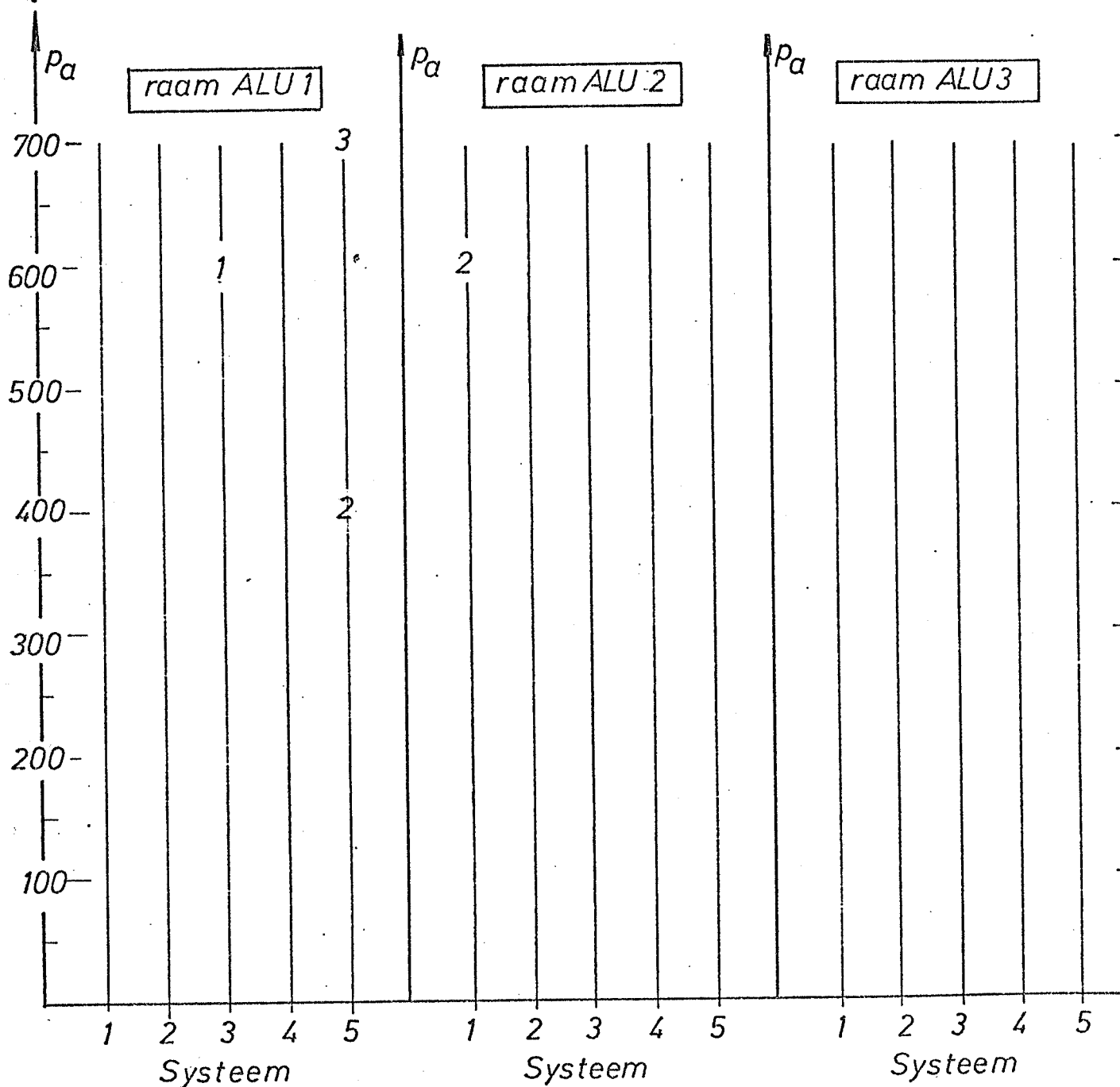
In fig. 779/WTCB/III1 worden de vastgestelde infiltraties van de drie aluminium ramen grafisch voorgesteld :

- horizontaal voor het gebruikte sproeisysteem,
- vertikaal als de druk waarbij de infiltratie begon.

Het cijfer duidt de infiltratieplaats aan volgens fig. 779/WTCB/III0.

- De vastgestelde waterinfiltraties zijn zeer klein : het aantal druppels wordt in de tabel vermeld.

- Er treden praktisch geen waterinfiltraties op, zodat besluiten over de verschillen tussen de sproeisystemen onmogelijk zijn.



VASTGESTELDE WATERINFILTRATIES
BIJ DE DRIE ALU. RAMEN

N° 779 / WTCB / II 11

5. ALGEMEEN BESLUIT.

Er zijn grote verschillen tussen de vijf onderzochte sproeisystemen, nl.

- nagestreefde waterverdeling : bandsproeien tegenover oppervlaktesproeien,
- bereikte homogeniteit van de hoeveelheid aangebracht water,
- positie van een sproeier ten opzichte van de eventuele waterinfiltratieplaats,
- invalshoek van het water op het raam,
- watersproeidruk,
- druppelgrootte.

Ondanks deze grote verschillen komt er uit de resultaten van de uitgevoerde waterdichtheidsproeven geen duidelijke tendens of invloed van een bepaald verschil naar voor.

Hieruit besluiten dat de manier van wateraanbrengen weinig invloed heeft op de uitslag van de waterdichtheidsproeven lijkt te voorbarig om volgende redenen :

- het aantal onderzochte ramen is te klein, nl. zes.
- de onderzochte ramen zijn allemaal van eenzelfde type, nl. horizontaal pivoterend,
- de onderzochte ramen zijn allemaal buitengewoon waterdicht, vooral wat de opengaande slagen betreft, en zijn dus niet representatief.
- elke proef werd slechts éénmaal uitgevoerd wegens tijdgebrek.

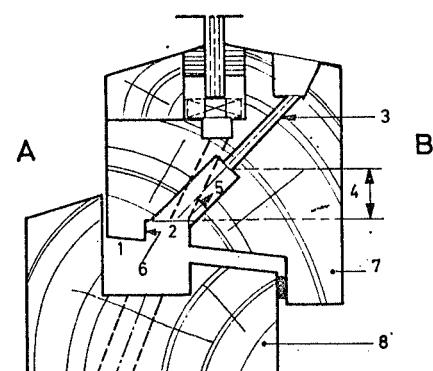
Om tot een grondig gefundeerd besluit te kunnen komen voor wat de invloed van het watersproeisysteem op de uitslagen van een waterdichtheidsproef betreft, is het nodig de proeven uit te voeren op een groter aantal ramen van verschillende types en van zo ver mogelijk uiteenlopende eigenschappen en kwaliteit.

1.2.6. Afdichting van draineer- en verluchtingsopeningen tegen regenwater

1.2.6.1. Algemeen

De draineeropeningen van een raam brengen eventueel condenswater naar buiten. Het gebeurt evenwel ook dat regenwater binnenkomt langs deze openingen.

Dergelijke openingen kunnen voldoende waterdicht worden gemaakt door het gebruik van vernauwingen op de binnenzijde van de elementen. De boringen of openingen moeten echter een voldoende helling hebben zodat het water niet in contact komt met de vernauwingen (afb.39).



Afb.39 (*) Toepassing van de vernauwing bij een condenswaterafloop van een raam.
Vertikale doorsnede. A. buiten
B. binnen

1. afstromend water
2. grote intree-opening
3. vernauwing (kleine vrije doorsnede)
4. voldoende hoogteverschil tussen 2 en 3
5. richting van de gevaarlijke luchtstroom
6. regenscherm
7. opendraaiend raam
8. vast raam.

De vernauwing zal het grootste deel van de drukval tussen buiten en binnen opnemen. De schikking van de boring zorgt ernaar voor dat het water niet in contact komt met deze drukval (de vernauwing). Als bijkomende veiligheid kan men aan de intreeopening nog een regenscherm aanbrengen.

Het systeem werkt dus door het water van de gevaarlijke zone weg te houden. Dat de vernauwing het grootste deel van de drukval opneemt komt, doordat zijn weerstand tegen de luchtstroming veel groter is dan die van de intreeopening.

1.2.6.2. Theorie van de afdichting door vernauwingen

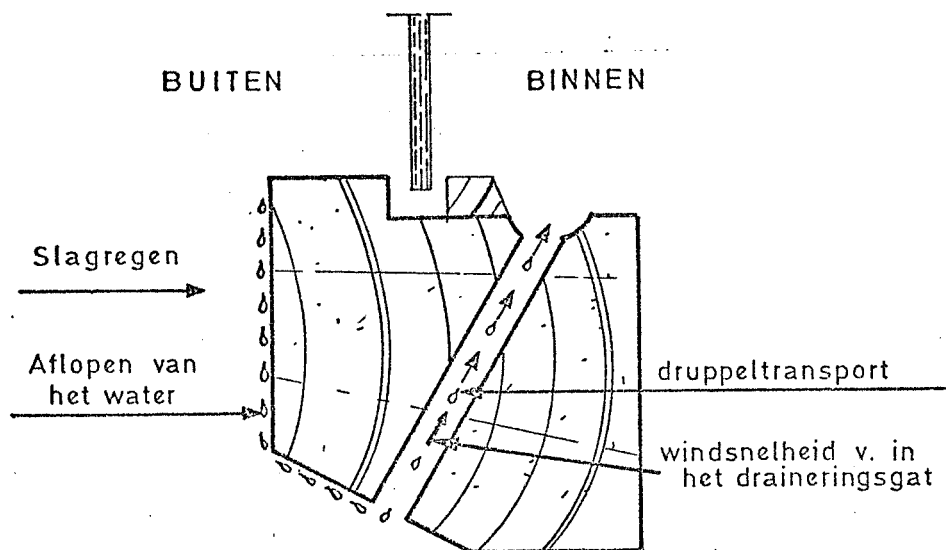
Het nauwkeurig berekenen van de stromingsverschijnselen bij afdichting door vernauwingen is niet mogelijk. Een zekere benadering hiervan kan wel worden bereikt.

Het is echter nuttig door berekening het inzicht in deze afdichtingsmethode te verdiepen en vooral om de begrenzing ervan beter te kennen.

Er kan enkel water door de openingen dringen als aan volgende 2 voorwaarden is voldaan :

- er worden druppels gevormd aan de ingang (onderaan) van de openingen (a)
- voornoemde druppels worden door de wind in de opening meegezogen (b)

(*) De afb. van § 1.2.4. en § 1.2.5. werden afzonderlijk genummerd.



Afb. 40 - Druppelvorming bij de ingang.

a. Vorming van de druppels

De drukval q_1 bij de ingang bedraagt :

$$q_1 = \xi_1 \gamma_{\text{air}} v^2 / 2 \quad (1)$$

De grootte-orde van de diameter D van de kleinste druppel die bij de drukval q_1 kan worden gevormd :

De oppervlaktespanning (N/m) van het water wil het volume water bijeen houden maar het drukverschil q_1 wil een hoeveelheid water naar binnen toe trekken. Veronderstellen we dat beide krachten in evenwicht zijn bij de vorming van de waterdruppels. Is D de diameter van de druppel dan is de kracht door q_1 uitgeoefend gelijk aan :

$$\frac{\pi D^2}{4} q_1 \quad (2)$$

De kracht uitgeoefend door het watervlies op de omtrek van de druppel is dan

$$\pi D \sigma \quad (3)$$

Door gelijkstelling van (3) en (2). volgt een waarde voor D :

$$D = \frac{4 \sigma}{q_1} \quad (4)$$

b. Druppels met diameter D die door de wind in de opening naar boven kunnen gezogen worden

Een druppel gaat beginnen zweven wanneer de meeslepingskracht van de wind even groot is als zijn gewicht. We berekenen beide krachten.

- Gewicht G van de druppel, γ_w = volumegewicht water,

$$G = \gamma_w \frac{4 \pi}{3} \left(\frac{D}{2}\right)^3 \quad (5)$$

- De meeslepingskracht L ; γ_l = volumegewicht lucht, v = lichtsnelheid

$$L = c \frac{\pi D^2}{4} \frac{\gamma_l v^2}{2 g} \quad (6)$$

waarin c een experimentele meesleepcoëfficiënt is.

- Stellen we $G = L$ of (5) = (6) en lossen we op naar D :

$$D = \frac{3}{4} c \frac{\gamma_1 v^2}{\gamma_w g} \quad (7)$$

c. Luchtsnelheid v voor dewelke druppels kunnen meegevoerd worden

Men stelt de diameter van (7) gelijk aan de diameter van (4).

Oplossen naar v geeft (rekening houdend met (1)) :

$$v^4 = \frac{32 \gamma_w \sigma g^2}{3 \zeta_1 \gamma_1^2 c} \quad (8)$$

Met volgende waarden voor de konstanten in (8) :

$$\sigma = 75,9 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma_w = 9,810 \text{ N/m}^3$$

$$\zeta_1 = 0,5$$

$$\gamma_1 = 12,07 \text{ N/m}^3$$

$$c = 0,4$$

geeft dit :

$$v = 12,45 \text{ m/s.}$$

d. Drukval over de opening voor welke druppels worden meegezogen

Weze $\zeta_1 = 0,5$ de ingangsweerstandskoefficiënt en $\zeta_2 = 2$ de uitgangsweerstandskoefficiënt dan is voor v uit (8) de totale drukval Q gegeven door :

$$q = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{\gamma_1 v^2}{2 g} \quad (9)$$

waarin verder :

$$\gamma_1 = 12,07 \text{ N/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$v = 12,45 \text{ m/s}$$

$$\text{waaruit volgt } q = 236 \text{ N/m}^2.$$

e. Besluiten

Wij stellen vast dat een eerder klein drukverschil (236 N/m^2) volstaat om waterinfiltraties te veroorzaken. Bij proeven werden zelfs bij nog veel lagere drukken waterinfiltraties vastgesteld. Zie tabel 26.

Men stelt vast dat de werkelijke waterinfiltraties gebeuren bij drukverschillen die vele malen onder de theoretisch bepaalde drukken liggen. Dit is uit te leggen door het feit dat men de waarden van enkele parameters diende te kiezen of te schatten en de theoretische benadering te vereenvoudigen.

Tabel 26 - Waterinfiltraties bij vernauwingen (schaal zie onder)

Drukverschil N/m ²	Verhouding van de 2 diameters (1 à 0,3) en diameter van de boring langs de binnenzijde (15 à 4,5 mm)							
	1 15,0 mm	0,9 13,5 mm	0,8 12,0 mm	0,7 10,5 mm	0,6 9,0 mm	0,5 7,5 mm	0,4 6,0 mm	0,3 4,5 mm
30	1	1	1	1	0	0	0	0
40	3	0	0	0	0	0	0	0
50	3	3	0	1	0	0	0	0
60	3	3	3	2	2	0	0	0
70	3	3	3	2	2	0	0	0
80	4	4	3	2	2	0	0	0
100	4	4	3	2	2	0	0	0
150	5	5	3	2	2	0	0	0
200	-	-	5	5	2	4	0	0
250	-	-	-	-	5	4	0	0
300	-	-	-	-	-	5	0	0
500	-	-	-	-	-	-	-	0
⋮								
8000	-	-	-	-	-	-	-	5
Berekende waarde (overlopen)	230	330	560	950	1790	3770	9350	30000
Berekend Experimen- teel	6	6	6	5	7	19	19	4

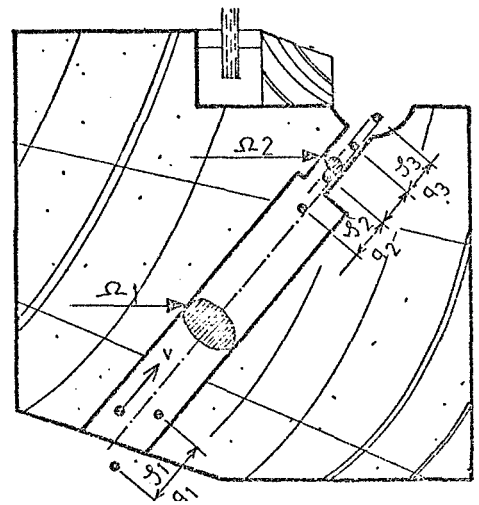
Schaal van de waterinfiltratie : geen : 0 ; zeer weinig : 1 ; weinig : 2 ; veel : 3 ; zeer veel : 4 ; opening gevuld : 5 ; - opening afgestopt.

1.2.6.3. Berekening van de infiltratiedrukverschillen bij toepassing van vernauwingen

a. De vernauwing

Afb.41 toont dat de vernauwing aan de binnenzijde wordt aangebracht. Als de wind door de opening blaast bedraagt de drukval q_1 bij de ingang van de grote diameter

$$q_1 = \zeta_1 \frac{\gamma_1 v^2}{2g} \quad (10)$$



Afb. 41

Bij de ingang van de vernauwing bedraagt de drukval q_2 :

$$q_2 = \zeta_2 \frac{\gamma_1 u^2}{2g} \quad (11)$$

en bij de de uitgang van de vernauwing (q_3)

$$q_3 = \zeta_3 \frac{\gamma_1 u^2}{2g} \quad (12)$$

De vernauwing maakt q_1 veel kleiner dan $q_2 + q_3$ zodat enkel bij een t.o.v. q_1 groot totaal drukverschil $q = q_1 + q_2 + q_3$ er waterinfiltratie zal optreden.

b. Berekening van het totaal drukverschil q voor dewelke er water wordt naar binnengezogen

We hebben $q = q_1 + q_2 + q_3$ (13). Voor $v = 12,45$ m/s zal er water worden meegezogen :

$$q = \zeta_1 \frac{\gamma_2 v^2}{2g} + \zeta_2 \frac{\gamma_1 u^2}{2g} + \zeta_3 \frac{\gamma_1 u^2}{2g} \quad (14)$$

Als Ω_1 en Ω_2 de doorsneden zijn van de openingen dan heeft men

$$\Omega_1 v = \Omega_2 u \quad (15)$$

of

$$u = \frac{\Omega_1}{\Omega_2} v \quad (16)$$

Na overbrengen van (16) in (14) en na vereenvoudigen vindt men :

$$q = \left[\zeta_1 + (\zeta_2 + \zeta_3) \frac{\Omega_1^2}{\Omega_2^2} \right] \frac{\gamma_1 v^2}{2g} \quad (17)$$

Voor $v = 12,45$ m/s en met $\zeta_1 = 0,5$ en $\zeta_3 = 2$ wordt de infiltratiedruk :

$$q = 94,2 \left[0,5 + (\zeta_2 + 2) \frac{\Omega_1^2}{\Omega_2^2} \right] \text{ N/m}^2 \quad (18)$$

ζ_2 is gegeven in funktie van Ω_1 en Ω_2 door volgende relatie en tabel :

$$\zeta_2 = \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 + 0,22 \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \quad (19)$$

Tabel 27 - Waarde van μ in funktie van $\frac{\Omega_2}{\Omega_1}$											
$\frac{\Omega_2}{\Omega_1}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
μ	0,6	0,61	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,73	0,78	0,86	1

c. Vergelijking met de meetresultaten

Het is met de formules (19) en (18) dat de teoretische drukken in tabel 26 werden berekend. Uit de vergelijking met de meetresultaten volgt dat vooral de waarde van v veel te hoog werd geschat, maar ook de relaties (18) en (19) kunnen geen algehele voldoening schenken. Het verschil tussen berekening en werkelijkheid (proef) neemt niet weg dat de vernauwingen goed werken vanaf een voldoende verhouding van de doorsneden.

1.3. Metingen van de dichtheid in situ

1.3.1. Algemeen

Men heeft een goed beeld van de (on)dichtheid van sommige gevelelementen - voornamelijk ramen - door de dichtheidsproeven in het laboratorium.

Men moet echter nagaan of deze elementen dezelfde eigenschappen hebben in situ (in bestaande gebouwen) en welke andere infiltraties er in gebouwen voorkomen.

Er werden tot hiertoe verschillende methoden toegepast :
akoestische methode (§ 1.3.2.1.), bepaling van globale en lokale luchtlekken (§ 1.3.2.2.), onderzoek van de regendichtheid (§ 1.3.2.3.) en meting van de luchtverversing van lokalen (§ 1.3.2.4.).

De resultaten van de metingen in 8 lokalen worden gegeven (§ 1.3.3.) evenals een theoretische benadering (§ 1.3.4.) en besluiten (§ 1.3.5.) over de gevolgde methoden en de verkregen resultaten.

1.3.2. Meetsystemen

1.3.2.1. Akoestische methode

In het geval van de akoestische methode vindt men de luchtlekken door de plaatsen op te zoeken waar een doorgang is van aan de andere zijde opgewekte geluidssignalen. Dit gebeurt met een ultrasonic detector.

De gebruikte ultrasonic detector reageert op ultrasoon geluid van 40.000 tot 100.000 Hz.

Als er ergens in een gebouw een gaslek optreedt, brengt deze lek bij een druk van min. $1/4$ at, ultrasoon geluid voort. Indien men het toestel in de omgeving van de lek brengt worden de ultrasone geluiden door de ultrasonic detector opgevangen en omgezet in een waarneembaar signaal (geluid of naalduitslag). Het waargenomen signaal is kwalitatief. Er is immers geen nauwkeurige indicatie van de grootte van de lek, hoewel het waargenomen signaal sterker is naarmate de lek groter is.

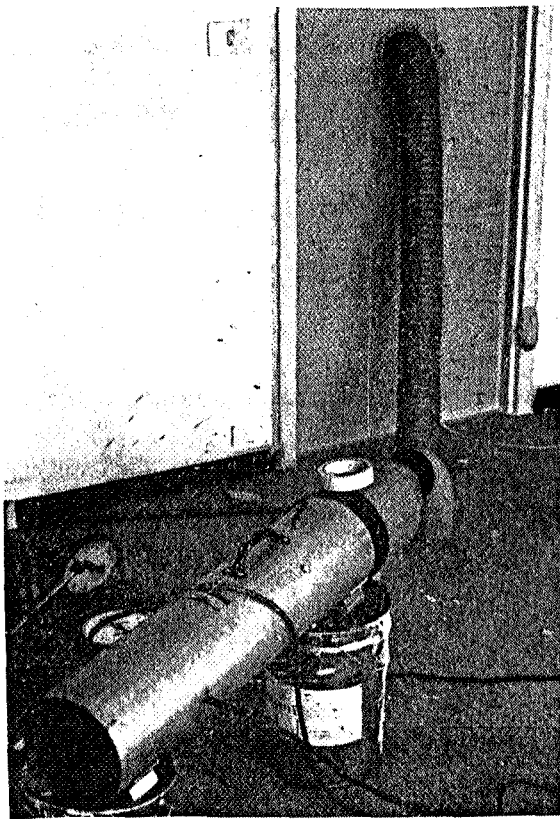
Bij vensters, deuren en gevelelementen ontstaat er geen ultrasoon geluid op de plaats van de lekken wegens het (te) kleine drukverschil ($< 0,02$ at). In dit geval kan men de lekken vinden door aan de andere zijde een ultrasoon bron aan te brengen. Deze ultrasoonbron werkt op 40.000 Hz : deze trillingen hebben een zeer korte golflengte (≈ 1 cm) zodat ze gemakkelijk door de nauwe spleten kunnen dringen.

Deze methode geeft enkel kwalitatieve resultaten en is vooral dan interessant wanneer ze wordt gebruikt in combinatie met volgende methode.

1.3.2.2. Bepaling van de globale en lokale luchtlekken bij het verwekken van een drukverschil tussen binnen en buiten.

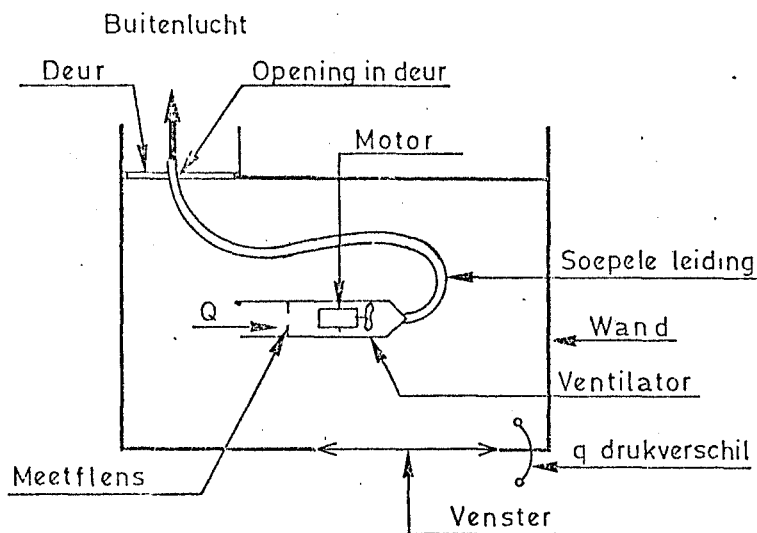
Voor de bepaling van de plaats en de grootte van de luchtlekken in een lokaal, wordt dit lokaal in over- of onderdruk(*) gebracht met behulp van een draagbare regelbare ventilator.

(*) Bij de verder beschreven metingen (§ 1.3.3.) werden de kamers steeds in onderdruk gebracht.



Afb. 42 - Voor het verwezenlijken van luchtonderdruk of overdruk sluit men de ventilator aan via een luchtdicht paneel dat in de plaats van de deur wordt geplaatst.

Men meet met behulp van meetflenzen het luchtdebiet dat voor het verkrijgen van de gewenste drukverschillen nodig is. Vervolgens dicht men één na één de gekende openingen af ; na elke afdichtingsfase meet men opnieuw het luchtdebiet bij de opgelegde drukverschillen.



Afb. 43 - Opstelling voor de meting van de globale en lokale luchtlekken.

De winst aan luchtdichtheid na elke afdichtingsfase geeft de karakteristieken van het afgedichte gedeelte.

Deze meting dient te geschieden bij windsnelheden die winddrukken meebrengen die voldoende laag zijn t.o.v. de door de ventilator toegepaste drukken.

De regeling van drukverschil q en dus van het debiet Q gebeurde in deze studie door het regelen van het toerental van de motor die de ventilator aan drijft. Het bekomen drukverschil wordt gemeten met een vloeistofmanometer die de nodige gevoeligheid bezit ($0,1 \text{ kg/m}^2$). Het debiet Q wordt gemeten met geijkte meetflenzen. In deze studie waren 4 meetflenzen betrokken waarvan het debiet in functie van het drukverschil over de flens Δp , gegeven is door :

$$Q = \alpha (\Delta p)^{0,475} \text{ m}^3/\text{h} \text{ voor } \Delta p \text{ in kg/m}^2$$

met

$$\alpha_{\phi=169} = 18 ; \alpha_{\phi=160} = 37,5 ; \alpha_{\phi=150} = 60 ; \alpha_{\phi=100} = 140$$

Een soepele leiding verbindt de ventilator met een opening in de binnendeur van het onderzochte lokaal. Hiertoe wordt het deurblad vervangen door een even groot en gelijkvormig houten paneel voorzien van een doorgaande buis.

Voor het afdichten van de openingen gebruikt men soepele opencellige schuimband (12 x 12 mm), kleefband (25 mm), plastische kit en "afschermdozen".

Er dient op gewezen dat voornoemde hulpmiddelen soms kleine beschadigingen aanbrengen aan behangpapier, verf, bepleistering en dat ze in sommige gevallen loskomen bij te grote drukverschillen.

De vervormingen van de ramen bij winddruk worden gemeten zoals in het laboratorium; de weerstand bij verkeerd gebruik wordt eveneens zoals in het laboratorium bepaald.

1.3.2.3. Onderzoek van de regendichtheid

Voor het meten van de waterdichtheid volstaat het de onderzochte gevel (lang de buitenzijde) te besproeien met water, terwijl de onderdruk in de kamer in stand gehouden wordt. In verschillende gevallen zijn de luchtlekken echter zodanig groot dat de draagbare ventilator niet in staat is voldoende onderdruk (15 tot 40 kg/m²) te geven. Voor de luchtdebietmetingen is dit geen bezwaar daar reeds bij lage drukken besluiten over de kwaliteit van de gevels kunnen getrokken worden.

1.3.2.4. Meting van de luchtverversing van lokalen

Meestal weet men niet hoeveel maal de lucht van een lokaal ververst wordt als gevolg van natuurlijke (of zelfs mechanische) ventilatie. De luchtverversing in een kamer is bepaald als de verhouding tussen het luchtvolume dat in de kamer wordt aangevoerd per eenheid van tijd en het volume van de kamer.

Principe :

De luchtverversingsmetingen gebeuren door het mengen in de lucht van een bepaalde hoeveelheid gekend en meetbaar gas en vervolgens door het meten van de (afnemende) concentratie van dit gas in functie van de tijd. De concentratie van het gas vermindert met de tijd als gevolg van de luchtverversing : het is mogelijk de luchtverversing te berekenen want er is een verband tussen concentratie, tijd en luchtverversing.

Deze betrekking kan afgeleid worden van de evenwichtsrelatie die zegt dat de verandering in de hoeveelheid gas in de lucht van een kamer gelijk is aan de hoeveelheid gas die toegevoerd werd min de hoeveelheid gas afgevoerd door de uitstromende lucht.

We hebben :

$$V_R dc = q d\tau + n V_R c_i d\tau - n V_R c d\tau \quad (1)$$

waarin :

- V_R = volume van de kamer in m^3
 c = de gaskoncentratie in de kamer in m^3/m^3 ; men kan veronderstellen dat deze concentratie ook gelijk is aan die van het gas in de uittredende lucht
 q = de hoeveelheid gas toegevoerd in m^3/h
 τ = tijd in uren
 n = de luchtverversing in aantal keren per uur
 c_i = de gaskoncentratie in de binnenstromende lucht in m^3/m^3 .

De oplossing van (1) voor $c = c_0$ bij $\tau = 0$ is

$$c = \frac{q}{nV_R} (1 - e^{-n\tau}) + (c_0 - c_i) e^{-n\tau} + c_i \quad (2)$$

Wordt er geen gas meer toegevoegd dan is $q = 0$ en dus

$$c - c_i = (c_0 - c_i) e^{-n\tau} \quad (3)$$

Opgelost naar de onbekende n , geeft dit :

$$n = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_0 - c_i}{c - c_i} \quad (4)$$

Uit twee meetpunten c_1, τ_1 en c_2, τ_2 kan n als volgt bepaald worden :

$$n = \frac{\ln \frac{c_2 - c_i}{c_1 - c_i}}{\tau_1 - \tau_2} \quad (5)$$

Kritiek van de meting :

Men weet echter niet voor welk drukverschil de gemeten luchtverversing geldig is.

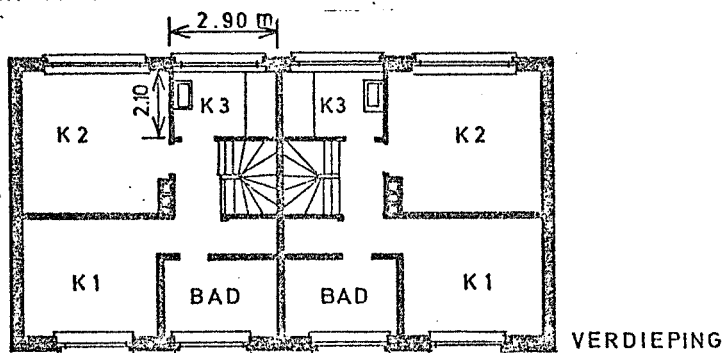
1.3.3. Meetresultaten

Hierna worden voornamelijk de resultaten gegeven van de bepaling van de globale en lokale luchtlekken ; de luchtverversingsmetingen worden vooral verricht in het kader van de onderzoeken "Mechanische ventilatie" en "thermisch comfort" en worden hier niet gegeven.

De meetresultaten betreffen volgende plaatsen : bouwplaats 1 (3 kamers), bouwplaats 2 (1 kamer), bouwplaats 3 (1 kamer), bouwplaats 4 (1 kamer), bouwplaats 5 (1 kamer), bouwplaats 6 (3 kamers).

1.3.3.1. Gekoppelde woningen op bouwplaats 1

In een sociale woonwijk werden in 3 (identieke) woningen nrs 7, 9 10 (afb. 44) op de verdieping telkens in kamer 3 dichtheids- metingen verricht.



SJRAAT.

Afb. 44 - Plan van de op bouwplaats 1 onderzochte woningen.

De gevels bestaan uit een gemetselde spouwmuur die aan de binnenzijde bepleisterd is. In de onderzochte lokalen zit er een houten raam met dubbele opengaande vleugel en een binnendeur.

De resultaten van de metingen op de luchtlekken zijn in afb. 45, 46 en 47 terug te vinden.

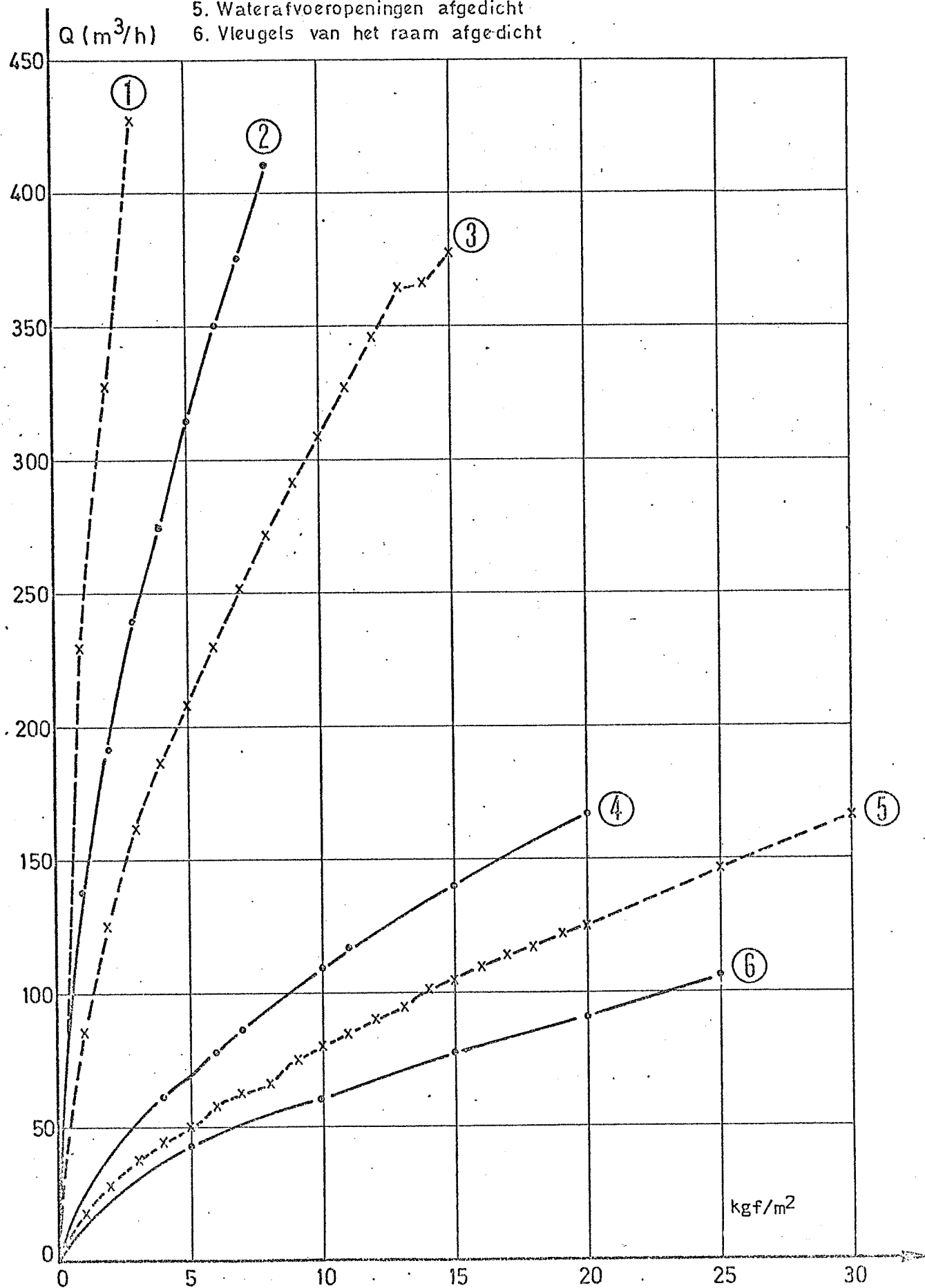
Deze metingen waren de eerste in de serie van metingen in situ en dienden als oriëntatie. Vandaar dat vooral de totale luchtverliezen zonder enige afdichting als geldig resultaat kan gegeven worden.

Tabel 28- Luchtlekken bij 3 kgf/m ²	Huis 7	Huis 9	Huis 10
Debiet vóór elke afdichting (equivalente opening)	427 m ³ /h (253 cm ²)	274 m ³ /h (154 cm ²)	282 m ³ /h (153 cm ²)
Deur afgedicht (m ³ /h)	243	203	164
Raamkast afgedicht (m ³ /h)	39	65	70
Raamvoegen afgedicht (m ³ /h)	33	27	35

Afb.45 - Dichtheidsproeven op bouwplaats 1 — Huis nr 7

Legende

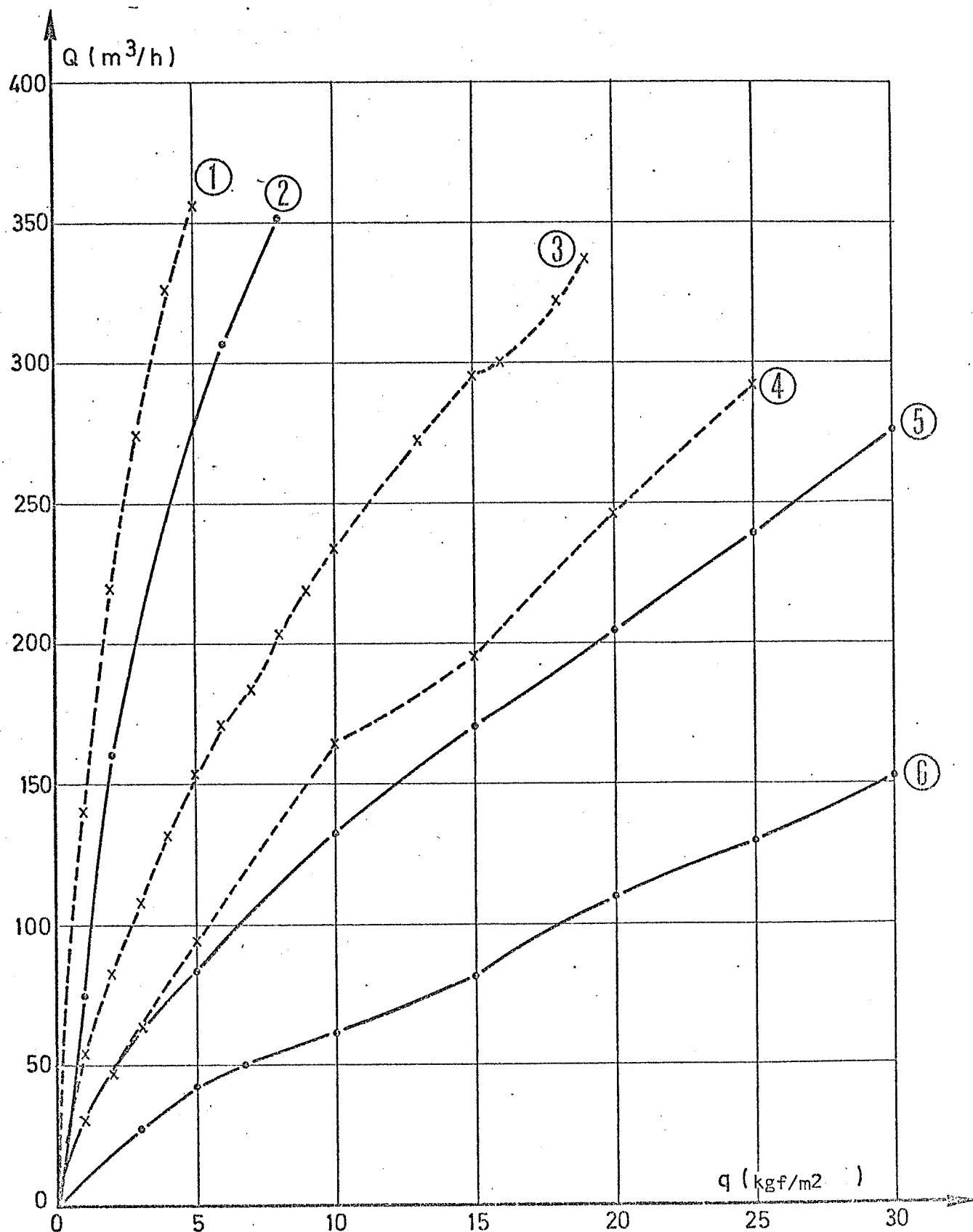
1. Totaal debiet
2. Deur, stekkers, stroomonderbrekers afgedicht
3. Uitwendige omtrek van het raam afgedicht
4. Inwendige omtrek van het raam afgedicht
5. Waterafvoeropeningen afgedicht
6. Vleugels van het raam afgedicht



Afb. 46 - Dichtheidsproeven op bouwplaats 1 — Huis nr 9

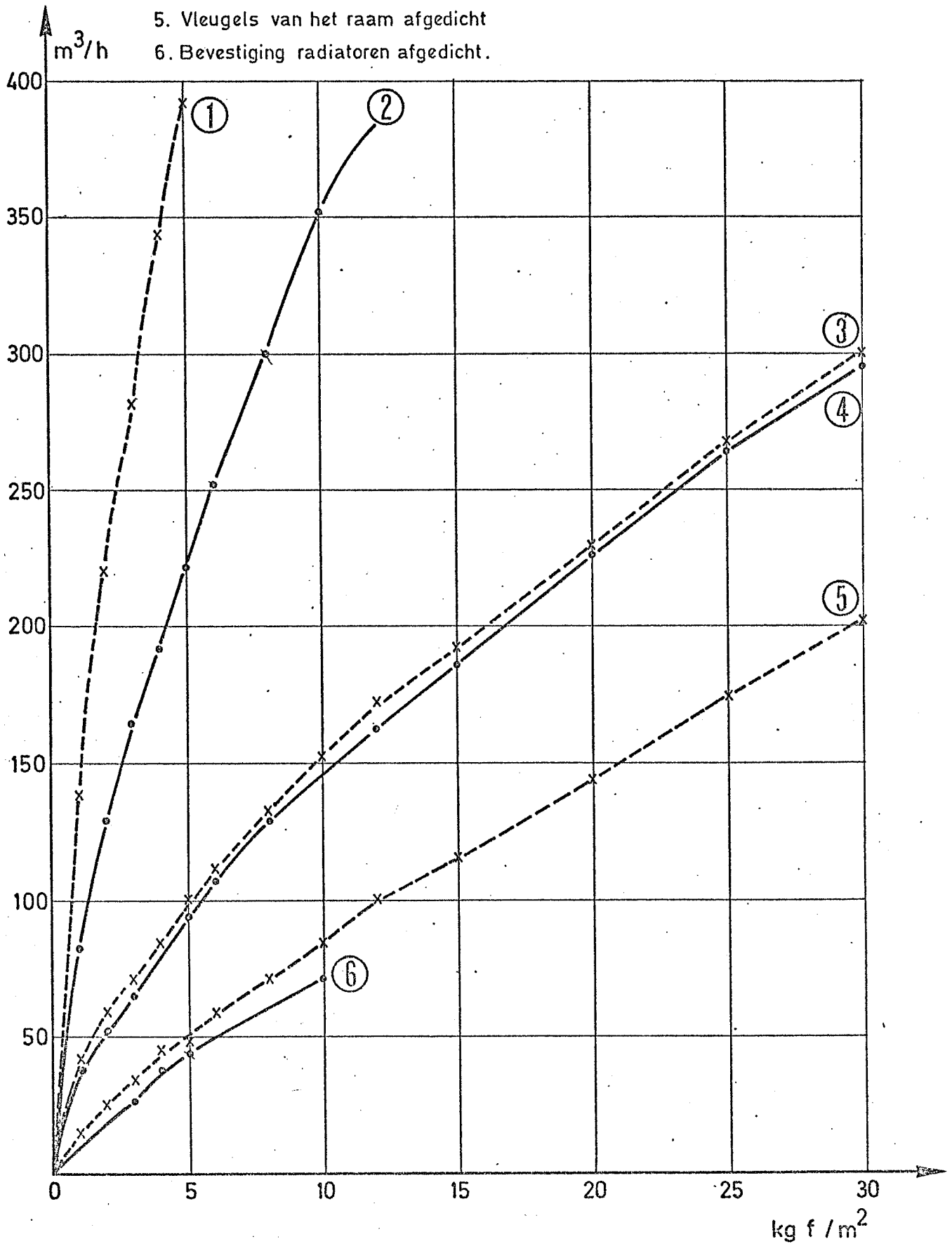
Legende

- 1. Totaal debiet
- 2. Deur, stekkers, stroomonderbrekers afgedicht
- 3. Uitwendige omtrek van het raam afgedicht
- 4. Inwendige omtrek van het raam afgedicht
- 5. Waterafvoeropeningen afgedicht
- 6. Vleugels van het raam afgedicht



Afb. 47 - Dichtheidsproeven op bouwplaats 1 - Huis nr 10

1. Totaal debiet
2. Deur, stekkers, stroomonderbrekers, buizen radiatoren afgedicht
3. Inwendige omtrek van het raam afgedicht
4. Waterafvoeropeningen afgedicht
5. Vleugels van het raam afgedicht
6. Bevestiging radiatoren afgedicht.



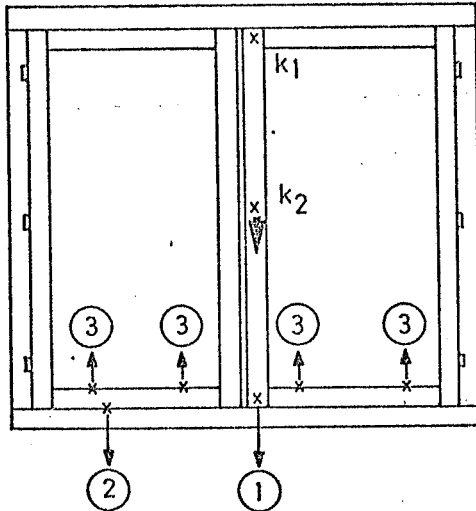
De meting in huis 7 - kamer 3, van de waterdichtheid gaf volgende lekken bij het raam :

- twee waterlekken door de aanslag van de onderste regel zonder drukverschil
- op 10 kgf/m^2 bijkomende infiltraties doorheen de condensafvoeropeningen.

Volgens de STS-voorschriften mag er geen infiltratie zijn beneden 20 kg/m^2 .

Op huis 10^(*) verkreeg men volgend resultaat (zie afb.)

- bij 5 kgf/m^2 waterdoordringing bij de aanslag (1)
- bij 10 kgf/m^2 bij aanslag (2) en de 4 draineeropeningen (3).



Afb. 48 - Plaats van de regenlekken bij het venster van kamer 3 huis 7 op bouwplaats 1.

De doorbuiging van de middenstijl ($L = 1.300 \text{ mm}$) werd gemeten in huis 10 - kamer 3. De plaats van de meetpunten is gegeven in afb. 48 ; de meetresultaten zijn in onderstaande tabel terug te vinden.

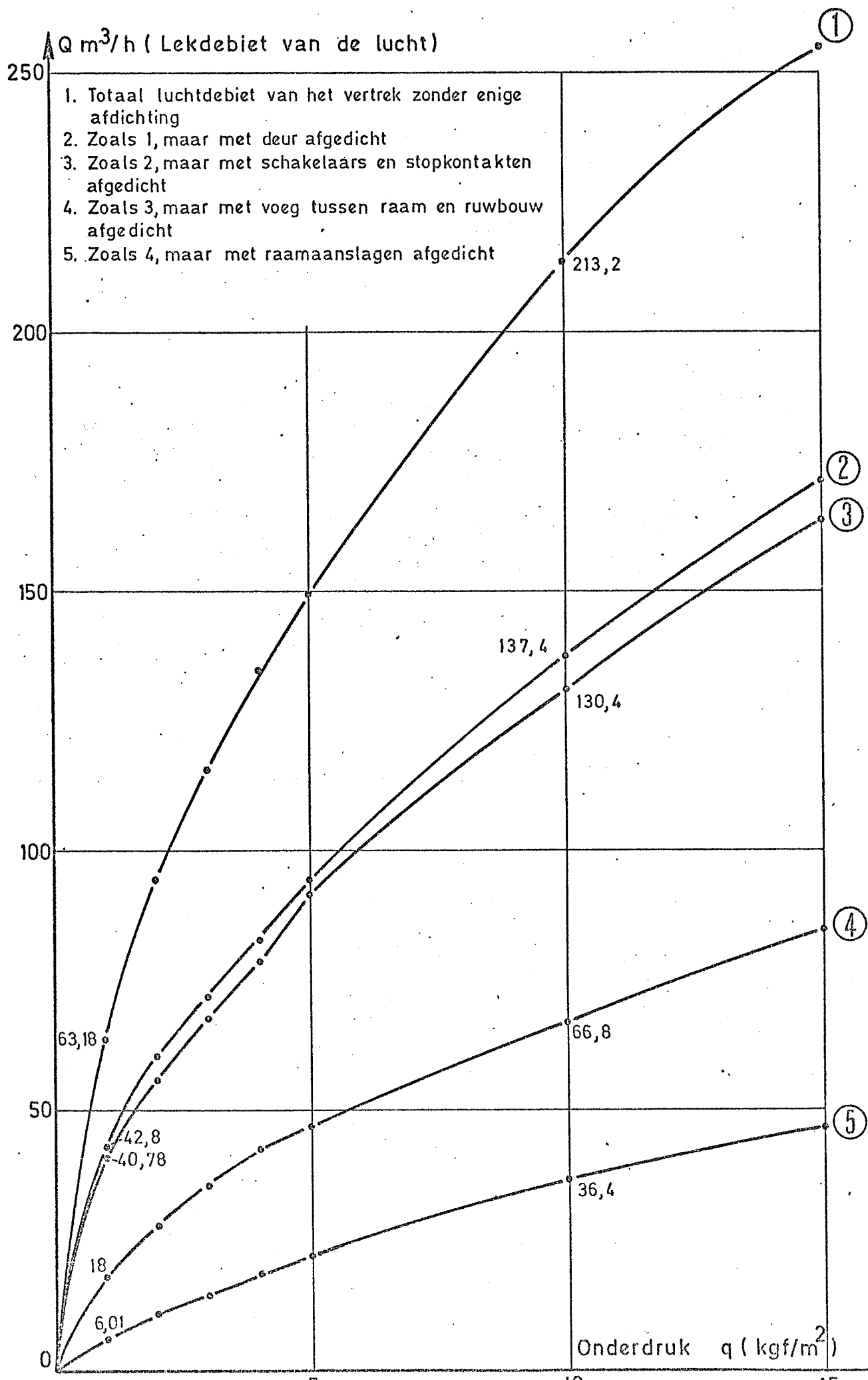
Tabel 29 - Doorbuigingen van de middenstijl					
Druk kgf/m^2	Doorbuiging (mm)			Pijl (mm) P	Relatieve door- buiging P/L
	K_1	K_2	K_3		
0	0	0	0	0	-
10	0,20	0,57	0,11	0,415	1/3132
20	0,99	1,24	0,32	0,585	1/2222
30	1,70	1,91	0,54	0,790	1/1645
40	2,32	2,62	0,75	1,085	1/1198
50	3,11	3,20	0,92	1,185	1/1037
60	3,86	3,77	1,12	1,260	1/1015
0	0,10	0,06	0,04	0,010	-
Dit zou 1/500 geven op 100 kgf/m^2 wat goed is voor dubbele beglazing					

1.3.3.2. Rijwoning op bouwplaats 2 (Afb.49)

In een woonwijk werden op bouwplaats 2 dichtheidsmetingen gedaan in een kamer op de verdieping van een prefab-gebouw opgetrokken met zwaar-betonelementen zonder luchtruimte maar met isolatiemateriaal. De kamer bevat een houten venster raam en één binnendeur. Het venster is een horizontaal pivoterend type. De lengte van de aanslagen is 6,91 m.

De resultaten van de metingen op de luchtlekken zijn gegeven in afb. 50 Ze kunnen als volgt samengevat worden (tabel 30) :

(*) Wegens de moeilijke watervoorziening ter plaatse werd huis 9 niet onderzocht op waterdichtheid.



Tabel 30 - Luchtlekken (bij 1 kgf/m ²) in een gebouw op bouwplaats 2		
Lekken	Lekken m ³ /h bij 1 kgf/m ²	Doorsnede van de lek (cm ²)
Totale luchtlekken	63,2	69,5
lekken van de "deur"	20,4	22,4
stopkontakten, schakelaars	2,0	2,2
raamkast	22,8	25,1
venster (aanslagen, sluitwerk,...)	12,0	13,2

De waterdichtheid van de gevel met het vensterraam gaf het volgende resultaat (afb. 51) :

Tabel 31 - Waterinfiltratie in functie van de winddruk		
Druk kg/m ²	Duur in minuten	Infiltraties in het vensterraam
0	10	-
5	5	1 verbinding
10	5	+2 verbinding + 3 kit
15	5	+4 +5 +6 kit

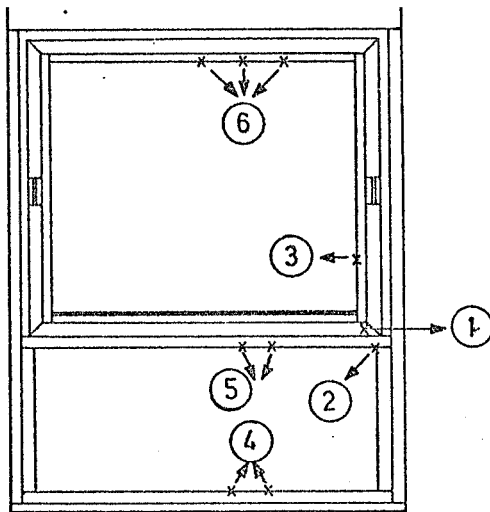
1.3.3.3. Eensgezinswoning op bouwplaats 3

Er werd een kamer van een huis in lichte prefab getest. De kamer bevat een venster (opendraaiend, openvallend) en een deur. De lengte van de raamaanslagen is 4,4 m.

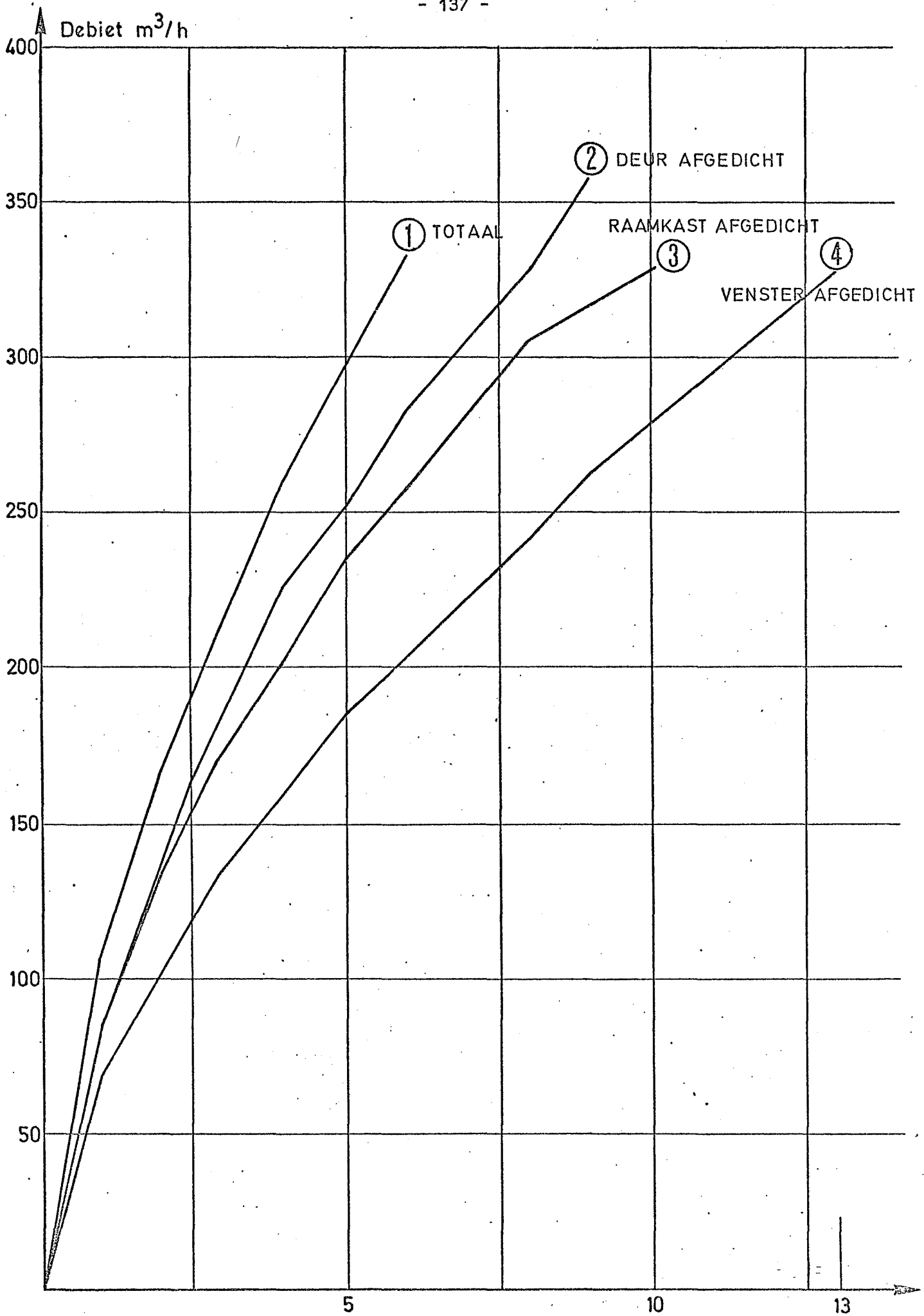
De resultaten van de metingen op de luchtlekken zijn in afb. 52 terug te vinden. Ze kunnen als volgt worden samengevat :

Tabel 32- Luchtlekken bij 1 kgf/m ²		
Lekken	Lekken m ³ /h bij 1 kgf/m ²	Doorsnede van de lek (cm ²)
Totale luchtlekken	107,6	118,4
"deur"	22,6	24,9
raamkast	klein	-
venster (aanslagen, sluitwerk)	16,1	17,7
rolluikkast	groot (*)	-
(*) deze konden echter niet gemeten worden omdat bij afdichting schade zou worden aangebracht		

Bij 10 kgf/m² gaf het raam een luchtdebiet van 49 m³/h of 11,1 m³/h.m, wat bijna het dubbel is van de toegelaten 6 m³/h.m.



Afb.51- Waterinfiltratie op een gevel
van een gebouw op bouwplaats 2



Afb.52 - Dichtheidsproeven op kamer op bouwplaats 3

kgf/m^2

De waterdichtheid van het venster gaf volgend resultaat :

Er is een infiltratie door de onderste aanslag in de linkerhoek op een onderdruk in de kamer van 5 kgf/m^2 , daar waar onder 20 kgf/m^2 geen lekken mogen voorkomen. Er zijn geen waterafvoeropeningen voorzien in het aluminium-profiel van de onderste vaste regel. Er is daarbij nog een slechte werking van de tochtstrip op de onderste regel.

1.3.3.4. Eensgezinswoning op bouwplaats 4

Een kamer met een binnendeur en een venster (lengte van de aanslagen $4,4 \text{ m}$) van een in licht prefab uitgevoerd huis, werd op winddichtheid en op waterdichtheid getest.

De resultaten van de metingen op de luchtlekken zijn als volgt samen te vatten :

Tabel 33 - Luchtlekken bij 1 kgf/m^2		
Lekken	Lekken m^3/h bij 1 kgf/m^2	Ekwivalente doorsnede van de lek (cm^2)
Totaal luchtdebiet	114,0	125,4
"deur"	31,8	34,9
raamkast	18,0	19,8
venster (aanslagen, sluitwerk,...)	3,0	3,3

Het debiet door de aanslagen bedraagt dus ongeveer $3 \sqrt{10} \text{ m}^3/\text{h}$ op 10 kgf/m^2 of $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ m wat een goede afdichting betekent.

Er is een overblijvend debiet van $52,8 \text{ m}^3/\text{h}$ op 1 kgf/m^2 of $58,8 \text{ cm}^2$ overblijvende ekwivalente doorsnede. Men moet deze zoeken in de wanden en in de verbindingen tussen de wanden onderling en tussen wanden en de vloer of de zoldering.

Wat de waterdichtheid aangaat werden er, zonder dat een luchtdruk geschapen werd, reeds lekken genoteerd doorheen de onderste aanslag.

1.3.3.5. Eensgezinswoning op bouwplaats 5

Een living van een huis in Le Roeulx werd op luchtdichtheid getest.

Debiet van de living zonder enige bijzondere afdichting :

Druk $q - \text{kgf/m}^2$	Debiet $Q - \text{m}^3/\text{h}$
0,15	61
0,25	81
0,35	96
0,45	115
1,00	169
1,60	240

Dit betekent een ekwivalente doorsnede van $185,9 \text{ cm}^2$.

Luchtlekken in de living met de deur afgedicht.

Druk q - kg/m ²	Debiet Q - m ³ /h
0,15	45
0,25	62
0,35	75
0,45	85
1,00	146
2,00	223
3,00	284
4,00	338
5,00	376
6,00	428

Het was niet mogelijk meer gedetailleerde metingen te doen wegens het gevaar voor beschadiging van de muurbekleding en het raam.

1.3.3.6. Proefkamer in het proefstation van het W.T.C.B.

De luchtaanvoer bij 1 kgf/m² werd gemeten voor de proefkamer SPPS in de grote hall van het W.T.C.B. te Limelette. De kamer is opgebouwd uit cel-betonpanelen en bevat een venster en een deur. De meting geeft een debiet van 188,35 m³/h op 1 kgf/m² of een ekwivalente doorsnede van 208 cm².

In het proefstation werden in 2 andere lokalen dichtheidsmetingen verricht in functie van wijzigende vloerbelastingen en wijzigende luchttemperatuur.

Deze resultaten zijn terug te vinden in § 1.5. - Globale proef.

1.3.3.7. Overzicht van de resultaten

Tabel 34- Ekwivalente lekdoorsneden (cm ²)					
Proefplaats	Globaal	Deur	Venster	Niet gepre-ciseerde waarden	Kurve totaal (x) debiet
Bouwplaats 1 I	253	170	38	45	230 q ^{0,5}
II	154	45	24	85	140 q ^{0,61}
III	153	75	22	56	138 q ^{0,66}
Bouwplaats 2	70	22	13	35	63 q ^{0,52}
Bouwplaats 3	118	25	18	75	100 q ^{0,64}
Bouwplaats 4	125	35	3	87	188 q ^{0,92}
Bouwplaats 5	186	25	-	161	144 q ^{0,62}
Limelette	208	-	-	-	-
(x) met q in kgf/m ²					

1.3.4. Ekwivalente openingen

Definitie

In voorgaande tabellen worden regelmatig ekwivalente openingen aangegeven. Hiermee bedoelt men de opening (grootte-orde) die men zou moeten toepassen om dezelfde karakteristiek te bekomen als deze verkregen door de verschillen de werkelijk bestaande lekken. De wijze waarop deze ekwivalente opening verkregen wordt, is hierna aangegeven.

Bepaling van de ekwivalente opening

Als het verloop van de luchtlekken evenredig is met de vierkantswortel van de druk dan kan er een ekwivalente vrije doorsnede bepaald worden die karakteristiek is voor de grootte van de lekken en die bij ventilatieberekeningen kan gebruikt worden.

In werkelijkheid zijn de luchtlekken meestal evenredig met de 0,5 à 0,65ste macht van het drukverschil.

Berekening van de ekwivalente opening

Weze q de druk in kg/m^2 en Q het luchtdebiet in m^3/h dat bij q hoort. We veronderstellen dat $Q = cte\sqrt{q}$ als kurve gemeten werd. We berekenen deze relatie theoretisch.



Afb. 53

De vrije doorsnede bedraagt $\Omega \text{ m}^2$ en de lichtsnelheid $U \text{ m/s}$.

We hebben::

$$q = (\zeta_1 + \zeta_2) \frac{\gamma U^2}{2g} \quad (1)$$

waarin :

ζ_1 en ζ_2 : overgangsweerstandskoefficienten zijn

γ : soortelijk gewicht van de lucht = $1,23 \text{ kgf/m}^3$

g : de aardversnelling = $9,81 \text{ m/s}^2$

Uit de hydraulika-aerodynamika volgt : $\zeta_1 = 0,5$ en $\zeta_2 = 2$

Oplossen van (1) naar U geeft :

$$U = \sqrt{\frac{1}{\zeta_1 + \zeta_2} \frac{2g}{\gamma} q} \quad (2)$$

Nu is :

$$U = \frac{Q}{\Omega} \quad (3)$$

en dus uit (3) en (2) volgt :

$$\Omega = \frac{Q}{\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}} \sqrt{\frac{\zeta_1 + \zeta_2}{q}} \quad (4)$$

En in cijferwaarden, als alles in m, kgf, s is uitgedrukt :

$$\Omega = \frac{Q}{4} \sqrt{\frac{2,5}{q}} \quad (5)$$

Voor $q = 1 \text{ kgf/m}^2$ en Q in m^3/h is dit : $\Omega = 11,10^{-4} Q \text{ m}^2 = 1,1 Q \text{ cm}^2$

Voorbeeld :

Men vindt in een kamer een debiet van $200 \text{ m}^3/\text{h}$ voor een druk van 1 kgf/m^2 .
Formule 5 geeft dan :

$$\Omega = \frac{(200/3600)}{4} \sqrt{\frac{2,5}{1}} = 2,196 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 = 219,6 \text{ cm}^2$$

of een vierkant van $14,82 \text{ cm}$ zijde.

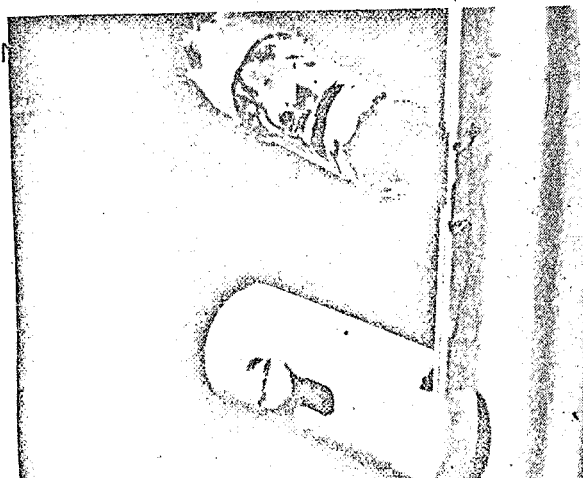
1.3.5. Besluiten

Deze metingen in situ hebben het grote voordeel dat ze toelaten een volledig vertrek en ook de ramen in werkelijke omstandigheden te onderzoeken. Ook in geval van betwisting kan de meetmethode op voordelige wijze worden toegepast.

Men noteert nog enkele moeilijkheden bij het afstoppen van de openingen omdat de kleeftband of de kit de ramen en muren soms bevuilen of beschadigen (loskomen van verf of behangselpapier) en omdat de kleeftband of de kit bij grote onderdrukken loskomen. Men zoekthiervoor dan ook betere oplossingen.

Het gaat hier om een proef waarbij men de ramen in het gebouw test op hun wind- en waterdichtheid, hun stijfheid en sterkte bij verkeerd gebruik in de werkelijke omstandigheden qua bevestiging en aansluiting met de ruwbouw wat natuurlijk een belangrijk voordeel is.

Een ander voordeel van deze metingen in situ is dat men in het gebouw eventuele lekken ontdekt die niets met het raam te maken hebben, maar die veelal wel op het passief van het raam worden gezet (omdat men bij ondichtheid meestal enkel aan het raam denkt. Op afb. 54 vindt men een voorbeeld.



Afb. 54- Voorbeeld waarbij belangrijke lekken gevonden werden via de buizen voor de bevestiging van de radiatoren. Deze buizen lopen door tot in de spouwruimte. Een schot is echter al voldoende om lekken te veroorzaken.

1.4. Voegbewegingen

1.4.1. Algemeen

Gevels worden steeds meer gebouwd met grote geprefabriceerde betonelementen. Afhankelijk van de aard van hun verankering aan de structuur (verstijvende vloeren en binnenmuren) bewegen deze elementen min of meer, voornamelijk als gevolg van de temperatuurswisselingen in het gevelelement.

Deze gevelelementen zijn weersdicht ; de gevel is echter pas dan als geheel dicht wanneer ook de voegen tussen de elementen, waarvan de breedte voortdurend wisselt als gevolg van de beweging van de elementen, afgedicht zijn. Deze afdichting geschiedt meestal met kitten.

Het afdichtingsmateriaal dat in de voeg wordt aangebracht moet de bewegingen die in de voeg voorkomen kunnen volgen zonder dat het loskomt van de voegwanden en zonder dat het materiaal zelf scheurt (wegvallen van cohesie of adhesie). Nu is het echter zo dat de plastische en elastische mastieken die hiervoor in aanmerking komen in de praktijk en gedurende lange tijd slecht 5 à 30% vervorming (afhankelijk van het type) kunnen verdragen ; wat wil zeggen dat de verhouding van de voegbeweging t.o.v. de breedte van de voeg bij het plaatsen van de mastiek beperkt moet blijven tot max. 5 à 30%.

De breedte van de voeg wordt door de ontwerper vastgelegd ; de werkelijke voegbreedte verschilt altijd in zekere mate van de theoretische omwille van de speling op de afmetingen van de gevelelementen bij hun fabricatie en als gevolg van afwijkingen bij hun plaatsing.

Het is dus belangrijk, bij het ontwerpen van een gevel, zo volledig mogelijk informatie te hebben over de speling op de voegbreedte en op de voegbeweging. Het eerste probleem wordt in detail behandeld in de studie "Toleranties" van I.C. - I.B./SECO ; de voegbewegingen(*) worden hierna behandeld aan de hand van waarnemingen, telkens gedurende ongeveer 1 jaar, op 2 prefab-gebouwen.

Er dient op gewezen dat men nu bezig is met de voorbereiding van een technische voorlichting aangaande deze voegafdichtingen in het kader van een werkgroep voorgezeten door ir. J.P. D'Herte (E.G.T.A.).

1.4.2. Proefgebouwen

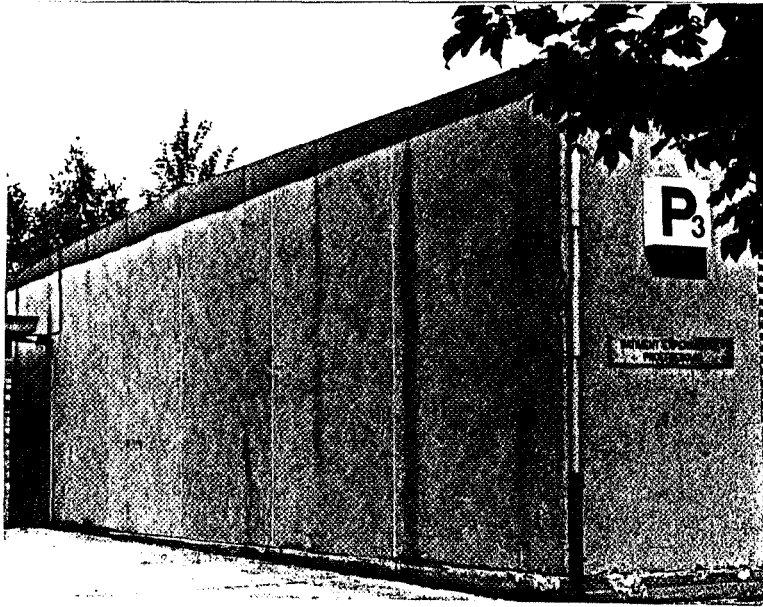
De waarneming van de voegbewegingen geschiedt op 2 gebouwen waarvan de gevels gevormd worden door prefab-elementen, bestaande uit zwaar beton. Het betreft

- een proefhall in het W.T.C.B. - proefstation (zie afb. 55)
- een sporthall in het Brusselse (zie afb. 56).

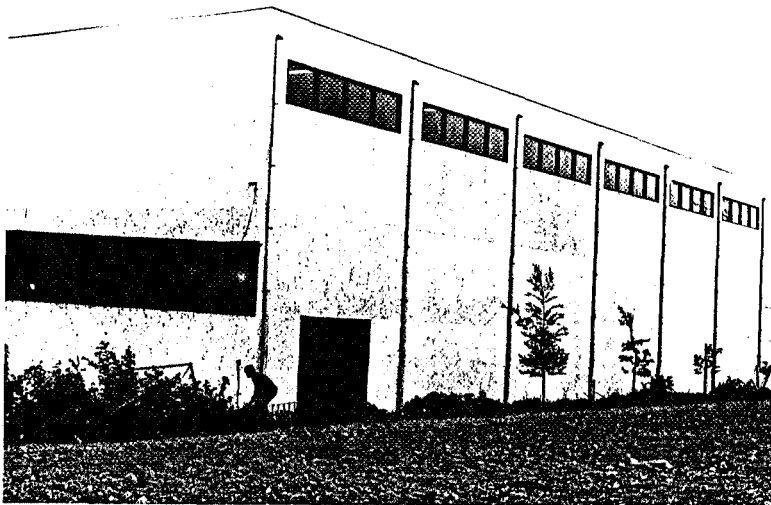
De proefhall is 8,3 x 16,2 x 3,8 m groot en de grootste elementen zijn er 2,7 x 3,8 m. De afmetingen van de sporthall bedragen 38,5 x 43,2 x 9,3 m ; daar zijn grotere elementen, nl. tot 7,2 x 2,4 m.

De gevelplans en afmetingen van deze gebouwen evenals de meetresultaten worden gegeven in § 1.4.4.

(*) Wij verwijzen ook naar de gegevens die in vorig eindverslag werden gegeven.



Afb.55 - Proefhall (8,3x16,2x3,8 m ; grootste elementen : 2,70 x 3,8 x 0,14 m in vol beton op de zijkanten en in het midden voorzien van 5 cm polyurethaan).



Afb.56 - Sporthall (38,5 x 43,2 x 9,3 m ; grootste elementen 7,2 x 2,4 m)

1.4.3. Meetapparatuur

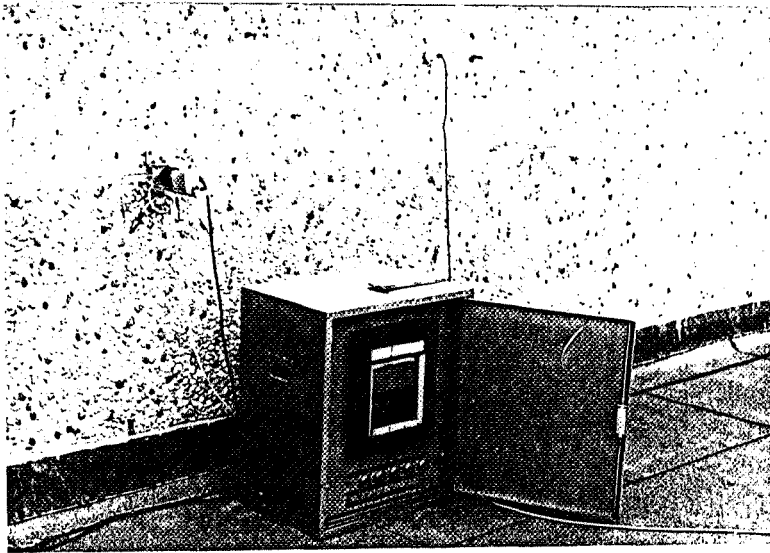
De voegbewegingen worden gevolgd, enerzijds met verplaatsingsmeters die verbonden zijn met een registreerapparaat, anderzijds met een schuifmaat.

De automatische meetapparatuur (afb. 57) laat toe praktisch ononderbroken de voegbeweging op 4 plaatsen en de temperatuur(*) op 2 plaatsen te meten.

1

Omdat de voegbewegingen op slechts 4 punten kunnen worden gemeten, worden er op andere punten bijkomende metingen verricht met een schuifmaat ; de nauwkeurigheid die hierbij wordt verkregen (1/10 mm) is bevredigend als men weet dat men te doen heeft met verplaatsingen die gaan tot 5 mm.

(*) Er bestaat ook de mogelijkheid één temperatuurmeter en één vochtigheidsmeter aan te schakelen in plaats van 2 temperatuurmeters. De nauwkeurigheid van deze laatste meting laat echter te wensen over.



Afb. 57- Registreerapparaat gebruikt voor de bepaling van voegbewegingen, temperaturen (en vochtigheid). Bovenaan ziet men de 3 verschillende opnemers : v.l.n.r. voegbeweging, vochtigheid en temperatuur.

Gedetailleerde foto's van de opnemers van de bewegingen, temperaturen en vochtigheid zijn gegeven in § 1.4.4.2. - sporthall (afb.63 en 65 tot 67).

In het geval van manuele metingen betracht men alle meetpunten meermaals te meten op winterdagen en zomerdagen met grote temperatuursverschillen tussen dag en nacht om op deze wijze gemakkelijker de verbinding te kunnen leggen tussen temperatuursevolutie en voegbeweging.

De eigenlijke voegopeningen worden eveneens met een schuifmaat gemeten.

1.4.4. Meetresultaten

1.4.4.1. Proefhall

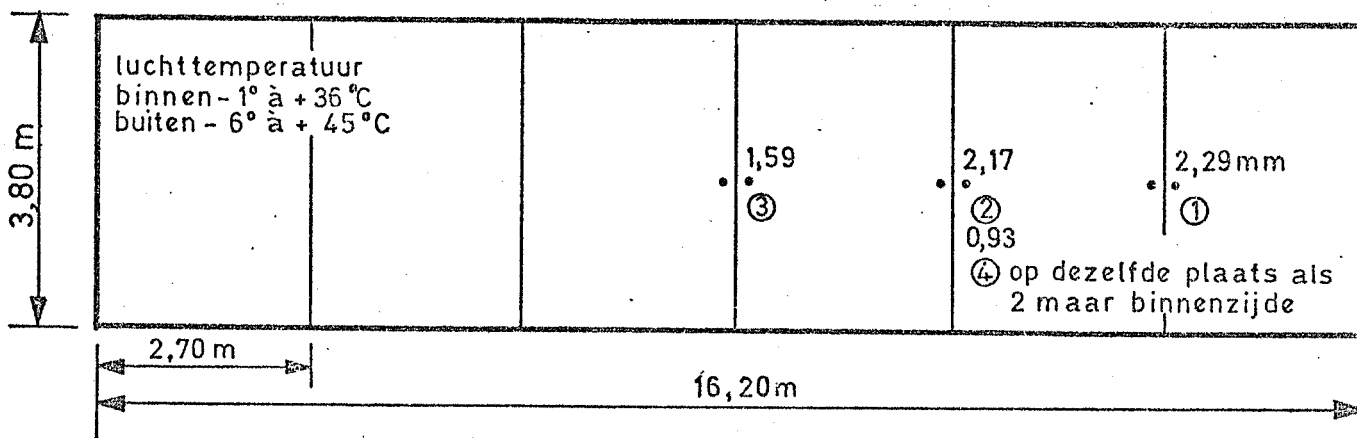
Resultaten

De voegbewegingen, die van juni 1975 t/m juli 1976 in 4 voegen van de Zuid-gevel, opgetekend werden, zijn samengevat in tabel 35. Men geeft er per maand per verplaatsingsmeter de grootste en de kleinste (relatieve) voegopeningen evenals de grootste voegbeweging. Bovendien geeft men de hoogste en laagste luchttemperaturen die binnen^(*) en buiten (Z-gevel) het gebouw werden opgetekend.

In afb.59 geeft men de evolutie van de luchttemperaturen en voegbewegingen op een dag in april met grote temperatuursevolutie en dus ook met belangrijke voegbewegingen.

(*) Dit gebouw is niet altijd verwarmd in de winter.

ZUIDGEVEL



Afb. 58 - Plaats van de verplaatsingsmeters met de voegbewegingen en uiterste *lucht*temperaturen (juni 1975 - juli 1976).

Verband tussen temperatuursverschillen en voegbewegingen

Wanneer men het verband zoekt tussen de waarden van de voegbewegingen aan de buitenzijde van de gevel en optredende temperatuursverschillen dan merkt men dat de werkelijke uitzetting groter is dan de theoretisch berekende - zelfs al gebruikt men een grote uitzettingscoëfficiënt -.

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l$$

met :

$$\begin{aligned} \alpha \text{ (uitzettingscoëfficiënt)} &= 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (geschatte waarde)} \\ \Delta t \text{ (temperatuursverschil)} &= 51^\circ\text{C} \text{ (**) } (-6^\circ\text{C} \rightarrow +45^\circ\text{C}) \\ l \text{ (lengte van het element)} &= 2.700 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\Delta l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 51 \cdot 2700 = 1,65 \text{ mm}$, daar waar in werkelijkheid tussen 1,59 en 2,72 mm werd gemeten.

Indien men maand per maand de vergelijking maakt tussen de theoretische en werkelijke uitzetting, ziet men dat voeg 1 in de werkelijkheid steeds meer beweegt dan berekend, behalve in december 1975, maar dat de voegen 2 en 3 meestal minder bewegen dan berekend (nl. in oktober 1975 - maart 1976 en juni-juli 1976). Deze verschillen zijn uit te leggen door het feit dat de betontemperatuur meestal lager is dan de luchttemperatuur, maar dat het andersom is in geval van sterke straling. Ook is er het feit dat men geen rekening houdt met de vochtigheidsgraad van het beton(*).

Wat de voeg 4 van de binnenzijde aangaat, ziet men dat - behalve in februari 1976 - de werkelijke beweging kleiner is dan de berekende : $\Delta l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 37 \cdot 2700 = 1,2 \text{ mm}$ waar in de werkelijkheid 0,93 mm werd gemeten.

Het feit dat de voegen aan de buitenkant over het algemeen meer en aan de binnenkant minder bewogen dan berekend werd, is ook uit te leggen door de kromming van de panelen wanneer er een temperatuursverschil is tussen binnen en buiten die de voegbewegingen aan de binnenzijde verminderen en aan de buitenzijde vermeerderen.

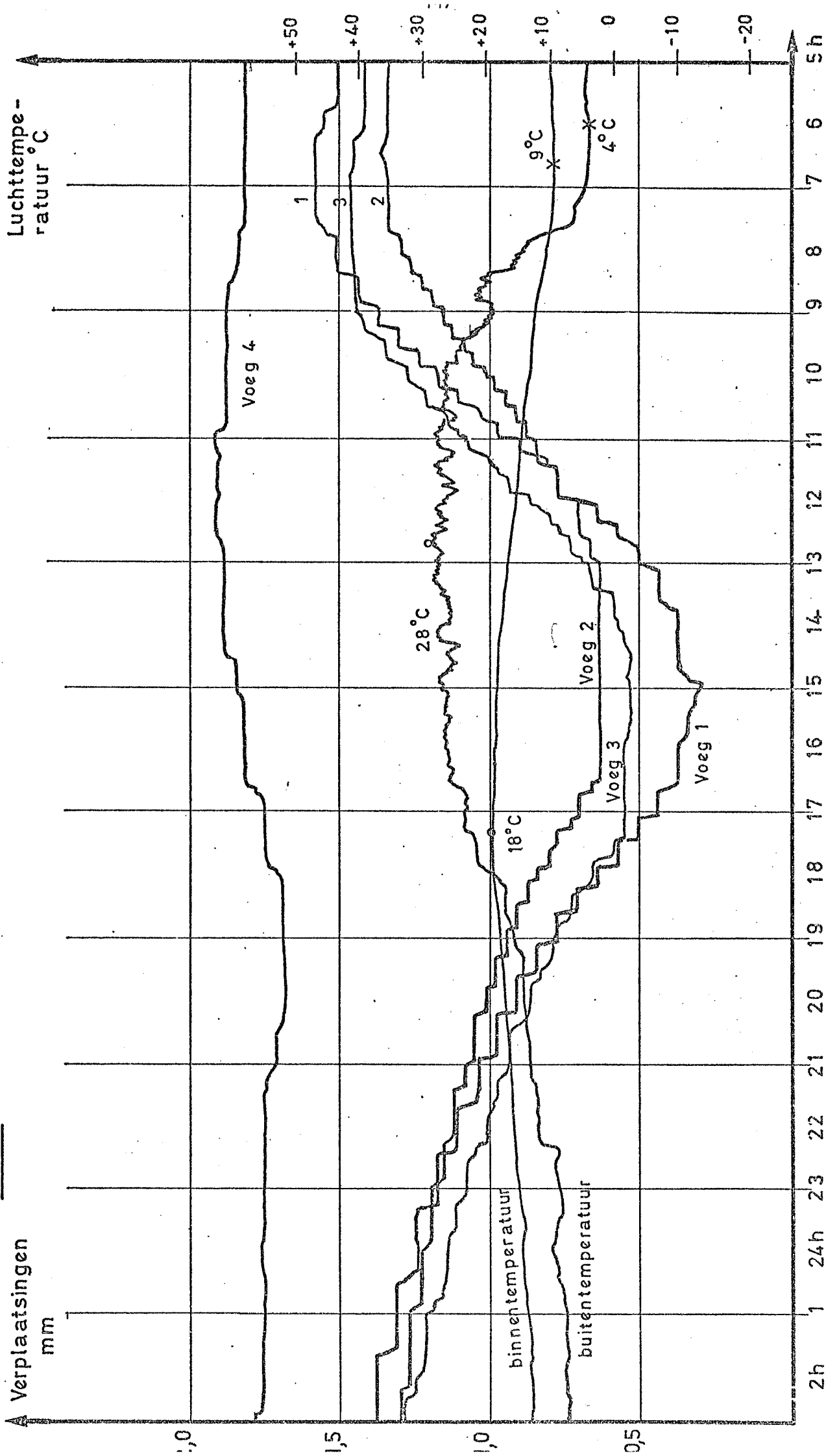
(*) Dit is voor zwaar beton eerder onbelangrijk en werkt over het algemeen in de richting van een beperking der bewegingen.

(**) In feite ligt de Δt van het beton zelf lager (zie verder : sporthall)

Tabel 35 - Voegenbewegingen en luchttemperaturen bij de proefhall.																
Maand (meetdagen)	Verplaatsingsmeters (‰)															
	1				2				3				4			
	Max.	Min.	Verpl.	Max.	Min.	Verpl.	Max.	Min.	Verpl.	Max.	Min.	Verpl.	Max.	Min.	Verpl.	
Jun. 75 (11)	1,17	0,05	1,12	2,64	1,87	0,77	2,06	1,04	1,02	2,45	2,17	0,28	10	33	16	30
Jul. 75 (10)	1,50	0,00	1,50	2,72	1,67	1,05	2,08	1,10	0,98	2,40	1,90	0,50	12	40	10	28
Aug. 75 (7)	1,63	0,43	1,20	2,56	1,58	0,98	2,10	1,04	1,06	2,22	1,88	0,34	16	41	21	36
Okt. 75 (18)	2,21	1,34	0,87	1,65	1,07	0,58	2,19	1,65	0,54	2,66	2,30	0,36	-1	26	-1	27
Nov. 75 (28)	2,29	1,48	0,81	1,67	1,08	0,59	2,21	1,71	0,50	2,61	2,40	0,21	-4	18	8	17
Dec. 75 (20)	2,19	1,61	0,58	1,53	1,15	0,38	2,11	1,72	0,39	2,71	2,34	0,37	-6	15	-1	13
Feb. 76 (24)	2,10	1,15	0,95	1,57	1,00	0,57	1,92	1,44	0,48	2,61	2,20	0,41	-3	21	13	23
Maa. 76 (30)	2,08	0,82	1,26	1,71	0,90	0,81	2,00	1,04	0,96	2,81	2,15	0,66	-6	24	2	31
Apr. 76 (26)	2,07	0,60	1,47	1,86	0,85	1,01	2,00	0,75	1,25	2,74	2,40	0,34	0	28	6	28
Mei 76 (27)	2,02	0,38	1,64	1,80	0,55	1,25	1,93	0,62	1,31	2,64	2,28	0,36	5	40	13	31
Jun. 76 (18)	2,08	0,61	1,47	1,84	0,86	0,98	1,95	1,36	0,59	2,61	2,25	0,36	6	42	8	31
Jul. 76 (10)	2,02	0,65	1,37	1,78	1,08	0,70	1,95	1,51	0,44	2,61	2,18	0,43	11	45	19	36
1975 - 1976	2,29	0	2,29	2,72	0,55	2,17	2,21	0,62	1,59	2,81	1,88	0,93	-6	+45	-1	36

(‰) De waarde "max" en "min" hebben geen betekenis op zichzelf; het zijn relatieve waarden die toelaten door vergelijking verplaatsingen te kennen. De plaats van de verplaatsingsmeters is terug te vinden op afb. .

Afb. 59 Voegbewegingen als gevolg van temperatuurswisseling op een proefhall



Afb. 60 - Kromming van de gevelelementen bij verschillende temperatuur tussen binnen en buiten.

Uit de afb. 59 leidt men af dat de voegbewegingen niet geleidelijk plaats vinden maar wel met "schokken". Dit is te verklaren door het feit dat wrijvingskrachten moeten worden overwonnen.

Het verschil tussen de gemiddelde snelheid van de voegbeweging en de werkelijke snelheid is dan ook groot; voor bepaalde dagen(*) vond men als grootste gemiddelde snelheid 0,24 mm/h ; als grootste werkelijke snelheid 1,95 mm/h dus een snelheid die meer dan 8 maal groter is.

Men moet hierbij bedenken dat bouwelementen met donkere kleur en/of met kleinere termische traagheid nog merkkelijk sneller en meer bewegen dan hogergenoemde waarden.

Voegopeningen

De voegopeningen zijn terug te vinden op afb. 61. Omwille van het feit dat de hoeken van de elementen altijd min of meer afgerond zijn en de maatstiek tot aan de afronding komt, is het niet mogelijk deze openingen zeer nauwkeurig te meten.

Het valt echter op dat eenzelfde voeg tussen onder en boven tamelijk veel kan verschillen in breedte, nl. tussen 1,5 en 2,1 cm (Zuidgevel). Bovendien is de breedste voeg 2,4 cm breed daar waar de smalste slechts 0,6 cm breed is of slechts 25% van de vorige.

Relatieve voegbewegingen

Wat de grootste voegbewegingen t.o.v. de voegopening aangaat, krijgt men volgend resultaat :

voeg 1 : 2,29 mm/16 mm = 14,3 %
voeg 2 : 2,17 mm/14 mm = 15,5 %
voeg 3 : 1,59 mm/16 mm = 9,9 %

Men neemt aan dat de gebruikte polysulfidekit 25-30% vervorming kan opnemen de voegmaterialen zijn dus niet te veel belast.

Had men echter 2,29 mm vervorming gehad in de 0,6 cm brede voeg (Noord-gevel) dan had de vervorming van 38 % waarschijnlijk schade meegebracht. Voornoemde voeg is echter niet blootgesteld aan sterke bezonning zodat de bewegingen er kleiner zijn.

1.4.4.2. Sporthall

Soort metingen en resultaten

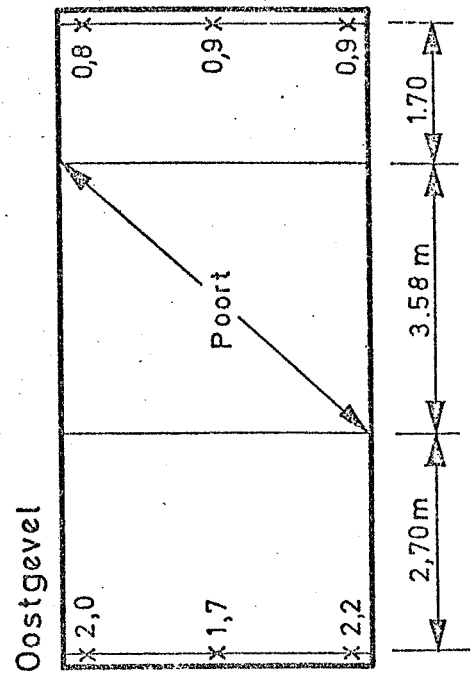
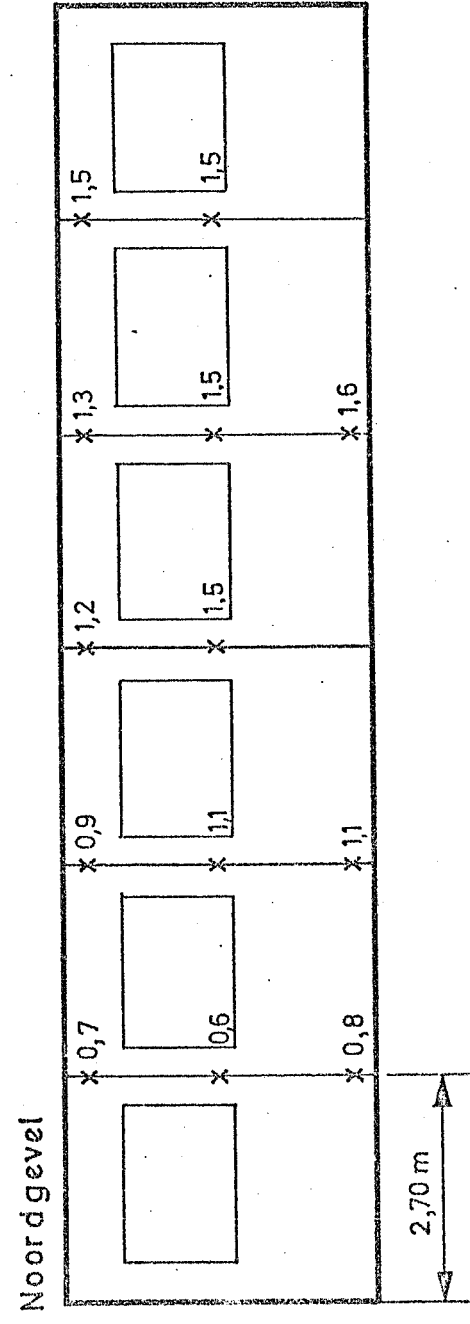
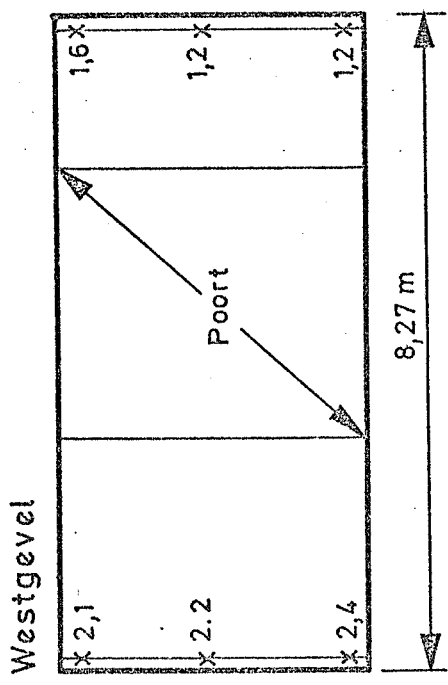
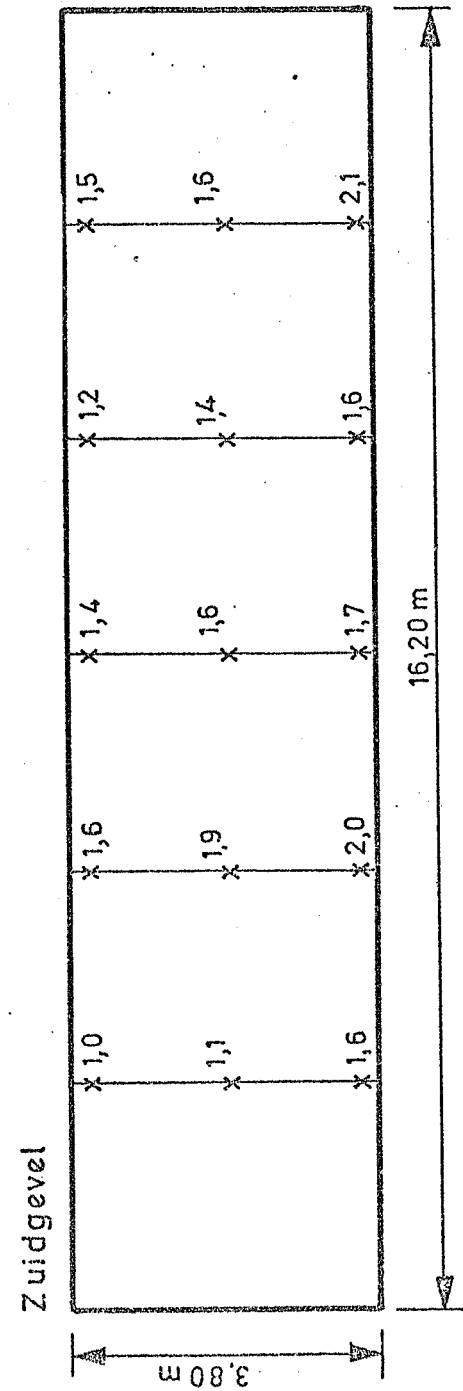
Op de sporthall werden metingen verricht van oktober 1976 t/m maart 1977(**) met verplaatsingsmeters (op 4 punten van de oost-gevel) en van juni 1976 t/m mei 1977(***) met de schuifmaat (op 84 punten).

(*) 1.6.1976

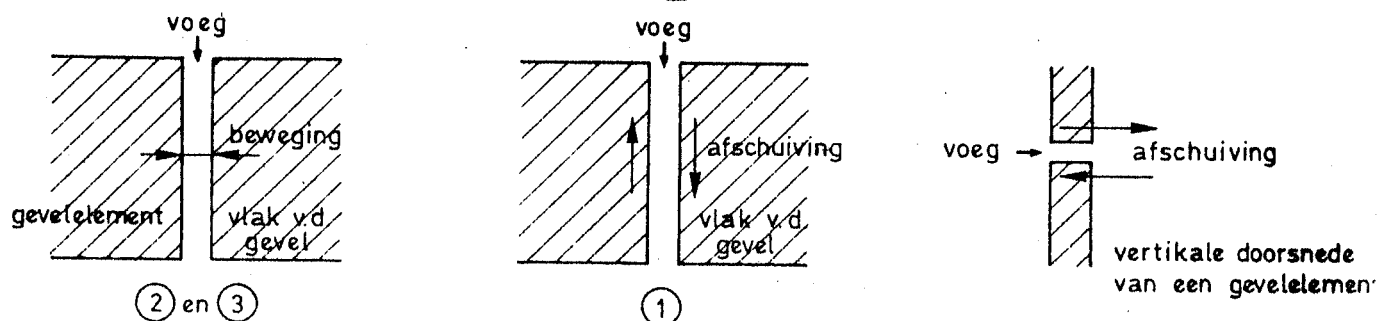
(**) Deze metingen worden nog verder gezet. De resultaten verkregen na maart 1977 worden in een volgende verslag gegeven.

(***) Het betreft hier 12 metingen waarvan tot 2 op een dag. Het was echter niet mogelijk, om verschillende redenen, steeds alle punten te bereiken.

AFB. 61 Voegopeningen tussen de elementen van de proefhall (gemeten bij een temperatuur van ongeveer 15 °C)



De plaats van de verplaatsingsmeters is terug te vinden in afb. 64, de meetresultaten in tabel 36. De opnemers 2 en 3 geven de voegbewegingen $\perp$ op de voegwand, opnemer 1 geeft de afschuivingsbeweging van één element t.o.v. een ander in de lengterichting van de voeg en opnemer 4 de afschuivingsbeweging tussen 2 elementen $\perp$ op het vlak van de gevel (afb. 62).



Afb.62 - Aard van de gemeten voegbewegingen.

In tabel 36 geeft men per maand en per verplaatsingsmeter de grootste en de kleinste (relatieve) voegopeningen evenals de grootste voegbeweging. Bovendien geeft men de hoogste en de laagste temperaturen van de lucht en van de betonoppervlakte op 4 cm diepte (afb. 63).



Afb. 63 - Links : vochttopnemer
Rechts : temperaturopnemer : het gevoelige deel zit 4 cm in de muur.

Tabel 36 - Voegbewegingen en luchttemperaturen op de sporthall

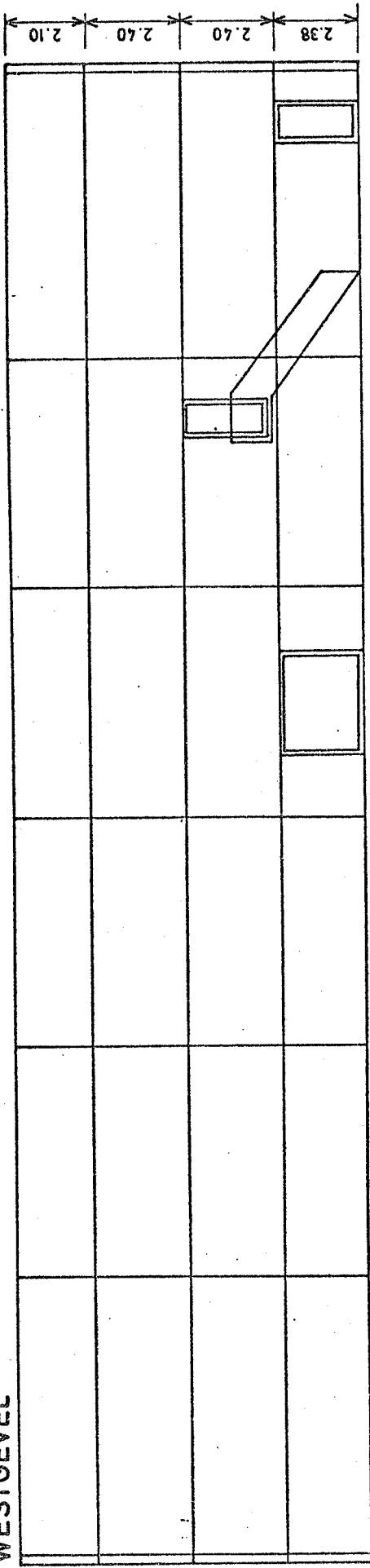
Maand (meet- da- gen)	Verplaatsingsmeters (*)												Temperatuur °C			
	↓↑ 1			↔↔ 2			↔↔ 3			↔↔ 4			Buiten- lucht		Beton	
	Max.	Min.		Max.	Min.		Max.	Min.		Max.	Min.		Min.	Max.	Min.	Max.
Okt. 76 (13)	1,57	1,36	0,21	1,71	0,91	0,80	1,83	0,91	0,92	1,60	1,13	0,47	6	22	9	20
Nov. 76 (30)	1,66	1,46	0,20	1,95	1,30	0,65	2,11	1,69	0,42	1,74	1,42	0,32	0	21	4	16
Dec. 76 (26)	1,79	1,59	0,20	2,23	1,48	0,75	2,47	1,73	0,74	1,90	1,56	0,34	-10	19	-5	12
Jan. 77 (28)	1,86	1,63	0,23	1,95	1,40	0,55	2,10	1,51	0,59	1,88	1,53	0,35	-1	19	2	13
Feb. 77 (4)	1,97	1,76	0,21	1,88	1,13	0,75	2,04	1,27	0,77	1,85	1,46	0,39	-2	21	1	15
Maa 77 (20)	1,98	1,63	0,35	1,88	0,70	1,18	2,04	0,78	1,26	1,85	1,33	0,52	-2	27	-1	23
1976 - 1977	1,98	1,36	0,62	2,23	0,70	1,53	2,47	0,78	1,69	1,90	1,13	0,77	-10	27	-5	23

(*) De waarde "max" en "min" hebben geen betekenis op zichzelf : het zijn relatieve waarden die toelaten door vergelijking verplaatsingen te kennen. De plaats van de verplaatsingsmeters zijn terug te vinden op afb. . 1

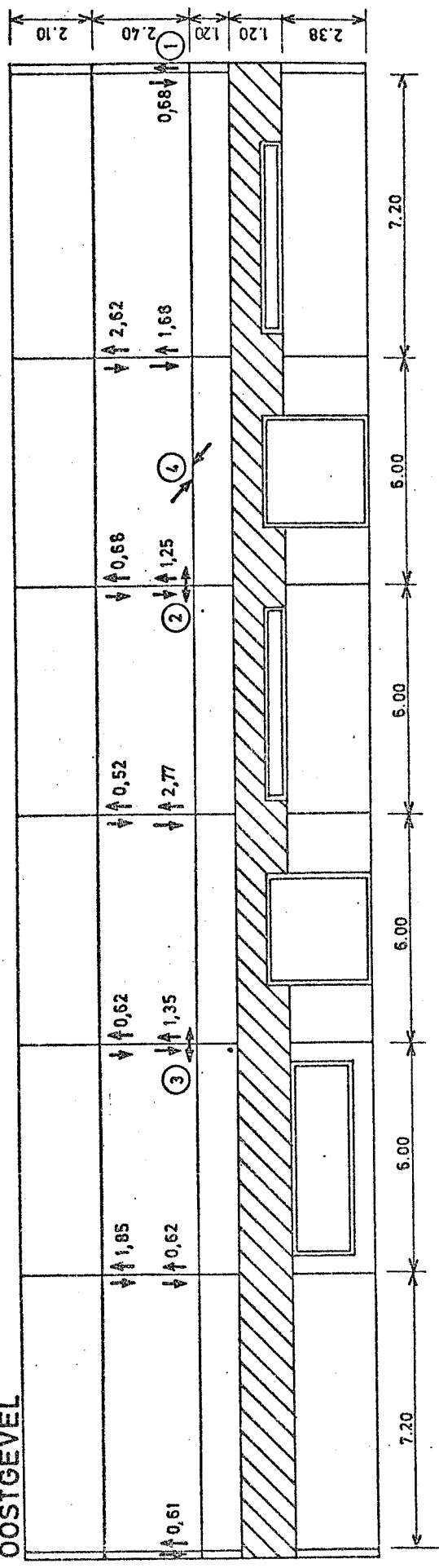
Plaats van de verplaatsingsmeters ① ② ③ ④

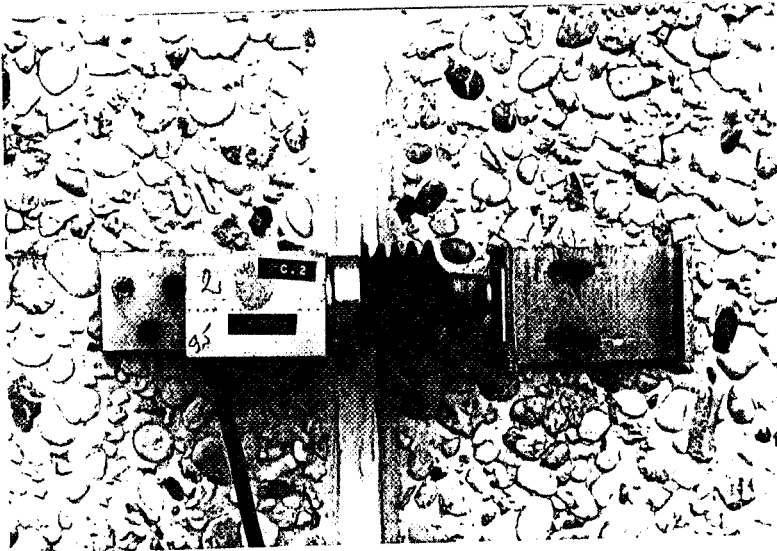
Grootte van de afschuivingsbeweging ↓ ↑ in mm bij $\Delta t = 35^{\circ}\text{C}$

WESTGEVEL

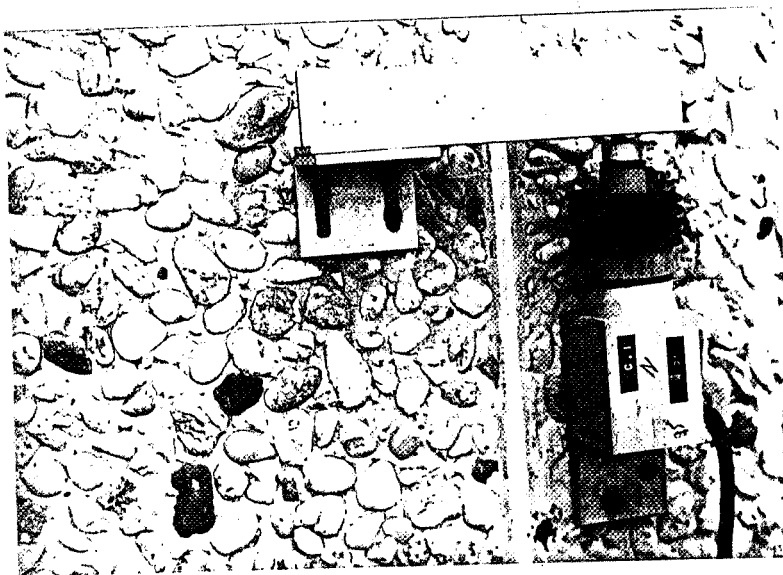


OOSTGEVEL

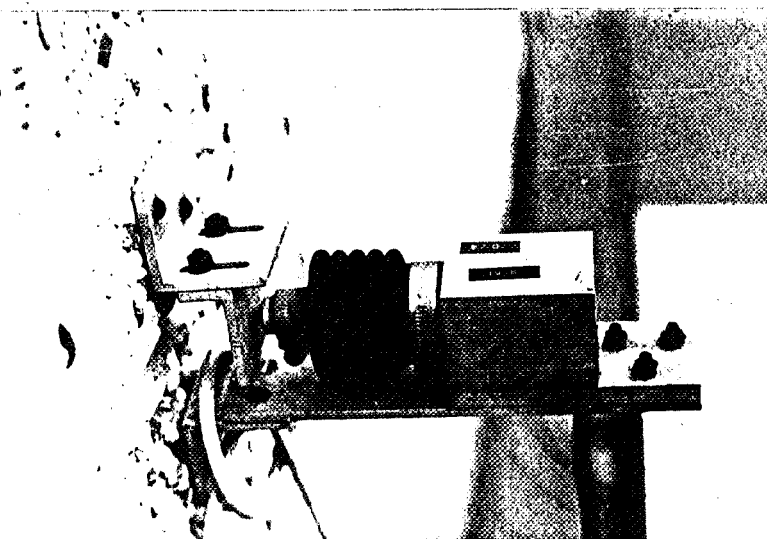




Afb.65 - Meting 2 en 3
van de voegbewegingen
⊥ op de voegwand.



Afb.66 - Meting 1 van de af-
schuivingsbeweging
van één element t.o.v.
van één ander in de
lengterichting van de
voeg.



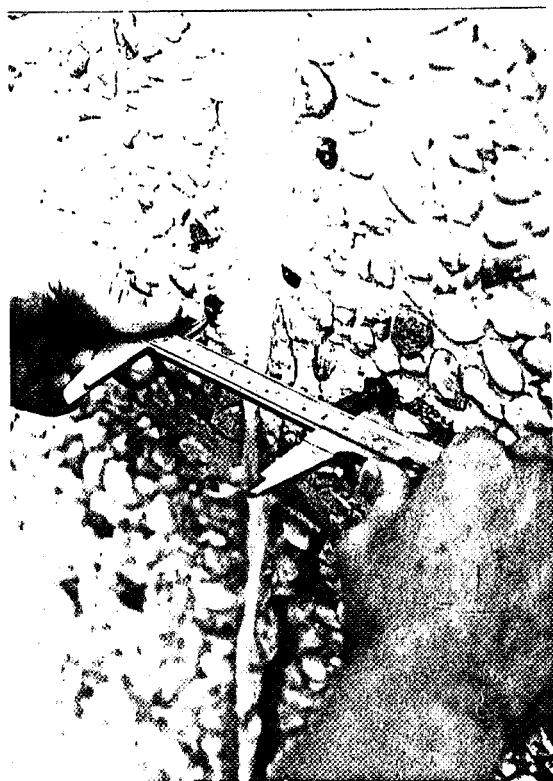
Afb.67 - Meting 4 van de af-
schuivingsbeweging
van één element t.o.v.
een ander ⊥ op het
gevelvlak.

In afb. 70 geeft men de evolutie van de lucht- en betontemperatuur evenals de voegbewegingen op een dag in maart met grote temperatuursevolutie en dus ook met belangrijke voegbewegingen.

De resultaten van de metingen met de schuifmaat betreffende de voegbewegingen $\perp$ op het voegvlak zijn terug te vinden op afb. (West en Oost-gevel) en afb. 71 (Noord en Zuidgevel). Deze afb. bevatten ook de waarden van de eigenlijke voegbreedte. De luchttemperaturen (bij de verschillende gevels) waartussen deze bewegingen genoteerd werden, variëren van geval tot geval. De grootste verschillen die genoteerd werden waren 0°C en 40°C (Δt 40°C). De meeste varieerden echter tussen 0 en 35°C . Om een betere vergelijking mogelijk te maken werden alle bewegingen naar het temperatuursverschil $0 - 35^{\circ}\text{C}$ (Δt 35°C) omgerekend. Bvb. Δl 2,0 mm voor $0 - 40^{\circ}\text{C}$ wordt 1,75 mm voor $0 - 35^{\circ}\text{C}$.



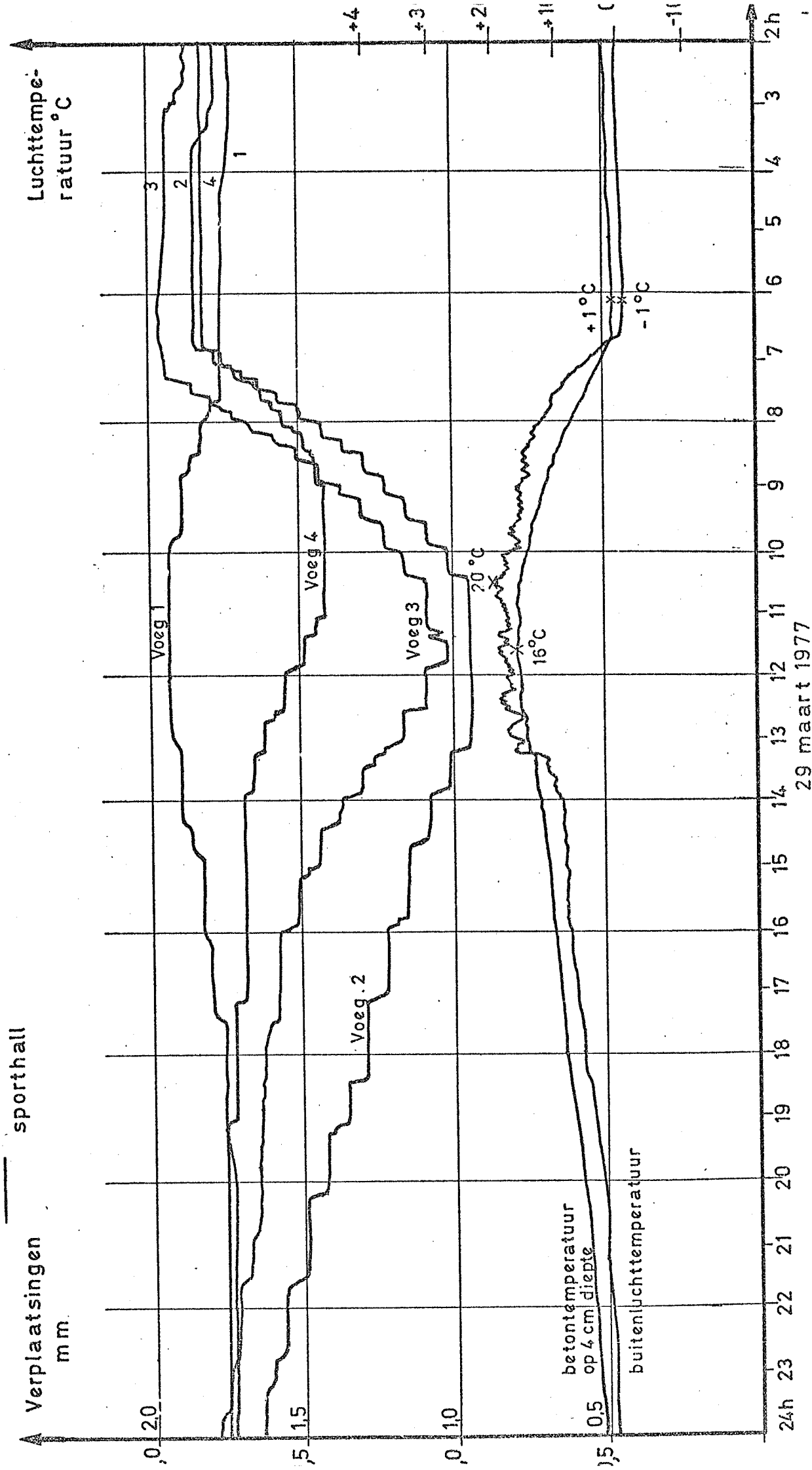
Afb. 69 - Meting van de voegbeweging $\perp$ op het voegvlak



Afb. 68 - Meting van de afschuiving tussen 2 betonelementen

De afschuivingsbewegingen (afb. 68) werden enkel op de w-gevel nagezien, deze zijn terug te vinden op afb. 64, waarop ook de plaats van de verplaatsingsmeters is gegeven. De opgegeven waarden betreffen de verplaatsingen tussen de meetpunten; de eigenlijke afschuivingsbeweging is echter (iets) kleiner want de gemeten waarde zou moeten worden vermenigvuldigd met een $\cos \alpha$:

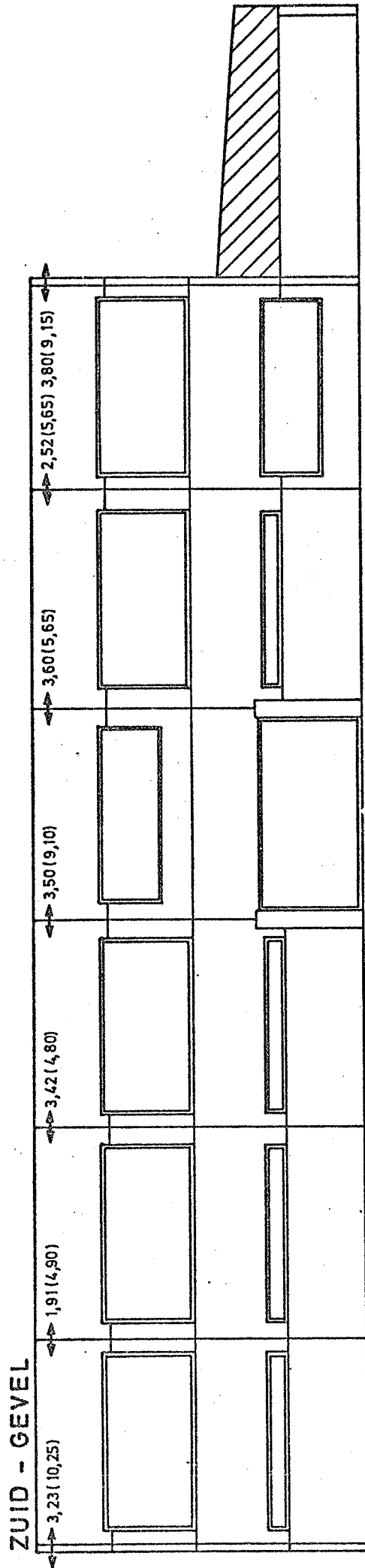
Afb. 70 Voegbewegingen als gevolg van temperatuurswisselingen op een



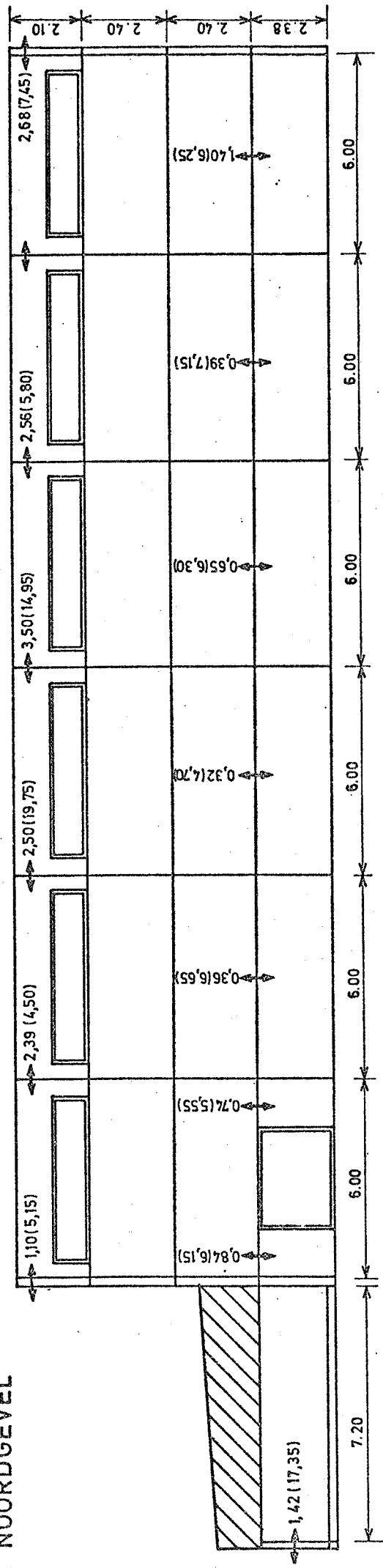
Afb. 71 - Sporthall noord en zuidgevel

Grootte van de voegbewegingen $\longleftrightarrow$ in mm $\perp$ op het voegvlak bij $\Delta t = 35^{\circ}\text{C}$

Voegopening () in mm gemeten bij $10 - 12^{\circ}\text{C}$



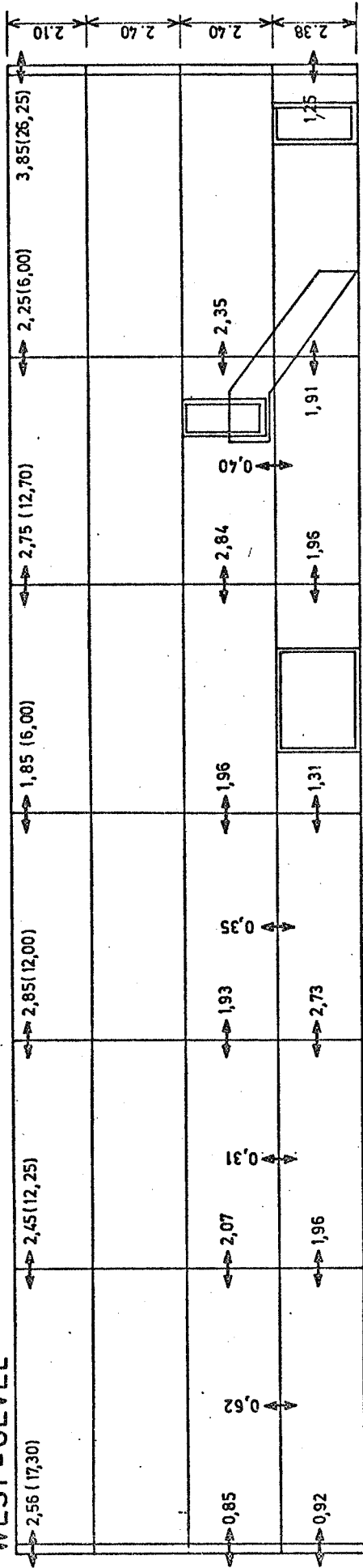
NOORDGEVEL



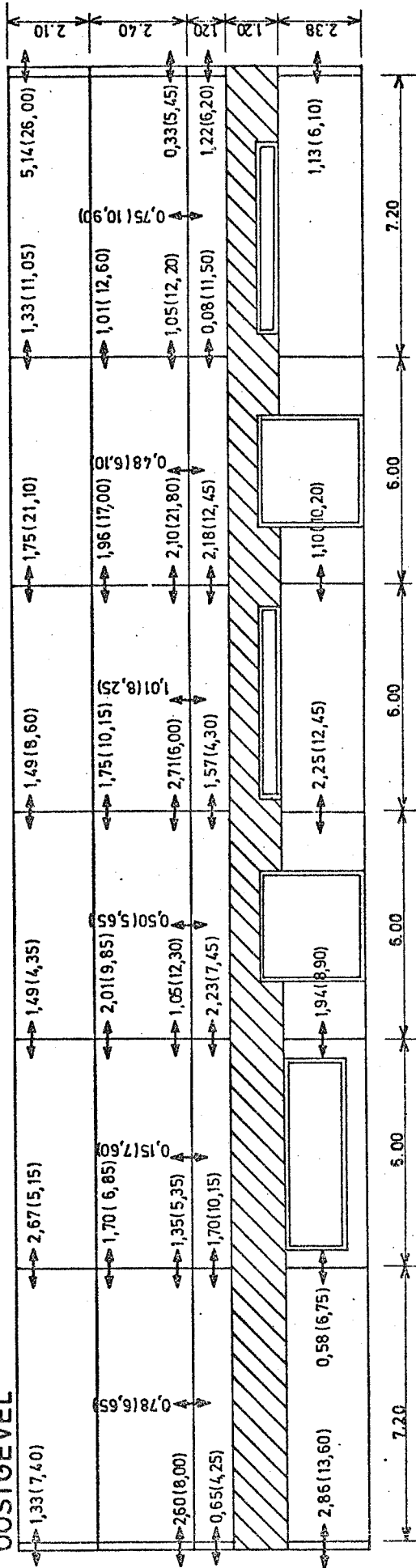
Grootte van de voegbewegingen $\longleftrightarrow$ in mm $\perp$ op het voegvlak bij $\Delta t = 35^{\circ}\text{C}$

- Voegopening () in mm gemeten bij $10 - 12^{\circ}\text{C}$

WEST - GEVEL



OOSTGEVEL



Verband tussen de geregistreeerde temperatuursveranderingen en de voegbewegingen

Bij temperatuursverschillen van 37°C van de buitenlucht en 28°C in het beton noteert men met de verplaatsingsmeters voegbewegingen ↓ op het voegvlak van 1,53 en 1,69(*) ; de afschuivingsbewegingen bedragen dan 0,62(**) en 0,77 mm. Uit afb.70 kan men afleiden dat de grootste gemiddelde snelheid van de voegbewegingen 0,3 mm/h bedraagt en de grootste werkelijke snelheid 3 mm/h.

Daar waar op de proefhall voegbewegingen (↓ op het voegvlak) werden gemeten die dicht bij de berekende lagen, liggen hier de werkelijke voegbewegingen iets lager dan de teoretische :

$$\Delta l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 28 \cdot 6000 = 2 \text{ mm}$$

(α) (Δt) (l)

Dit verschil kan worden uitgelegd door het feit dat slechts 2 meetpunten worden beschouwd en door een zekere verankering van de betonelementen aan de structuur.

De afschuivingsbewegingen zijn klein in vergelijking met de bewegingen ↓ op het voegvlak; ze zijn ook moeilijk te berekenen : ze hangen immers van een ganse reeks factoren af.

De manueel gemeten horizontale voegbewegingen variëren sterk van voeg tot voeg, nl. van 0,08 mm tot 5,14 mm ; de gemiddelde voegbeweging ligt echter wel dicht bij de berekende waarde van 2 mm.

Het valt op dat de voegbewegingen hier over het algemeen vergroten naarmate de voeg hoger ligt : dit moet waarschijnlijk worden uitgelegd door het feit dat de konstruktie en verankering met de hoogte aan stijfheid verliezen (er zijn hier geen tussenvloeren).

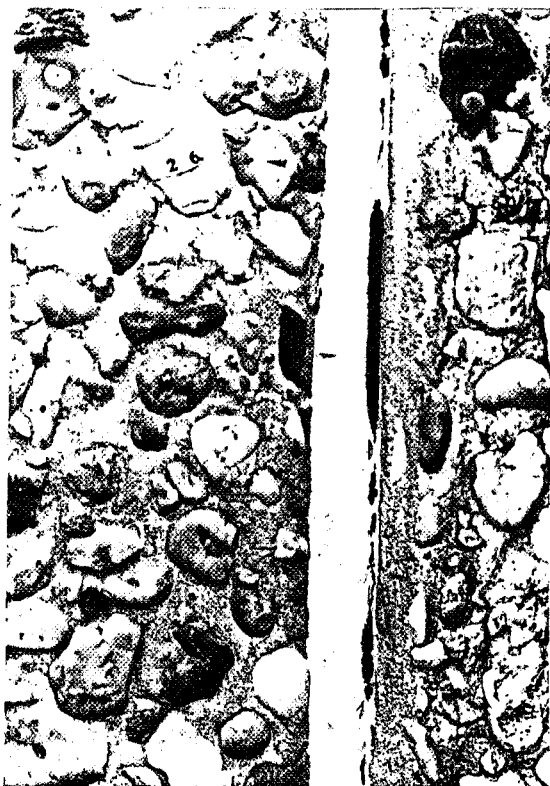
De verticale voegbewegingen loodrecht op het voegvlak zijn ongeveer 4 maal kleiner dan de horizontale voegbewegingen ; ze liggen tussen 0,15 mm en 1,40 mm, gemiddeld bedragen ze ongeveer 0,55 mm.

De afschuivende bewegingen volgens de lengterichting van de voeg vormen een zware belasting voor de voeg. Op de oostgevel werden ze op 12 plaatsen gemeten : de beweging varieert er tussen 0,52 en 2,62 mm met een gemiddelde van 1,27 mm. Eigenaardig is wel dat tussen de bovenkant en de onderkant van eenzelfde voeg grote verschillen optreden : men heeft hier nog geen uitleg voor, behalve het feit dat deze vervorming schuin wordt gemeten en deze afschuivingsvervorming kleiner is dan deze die gemeten werd en dat de hoek waaronder de meting geschiedt, verschilt van geval tot geval.

Men merkt dus dat er veel "grote" bewegingen voorkomen in, naar verhouding, smalle voegen (zie verder) ; deze grote relatieve voegbeweging brengt dan ook een sterke belasting van het voegmateriaal mee wat in sommige gevallen schade als gevolg heeft (afb.73).

(*) Verplaatsingsmeters : 1,53 en 1,69 ; "manuele" meting : 2,10 en 1,05 mm

(**) Verplaatsingsmeter : 0,62 mm (Δt 37°C) ; "manuele" meting : 0,68 mm (Δt 35°C)



Afb. 73 - Loskomen van een elastische kit van zijn voegwand

Voegopeningen

Deze voegopeningen verschillen sterk van voeg tot voeg (tabel 37).

Tabel 37 - Voegopeningen (mm) tussen de betonelementen van een sporthall			
	Grootste waarde	Kleinste waarde	Gemiddelde waarde
N-gevel (bovenaan)	19,75	4,50	9,60
O-gevel (ganse gevel)	26,00	4,25	10,20
Z-gevel (bovenaan)	10,25	4,80	7,10
W-gevel (bovenaan)	26,25	6,00	13,20

De gemiddelde voegbreedte ligt rond 10 mm, de uiterste waarden variëren echter tussen 4,25 en 26,25 mm !

Relatieve voegbewegingen

Bovenaan de Z-gevel liggen alle relatieve voegbewegingen boven 30% ; ze gaan er tot 71% ! Bij de andere gevels zijn de relatieve bewegingen over het algemeen kleiner, maar ook daar gaat men soms boven de 30% (30% zijnde een maximumbeweging voor elastische kitten).

1.4.5. Besluiten

Bij de proefplaatsen werden al een ganse reeks besluiten gegeven ; wij her-nemen hier de voornaamste :

- er is een goed verband tussen de luchttemperatuur en de betontemperatuur ; bij koude ligt de betontemperatuur nauwelijks iets hoger dan de luchttemperatuur. Bij bezonning speelt de kleur van het beton een rol : "wit" beton zal een lagere temperatuur hebben dan de lucht, "donker" beton kan een merkkelijk hogere temperatuur krijgen.

- de gemiddelde waarde van de werkelijke voegbewegingen ligt dicht bij de berekende waarden : er zijn echter grote afwijkingen van de individuele bewegingen t.o.v. de gemiddelde. Deze afwijkingen worden vooral uitgelegd door een niet uniforme verankering van de elementen aan de gebouwen.
- er is een groot verschil (in de gemeten gevallen 8 à 10 maal) tussen de gemiddelde snelheid waarmee de voegen openen of sluiten en de werkelijke snelheid.
De grootste snelheid komt voor bij het sluiten (snellere opwarming dan afkoeling van de elementen) en bedraagt (op de sporthall) tot 3 mm/h werkelijke beweging tegen 0,3 mm/h gemiddelde beweging, dit omdat de beweging met "schokken" gepaard gaat (telkens na het overwinnen van wrijving).
- daar waar men een grote spreiding waarneemt bij de voegbewegingen is er een nog grotere spreiding bij de voegopeningen : dit laatste is esthetisch hinderlijk maar heeft in enkele gevallen een grote relatieve voegbeweging (verhouding tussen beweging en opening) en schade tot gevolg.

1.4.6. Bepaling van de voegopening bij het ontwerpen van gebouwen met gevels in zwaar-betonelementen (1ste ontwerptekst)

1.4.6.1. Algemeen

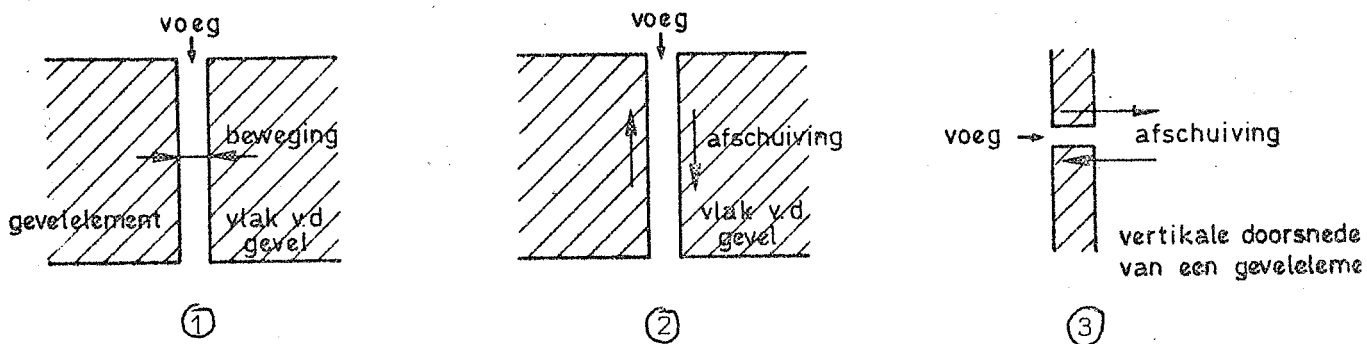
De voegen tussen betonelementen worden meestal afgedicht met kitten ; eventuele schade bij deze afdichtingsmaterialen (wegvallen van cohesie of adhesie) komt voornamelijk voor als gevolg van de voegbewegingen.

De plastische of elastische kitten die bij deze dichtingswerken worden gebruikt verdragen, wanneer ze goed geplaatst werden, bewegingen(*) tot 2 à 5% (plastische) en tot 15 à 35% (elastische kitten). Dit wil zeggen dat de relatieve voegbewegingen (verhouding van voegbeweging tot voegbreedte) hogergenoemde waarden niet mogen overschrijden, zoniet verhoogt de kans op schade mettertijd.

1.4.6.2. De oorzaken van de voegbewegingen en hun voorkomen

Bij zwaar beton zijn, in normale gevallen, de bewegingen ten gevolge van krimp en van temperatuurschommelingen (luchttemperatuur, bezonning) veruit de voornaamste en het zijn dan ook de enige die men normalerwijze in rekening dient te brengen(**)

Men onderscheidt 3 bewegingen, namelijk loodrecht op de voegwand ① de afschuiving in het vlak van de gevel ② en de afschuiving loodrecht op het vlak van de gevel ③



Afb. 74 - Voegbewegingen.

(*) T.V. 107 - Dichtingsmasticen voor gevels.

(**) De bewegingen t.g.v. vocht zijn bij zwaar beton beperkt en zelden nadelig : uitzetting t.g.v. vocht komt immers (bijna) niet voor bij hoge temperaturen. Bovendien heeft het vocht een afkoelend effect.

De beweging ① is over het algemeen de grootste van de 3 en is de enige die met een zekere nauwkeurigheid kan worden voorspeld (berekend). Praktisch beperkt men zich tot het berekenen van de beweging ① en deze beweging te verhogen met een percentage dat rekening houdt met de "onnauwkeurigheid" van de berekening(*) en met de bewegingen ② en ③ ("parasitaire" bewegingen). Dit percentage mag op % worden geschat.

$$\Delta l = \rho_1 \Delta l_1$$

ρ_1 : houdt rekening met de "parasitaire" bewegingen

Δl_1 : bewegingen 1 op de voegwand

Δl : beweging die rekening houdt met de 3 soorten van beweging.

Bovendien moet men voor de voegbewegingen 2 verschillende bouwwijzen onderscheiden : deze waarbij de gevelelementen verankerd zijn aan de structuur van het gebouw en deze waarbij (het buitenblad van) de gevel "vrij" kan bewegen t.o.v. de structuur. In het eerste geval zijn er, behalve bij de (uit)zettingsvoegen, weinig bewegingen die bovendien niet nauwkeurig kunnen worden berekend. Het is dan ook enkel het 2de geval dat verder wordt behandeld.

1.4.6.3. De bewegingen als gevolg van temperatuursveranderingen

Ten gevolge van de temperatuursveranderingen verkleinen en vergroten de voegopeningen voortdurend.

De bewegingen loodrecht op de voegwand zijn te berekenen met de formule :

$$\Delta l = \rho_2 \alpha \Delta t L$$

waarbij α : uitzettingscoëfficiënt

Δt : grootste verschil tussen de temperatuur bij het plaatsen en de hoogste of laagste temperaturen waaraan het element wordt blootgesteld

L : lengte over dewelke het element beweegt

ρ_2 : houdt rekening met fouten bij de keuze van voornoemde parameters.

De moeilijkheid bestaat er nu in te weten welke waarde men voor de verschillende parameters moet invoeren.

Uitzettingscoëfficiënt α

Deze α -waarde ligt voor beton tussen $8 \text{ à } 12 \cdot 10^{-6}(**)$; men dient, zo nodig, aan de betonelementenfabrikant te vragen welke α -waarde voor het welbepaald geval aan te nemen is.

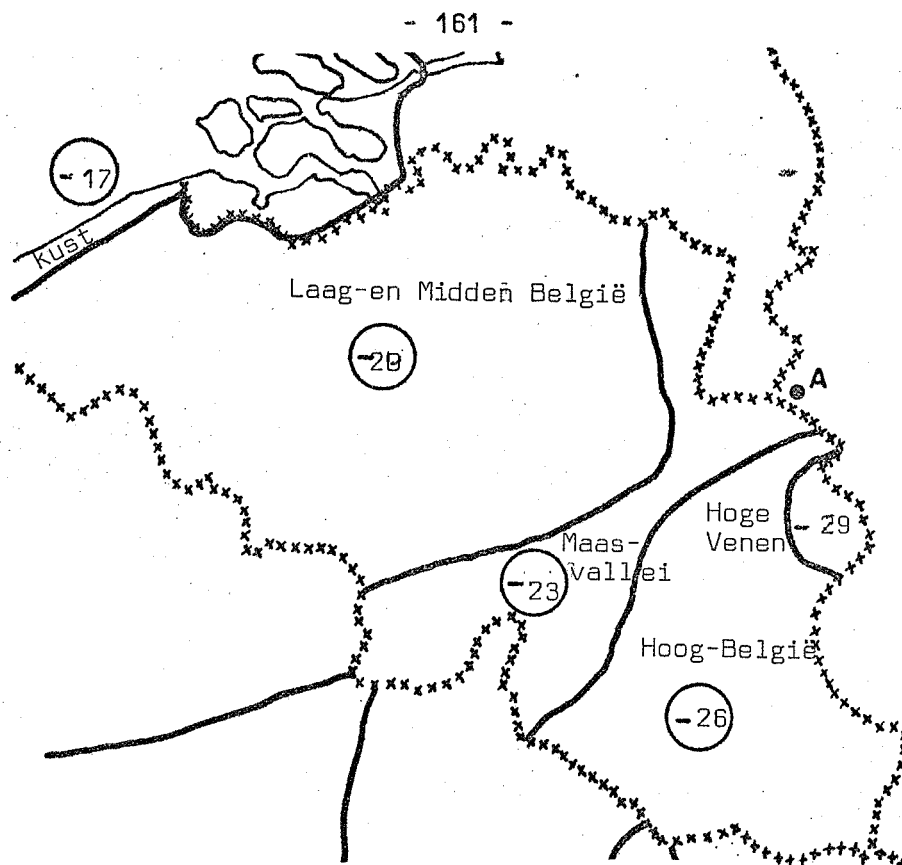
Temperatuursverschil Δt

Men mag aannemen dat - van de binnenruimte geïsoleerde - gevelpanelen in zwaar beton tijdens hun "bestaan" volgende extreme temperaturen zullen bereiken :

laagste temperaturen (vergelijkbaar met deze van de lucht) :

(*) In feite gaat het hier voornamelijk over het feit dat de elementen niet steeds op dezelfde wijze geplaatst en verankerd zijn en daardoor niet bewegen zoals bij de berekening aangenomen is. Bovendien is men zelden zeker van de waarden die voor de verschillende parameters is aangenomen.

(**) 8 beton met kalkgranulaten en licht beton
10 beton met porfiergranulaten
12 beton met silicagranulaten (NBN B15-102 - ontwerp)



Afb. 75 - Als laagste temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) aan te nemen waarden voor gevel-elementen in beton.

Deze lage temperaturen worden slechts zelden bereikt; men mag echter niet vergeten dat ze voorkomen en dat het niet ongewoon is dat lage temperaturen meerdere dagen aan een stuk kunnen aanhouden.

.hoogste temperaturen :

Tabel 38 - Hoogste temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) in gevelpanelen in zwaar beton				
Oriëntatie van de gevel Kleur van het element	Noorden	Oosten	Zuiden	Westen
helder	35	45	40	50
hevig	35	55	50	60
donker	35	65	60	70

.Bij het plaatsen van de voegen zullen de temperaturen van de betonelementen gewoonlijk liggen tussen 5 en 20°C (0 en 25°C). Omdat men niet op voorhand weet bij welke temperatuur de voegen zullen worden geplaatst is het veilig met $0-30^{\circ}\text{C}$ te rekenen.

Voor de bepaling van de in te voeren Δt zal men, vertrekkende van de idee dat de kit even sterk wordt belast bij druk als bij trek, de nadeligste combinatie opzoeken!

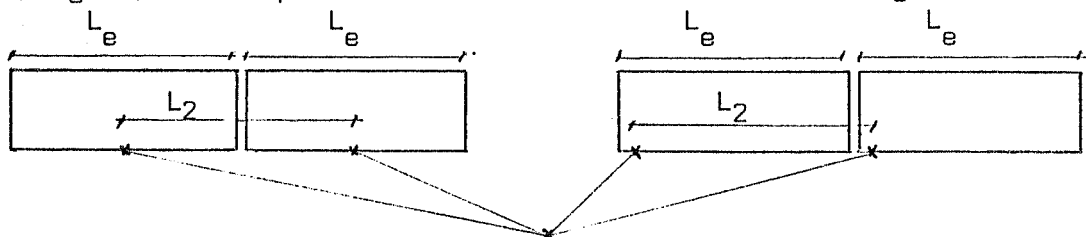
Tabel 39 - Laagste temperaturen en verschil met de hoogste plaatsingstemperatuur (30°C) (*)			Tabel 39- Hoogste temperaturen en verschil met laagste plaatsingstemperaturen (0°C) (**)			
Kust	-17°C	47°C	heldere	hevig gekleurde	donkere	elementer
L.-M.-België	-20°C	50°C	35°C	35°C	35°C	N
Maas	-23°C	53°C	45°C	55°C	65°C	O
H. België	-26°C	56°C	40°C	50°C	60°C	Z
H. Venen	-29°C	59°C	50°C	60°C	70°C	W

Vervolgens kan men voor de 5 streken van het land Δt -tabellen afleiden bv.:

Tabel 40- Toe te passen Δt				Tabel 40-Hoge Venen : Toe te passen Δt			
heldere	hevig gekleurde	donkere	elementen	heldere	hevig gekleurde	donkere	elementer
47°C	47°C	47°C	N	59°C	59°C	59°C	N
47°C	55°C	65°C	O	59°C	59°C	65°C	O
47°C	50°C	60°C	Z	59°C	59°C	60°C	Z
50°C	60°C	70°C	W	59°C	60°C	70°C	W

Lengte L over dewelke het element beweegt

Bij de berekening van de voegopeningen neemt men aan dat alle gelijkaardige gevelelementen zich op dezelfde wijze gedragen o.a. wat de termische vervormingen aangaat, zoals op de 2 onderstaande voorbeelden wordt getoond.



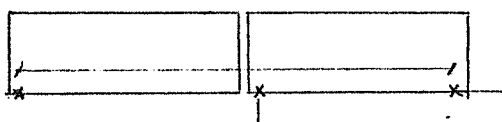
Afb. 76 al dan niet verankerd "vast punt"

L_e = lengte van de elementen

L_2 = lengte voor de berekening

Men neemt als l_2 dus l_c .

In de werkelijkheid echter kan de voegbeweging tot dubbel zo groot zijn als hierboven wordt aangenomen:



Afb. 77

Enkel door een zorgvuldige plaatsing van de elementen kan men er voor zorgen dat $l_r \approx l_e$.

(*) Kit belast op trek

(**) Kit belast op druk.

Waarde van ρ_r

Op voorwaarde dat de betonfabrikant de uitzettingskoëfficiënt van zijn betonelementen goed kent en op voorwaarde dat de betonelementen zorgvuldig geplaatst worden kan ρ_2 gelijk gesteld worden aan 1 : de werkelijke Δt zal over het algemeen kleiner zijn dan deze gebruikt bij de berekening. Kleine onderschattingen van α en L worden dan gecompenseerd door de overschatting van Δt .

In geval aan hogergenoemde voorwaarden niet voldaan is kan $\rho_2 > 2$; dit is trouwens bewezen door de metingen op de bouwplaats.

1.4.6.4. De bewegingen als gevolg van krimp

Ten gevolge van de krimp vergroot de voegbreedte ; voor de bepaling van de grootte van de krimp vindt men hierna een uittreksel uit het ontwerp van norm NBN 15-102.

a. Krimp van gewoon beton

De krimpvorming ϵ_r op een willekeurig tijdstip kan bepaald worden uit het produkt van vijf ϵ_r koëfficiënten :

$$\epsilon_r = \epsilon_c \cdot k_b \cdot k_{er} \cdot k_p \cdot k_t$$

Deze koëfficiënten zijn gegeven in de tabellen tot en in het diagram van figuur , die alleen gelden voor beton dat in de eerste periode tegen buitensporige vochtverliezen beschermd is.

ϵ_c : koëfficiënt afhankelijk van de klimaatomstandigheden

k_b : koëfficiënt afhankelijk van de W/C-faktor en het cementgehalte

k_{er} : koëfficiënt afhankelijk van de fiktieve dikte c_m van het stuk ; voor platen is het de plaatdikte

k_p : koëfficiënt afhankelijk van het geometrisch percentage langswapening w_o :

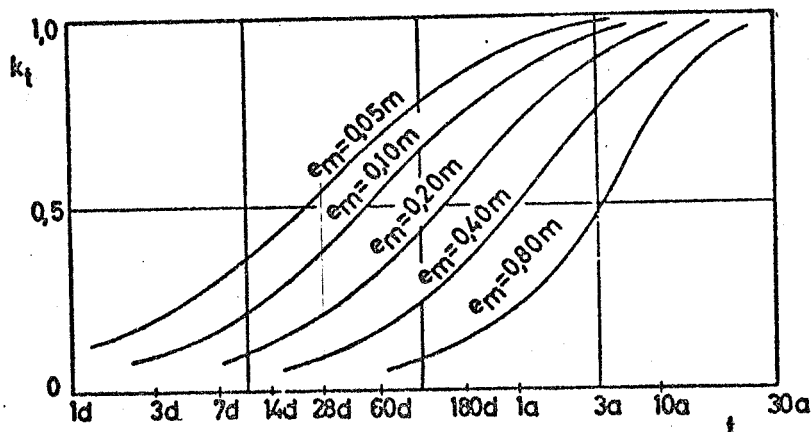
$$k_p = \frac{100}{100 + 20 \cdot w_o}$$

k_t : koëfficiënt die het verloop van de krimp in de tijd weergeeft.

Tabel 41 - Waarden van ϵ_c				
Relatieve vochtigheid	100 %	90 %	70 %	50 %
Milieu	Onder water	Zeer vochtige lucht	Open lucht	Zeer droog
$\epsilon_c \cdot 10^5$	0	11,5	27,5	38

Tabel 42 - Waarden van k_b					
W/C-faktor Cementgehalte (kg/m ³)	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	0,8	0,9	0,8	1	1,3
200			1,2	1,5	
300			1,6		
400	0,8	1,2			
500	1	1,5			

Tabel 43 - Waarden van k_{er}						
Plaatdikte e_m (mm)	50	100	200	300	400	500
k_{er}	1,25	1,05	0,80	0,65	0,55	0,50



Afb.76 - Waarden van k_t .

b. Krimp van licht beton

De voorgestelde methode geldt eveneens voor licht beton, indien men de koëfficiënt ϵ_c van gewoon beton vermenigvuldigt met een koëfficiënt begrepen tussen 1 en 1,5.

Deze koëfficiënt is des te geringer naargelang de sterkte van het licht beton hoogt ligt ; hij overschrijdt gewoonlijk niet de waarde van 1,25 wanneer $R'_{wm} > 30 \text{ N/mm}^2$.

Uit het voorgaande kan men afleiden welke krimpbevinging men mag verwachten na het plaatsen van de voegafdeling :

• bij volledige krimp zijn volgende parameters te beschouwen :

ϵ_c : $27,5 \cdot 10^{-3}$ (vochtigheid open lucht)

k_b : 0,8 (400 kg cement ; W/C-faktor : 0,4)

k_{er} : 1,25 (50 mm plaatdikte), 1,05 (100 mm) of 0,80 (200 mm)

k_p : 0,93 (0,4% langswaening)

k_t : 1

$$\epsilon_r = 27,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,8 \cdot \begin{cases} 1,25 \\ 1,05 \\ 0,80 \end{cases} \cdot 0,93 \cdot 1 = \begin{cases} 25,6 \cdot 10^{-5} & \text{voor plaatdikte 50 mm} \\ 21,5 \cdot 10^{-5} & \text{voor plaatdikte 100 mm} \\ 16,4 \cdot 10^{-5} & \text{voor plaatdikte 200 mm.} \end{cases}$$

als men aanneemt dat de voegen 1 maand na het storten van het beton worde afgedicht, moet men nagaan welk deel van de krimp dan reeds heeft plaats gehad.

ϵ_c : $11,5 \cdot 10^{-5}$ (nadeligste geval voor de voegbevinging)

k_b , k_{er} en k_p : zie hoger

k_t : 0,55 (50 mm plaatdikte), 0,38 (100 mm) of 0,20 (200 mm).

$$\epsilon_r = 11,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,8 \cdot \begin{cases} 1,25 \\ 1,05 \\ 0,80 \end{cases} \cdot 0,93 \cdot \begin{cases} -0,55 \\ -0,38 \\ -0,20 \end{cases} = \begin{cases} 5,9 \cdot 10^{-5} \\ 3,4 \cdot 10^{-5} \\ 1,4 \cdot 10^{-5} \end{cases}$$

Vanaf het plaatsen van de voeg mag men zich nog verwachten aan een krimp van :

$20 \cdot 10^{-5}$ ($(25,6 - 5,9) \times 10^{-5}$) voor 5 cm dikke betonplaten

$18 \cdot 10^{-5}$ ($(21,5 - 3,9) \times 10^{-5}$) voor 10 cm dikke betonplaten

$15 \cdot 10^{-5}$ ($(16,5 - 1,4) \times 10^{-5}$) voor 20 cm dikke betonplaten.

De vergrotingen van de voegbreedte als gevolg van krimp stemt overeen met deze die voorkomt bij een temperatuursdaling van, volgens de plaatdikte, 20, 18 of 15°C.

Praktisch gezien kan bij de berekening van de termische uitzettingen, de lage referentietemperatuur dan ook met bv. 15°C verminderen om met de krimp-beweging rekening te houden.

1.4.6.5. De speling op de voegopeningen

Het is duidelijk dat er altijd spelingen zijn op de afmetingen van de elementen en hun juiste montage op de bouwplaats.

De Febevoorschriften geven als toelaatbare speling voor de betonelementen ± 1 mm/m met een maximum van ± 5 mm op de lineaire afmetingen (blz. 56) en ± 5 mm op de voegbreedte (blz. 60); de eis van ± 5 mm op de voegbreedte is voor de voegvullingen de nadeligste en dient dus te worden aangehouden. Uit de praktijk(*) lijkt het realistischer ± 10 mm aan te houden. De uitgebreide I.C.-I.B./SECO-enquête moet toelaten de best gerechtvaardigde spelingen op te geven (te onderzoeken).

1.4.6.6. Praktische berekening van de voegbreedte

Uit wat voorafgaat blijkt dat het niet mogelijk is de voegbewegingen precies te bepalen en dat het evenmin mogelijk is de werkelijke voegbreedte (vooral dan de kleinste waarden) te bepalen.

De voegbeweging als gevolg van temperatuursveranderingen en krimp kunnen bepaald worden met de formule $\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot L \cdot \rho$

waarin : α : uitzettingscoëfficiënt tussen 8 en $12 \cdot 10^{-6}$

Δt : aan te nemen temperatuursverschil dat verhoogd werd om ook rekening te houden met de krimp (zie verder)

L : lengte waarover het element zich beweegt

ρ : verhogingscoëfficiënt die rekening houdt met de "parasitaire" voegbewegingen. Deze wordt op 1,2 (voorlopig) geschat. Eventueel verder onderzoek kan deze coëfficiënt verbeteren.

Aan de kust, in L.-M-België en in de Maasvallei bedraagt de toe te passen Δt respectievelijk 62,65 en 68°C behalve in het geval van naar het W gekeerd donker beton waar 70°C moet worden aangenomen.

In de Ardennen en in de Hoge Venen is steeds 71°C respectievelijk 74°C als Δt toe te passen.

De op plan te voorziene voegbreedte kan als volgt worden bepaald :

$$\text{Voegbreedte} = \frac{1,2 \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot l \cdot 100}{\text{kitvervorming \%}} + 10 \text{ mm.}$$

Voorbeeld :

Betonpanelen heldere kleur van 1, 2, 5, 7, 10 m. lengte

$$1 \text{ m} \rightarrow \frac{1,2 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 62^{\circ}\text{C} \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 100}{25\%} + 10 \text{ mm}$$

$$1 \text{ m} \rightarrow 3 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 13 \text{ mm}$$

$$2 \text{ m} \rightarrow 6 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 16 \text{ mm}$$

$$5 \text{ m} \rightarrow 15 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$$

$$7 \text{ m} \rightarrow 21 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 31 \text{ mm}$$

$$10 \text{ m} \rightarrow 30 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

Er dient echter op gewezen dat op de 2 eerder genoemde bouwplaatsen verschillen waren van 18 mm (proefhall) en 22 mm (sporthall) tussen de grootste en kleinste voegbreedte i.p.v. de voorgeschreven 10 mm.

Deze getallen liggen echter merkkelijk hoger dan de Fébé-voorschriften die van 10 mm voor een element van 1,8 m vragen tot 18 mm voor een 9 m breed element (blz. 36).

Als in praktijk voegen voorkomen die meer dan 10 mm smaller zijn dan op plan voorzien kan men best

- een mastiek van hogere klasse gebruiken (meer vervormbaarheid)
- zo lang mogelijk wachten om te voegen (krimp neemt af)
- werken bij een temperatuur tussen 5 en 10°C (minder trek op de kit).

1.5. Globale beoordeling van een gebouw.

In het proefstation van het W.T.C.B. werden 2 "halve" prefabwoningen opgetrokken : hierna gebouw I en gebouw II genoemd. Deze woningen stemmen overeen met werkelijk bestaande gebouwen.

Op de woningen van het laboratorium en de overeenkomende van de bouwplaats werden een ganse reeks proeven verricht voor de bepaling van hun globale kwaliteiten.

De proeven en waarnemingen die verband houden met de dichtheid van de gebouwen worden hierna beknopt gegeven : winddichtheid, vervorming van ramen onder windbelasting, waterdichtheid, bepaling van de krachten benodigd voor het openen (en sluiten) van vensterramen; meer details en besluiten zijn terug te vinden in het verslag aangaande de globale beoordeling van gebouwen.

1.5.1. Winddichtheid.

In het laboratorium werd de winddichtheid van de gevels van de 2 prefabwoningen op 2 wijzen onderzocht : op de wijze zoals bij de bepaling van de dichtheid in situ (§ 1.3.) en door het in over- of onderdruk zetten van de grote kast (uitwendige proefkast) die rond een deel van het gebouw aangebracht is.

1.5.1.1. Gebouw I.

Afb. 79 geeft lekkarakteristieken bij het in overdruk brengen van de uitwendige proefkast. We zien op deze figuur dat het luchtdebiet door het venster van de kamer $16 \text{ m}^3/\text{h}$ bedraagt op $1 \text{ kgf}/\text{m}^2$ en dat het debiet door de raamaanslagen van de kamer $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ is op $1 \text{ kgf}/\text{m}^2$. Op $10 \text{ kgf}/\text{m}^2$ wordt dit theoretisch $2,5 \times (10)^{2/3} = 11,5 \text{ m}^3/\text{h}$. De lengte van de raamaanslagen is $6,92 \text{ m}$ zodat de luchtlekken $1,67 \text{ m}^3/\text{hm}$ op $10 \text{ kgf}/\text{m}^2$ bedragen. Dit is een zeer goede dichtheid. Het beantwoordt minstens aan klasse 2 van de STS 52.

Natuurlijke ventilatie van een kamer kan gebeuren tot drukverschillen van ongeveer $1 \text{ kgf}/\text{m}^2$. In de kamer vindt men daarvoor een debiet van $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Het volume van de kamer is $3,03 \times 3,68 \times 2,41 \text{ m}^3 = 26,5 \text{ m}^3$ zodat de luchtverversingsnelheid ongeveer $1,16$ keren per uur is. Dit is ongeveer het gewenste resultaat.

1.5.1.2. Gebouw II.

Afb.80 toont het resultaat van de meting van de kamer van het gebouw II type voor luchtdebieten met en zonder vloerbelasting. Men stelt vast dat de luchtlekken in beide gevallen groot zijn. De natuurlijke ventilatie bij $1 \text{ kgf}/\text{m}^2$ bedraagt in onbelaste toestand reeds $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Het volume van de kamer is $21,21 \text{ m}^3$. Dit geeft een luchtverversingssnelheid van $8,6$ keer/h. De gevraagde luchtverversingsnelheid is 1 à $1,5$ keer/h.

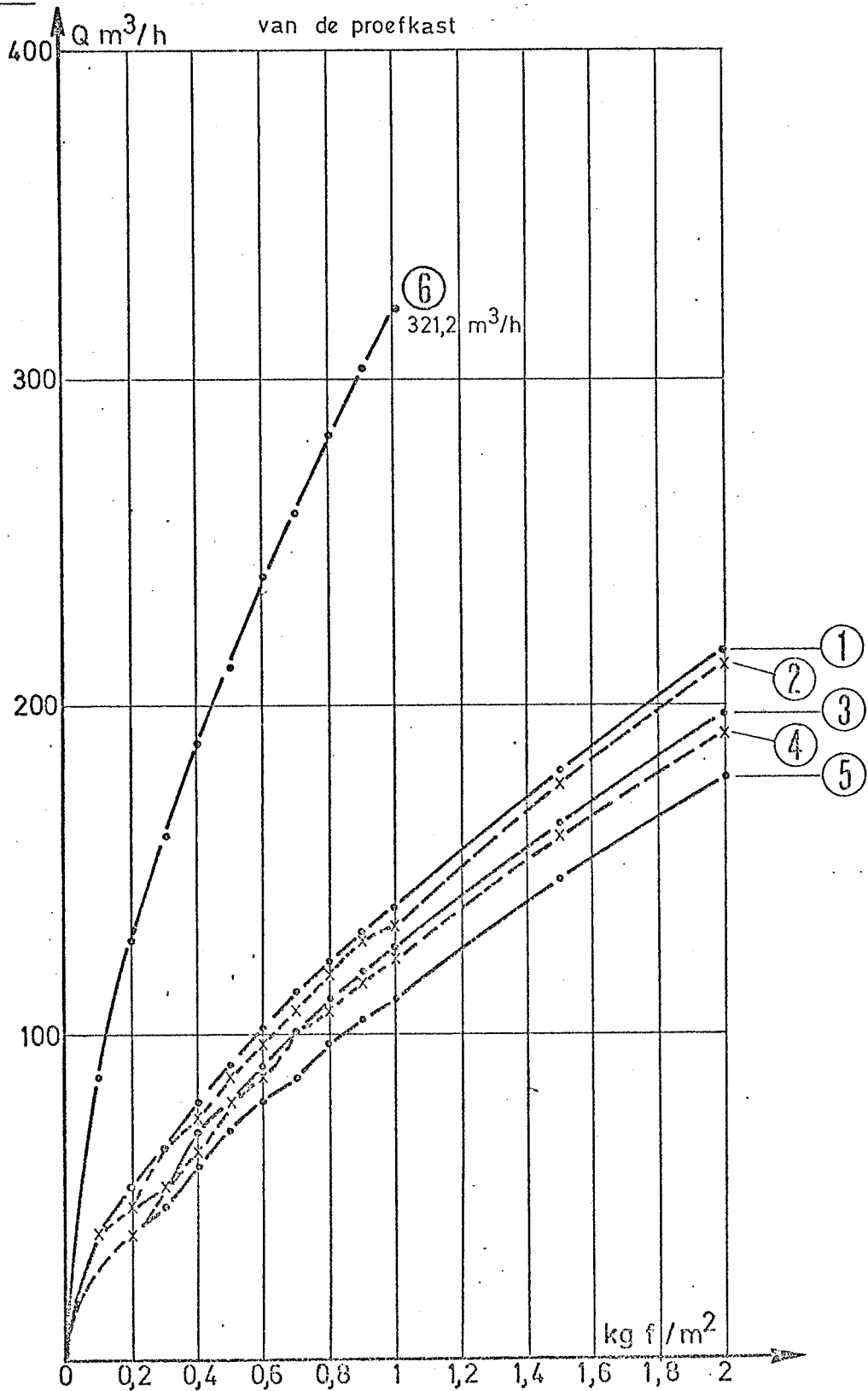
1.5.2. Regendichtheid van de wanden van gebouw I.

De afb. 81 en 82 geven de resultaten van deze metingen voor respektievelijk de living en de kamer. We stellen vast dat enkel de klasse 1 ($15 \text{ kgf}/\text{m}^2$) van de STS 52 bereikt wordt.

Afb79 Globale proef op gebouw I - Winddichtheid afgeleid uit het in overdruk brengen van de uitwendige proefkast.

- 1. Totaal debiet (plinten afgedicht)
- 2. Zoals 1 met vleugelraam living afgedicht
- 3. Zoals 2 met de raamkast living afgedicht
- 4. Zoals 3 met vleugelraam kamer afgedicht
- 5. Zoals 4 met raamkast kamer afgedicht
- 6. Totaal debiet met de plinten open maar met de vleugel en de raamkast van de living afgedicht

Opmerking : het debiet voorgesteld door kurve 5 is hoofdzakelijke wijten aan de ondichtheid



Afb. 80 Globale proef op gebouw II
Winddichtheid afgeleid uit het in onderdruk brengen van de kamer

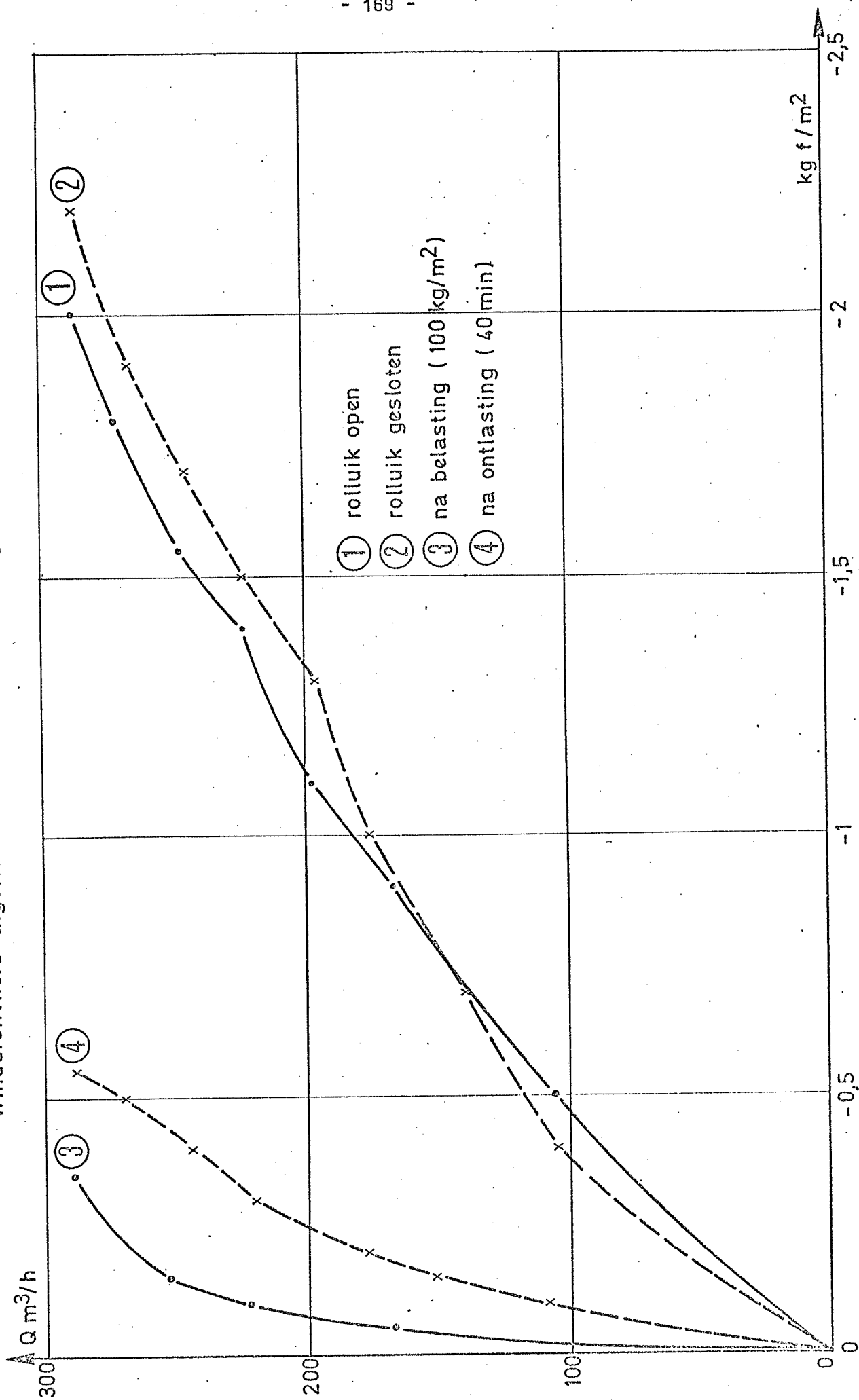
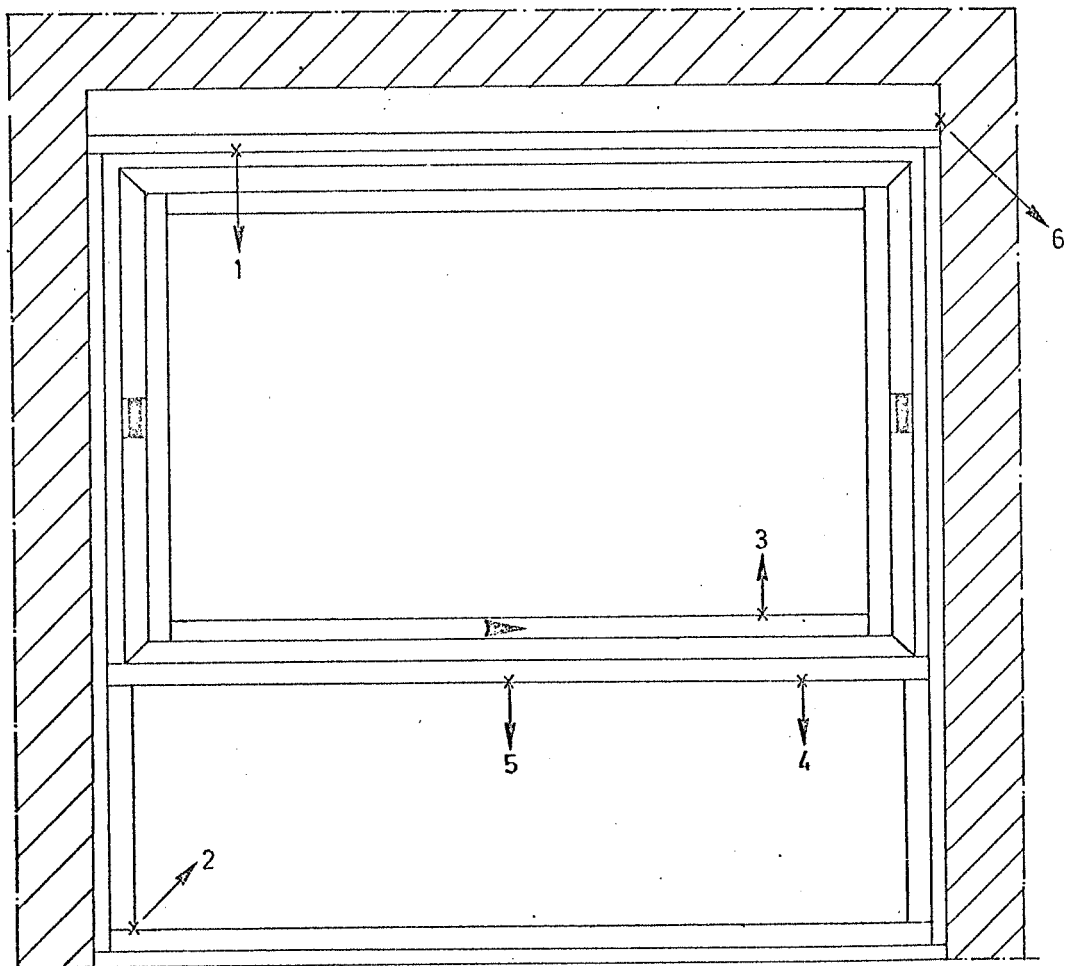


Fig. 81 Globale proef op gebouw I

Waterdichtheid van de gevel van de living

Debiet : 43 l/h m^2

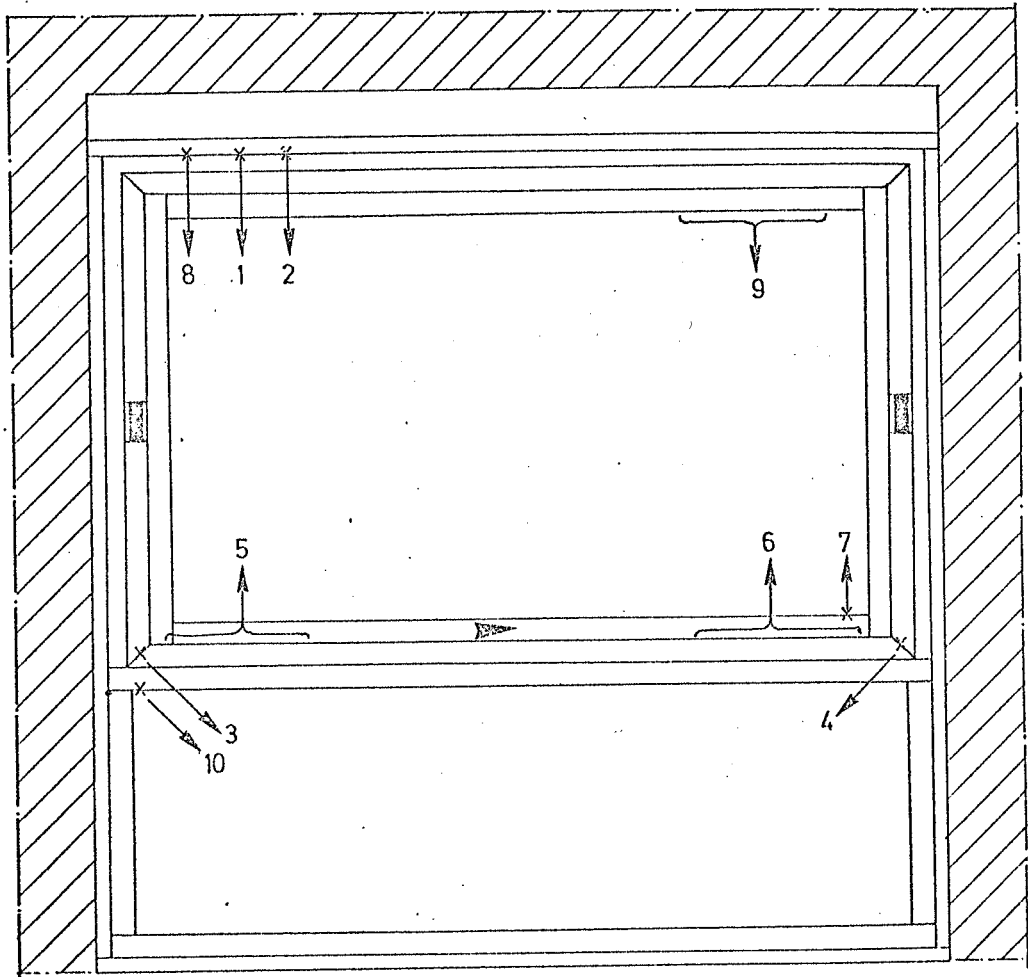


kg f/m^2	Duur min.	Infiltraties
0	10	_____
5	10	_____
10	10	_____
15	10	_____
20	10	1 (verbinding) + 2 + 3 (kit)
25	10	+ 4 (kit)
0 → 25	250 pulsaties	+ 5 (kit) + 6 (aanslag)

Fig. 82 Globale proef op gebouw I

Waterdichtheid van de gevel van de kamer

Debiet : 43 l/h m²



kg f / m ²	Duur min.	Infiltraties
0	10	
5	10	
10	10	
15	10	
20	10	1 + 2 (verbinding) + 3 + 4 (verbinding)
25	10	5 + 6 (valluik) + 7 (kit)
0 → 25	250 pulsaties	+ 8 (verbinding) + 9 + 10 (kit) Opmerking : 5 en 6 (geen overlapping)

1.5.3. Doorbuiging van de profielen onder winddruk

De doorbuiging van de bovenste regel van de vleugel (ventelraam) van de kamer van gebouw I bedroeg $1/1410$ bij een druk van 100 kgf/m^2 . De draagwijdte was 2060 mm. Deze doorbuiging is dus veel kleiner dan de toegelaten maximum waarde van $1/500$ voor dubbele beglazing.

De doorbuiging van de middenste regel van het vast raam van de kamer van gebouw I bedraagt $1/497$ bij een druk van 100 kgf/m^2 . De draagwijdte is 2060 mm. Deze doorbuiging voldoet juist aan de toegelaten waarde voor dubbele beglazing. De proeven op gebouw II zijn nog aan de gang.

1.5.4. Vermoeiingsproeven.

Voor de vermoeiingsproeven op de beweging van raamvleugels werd een pneumatische vijzel aangekocht. Hij heeft een loop van 1 m en is geautomatiseerd voor een heen en weergaande beweging. Het is de bedoeling van minstens 10.000 cyclussen van openen en sluiten toe te passen op de vleugels, met een frekwentie van 300 slagen per uur.

Deze proeven zijn nog aan de gang.

1.5.5. Bepaling van de kracht nodig voor het openen en sluiten van ramen.

Bij het openen van ramen van verschillende soorten (schuif-, draaiend-, wentelend, ...) konstateert men dat er een groot verschil is in het gemak waarmee men deze ramen kan openen en sluiten.

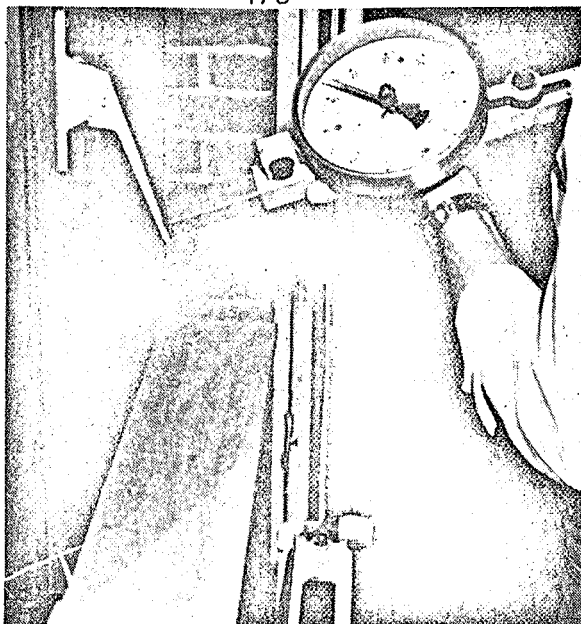
Omdat dit niet onbelangrijk is voor het comfort wordt de kracht gemeten. Dit gebeurt met een dynamometer (afb. 83).

Het is een eenvoudige en interessante proef die snel kan worden uitgevoerd.

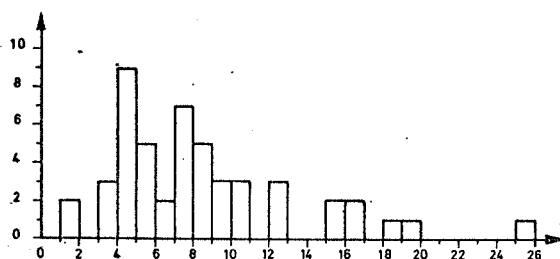
Een kracht van 78 N (8 kgf) mag niet worden overschreden voor één hand en een kracht van 126 N (13 kgf) voor twee handen (x).

Het is eveneens interessant te noteren op welke hoogte het handvat zich bevindt ten overstaan van de vloer.

(x) Europese Unie voor de Technische goedkeuring in de bouw.
Gemeenschappelijke richtlijnen voor de goedkeuring van vensters, Brussel,
Nationaal Instituut voor de Huisvesting, 1972.



Afb. 83- Meting door middel van een dynamometer van de kracht nodig voor het sluiten van een raam.



Afb.84 - Histogram van de krachten nodig voor het openen van ramen.
Proeven op 49 ramen in 5 gebouwen.
Op de abscis, kracht (kgf).
Op de ordinaat, aantal keren dat een bepaalde kracht werd gemeten.

Wij hebben deze proef reeds uitgevoerd in vijf woningen met in totaal 49 ramen die telkens met één hand te openen waren (afb.84).

Wij noteerden voor een zeker aantal ramen (43 %) dat de nodige kracht 8 kgf overschreed en dat er een maksimum was van 26 kgf.

2. L'ETANCHEITE DES TOITURES.

Sommaire.

	<u>Page</u>
2.0. <u>Introduction</u>	174.
2.1. <u>Contrôle de la compatibilité du revêtement d'étanchéité avec le matériau-support</u>	176.
2.1.1. Introduction	176.
2.1.2. Contrôle de la résistance à la traction du revêtement d'étanchéité à différentes températures	176.
2.1.3. Détermination des limites des tensions tolérées entre les deux éléments	178.
2.2. <u>Délaminage en toiture sous les suctions dynamiques répétées du vent</u>	184.
2.2.1. Problème	184.
2.2.2. Principe de l'essai	184.
2.2.3. Dispositif d'essai	186.
2.2.4. Sollicitations	186.
2.2.5. Résultats et interprétation	187.
2.2.6. Choix des revêtements de toiture et isolants pour les essais	187.
2.2.7. Résultats des essais réalisés	187.
2.2.8. Constatations et conclusions	187.
2.3. <u>Comportement dans le temps du revêtement d'étanchéité</u>	188.
2.3.1. Introduction	188.
2.3.2. Description de l'essai	192.
2.3.3. Résultats des essais	192.
2.4. <u>Etanchéité à l'air et à l'eau des toitures inclinées</u>	192.
2.4.1. Introduction	192.
2.4.2. Méthodes d'essais	194.
2.4.3. "Méthode statique" appliquée sur une toiture inclinée	194.
2.5. <u>Essai d'appréciation globale du bâtiment</u>	200.

2.0. Introduction.

L'intérêt de l'étanchéité des toitures - Objectifs de l'étude.

Le nombre de dégradations des toitures plates est relativement grand; ces dégradations conduisent souvent à des litiges. Les causes des dégâts sont variées et parfois complexes. S'il est essentiel que l'exécution sur chantier soit soignée, c'est aussi dès le stade de la conception qu'il importe d'être attentif.

Le coût de la construction et de l'entretien des toitures se situe assez haut et monte avec l'emploi (actuellement presque généralisé) de matériaux isolants; de nouveaux critères objectifs et mesurables pour l'étanchéité et le bon comportement mécanique sont donc nécessaires.

Les difficultés apparaissant dans les toits plats surviennent principalement dans les joints entre panneaux isolants.

Dans les systèmes d'étanchéité multi-couches le dommage le plus fréquent provient de fissures suite à des mouvements (sous l'effet de changement de température et d'humidité) du matériau d'isolation sur lequel l'étanchéité est appliquée.

Dans les systèmes mono-couche le dommage le plus fréquent provient du pelage du matériau d'isolation à la suite des aspirations dynamiques du vent sur la toiture.

Il faut rechercher à quelles forces le système d'étanchéité et l'isolation à l'endroit des joints peuvent résister.

Pour les toits en pente, il n'existe aucune méthode d'essai spécifique de contrôle de l'étanchéité à l'eau et au vent; on se propose de mettre au point une telle méthode de mesure. On considère ici les toitures couvertes de tuiles, d'ardoises ou d'éléments en asbeste-ciment. Les toitures à couverture inclinée asphaltique ou autre peuvent être assimilées aux toitures plates en ce qui concerne leur étanchéité.

Depuis que se généralise l'emploi de matériaux isolants sous le recouvrement de toiture plate ou inclinée, de nombreux problèmes apparaissent par la détérioration dans le temps des propriétés plastiques des systèmes de recouvrement de toiture; ce point est également examiné.

Pour l'exécution de cette recherche, nous renvoyons au § 1.0. "Inleiding - De uitvoering".

2.1. Contrôle de la compatibilité du revêtement d'étanchéité avec le matériau-support Détermination des limites des tensions tolérées entre les deux éléments

2.1.1. Introduction

Le matériau-support du revêtement d'étanchéité est fréquemment un panneau isolant en matière organique. Ces isolants sont susceptibles de modifications dimensionnelles appréciables soit sous l'action des variations de température, soit sous d'autres influences telle l'humidité, soit sous des contraintes résiduelles internes ou qui se développent au cours du vieillissement. Il se crée ainsi entre ce matériau et la chape d'étanchéité qui se trouve collée sur sa surface, des tensions qui se traduiront éventuellement par des désordres dans l'un ou l'autre de ces éléments de construction. Lorsque la composition du système de couverture d'étanchéité présente une résistance mécanique insuffisante par rapport aux sollicitations que lui applique le matériau-support, il y a rupture et désordre d'étanchéité.

L'étude ne s'attache pas à déterminer l'amplitude des mouvements (*) ni la valeur des modules de déformation qui doivent renseigner sur les niveaux de contrainte développés par les différents matériaux utilisés sous forme de panneaux ou de dalles et servant de support aux couvertures d'étanchéité. Ces grandeurs sont censées être déterminées et fournies par leurs fabricants respectifs.

La présente étude s'attache à déterminer quels sont les niveaux de tension mécanique supportable par les systèmes de chape multicouche communément mis en oeuvre sans que n'apparaissent des phénomènes de fatigue et de rupture.

Le but poursuivi est de permettre au moment de la conception de l'ouvrage de porter le choix sur un système d'étanchéité multicouche dont les propriétés mécaniques sont situées suffisamment au-delà des sollicitations que pourraient créer les matériaux du support.

Les mesures expérimentales proposées ci-après ne s'effectuent donc pas sur des systèmes complets dans lesquels des matériaux isolants de diverses natures seraient associés à diverses compositions de chape multicouche. Elles se limitent à appliquer à une variété de compositions de chapes multicouches des tensions répétées croissantes dans différentes conditions de température et de constater à partir de quelle valeur ces chapes accusent des mouvements, des déformations, des plissements qui pourront ensuite, par effet d'aggravation et de fatigue, engendrer des ruptures.

2.1.2. Contrôle de la résistance à la traction du revêtement d'étanchéité à différentes températures

2.1.2.1. Echantillons

Les revêtements (une ou plusieurs couches) seront mis en oeuvre, d'une façon qui se rapproche le plus possible de la réalité, sur des supports en acier conçus comme renseignés à la figure suivante :

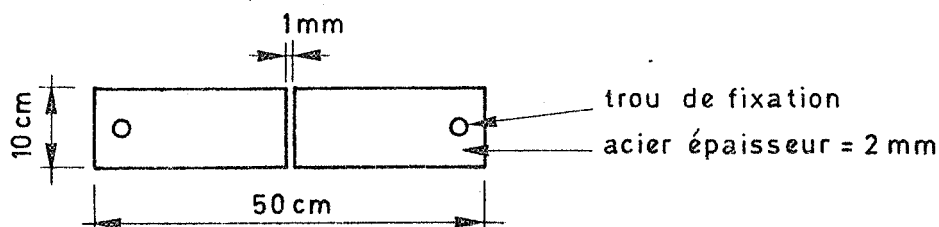


Fig. 85

- Eprouvette de traction

(*) Le C.S.T.B. (France) a déjà contrôlé le comportement des revêtements aux mouvements sans cependant mesurer les forces exercées.

2.1.2.2. Température d'essai

On prépare cinq fois trois échantillons par type de revêtement à examiner, pour contrôler leur résistance à la traction à 20, 10, 0 - 7,5 et - 15°C. Ces revêtements ne sont pas soumis à la traction lors de températures supérieures à 20°C. On fera cependant quelques essais d'orientation à 40, 60 et 80°C.

2.1.2.3. Dispositif d'essai

Après avoir été soumis à la température prévue pendant au moins une heure, les échantillons seront mis dans une boîte isolante et seront ensuite soumis à la traction, jusqu'à rupture (vitesse 100 mm/min) dans un appareil de traction universelle. L'allongement correspondant est mesuré.

Variante : (*)

L'essai de traction jusqu'à rupture et la mesure des déformations pourrait également être effectués avec un dispositif d'essai tel que décrit ci-après. Les mesures peuvent se faire dans l'ambiance thermostatisée après un séjour d'au moins une heure des échantillons à la température demandée.

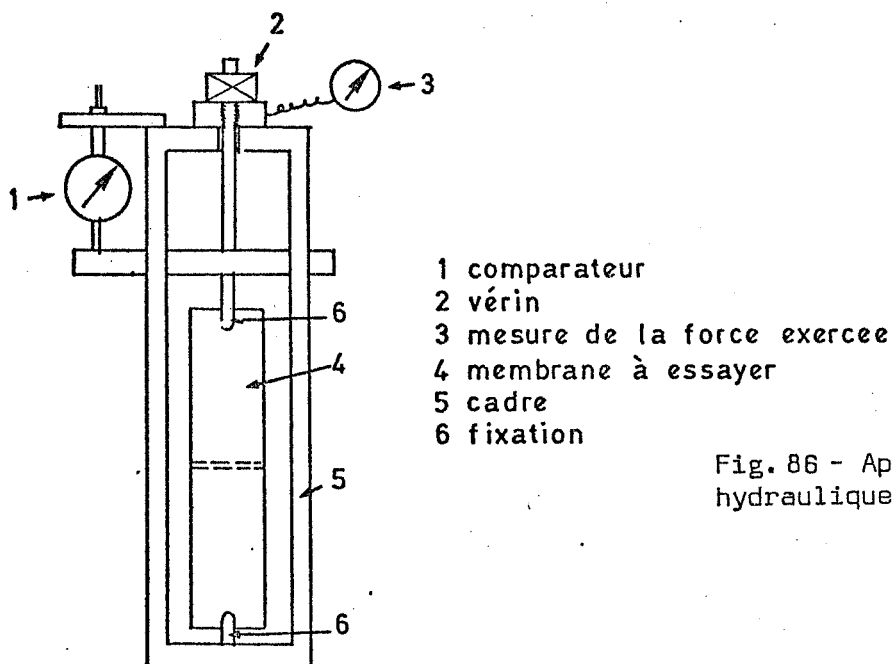


Fig. 86 - Appareil de traction hydraulique avec l'éprouvette.

La traction s'effectue dans ce cas à l'aide d'un vérin hydraulique qui sert en même temps comme instrument de mesure de l'effort de traction. La vitesse de traction est réglée à la main par la vitesse avec laquelle on tourne l'écrou. La précision de la mesure de la force est de 5%. Le dynamomètre conserve l'indication de la force la plus élevée obtenue en cas de rupture de l'échantillon.

2.1.2.4. Expression des résultats

Les résultats seront exprimés dans une graphique comme ci-après

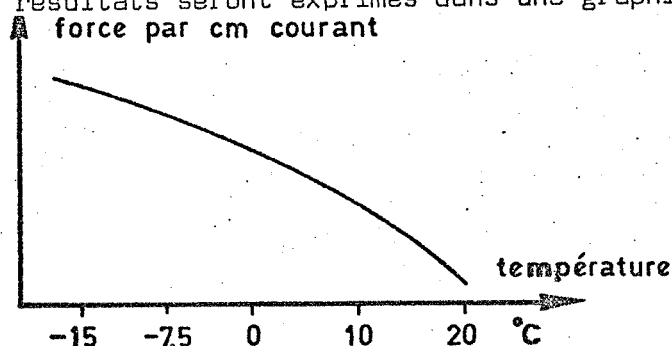


Fig. 87 - Courbe de traction d'un revêtement de toiture en fonction de la température.

(*) La proposition précédente est préférée, parce qu'on dispose de l'appareillage nécessaire.

2.1.3. Détermination des limites des tensions tolérées entre les deux éléments

2.1.3.1. Généralités

Les températures extrêmes qui règnent sur les toitures évoluent pendant une année comme estimé ci-après :

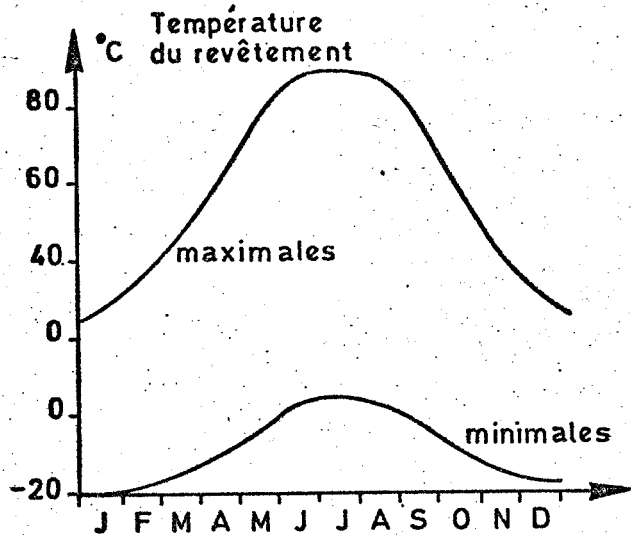


Fig. 88

Il y a au moins un cycle par jour, mais il peut y en avoir plusieurs, les jours où il y a alternativement du soleil et des nuages.

Il peut y avoir jusqu'à 80°C de différence par jour (cas de ciel dégagé jour et nuit) et plus que 100°C en une année.

Des efforts de compression, de traction et de cisaillement se suivent donc dans le revêtement, surtout au droit des joints des panneaux isolants, suite aux changements de température, ce qui constitue une fatigue. Le retrait éventuel du panneau isolant superposera des efforts de traction dans le revêtement.

L'idéal est de faire varier les efforts et les températures dans le revêtement comme cela se passe en réalité.

2.1.3.2. Echantillons et description sommaire du poste d'essai

Le revêtement d'étanchéité (une ou plusieurs couches) est fixé sur 2 plaques de 1 m x 1 m en asbeste-ciment ou acier (épaisseur 10 mm) avec une entre-distance de 3 mm (pour simuler le joint entre 2 panneaux d'isolation).

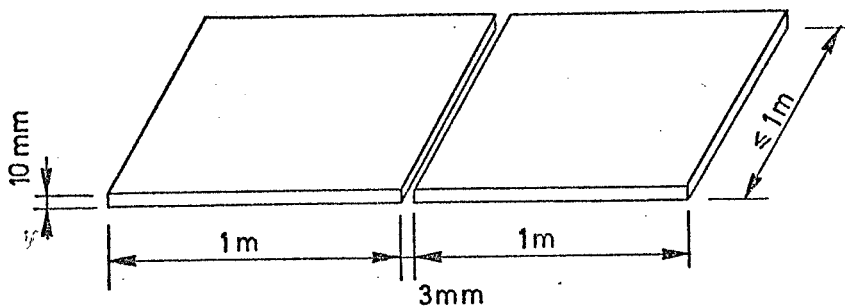


Fig. 89

Ces plaques avec revêtement d'étanchéité sont fixées sur les tables fixes et roulantes du poste d'essai.

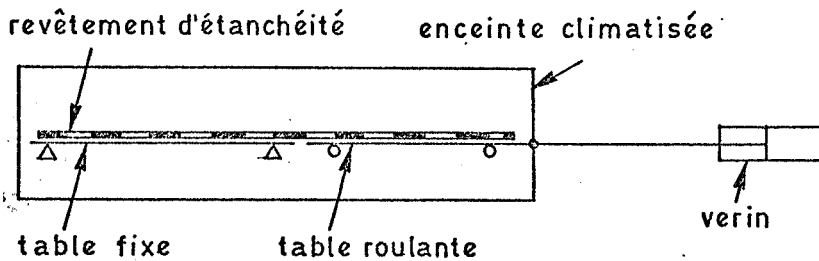


Fig. 90

Les parties principales du poste d'essai sont les tables fixes et roulantes et le vérin qui réalise les mouvements et/ou les efforts donnés par la table roulante. Le revêtement recouvre l'ouverture entre les tables et reprend donc tous les efforts et/ou déplacements exercés par le vérin ultérieurement. Une enceinte permettra de réaliser des essais à des températures supérieures ou inférieures à la température ambiante.

2.1.3.3. Description détaillée du poste d'essai

On traite ci-après successivement des forces à exercer sur les éléments de toitures, des déplacements, du chauffage et du refroidissement des échantillons et de l'ossature de la machine et de sa réalisation. Il est possible de combiner les efforts et le déplacement dans un même cycle.

2.1.3.3.1. Les forces à exercer sur les éléments de toitures

1. La valeur de ces forces.

La NBN B46-101 de 1974 "Revêtements asphaltiques d'étanchéité" donne les valeurs suivantes des forces de rupture qui doivent être atteintes en sens longitudinal par les revêtements asphaltiques en traction et ceci pour une largeur de 5 cm :

(p. 9)	Feutre goudronné	25 kgf
(p. 10)	Feutres bitumés imprégnés	> 30 kgf
(p. 12)	Feutres bitumés surfacés	> 34 kgf
(p. 13)	Voile de verre bitumé	> 25 kgf
(p. 16)	Bitumes armés - feutre	> 30 kgf
(p. 17)	Bitumes armés - jute	> 60 kgf
(p. 19)	Bitumes armés - voile de verre	> 25 kgf
(p. 21)	Bitumes armés - tissu de verre	> 70 kgf

Ces valeurs sont valables pour une température de 20°C et pour une couche.

Des essais de traction d'orientation réalisés par le C.S.T.C. ont été faits sur un échantillon de bitume armé à différentes températures. On obtient les résultats suivants :

Température	Résistance pour 5 cm de largeur (épaisseur 5 mm)
- 20°C	40 kgf
+ 20°C	12,5 kgf
+ 50°C	3 kgf
+ 80°C	2 kgf

On voit que la résistance à -20°C est 3 à 3,5 fois plus grande que celle à 20°C.

Calcul du plus grand effort :

- pour 1 m : $\frac{70 \text{ kg}}{5 \text{ cm}} \times 100 \text{ cm} \times 3 \text{ (couches)} \times 3,5 \text{ (à } -20^{\circ}\text{C)} = 14.700 \text{ kg}^{(*)}$
de largeur
- pour 0,35 m : $\frac{70 \text{ kg}}{5 \text{ cm}} \times 35 \text{ cm} \times 3 \text{ (couches)} \times 3,5 \text{ (à } -20^{\circ}\text{C)} = 5.145 \text{ kg}$
de largeur

2. L'application des forces

Les forces sont exercées par un vérin hydraulique d'alésage 100 mm à tige traversante de $\varnothing$ 55 mm, (course 250 mm) alimenté par une pompe à huile (4 l/min sous 90 bars, moteur 1 cv) à frottement négligeable ce qui permet une mesure de l'effort exercé.

On peut ainsi réaliser une force de 4,93 tonnes $((78,53 - 23,76) \times 90 = 4,93 \text{ ton})$.

3. Le réglage et la mesure des forces

La force voulue est obtenue par 2 pressiosstats (pour la compression et pour la traction) ce qui permet de réaliser des forces différentes en traction et en compression. La précision des efforts ainsi réglés est de $\pm 5\%$.

La force exercée est mesurée par 2 manomètres en compression et 2 manomètres en traction placés dans la conduite entre la pompe et le vérin. Deux manomètres vont de 0 à 1.100 kgf ($\pm 55 \text{ kgf}$), les autres vont de 0 à 6.500 kgf ($\pm 325 \text{ kgf}$). Une aiguille indique la plus grande force obtenue.

4. La vitesse de mise en charge et en décharge

Les vitesses sont réglées séparément par 2 étrangleurs qui se trouvent dans la conduite de l'alimentation des vérins. La vitesse est réglable entre 20 et 730 mm/min (débit de la pompe 4 l/min, vitesse au vérin $4.000 \text{ cm}^3/\text{min}$ $54,77 \text{ cm}^2 = 73 \text{ cm/min}$).

La NBN B46-201 (1971) : Revêtements asphaltiques d'étanchéité couvertures de bâtiments - Méthodes d'essais (p. 6) prescrit une vitesse de traction de 100 mm/min. L'U.B.A.t.c. propose une vitesse de 500 mm/min (1975). Le déplacement minimal de l'appareil est de 2 cm/min. Ce déplacement peut se faire de manière interrompue par l'intermédiaire de temporisateur d'arrêt et de marche. Ainsi, il est possible d'obtenir des déformations correspondantes à la réalité, tant au point de vue du déplacement, qui est de l'ordre de 2 à 5 mm en 8 heures que du mouvement interrompu.

5. Les pulsations

On peut réaliser des pulsations (traction et/ou compression). Ce mouvement pourra être effectué :

- a) par commande manuelle
 - b) par limitation de fin de course ; la course maximale étant de 250 mm (il y a d'ailleurs un arrêt automatique chaque fois qu'on dépasse ces limites de déplacement)
 - c) par limitation de la force appliquée
 - d) par temporisation réglable ; de 3" à 6 h.
- Lors de la rupture de l'échantillon, l'appareil s'arrête.

La combinaison de b, c et d est possible.

Il est possible de réaliser entre autres :

- a) des essais de rupture en traction
- b) des essais de fatigue
- c) des essais de fatigue sur joints de dilatation à basse pression.

(*) Ceci concerne un cas extrême. L'appareil sera conçu pour ± 5 tonnes.

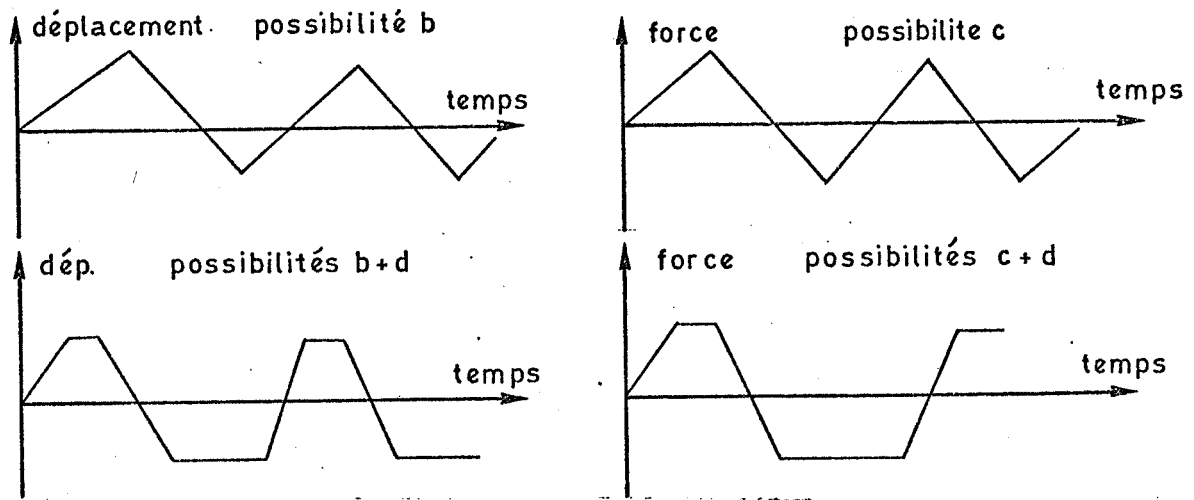


Fig. 91 - Cycles pouvant être réalisés par l'appareil.

Un compteur indique le nombre d'opérations.

Par exemple, pour un cycle "traction-compression", le compteur indique 2 opérations. L'appareil peut être arrêté automatiquement.

2.1.3.3.2. Les déplacements

1. La valeur des déplacements

La distance entre les 2 tables (fixe et roulante) avant l'application de forces ou de déplacements sera de 0,1 mm (joints entre panneaux d'isolation) à 50 mm (joints de dilatation).

L'ouverture en service ne dépassera pas 250 mm (possibilités du vérin). L'ouverture de départ sera généralement de 3 mm.

2. La mesure des déplacements

Les déplacements sont mesurés par comparateur ou éventuellement par capteur de déplacement électrique et enregistrement.

2.1.3.3.3. L'ossature de la machine

L'ossature de la machine est donnée en fig. 94.

2.1.3.3.4. Le chauffage et le refroidissement des échantillons

Les revêtements d'étanchéité subissent des efforts de traction et de compression suite au chauffage et au refroidissement de la toiture. Il est évident que les caractéristiques de ces revêtements varient (plus ou moins) avec la température (voir fig. 87).

Pour simuler ce phénomène, il faut chauffer en compression et refroidir en traction. Il est néanmoins souhaitable de pouvoir enclencher et arrêter chacune des deux opérations à n'importe quel moment du mouvement ou du cycle traction-compression. Des relais et contacteurs pour cette fonction sont prévus dans le coffret d'automatisme électrique.

Le réglage des températures se fera par thermostats. Il est possible d'obtenir un enregistrement des températures au moyen de thermocouples dans le caisson.

Il est cependant prévu de réaliser les premiers essais à température ambiante et de compléter l'appareillage dans une deuxième phase (fig. 92).

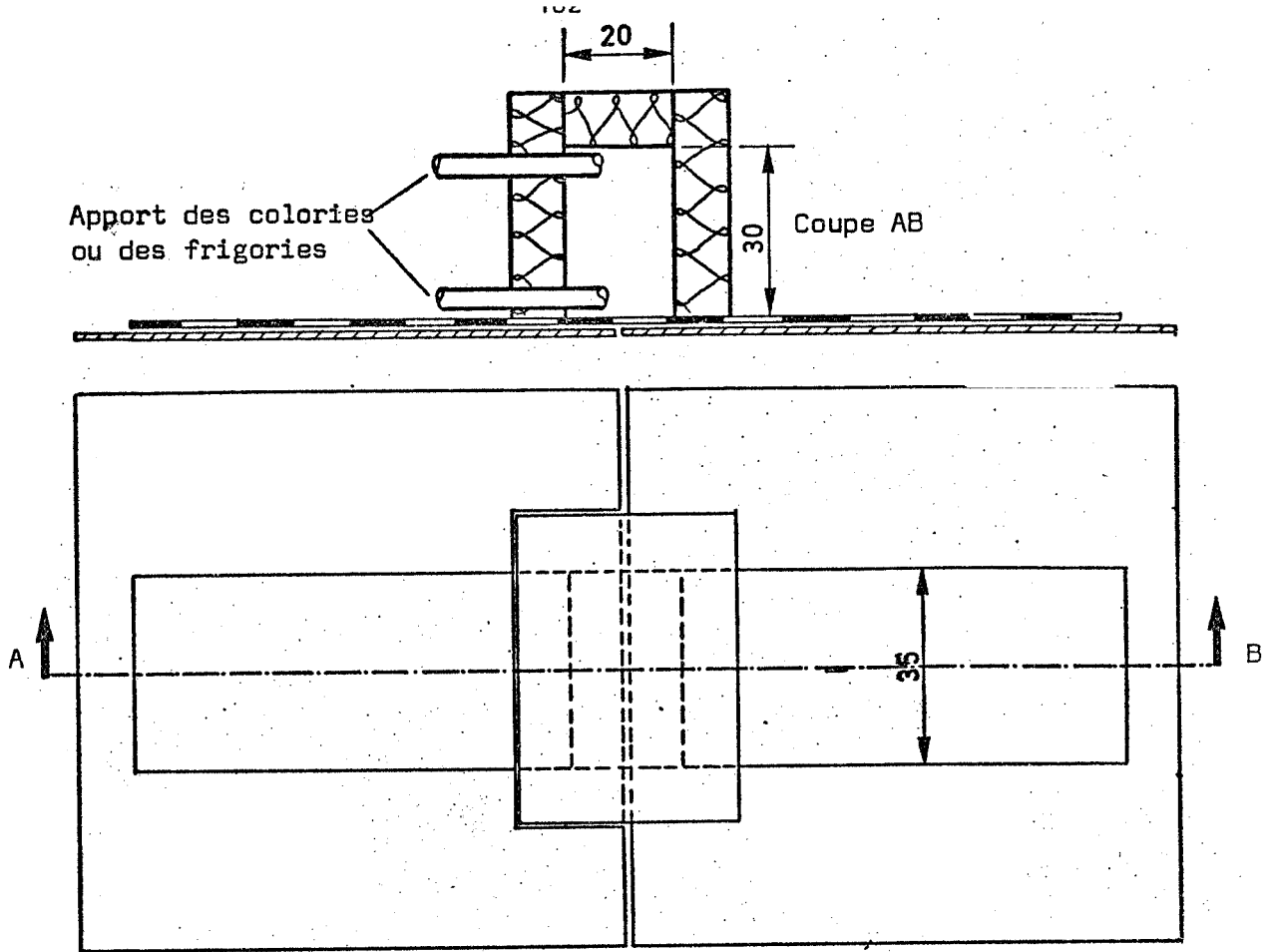


Fig. 92 - Disposition pour le chauffage et le refroidissement des éprouvettes

2.1.3.4. Programme des essais

Une première série d'essais sera faite à la température de 20°C.

Il est prévu d'exercer par matériau à tester, 24 cycles de traction-compression (1 par heure) avec une force F (p.ex. égale à $0,4 \times$ la résistance à la traction à 20°C) ; ensuite, on exercera 24 cycles de fatigue avec une valeur $F + 10\%$, par la suite $+20\%$ et ainsi de suite jusqu'à la rupture.

Ensuite, on ajoutera le chauffage et le refroidissement des échantillons suivant les données (idéalisées) suivantes :

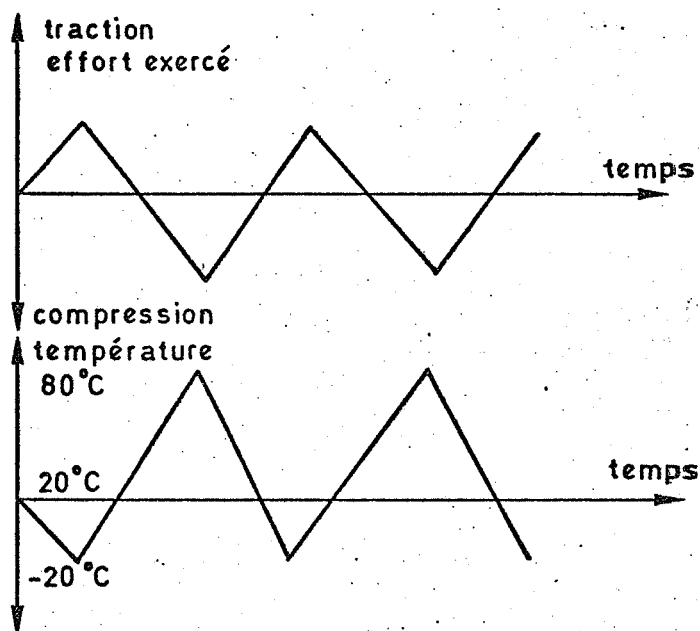
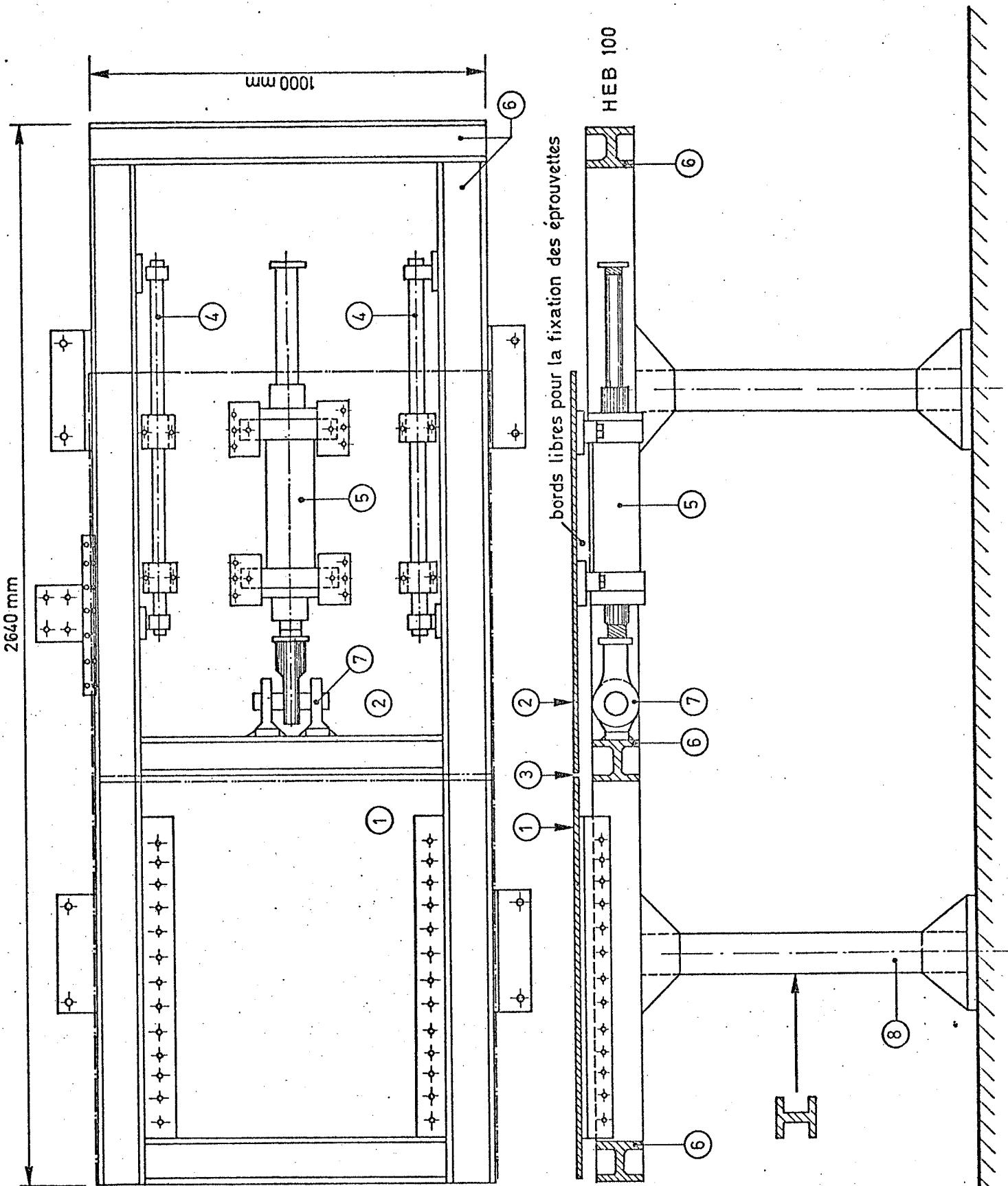


Fig. 93- Cycle d'essai avec forces et températures.

- ① Table fixe
- ② Table mobile
- ③ Ouverture entre les 2 tables
- ④ Guide pour la table mobile
- ⑤ Vérin hydraulique fixée sur la table mobile
- ⑥ Cadre support
- ⑦ Liaison du piston avec le cadre support
- ⑧ Pieds



2.1.3.5. Exploitation des résultats

Les résultats de "tension correctement supportés" des systèmes de chapes multicouches "investigées" seront utilisés par l'auteur de projet en juxtaposition avec les valeurs de tension théoriquement prévisibles aux points d'association de la chape au matériau-support, compte tenu de relations telles que :

Extension différentielle des matériaux

$$\Delta l = (\alpha_1 - \alpha_2) \times l \times \Delta T$$

α_1 : coefficient de dilatation linéaire matériau-support

α_2 : coefficient de dilatation linéaire chape-multicouche

l : longueur considérée

ΔT : différence de température considérée

Tension créée = module de déformation $\times \frac{\Delta l}{l}$

2.1.3.6. Nature des échantillons

Le choix des échantillons est fait sur base de la NBN B46-401 (à l'enquête publique)

- | | | |
|------------|--|---|
| 1) S 201-1 | 3 x R 500 feutre collé au bitume | } fixé à un bout
et protection
lourde |
| 2) S 202-2 | 3 x V50/16 voile de verre ; collé au bitume | |
| 3) S 211-1 | RL 4 bitume armé de feutre + RL4A couches collées, protection T2a | |
| 4) S 211-2 | V4 bitume armé de voile de verre + V4a couches collées, protection T2a | |
| 5) S 211-3 | RL4 + V4a couches collées, protection T2a | |
| 6) S 211-4 | TV4 + V50/32A à adhérence complète (pente forte). | |

2.2. Dé laminage en toiture sous les suctions dynamiques répétées du vent

2.2.1. Problème

Dans le cas des couvertures monocouches (et même multicouches), on a parfois des dégâts dus au pelage suite aux suctions dynamiques du vent sur la couverture. Ce phénomène peut se manifester soit dans le plan du collage soit dans le panneau isolant. Ce problème se pose surtout au droit des ondulations du revêtement et à la hauteur des joints entre panneaux d'isolation.

Le but de cette partie de la recherche est de mettre au point une méthode d'essai de vérification du danger de délamination de l'isolant de la toiture sous l'effet du vent.

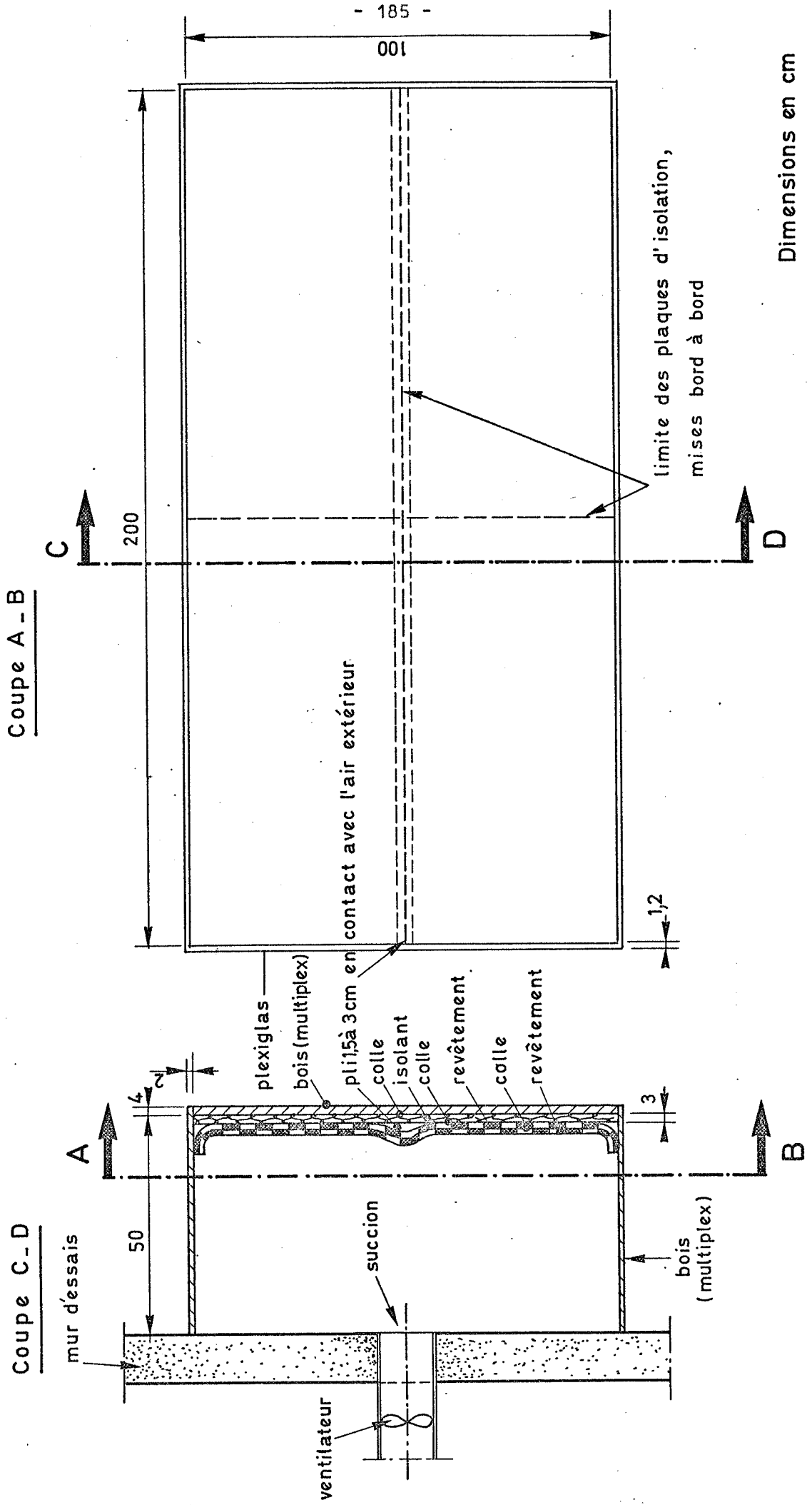
2.2.2. Principe de l'essai (fig. 95.)

On soumet un échantillon représentatif de la toiture (2 x 1 m), en laboratoire, à des dépressions simulant les actions du vent. Les joints entre panneaux isolants et les plis du revêtement étant des points faibles dans la couverture ; ceux-ci sont également réalisés dans l'échantillon. Des essais complémentaires ont été entrepris pour apprécier l'influence de l'humidité sur ce pelage.

Fig 95 - Dispositif d'essai pour le contrôle de la

résistance au pelage d'un revêtement de toiture

(cas d'isolants non sensibles à l'humidité)



2.2.3. Dispositif d'essai

Sur l'échantillon comportant un élément porteur (panneau en bois multiplex, ou éléments métalliques) et de panneaux d'isolation dont les joints forment une croix (il faut donc au moins 4 panneaux) on colle, selon les prescriptions du fabricant, le revêtement de toiture. On prévoit à la hauteur du joint de 2 m de longueur, un pli de 3 cm de largeur et 1,5 cm de hauteur. Ce pli qui doit être en contact avec l'air extérieur, est obtenu au moyen d'une latte demi-ronde en bois ;

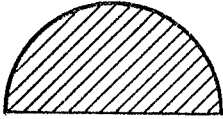


Fig. 96- Latte pour la formation du pli (ø 30 mm)

cette latte est placée sur l'isolant à l'endroit indiqué au croquis. Elle est enlevée après placement du recouvrement en la glissant selon son axe longitudina

On place sur cette toiture un caisson étanche d'environ 1 x 2 m. Le revêtement d'étanchéité de la toiture touche les bords du caisson. Le joint entre le revêtement et le caisson est rendu étanche par du mastic. Ce caisson est connecté sur un ventilateur, qui peut générer les dépressions nécessaires (fig.95), alternées par la pression atmosphérique ($\approx 0,5$ Hz).

Dans le cas de matériaux isolants sensibles à l'humidité, on peut ajouter l'essai suivant : un double caisson est à construire, le premier caisson est identique à celui décrit avant ; le deuxième constitue un volume de 2,00 x 1,00 x 0,30 dans lequel on place un récipient contenant une solution saturée de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, qui conditionne l'ambiance à 80% d'humidité relative ; la durée du conditionnement est de 2 semaines.

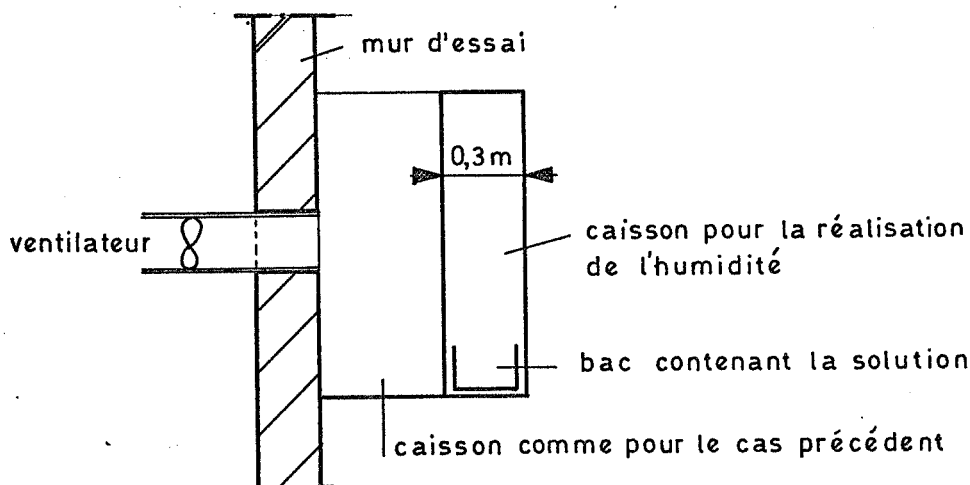


Fig. 97- Caisson utilisé dans le cas d'isolants sensibles à l'humidité.

Pour que l'isolant soit également conditionné à 80% HR, on perce sur une moitié du support de l'isolant des trous de $\varnothing 1$ mm, espacés de 5 cm.

2.2.4. Sollicitations

a) Les premiers essais ont été réalisés d'après 2 cycles :

- 25.000 rafales de vent en dépression de 0 à 100 kg/m² avec une fréquence de 40 par minute
- 10.000 rafales de vent en dépression de 0 à 200 kg/m² avec une fréquence de 30 par minute.

Les essais se font au minimum 1 jour après la réalisation de l'échantillon.

b) On a constaté après quelques essais la difficulté de connaître la résistance-limite (à la rupture) des différents systèmes, ce qui a amené à changer les cycles de l'essai, c'est-à-dire :

- 500 rafales de vent (0,5 Hz) en dépression 0 à 100 kg/m^2
- 500 rafales de vent (0,5 Hz) en dépression 0 à 200 kg/m^2
- ... etc... jusqu'à
- 500 rafales de vent (0,5 Hz) en dépression 0 à 1000 kg/m^2 .

On contrôle le comportement de la toiture lors et après chaque cycle ; l'essai est arrêté après constatation de dégâts.

2.2.5. Résultats et interprétation

a) Essai en 2 cycles (solicitation jusqu'à 200 kg/m^2).

Il faut surtout observer les mouvements dans le repli du revêtement pour vérifier s'il y a ouï ou non une délamination dans le panneau d'isolation.

Après l'essai, on contrôle l'élément par dissection.

b) Essai en plusieurs cycles (solicitations jusqu'à 1000 kg/m^2 max.).

Le comportement de la toiture est suivi lors de différents cycles ; on arrête l'essai au moment du décollement et on note la dépression atteinte et le nombre de cycles réalisés.

Après dégât, ou après le cycle de dépression, on fait un contrôle par dissection.

2.2.6. Choix des revêtements de toiture et isolants pour les essais

Le choix des revêtements et des isolants a été fait par un groupe de travail ; on a choisi des matériaux couramment utilisés en pratique et dont on connaît le bon ou le mauvais comportement en réalité, ceci dans le but de pouvoir comparer les résultats des essais avec les constatations faites en réalité.

2.2.7. Résultats des essais réalisés

On donne au tableau 45 les résultats des essais réalisés.

2.2.8. Constatations et conclusions

1. La formation d'un pli artificiel comme amorce de pelage, au moyen d'une latte demi-ronde est difficile à réaliser telle qu'elle a été décrite : la largeur de ce pli varie d'un cas à l'autre et dépasse les 3 cm de largeur de latte. On cherche à améliorer cette technique.
2. La corrélation du comportement (bon ou mauvais) de toitures réelles avec le comportement (bon ou mauvais) d'échantillons de ces mêmes toitures en laboratoire, montre que la méthode d'essais est réaliste et intéressante et que la dimension des éprouvettes est bonne.
3. Les derniers essais avec succions jusqu'à 800 et 1000 kg/m^2 semblent donner plus d'information que ceux jusqu'à 200 kg/m^2 , quoique ceux-ci donnaient plus d'informations sur la résistance au vieillissement.

4. Les dégâts se présentaient soit dans le matériau isolant (déchirement) soit dans la colle entre isolant et revêtement ; ces dégâts sont visibles dans certains cas seulement, lors de la dissection de l'échantillon.
5. L'humidification à 80% (HR) des isolants ne semble pas influencer le comportement de la toiture ; il semble intéressant de faire des essais à des taux d'humidité supérieurs (100% d'HR peuvent être atteints à cause de la condensation).
6. Lors de l'essai, les panneaux isolants sont mis bout à bout, ceci n'est cependant pas toujours le cas en réalité où l'on rencontre également des coins abîmés.
7. Sur bases des essais précédents, il semble utile de terminer cette recherche en réalisant, lors de la biennale suivante, des essais sur des combinaisons indiquées au tableau 44.

Tableau 44 - Combinaisons à soumettre à l'essai de pelage			
Recouvrement	Isolant		
	Perlite	Laine de verre	Polyuréthane
Asphaltique	SA gr.gr. gr. f.	SA gr. gr. f. gr.	-
Repanol	A	A SA	A SA
Tixproof	A SA	A SA	A SA
Asphaltique = voile de verre perforé, bitume, voile de verre bitumé 50-16, bitume, voile 50-15, bitume SA = semi-adhérence A = adhérence complète gr. gr. = gros grains (gravier) gr. f. = grains fins			
Essai supplémentaire : feutre asphaltique cloué sur bois (sans isolation) avec papier Krafft, R 500 cloué, voile de verre 4 (ou voile de verre 4 ardoisé) Chaque cas sera testé deux fois. Le pli artificiel doit être en contact avec l'extérieur.			

2.3. Comportement dans le temps du revêtement d'étanchéité

2.3.1. Introduction

Les chocs thermiques provoqués sur les revêtements sont devenus plus sévères depuis qu'ils sont presque toujours posés sur des panneaux isolants ; il s'ensuit que les propriétés de ces matériaux peuvent être modifiées plus rapidement dans le temps.

Il est nécessaire de vérifier le comportement de ces revêtements sous l'influence des chocs thermiques (vieillessement).

Tableau 45 - Aperçu des résultats de délamination en toitures (voir suite page suivante)

Essai n°	Isolation	Recouvrement d'étanchéité	Humidifi- cation	Dimensions de l'éprouvette	Succions	Résultats
1	Perlite I	2 feutres bitumineux de 4 mm (bitume armé feutre)	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
2	Perlite II	Feutre bitumineux R 500 + feuille renforcée de fibres de verre 50 50 g/m ²	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
3	Verre cellu- laire	Feuille de butyl	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pelage après 5000 cycles à 100 kg/m ² (*)
4	Perlite II	Feuille de butyl	oui	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
5	Béton	Feuille de butyl	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
6	Polyuréthane	Feuille de butyl	oui	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pelage après 2500 cycles à 200 kg/m ² (*)
7	Laine de ver- re bakélisée	Feuille de butyl	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Déchirement du papier kraft après 500 cycles à 200 kg/m ²
8	Perlite II	Voile de verre perforé bitumé + feutre bitumineux	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pelage de la couche perforé après 10.000 cycles à 200 kg/m ²
9	Laine de roche	Deux couches de feutre bitumineux (isolation collée sur tôle ondulé métallique)	non	1 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage

(*) Il s'est avéré que le collage du butyl sur son support était défectueux.

Tableau 45 (suite) - Aperçu des résultats de délamination en toitures (suite)						
Essai n°	Isolation	Recouvrement d'étanchéité	Humidification	Dimensions de l'éprouvette	Succions	Résultats
10	Laine de roche	Deux couches de feutre bitumineux + 4 clips tirants (isolation collée sur tôle ondulée métallique)	non	1 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
11	Laine de roche	Deux couches de feutre bitumineux + 10 clips tirants (isolation collée sur tôle ondulée métallique)	non	1 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
12	Laine de verre baké	Deux couches de feutre bitumineux (isolation collée sur tôle ondulée métallique)	non	1,2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
13	Laine de verre baké	Deux couches de feutre bitumineux + 4 clips tirants (isolation collée sur tôle ondulée métallique)	non	1,2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
14	Laine de verre baké	Deux couches de feutre bitumineux + 10 clips tirants (isolation collée sur tôle ondulée métallique)	non	1,2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ²	Pas de pelage
15	Perlite II	Feutre bitumineux R 350 + couche EPDM	non	2 x 1 m	500 x 100 kg/m ² x 200 kg/m ² x 800 kg/m ²	Après 350 cycles de 0 à 800 kg/m ² , des fissures apparaissent dans l'isolation
16	Polyuréthane	Voile de verre perforé bitumé - Bitume 85/25 Feutre bitumineux ardoisé	non	2 x 1 m	25.000 x 100 kg/m ² 10.000 x 200 kg/m ² 100 x 300 kg/m ² 100 x 1000 kg/m ²	Pas de pelage
17	Verre cellulaire	Feuille de butyl	non	2 x 1 m	500 x 1000 kg/m ² 500 x 1000 kg/m ²	Pas de pelage
18	Polyuréthane	Feuille de butyl	non	2 x 1 m	500 x 100 kg/m ² 500 x 800 kg/m ²	à 700 kg/m ² le papier bitumé se détache, à 800 kg/m ² le polyuréthane se détache

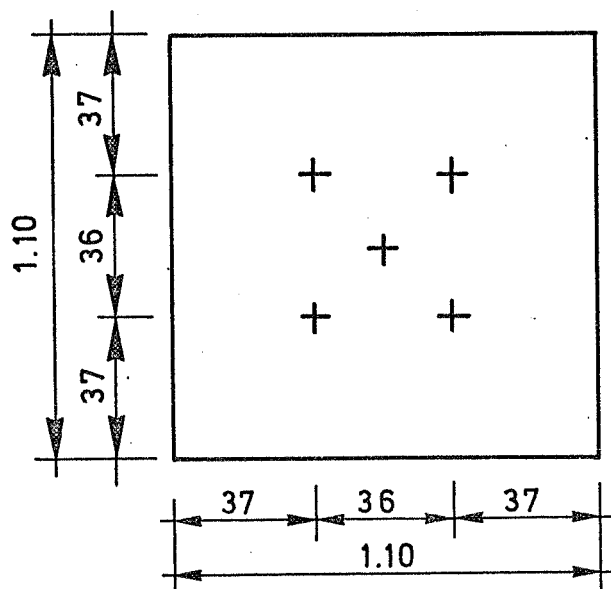
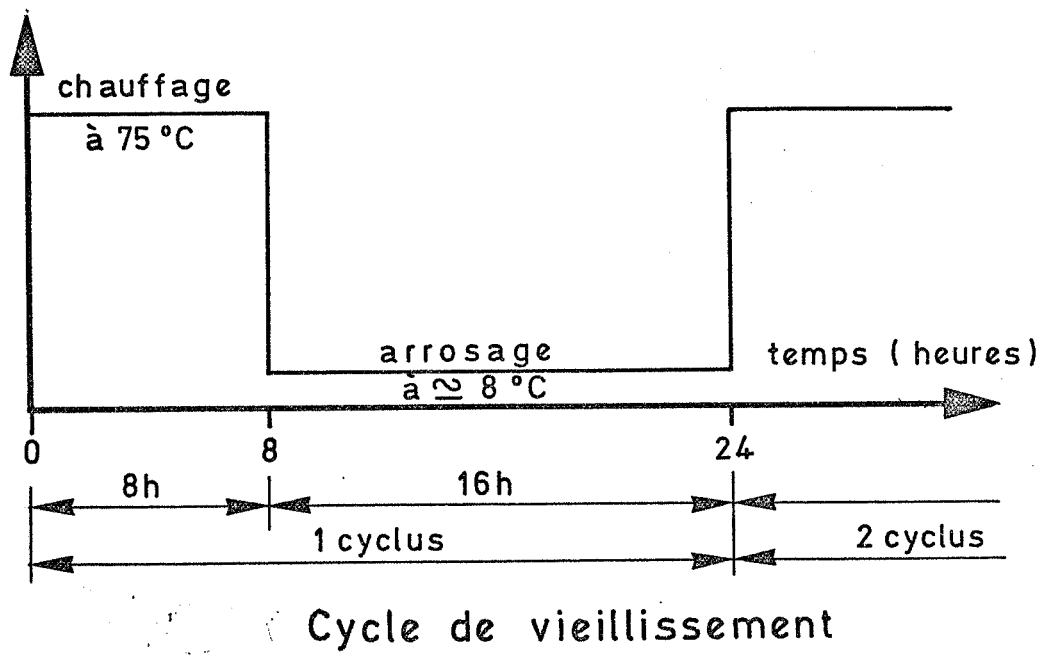


Fig 98 Endroit des points de mesures de la température

2.3.2. Description de l'essai

Le vieillissement consiste à exposer des échantillons de bardeaux asphaltiques à une série de cycles de chauffage et d'arrosage d'une durée de 24 h conformément au schéma montré à la fig.98 (7 cycles).

Les échantillons ont une dimension approximative de 1,10 m sur 1,10 m et sont inclinés à 45°C durant les essais.

Le chauffage est obtenu par des éléments électriques radiants ayant une dimension de 25 x 6 cm situés à une distance de 20 cm de la surface des échantillons et régulièrement répartis à raison de 1 par 3 dm².

Les températures sont mesurées par thermocouples collés sur les bardeaux (fig. 98).

L'arrosage est obtenu par une rampe située à la partie supérieure du panneau. La rampe est orientée de manière à ce que les jets d'eau tombent verticalement sur l'éprouvette à raison de 1 jet tous les 5 cm.

2.3.3. Résultats des essais

Des essais ont été effectués sur 3 échantillons. Pour tous les échantillons, on constate :

- une différence entre les températures mesurées sur les différents points (fig. 98) ne dépasse pas $\pm 2^{\circ}\text{C}$ par rapport à la température de consigne de 75°C ;
- une évolution des températures (fig. 99) à la mise en route du chauffage ou de l'arrosage analogue à celle montrée à la figure 98 et caractérisée par le fait que le régime stable est atteint après 1 h 10 environ pour la montée en température et 0,5 à 1 h lors de l'arrosage.
Les fluctuations de la température au centre sont fonction des temps de chauffage (petites sollicitations) et de la mise au ralenti du chauffage pendant la nuit (légère diminution en fin de nuit avant arrosage) ;
- les dégâts (pustules) sur les toitures inclinées correspondaient bien avec ceux rencontrés en réalité.

2.4. Étanchéité à l'air et à l'eau des toitures inclinées

2.4.1. Introduction

Il n'existe pas d'essai normalisé pour contrôler l'étanchéité à l'air et à l'eau de toitures inclinées.

On considère ici les toitures couvertes de tuiles ou d'ardoises ; les couvertures inclinées par bandes asphaltiques ou autres peuvent être assimilées aux toitures plates en ce qui concerne l'étanchéité.

L'imperméabilité à l'eau des toitures inclinées est évidemment une nécessité : une entrée éventuelle d'eau est gênante, et à la longue, dangereuse pour la durabilité de l'ensemble toiture et plafond.

L'étanchéité à l'air est également indispensable dans le cas d'un comble habité mais relativement peu importante au cas où ce comble n'est pas utilisé ; il faut cependant prévoir la ventilation du bois de la toiture.

Il est donc intéressant de vérifier l'étanchéité à l'air et à l'eau et d'étudier l'influence de l'inclinaison de ces toitures sur l'étanchéité à l'eau.

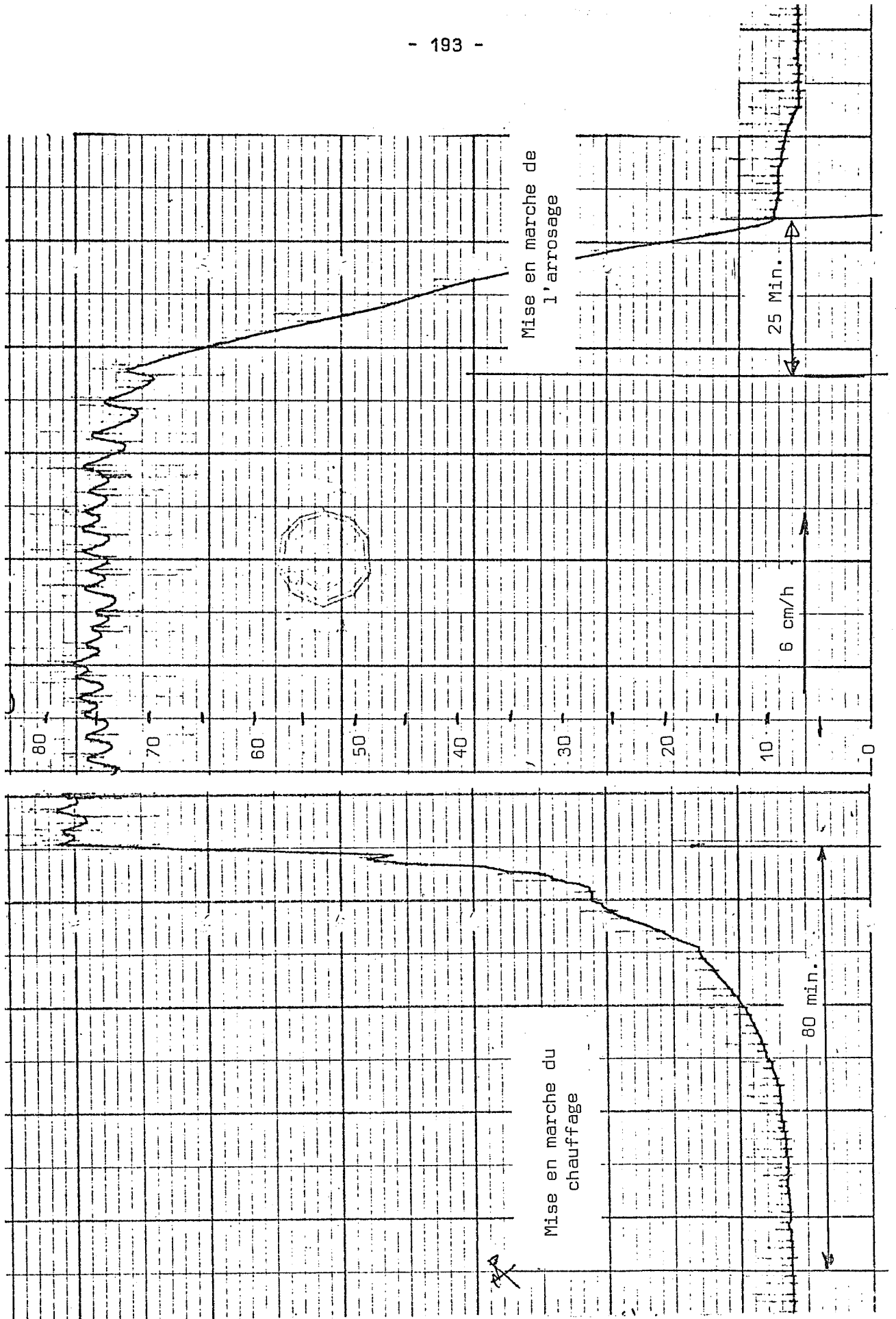


Fig.99

EVOLUTION DES TEMPERATURES SUR
LE REVETEMENT D'ETANCHEITE

2.4.2. Méthodes d'essai

L'action du vent lors des essais peut être soit statique (pression statique) ou dynamique (vent soufflé sur la toiture). Il y a surtout la combinaison des 2 méthodes qui permet de simuler la réalité.

2.4.2.1. Méthode statique

Dans la méthode statique, on soumet la toiture aux pressions statiques données par la NBN 460.03 - Action du vent sur les bâtiments. La pression du vent est négative (suction) jusqu'à une pente de toiture de 0° à environ 25° . Cette méthode ne tient cependant pas compte du vent qui souffle au ras de la toiture et qui crée des formes typiques d'écoulement aux endroits des discontinuités dans la toiture (p.ex. des recouvrements) ; la deuxième méthode (§ 2.4.2.2.) applique justement ce vent rasant sur la toiture pendant que l'on applique la pluie. La méthode statique est cependant nécessaire pour la mesure du débit d'air à travers la toiture.

L'essai "statique" sur une toiture est décrit au § 2.4.3.

2.4.2.2. Méthode dynamique

L'éprouvette (toiture) est montée sur un tréteau à angle α réglable. La bouche d'une soufflerie vient en face du bas de l'éprouvette.

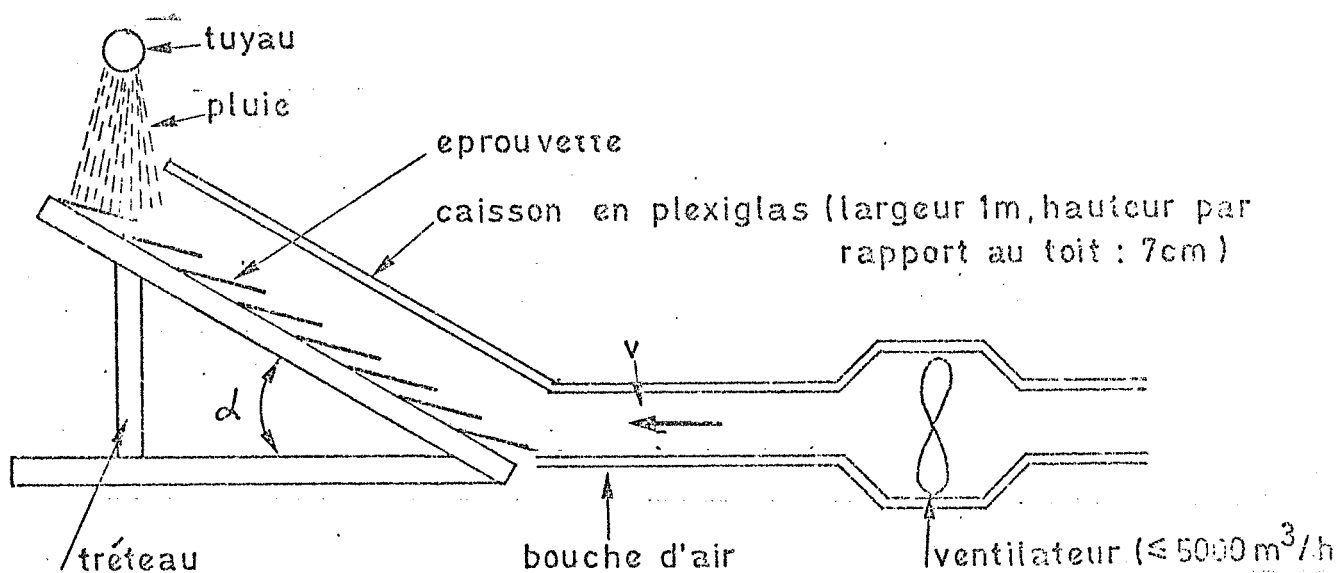


Fig. 100-

Une caisse en plexiglas conduit le courant d'air au-dessus de la toiture. Le débit du ventilateur est de 5000 m³/h maximum. Pour une vitesse d'air de 20 m/s (72 km/h) la section du caisson en plexiglas doit être de 0,07 m², c'est-à-dire 1,00 m de large et 0,07 m de haut.

Les résultats d'essais réalisés selon ce principe seront donnés ultérieurement.

2.4.3. "Méthode statique" appliquée sur une toiture inclinée

2.4.3.1. Buts de l'essai

L'essai avait deux buts :

1. mesurer le débit d'air qui passe à travers la toiture pour différentes pressions de vent. Lors de cet essai la toiture était inclinée de 45° ; cette inclinaison n'a cependant pas d'importance dans ce cas.
2. déterminer le rapport de la pluie pénétrée à travers la toiture à la quantité de la précipitation et ceci pour diverses pressions de vent et d'inclinaisons de la toiture.

2.4.3.2. La méthode d'essai statique

Pour la simulation du vent, on applique une pression statique dans un caisson fermé dans lequel le fond est constitué par la toiture. Il faut faire le nécessaire pour que cette pression corresponde bien avec la pression réelle à travers les joints de la toiture ; la réussite de l'essai dépend de la connaissance de cette pression statique (q).

La pression (surpression ou dépression) voulue peut être obtenue par réglage à la sortie de ventilateur. Le débit d'air à travers la toiture est mesuré au moyen d'un système déprimogène qui fonctionne par des brides de mesure amovibles.

La pluie est simulée par arrosage de la toiture avec de l'eau dans le caisson pendant l'application de la pression q.

La distribution de l'eau sur la toiture s'effectue au moyen de gicleurs répartis sur la surface. La quantité d'eau qui s'infiltré est mesurée et comparée à la quantité d'eau arrosée.

La réalisation de l'essai est illustrée à la fig. 101.

2.4.3.3. La perméabilité à l'air

La surface totale de la toiture testée est de $2,5 \text{ m}^2$. Pour pouvoir atteindre une pression q assez grande, c'est-à-dire -10 à $+30 \text{ kg/m}^2$ avec le ventilateur existant, la surface testée est réduite à 1 m^2 . Ceci est obtenu par calfeutrement par du mastic des joints dans la partie non utilisée. La longueur totale des joints (non calfeutrés) était de 8 m .

Tableau 46- Etanchéité à l'air d'une toiture.

Pression statique kgf/m^2	Débit d'air m^3/hm
0	0
1	20,6
2	28,6
3	36,5
4	42,6
5	44,5
7	53,0
10	64,8
15	80,6
20	92,1
24	102

Les résultats sont donnés au tableau 46, et peuvent être représentés par la relation : $Q = \alpha q^{0,5}$

avec Q = débit en m^3/hm

q = différence de pression en kg/m^2

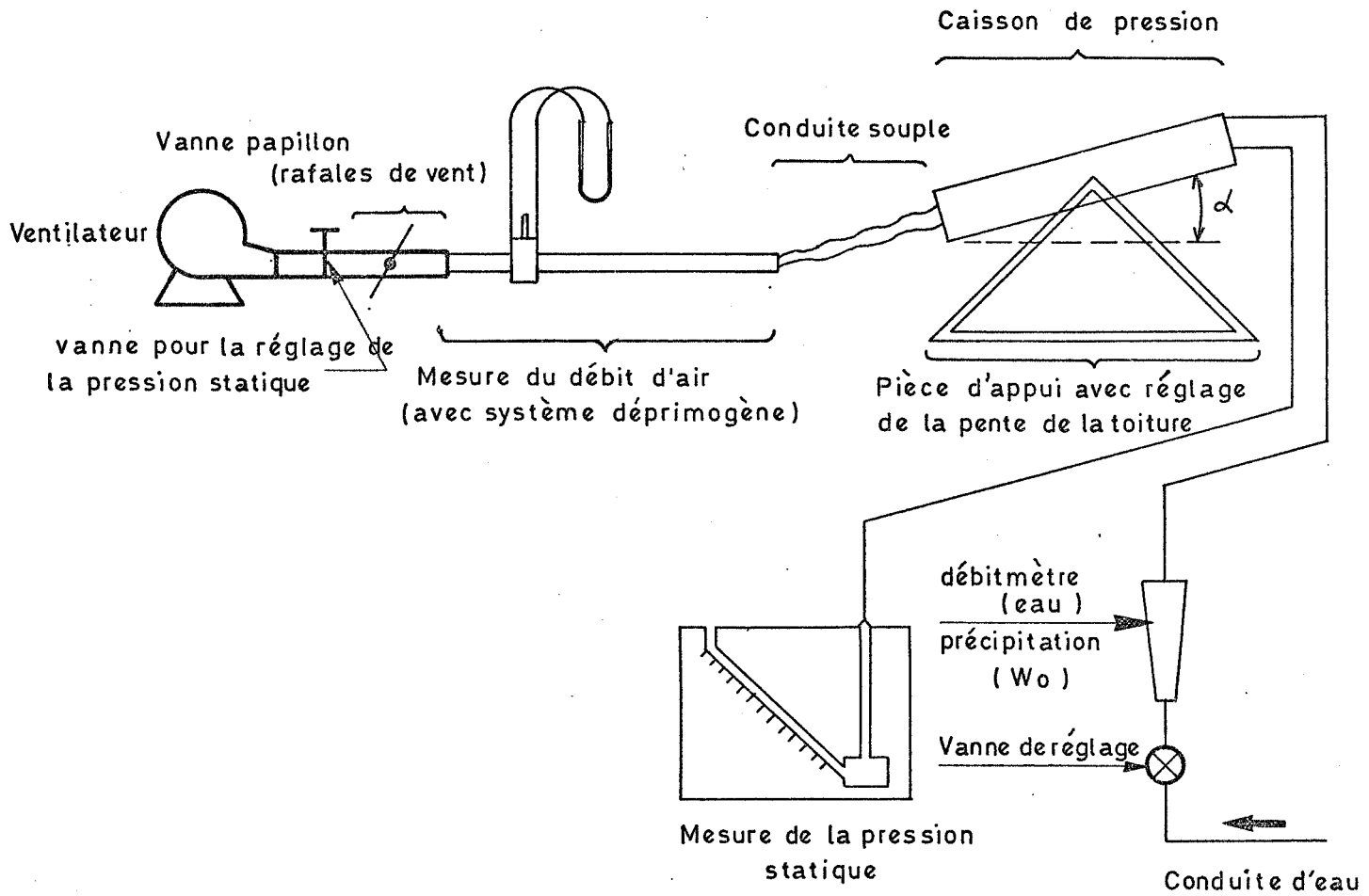
α = coefficient = $20,6 \text{ m}^3/\text{hm} \sqrt{\text{kg/m}^2}$

Pour une fente (fig.102) on trouve théoriquement la perte de charge q en fonction du débit Q :

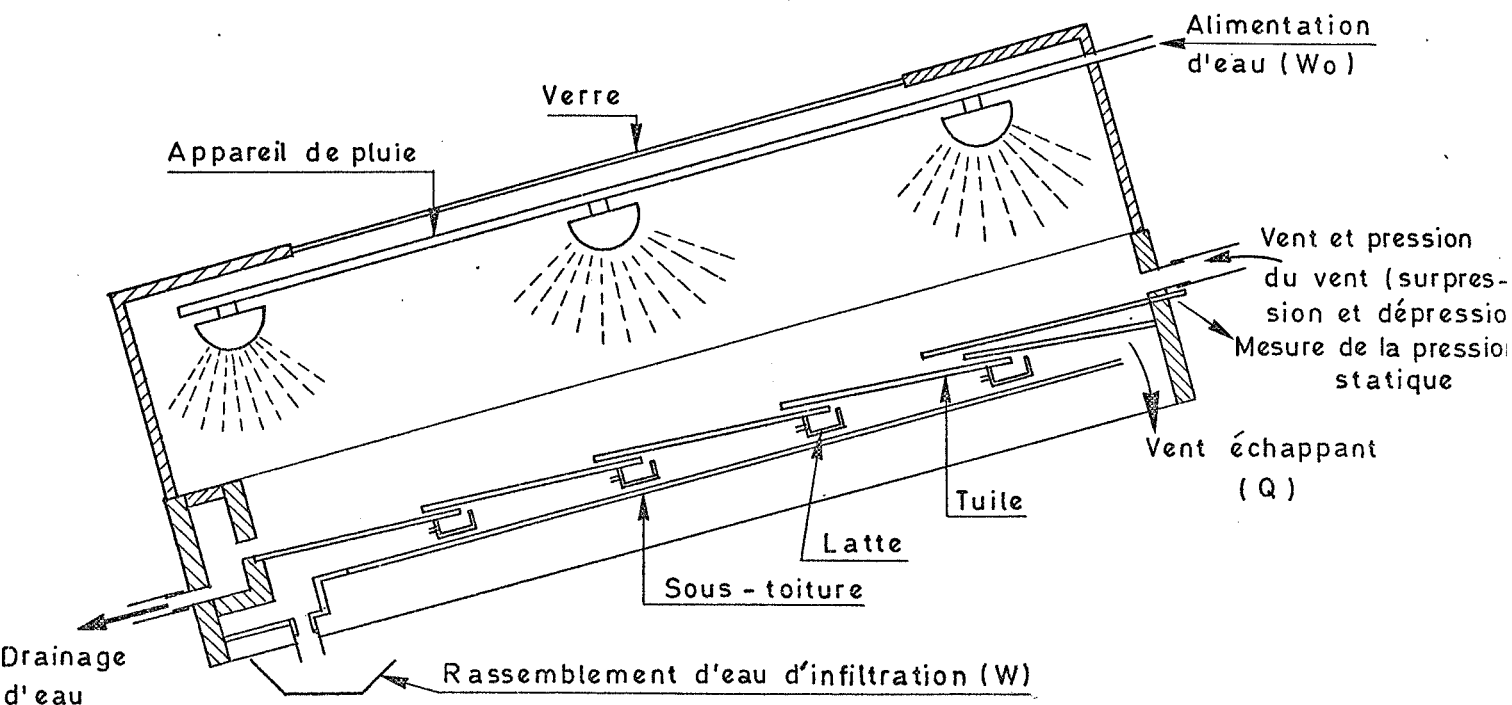
$$q = 0,79 \frac{Q^2}{b^2} + 0,56 \frac{aQ}{b^3} (*)$$

(*) Formule expérimentale.

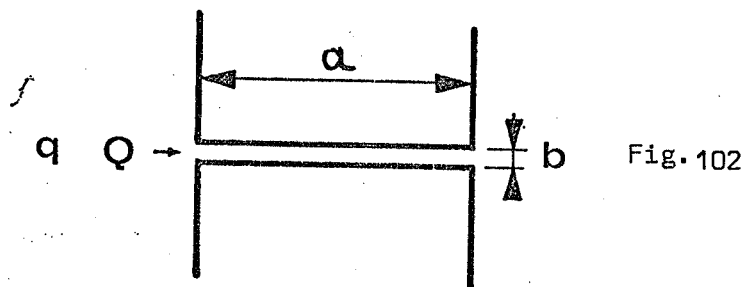
Fig.101 Méthode "statique" pour la vérification de l'étanchéité des toitures inclinées



CAISSON DE PRESSION



avec q en kg/m^2
 b en $0,1 \text{ mm}$
 a en $0,1 \text{ mm}$
 Q en m^3/hm .



Pour $a = 0$ nous trouvons :

$$Q = \frac{b}{\sqrt{0,79}} q^{0,5}$$

d'où, par comparaison avec $Q = \alpha q^{0,5}$ (précitée)

$$b = \sqrt{0,79} \alpha = \sqrt{0,79} \times 20,6 = 18,3 \times 0,1 \text{ mm} = 1,83 \text{ mm}$$

Ceci signifie que l'influence du recouvrement a (fig.102) des tuiles peut être négligée vis-à-vis des résistances à l'écoulement d'entrée et de sortie du joint.

Le jour moyen du joint est de $1,83 \text{ mm}$. L'ouverture totale par m^2 de toiture est alors $1,83 \text{ mm} \times 8000 \text{ mm} = 14.600 \text{ mm}^2 = 146 \text{ cm}^2$.

2.4.3.4. Étanchéité à l'eau

L'étanchéité à l'eau ϵ est le rapport, exprimé en %, du débit d'eau infiltrée W au débit d'eau apportée W_0 . W_0 était de 160 l/hm^2 ; donc un total de précipitation de 400 l/h . Avant l'essai de pluie, on arrose les tuiles pendant 30 min pour les saturer d'eau.

Pour les dépressions de 0 à -20 kg/m^2 , il n'y avait pas de fuites. Les résultats des fuites en pression sont donnés en 2 diagrammes : le diagramme (ϵ, q) pour différentes pentes de toit α (fig.) et le diagramme (ϵ, α) pour différentes pressions statiques q (fig.).

On constate que ϵ est parfois plus grand que 100% . Ceci s'explique par le fait que la précipitation est faite sur $2,5 \text{ m}^2$ de surface de toiture dans lequel se trouve au milieu la surface utile de 1 m^2 (fig.103). Pour remédier à ceci il suffit de prendre la surface totale égale à la surface testée.

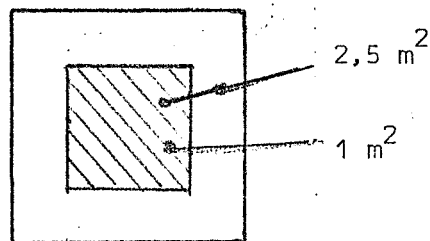


Fig.103 - Implantation de la surface de mesure dans la toiture d'essai.

Fig.104 Etanchéité (ε) d'une toiture inclinée en fonction de la pression du vent (q) pour différentes inclinaisons (α) de la toiture

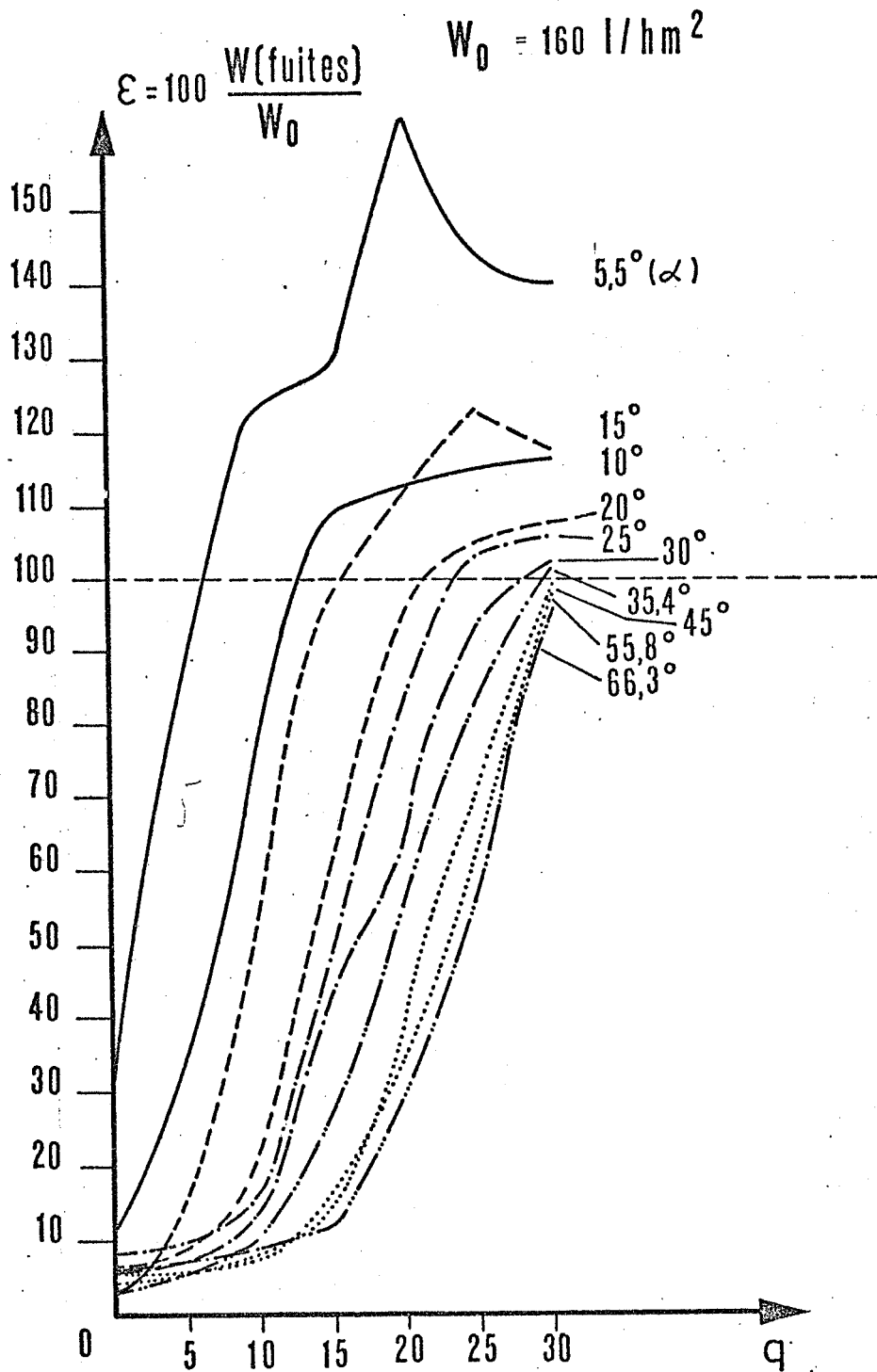
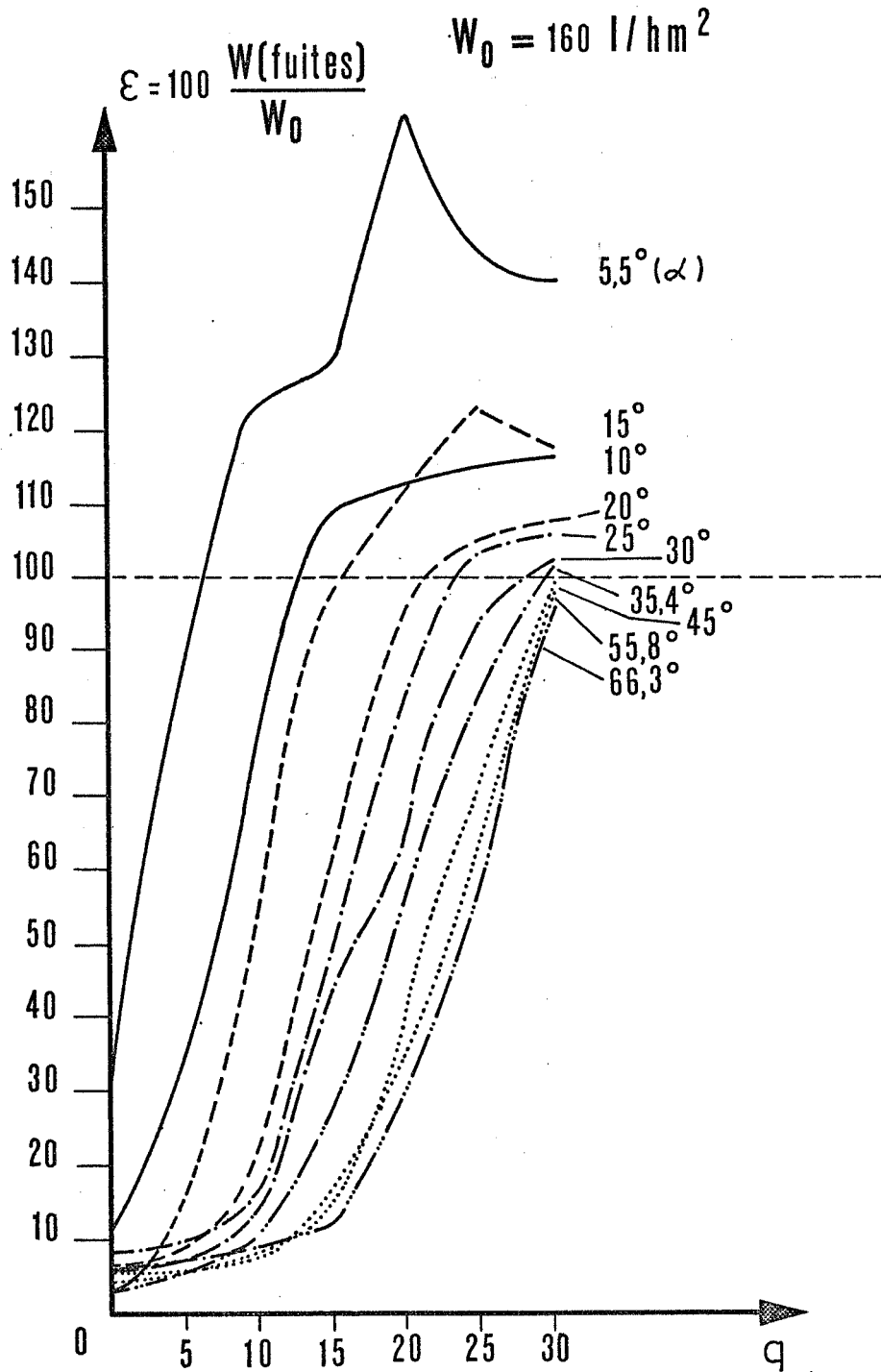


Fig. 105 Etanchéité (ε) d'une toiture inclinée en fonction de la pression du vent (q) pour différentes inclinaisons (α) de la toiture



L'allure des diagrammes obtenus peut s'expliquer par la mécanique des fluides. Il n'est pas possible de trouver une solution théorique exacte parce qu'on ne dispose pas des expressions concernant certaines influences comme l'aspiration de l'eau et la succion capillaire.

Remarquons que des essais complémentaires ont été réalisés dans le cas d'une sous-toiture bien fermée ; l'étanchéité à l'eau était de 2% seulement pour une pression de 25 kg/m^2 et une pente de 30° .

En réalité, les infiltrations sont moins importantes que celles détectées lors des essais ; la raison de cette différence est la turbulence locale créée par les discontinuités des tuiles (fig.106), qu'on peut mieux simuler par un vent rasant (méthode dynamique) (§ 2.4.2.2.)

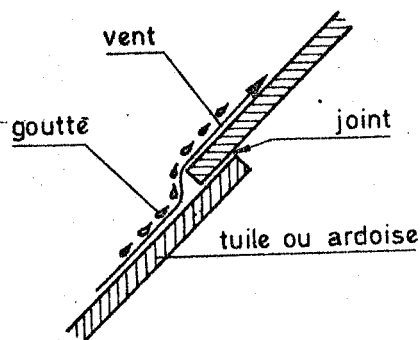


Fig.106 - Pluie et vent sur toiture

Coupe verticale

2.5. Essai d'appréciation globale du bâtiment

L'essai d'appréciation globale du bâtiment concerne évidemment aussi la toiture. On ne traite cependant pas dans ce rapport de recherche partielle, de ces essais sur toiture pour lesquels nous renvoyons au rapport de recherche "Essai d'appréciation globale du bâtiment".

3. BESLUITEN - CONCLUSIONS.

3.1. Besluiten aangaande de dichtheid van gevels.

Voor dit algemene besluit verwijzen wij naar de gedetailleerde conclusies die gegeven werden in de verschillende hoofdstukken en naar de informatie die reeds te vinden is in de samenvatting.

Aangaande de kennis van de wind en de regen kan worden gezegd dat er, met behulp van de ordinator, een grote hoeveelheid interessante informatie werd verzameld over een periode van 15 jaar aangaande de combinatie van regen en wind : daar waar men voor 1956-1970 $342 \text{ m}^2/\text{h}^2$ als grootste slagregenindex gevonden had, vond men nu voor 1930-1945 $378 \text{ m}^2/\text{h}^2$ als grootste waarde gedurende 1 uur; dit laatste stemt overeen met 15 l water/h op een vertikaal vlak (teoretische waarde).

De grootste hoeveelheid slagregen die in het proefstation van het W.T.C.B. gemeten werd, bedroeg 5,2 l/h; het gaat hier echter over een andere en kortere meetperiode (oktober-mei 1977). Deze waarnemingen worden verdergezet evenals de voornoemde verwerking met ordinator van klimatologische gegevens.

Over de proefposten voor de bepaling van de wind- en regendichtheid in het laboratorium, kan worden gezegd dat deze nu volledig en operationeel zijn. Deze laboratoriummetingen worden echter op een zeer nuttige wijze aangevuld door dichtheidsmetingen in situ : men ondervindt er dat de luchtlekken door de aanslagen relatief klein zijn in vergelijking met andere lekken (vb. onvoldoende aansluiting van het raam in de ruwbouw). Deze laatste metingen zullen in de volgende proefperiode regelmatig worden uitgevoerd.

Betreffende de voegbewegingen en de schade die er eventueel uit voortvloeit dient te worden gezegd voor de twee gebouwen die werden onderzocht dat men, wegens de speling op de fabricatie en plaatsing, dikwijls kleine voegopeningen tegenkomt; dit laatste heeft als gevolg dat normale voegbewegingen reeds een te grote belasting kunnen uitmaken voor het voegvullingsmateriaal.

Bovendien bewegen sommige voegen dubbel zoveel als wat men uit een berekening afleidt; de gemiddelde bewegingen liggen echter dicht bij de berekende waarden. Aangaande deze bewegingsvoegen wordt een T.V. klaargemaakt.

3.2. Conclusions concernant l'étanchéité des toitures.

Pour connaître la résistance des systèmes de recouvrement multi-couches de toiture, une méthode d'essai d'exposition de ces systèmes à des efforts lentement croissants de contraintes de traction et de compression a été mise au point.

Il n'a pas été possible de vérifier la compatibilité des revêtements d'étanchéité avec le matériau-support suite à la livraison tardive de l'appareil de mesure. Les essais démarreront incessamment.

La méthode d'essais pour vérifier la résistance au délaminage en toiture sous l'action du vent donne des résultats très comparables avec la réalité. Il est cependant nécessaire de procéder à la fin de l'essai, à la dissection des échantillons pour retrouver tous les dégâts. Une deuxième série d'essais sera réalisée au cours des prochains mois, ce qui permettra de préciser les critères de l'essai.

L'alternance chauffage infra-rouge et refroidissement brusque avec de l'eau, permet de reproduire le vieillissement naturel. Il s'agit d'un essai relativement simple et rapide.

L'ensemble "essai statique" et "essai dynamique" est nécessaire pour juger de l'étanchéité à l'air et à l'eau d'une toiture inclinée (tuiles, ardoises, ...), chacun d'eux ne permettant qu'un jugement partiel.

Des conclusions plus détaillées sont données dans les différents chapitres et dans le sommaire.

Limelette, 30 juni 1977

Ing. G. VAN ACKERE

Ing. E. MEERT
