

MINISTERIE van LANDBOUW
Bestuur voor Landbouwkundig Onderzoek
Kommissie voor T.W.O.Z.
Voorzitter : F. LIEVENS, Directeur-Generaal

STUDIE van de INSTELBARE

FAKTOREN

in

het ROOK- en STOOMPROCES.

Werkgroep Visverwerkende Bedrijven (Afdeling I.W.O.N.L.).

Voorzitter : R. BOELS.

Leden : P. HOVART, W. DESCHACHT en K. DEFLOOR.

STUDIE van de INSTELBARE
FAKTOREN
in
het ROOK- en STOOMPROCES.

De aktiviteit van de Werkgroep "Visverwerkende Bedrijven" (I.W.O.N.L.) werd verder gericht op de uitbouw van het rook- en stoomproces en de daarbijbenorende behandelingsprocessen in de visverwerkende bedrijven.

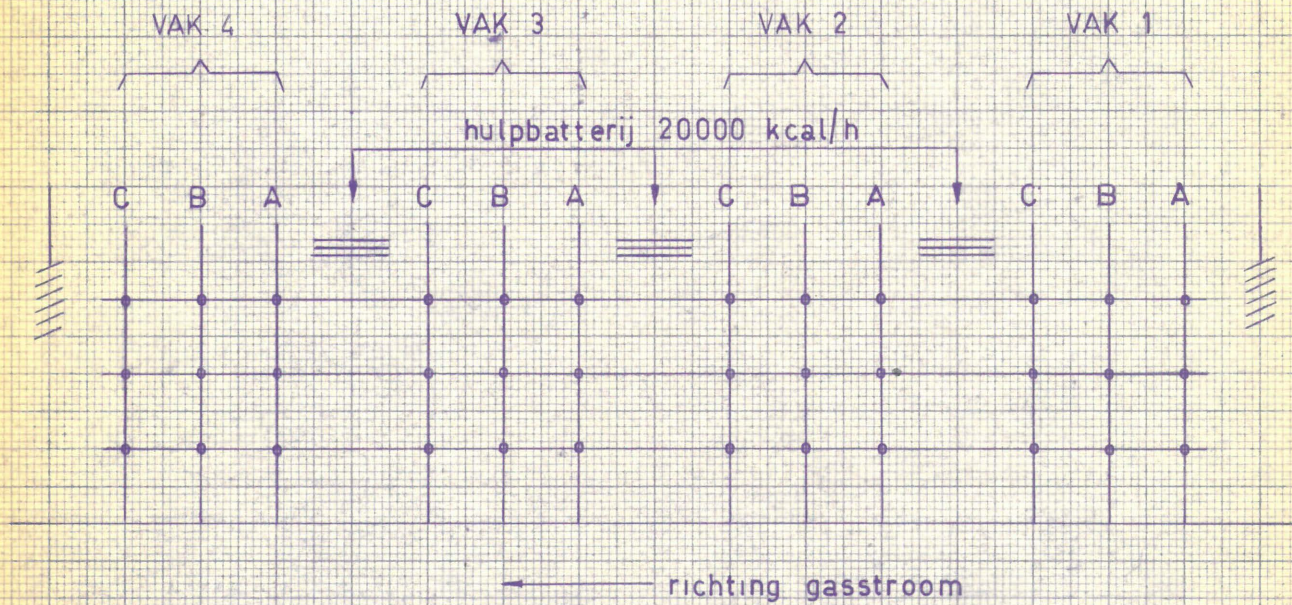
Naast het bestuderen van de nevenprocessen zoals sorteren, zouten, pekelen, ontzouten, ontdooien, fileren, bewaring en verpakking ; werd het kernpunt van het onderzoek nl. het rookproces verder onderzocht.

Als hoofdvraag van het technologisch onderzoek bij de studie van het roken werd gesteld : hoe zijn wetenschappelijk de rookfactoren te beheersen en hoe kan een systeem op punt gesteld worden waarbij, na instelling van de juiste waarden van de veranderlijke rookelementen, alles automatisch geregeld wordt volgens een ideaal programma ?

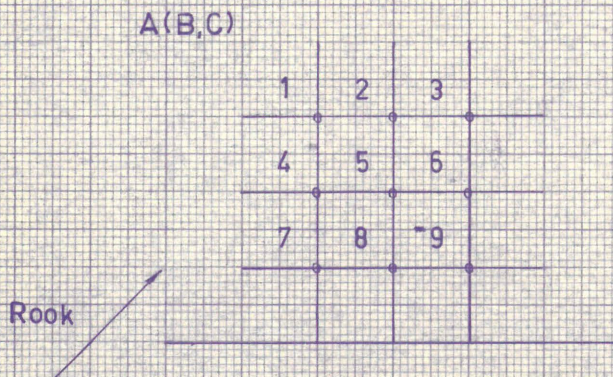
Bij de aanvang van het onderzoekingsprogramma werden de verscheidene rookmethodes onderzocht, namelijk in de openhaard, in de tunnel en bij het electrostatisch roken. Uit deze studies kwam naar voren dat het tunnelsysteem momenteel de basis kan vormen voor een wetenschappelijk gefundeerd roken en stomen voor visserijprodukten, mits de oplossing van de daaraan verbonden problematiek.

FIGUUR 2

SCHEMA VAN DE MEETPUNTEN IN DE ROOKRUIMTE



A. MEETPUNTEN IN LENGTERICHTING



B. MEETPUNTEN IN DE DWARSDOORSNEDE

Om de verscheidene aspecten van de problematiek op te lossen, werd een proefinstrument ingeschakeld dat de nadelen van het openhaardsysteem kon ondervangen en waarvan de meetresultaten tot het beheersen van de rook-elementen konden leiden.

Als aanvankelijk experimenteel werkinstrument werd de rooktunnel type "Torry Research Station" aangenomen. Bij de konstruktie werd echter de eis gesteld dat de tunnel zowel het roken als stomen van produkten moest toelaten. Anderzijds werd de instelling van de tunnel zo gezocht dat een produkt bekomen wordt dat voldoet aan de smaak der Belgische verbruiker.

De werking van het toestel kan als volgt geschetst worden (zie figuur 1). In het proefinstrument wordt de rook door verbranding van zaagmeel op een bed van houtspaanders voortgebracht in 12 afzonderlijke rookhaarden (A). De ontwikkelde rook wordt langs pijpen naar de rookruimte geleid. Bij het leiden van de rook in de installatie kan terzelfdertijd lucht aangezogen worden langs de luchtinlaatklep (1). Het mengsel van lucht en rook wordt langsheen de hoofdverwarmingsbatterij (B) gezogen door een ventilator (C). Deze ventilator stuwt het opgewarmd luchtrookmengsel dan naar de rookvakken (I, II, III, IV), waarin de vis op rekken ingeladen wordt. Ten einde de temperatuur zo konstant mogelijk te houden zijn tussen de verscheidene vakken hulpbatterijen (F) ingebouwd. De rookluchtnassa kan afgevoerd worden langs de afvoerschouw (D) waarin een kleine ventilator (G) een gedwongen trek te weeg brengt of gedeeltelijk gerecirculeerd worden door middel van de kringloopklep (2). In de rooktunnel wordt gestreefd tot het bekomen van een homogene verdeling van de gas-massa, door een dubbel systeem, nl. een stel van verticale platen, die horizontale trechtervormige kanalen

vormen in de stuwruimte (E) en een systeem bestaande uit een vertikaal rek vóór en na de rookinlaat, dat de homogene verdeling van de lucht-massa in verticale zin zou moeten verzekeren.

De doelstelling van het roken is het produkt in zekere mate te verduurzamen, alsook het geven van een typische kleur, geur en smaak aan het produkt. Tijdens het roken zelf wordt dit dubbel doel bereikt door de inwerking van twee verschijnselen, namelijk door het drogen van het produkt en door het afzetten van rookcomponenten op het produkt. De inwerking van het drogen en het afzetten van de rookcomponenten zijn echter nauw met elkaar verbonden en om tot een volwaardig eindprodukt te komen, dienen deze twee verschijnselen te samen in zeer goede orde te verlopen. Bij een onevenwichtig optreden van één van de verschijnselen ten opzichte van het ander, wordt de inwerking van het ander proces verminderd en in sommige gevallen zelfs verhinderd. Als voorbeeld kan geciteerd worden, een proces waarbij de vis te vlug droogt, zodat de verdere afzetting van rookcomponenten in sterke mate gehinderd wordt. Het produkt wordt wel voldoende gedroogd, doch de kleur en rooksmaak laten dan veel te wensen over. Alleen wanneer het lucht-rookmengsel voldoet aan een aantal eisen kan men komen tot een goede symbiose tussen drogen en rookafzetting.

De factoren die het rook- of stoomproces beïnvloeden kunnen onderverdeeld worden in twee groepen, namelijk de groep van de instelbare factoren, die grotendeels de hoedanigheden van het rook-luchtmengsel bepalen en die in principe door toepassing van bepaalde technische middelen te regelen zijn en de groep der niet-instelbare factoren, die afhankelijk zijn van de vis zelf.

Alvorens tot ideale rook- en stoomomstandigheden in de tunnel te kunnen komen, dienen de onderlinge invloeden van de rookfactoren gekend te zijn. Hiervoor is het allereerst noodzakelijk de rookfactoren in het proefinstrument onder controle te hebben.

In dit perspectief werden de instelbare factoren onderzocht, met het oog op (a) het vaststellen van de juiste waarden, (b) het nauwkeurig bijregelen en afstellen van het instrument en (c) het eventueel aanpassen van het proefinstrument.

De bestudeerde factoren zijn : (a) de temperatuur, (b) de relatieve vochtigheid, (c) de snelheid van de rookgassen in de tunnel en (d) het rook-luchtmengsel (rookdichtheid).

A. Temperatuur.

Binnen het kader der aanpassingen aan de tunnel werd vooreerst gezocht naar een oppuntstelling van de controle elementen, de regeltoestellen en temperatuursregelmechanisme. Onder meer door het gebruik van modulerende kleppen met servomotor en het gebruik van "alles - of - niets" kleppen met magnetisch bekrachting. Hierdoor werd het mogelijk de temperatuur van het rook-luchtmengsel in te stellen op een bepaalde temperatuur en werden de temperatuuroscillaties beperkt tot $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

B. De relatieve vochtigheid van het rook-luchtmengsel.

Het roken gaat gepaard met het drogen van het produkt. De snelheid van het drogen wordt uiteraard beïnvloed door de relatieve vochtigheid van het rook-luchtmengsel.

Het meten van deze faktor wordt echter in vrij sterke mate bemoeilijkt door (1) teerafzetting op de meetapparatuur (2) het steeds wijzigend vochtigheidsgehalte van de aangezogen verse lucht en (3) het watergehalte van het zaagmeel. Ook de wijze waarop de verbranding verloopt kan het vochtgehalte van de rook doen variëren. Uit de gegevens die over het verloop van de relatieve vochtigheid werden verzameld, werd opgemerkt dat de relatieve vochtigheid van het lucht-rookmengsel tijdens het stomen van haring en makreel bij het begin van het proces varieerde tussen de waarden 73 en 74,5 %. Bij het verder verloop van het proces, wanneer de vis onderworpen wordt aan hogere temperatuur en hogere rookdichtheid, bleef dit vochtgehalte ongeveer op hetzelfde peil. Bij het einde van het proces, wanneer weinig verse lucht toegelaten werd en meer rookluchtmengsel gerecirculeerd werd, bleek de relatieve vochtigheid op te lopen tot hogere waarden (± 86 %).

C. De snelheid van de rookgassen.

De snelheid van de rookgassen beïnvloedt het rookproces op twee wijzen. In de eerste plaats is de stroomsnelheid van de rookgassen mede verantwoordelijk voor de drogende invloed bij het roken. Tijdens het drogen immers staat een produkt water af aan de omhullende luchtlaag. In een windstille ruimte zal deze **grenslaag** produkt-gasfase watermoleculen uit het produkt opnemen totdat verzadiging optreedt. Vanaf dit oogenblik zal het produkt nog enkel verder drogen voor zover de watermoleculen de verzadigde grenslaag kunnen verlaten naar de omringende luchtmasse. Deze snelheid wordt bepaald door de diffusiesnelheid van de watermoleculen uit de grenslaag. De diffusiesnelheid is echter klein, zodat in een windstille ruimte het drogen traag zal verlopen. Om verder een vlot verloop van het drogen te verkrijgen, is het dan ook van belang de ver-

zadigde grenslaag te verwijderen. Hiervoor is een minimale turbulentie van de luchtmasa nodig. Dit wordt bereikt door de gassen met een bepaalde kracht over het te drogen produkt te leiden. De stroomsnelheid van deze gassen moet een minimale waarde overtreffen om tot de noodzakelijke minimale turbulentie te komen. Anderzijds mag deze snelheid niet te groot zijn, ten einde te voorkomen dat de oppervlaktelaag te vlug water afstaat, waardoor een verder uitdrogen verhinderd wordt.

De stroomsnelheid van de rookgassen beïnvloedt op de tweede plaats het rookproces via de afzetting van de rookcomponenten op het produkt, deze afzetting is immers afhankelijk van de snelheid van de rookgassen. Hoe de snelheid deze kleurafzetting juist beïnvloedt is echter nog niet opgelost.

Tijdens het onderzoek werden ten aanzien van de graad van drogen en kleur van de produkten keuringen uitgevoerd. Als resultaat werden sterke verschillen genoteerd. Deze verschillen kunnen wellicht een verklaring vinden in de rookluchtmassaverdeling in de tunnel. Er werd dan ook getracht de onregelmatigheden in de rookluchtmassaverdeling in de proefinstallatie op te sporen.

In de rookruimte zijn twee systemen ingebouwd om tot een homogene verdeling van de gasmasa te komen. Het eerste systeem bestaat uit horizontale trechtervormige kanalen (de ruimte E van de installatie), die de turbulentie in de gasmasa, veroorzaakt door de ventilator, dienen op te heffen. Een tweede systeem van vertikale rekken geplaatst vóór en na de rookvlakken moeten een gelijkmatige verticale verdeling van de rookmasa toelaten bij de rooktoelaat en bij de rookuitlaat. Hiervoor zijn de openingen in het rek vóór de rookruimte onderaan klein, doch nemen volgens de hoogte geleidelijk in afmeting toe. Voor het rek achteraan geldt de omgekeerde verhouding.

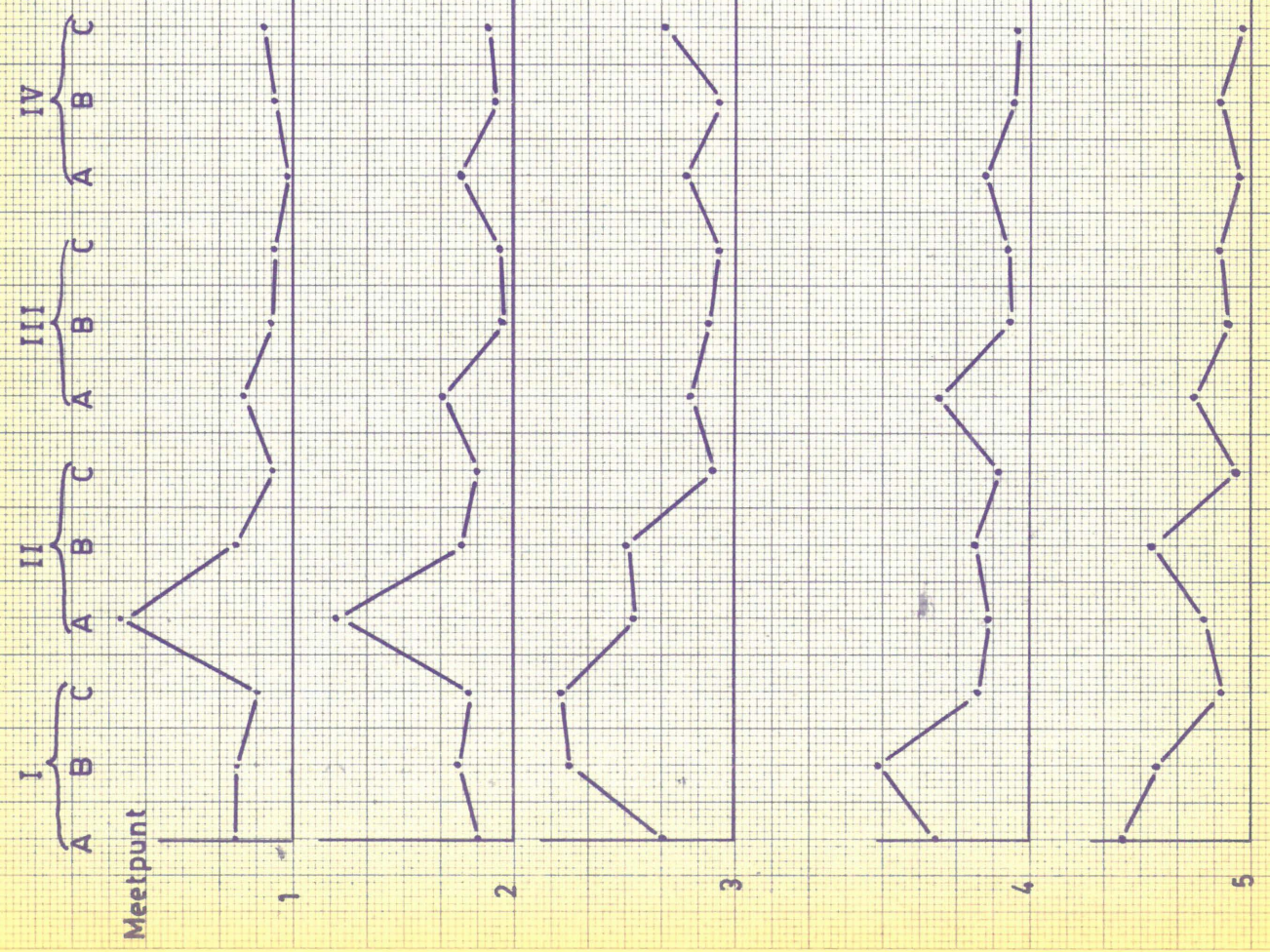
Een eerste stap in het onderzoek over de stroomsnelheid van het rookluchtmengsel in de tunnel was het uitvoeren van metingen. Daarna werd onderzocht om grafisch en statistisch uit deze gegevens de eventuele plaats van de onregelmatigheden aan te duiden en de tendens in optreden ervan te bepalen. Tenslotte werd de mogelijke invloed van de onderlinge verhouding van de verscheidene klepstanden op de stroomsnelheid van de gassen bestudeerd.

De stroomsnelheid van de gasmassa werd gemeten bij konstante instelling van de kleppen (kringloopklep 0,5 - luchtinlaatklep 2,0) met behulp van een hittedraad anemometer, in verscheidene punten der tunnel. Figuur 2 geeft een beeld van de plaats der meetpunten. Per meetpunt werden 6 waarden genoteerd. De bekomen gegevens zijn samengevat in tabel 1.

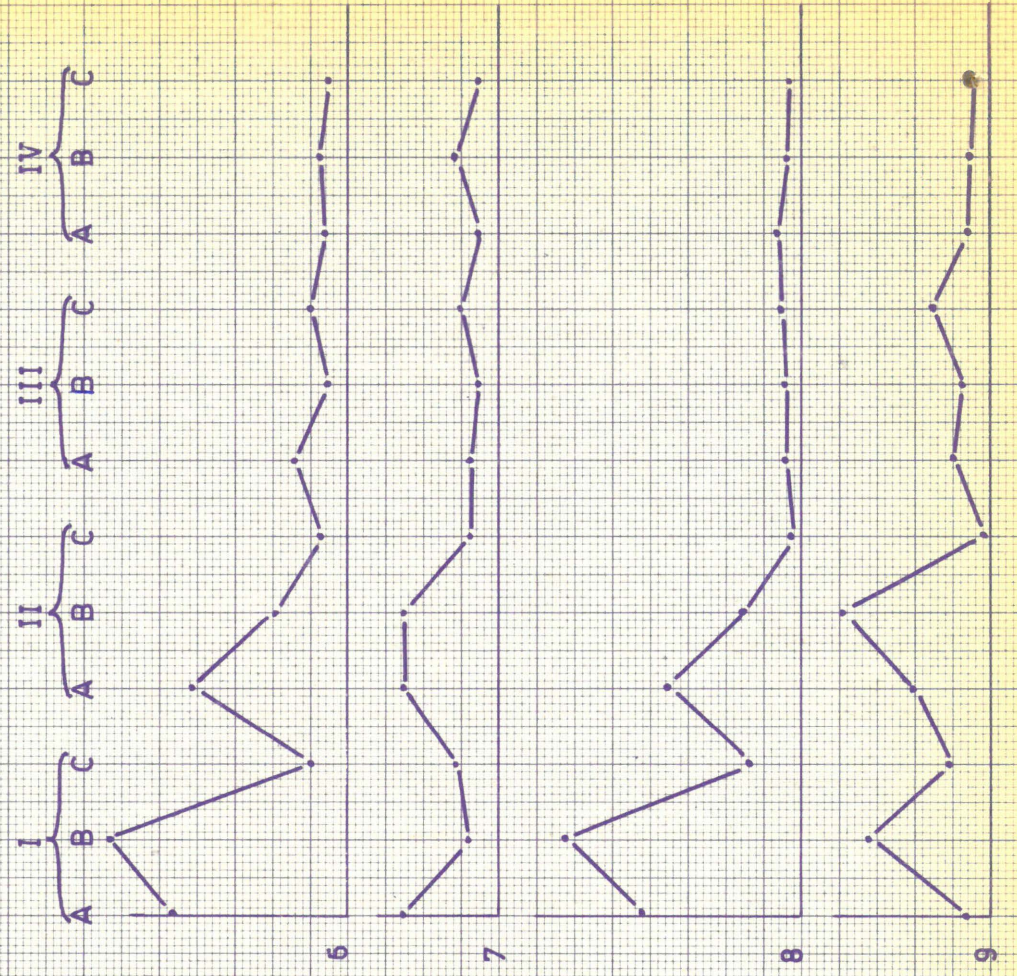
Uit de waarnemingen treden grote verschillen naar voor. Als kleinste snelheid werd 53 cm/sec genoteerd in punt II A 9, terwijl als hoogste waarde 225 cm/sec op de plaats I C 3 werd geregistreerd.

Het verschil tussen de maximale en minimale waargenomen stroomsnelheid in eenzelfde meetpunt lopen sterk uiteen. Het grootste verschil werd genoteerd in de meetpunten I B 6 en I B 8 (63 cm/sec) en het kleinste verschil in het punt II C 9 (1 cm/sec).

Volgens de lengterichting van de tunnel werden de verschillen in de waargenomen stroomsnelheden voor de verscheidene meetpunten opgetekend in figuur 3. Hieruit kan men afleiden dat de windsnelheid volgens de lengterichting van de tunnel regelmatigier wordt.



Figuur 3 Verloop van de maximale verschillen in de waargenomen stroomsnelheden volgens de lengterichting van de tunnel



Tabel 1. - Waarnemingen over de stroomsnelheid van de luchtmassa in de ledige tunnel.
(Stand kringloopklep 0,5, stand luchtinlaatklep 2,0, temperatuur $\pm 20^{\circ}$ C)

	M E E T P O S T								
	IA1	IA2	IA3	IA4	IA5	IA6	IA7	IA8	IA9
Snelheid in cm/sec.	122	118	145	156	128	125	76	98	133
	128	123	125	138	102	162	56	123	131
	132	128	126	140	105	171	51	140	132
	130	128	128	132	98	162	58	127	132
	133	127	132	135	93	170	62	131	136
	137	128	131	131	105	170	52	130	136
Som	782	752	787	832	631	900	355	749	800
Gemiddelde	130,3	125,3	131,1	138,6	105,1	150,0	59,1	124,8	133,3
R.	15	10	20	25	35	46	25	42	5

	M E E T P O S T								
	IB1	IB2	IB3	IB4	IB5	IB6	IB7	IB8	IB9
Snelheid in cm/sec.	117	97	155	130	141	140	97	77	116
	132	108	187	166	117	202	102	132	143
	121	105	188	171	117	198	105	140	146
	131	112	200	167	115	200	107	132	146
	126	98	193	167	125	201	97	137	146
	128	108	192	162	116	203	100	135	148
Som	755	628	1.115	963	731	1.144	608	753	845
Gemiddelde	125,8	104,6	185,8	160,5	121,8	190,6	101,3	125,5	140,8
R.	15	15	45	41	26	63	8	63	32

	M E E T P O S T								
	IC1	IC2	IC3	IC4	IC5	IC6	IC7	IC8	IC9
Snelheid in cm/sec.	125	121	255	157	130	177	128	120	128
	116	132	212	152	128	181	117	125	136
	115	120	225	157	128	182	125	112	138
	117	125	215	143	128	181	123	120	137
	120	127	208	152	133	180	121	120	138
	120	130	236	152	121	186	125	118	137
Som	713	755	1.351	913	768	1.087	739	715	814
Gemiddelde	118,8	125,5	225,1	152,1	128,0	181,1	123,1	119,5	135,6
R.	10	12	47	14	12	9	11	13	10

Tabel 1 (vervolg) - Waarnemingen over de stroomsnelheid van de luchtmassa in de ledige tunnel.

(Stand kringloopklep 0,5, stand luchtinlaatklep 2,0, temperatuur $\pm 20^{\circ}$ C)

	M E E T P O S T								
	IIA1	IIA2	IIA3	IIA4	IIA5	IIA6	IIA7	IIA8	IIA9
Snelheid in cm/sec.	101	105	88	65	87	101	41	100	66
	58	56	70	65	78	70	46	65	55
	100	98	87	68	88	106	61	68	48
	100	100	83	76	75	110	66	76	53
	101	103	97	71	87	110	58	76	46
	106	98	97	72	78	111	63	72	53
Som	566	560	522	417	493	608	335	457	321
Gemiddelde	94,3	93,3	87,0	69,5	82,1	101,3	55,8	76,1	53,5
R.	48	49	27	11	12	41	25	35	20

	M E E T P O S T								
	IIB1	IIB2	IIB3	IIB4	IIB5	IIB6	IIB7	IIB8	IIB9
Snelheid in cm/sec.	117	101	113	105	93	115	75	115	86
	127	113	130	120	118	125	95	108	115
	122	107	135	116	118	133	100	107	125
	133	115	142	116	120	132	93	107	121
	130	113	133	117	120	131	93	110	120
	122	102	127	115	112	127	92	100	107
Som	751	651	780	689	681	763	548	647	674
Gemiddelde	125,1	108,5	130,0	114,8	113,5	127,1	91,3	107,8	112,3
R.	16	14	29	15	27	18	25	15	39

	M E E T P O S T								
	IIC1	IIC2	IIC3	IIC4	IIC5	IIC6	IIC7	IIC8	IIC9
Snelheid in cm/sec.	143	126	131	125	126	133	123	125	126
	145	131	132	132	127	136	116	125	127
	143	121	137	127	126	140	120	125	127
	140	123	137	130	123	140	117	126	127
	143	123	132	133	127	133	117	127	127
	145	125	132	127	127	140	117	126	126
Som	859	749	801	774	756	822	710	754	760
Gemiddelde	143,1	124,8	133,5	129,0	126,0	137	118,3	125,6	126,6
R.	5	10	6	8	4	7	7	2	1

Tabel 1 (vervolg) - Waarnemingen over de stroomsnelheid van de lucht-
massa in de ledige tunnel.

(Stand kringloopklep 0,5, stand luchtinlaatklep 2,0,
temperatuur + 20° C)

	M E E T P O S T								
	IIIA1	IIIA2	IIIA3	IIIA4	IIIA5	IIIA6	IIIA7	IIIA8	IIIA9
Snelheid in cm/sec.	97	102	116	91	100	133	105	123	117
	110	121	127	102	115	135	112	126	125
	101	108	127	115	112	123	111	125	125
	101	115	128	116	111	128	110	125	126
	110	117	127	113	115	121	108	127	117
	98	118	127	115	111	123	110	125	125
Som	617	681	752	652	664	763	656	751	735
Gemiddelde	102,5	115,1	125,3	108,6	110,6	127,1	109,3	125,1	122,5
R.	13	19	12	25	15	14	7	4	9

	M E E T P O S T								
	IIIB1	IIIB2	IIIB3	IIIB4	IIIB5	IIIB6	IIIB7	IIIB8	IIIB9
Snelheid in cm/sec.	121	125	130	125	117	138	112	121	126
	117	122	135	125	117	142	116	123	131
	117	125	128	121	122	141	117	125	133
	115	125	130	121	123	138	113	125	131
	117	125	130	126	117	137	117	125	131
	117	122	130	123	122	140	116	125	132
Som	704	744	783	741	718	836	691	744	784
Gemiddelde	117,3	124	130,5	123,5	119,6	139,3	115,1	126	130,6
R.	6	3	7	5	6	5	5	4	7

	M E E T P O S T								
	IIIC1	IIIC2	IIIC3	IIIC4	IIIC5	IIIC6	IIIC7	IIIC8	IIIC9
Snelheid in cm/sec.	125	126	132	122	120	137	111	128	142
	130	127	132	127	127	145	121	123	131
	127	128	135	126	123	147	118	126	127
	127	128	131	128	122	147	120	125	128
	128	130	135	126	128	145	121	125	127
	127	127	135	126	123	147	118	126	127
Som	664	766	800	755	743	868	709	753	782
Gemiddelde	110,6	127,6	133,3	125,8	123,8	144,6	118,1	125,5	130,3
R.	5	4	4	6	8	10	10	5	15

Tabel 1 (vervolg) - Waarnemingen over de stroomsnelheid van de luchtmasa in de ledige tunnel.

(Stand kringloopklep 0,5, stand luchtinlaatklep 2,0, temperatuur + 20° C)

	M E E T P O S T								
	IVA1	IVA2	IVA3	IVA4	IVA5	IVA6	IVA7	IVA8	IVA9
Snelheid in cm/sec.	126	113	120	125	130	130	117	123	125
	126	126	108	117	130	131	118	125	125
	125	122	110	113	128	127	118	121	125
	126	125	121	120	131	132	116	127	122
	126	126	117	125	128	131	118	121	123
	126	128	118	117	131	133	121	123	127
Som	755	740	694	717	778	784	708	740	747
Gemiddelde	125,8	123,3	115,6	119,5	129,6	130,6	118,0	123,3	124,5
R.	1	15	13	12	3	6	5	6	5

	M E E T P O S T								
	IVB1	IVB2	IVB3	IVB4	IVB5	IVB6	IVB7	IVB8	IVB9
Snelheid in cm/sec.	143	141	148	131	145	155	131	128	135
	146	136	148	131	137	151	121	130	140
	142	138	148	133	141	155	127	127	140
	143	140	151	135	138	153	128	128	135
	147	137	147	133	137	153	125	128	140
	146	137	150	135	138	148	120	127	135
Som	867	829	892	798	836	915	752	768	825
Gemiddelde	144,5	138,1	145,3	133,0	139,3	152,5	125,3	128,0	137,5
R.	5	5	4	4	8	7	11	3	5

	M E E T P O S T								
	IVC1	IVC2	IVC3	IVC4	IVC5	IVC6	IVC7	IVC8	IVC9
Snelheid in cm/sec.	155	153	167	132	136	152	125	128	125
	163	153	166	135	138	155	125	128	122
	158	151	185	132	137	156	126	130	121
	160	156	168	135	137	151	123	127	125
	158	157	166	132	137	151	126	130	125
	160	150	167	135	136	156	128	128	121
Som	954	920	1.019	801	821	921	753	771	739
Gemiddelde	119,0	153,3	169,8	133,5	136,8	153,5	125,5	128,5	123,1
R.	8	7	19	3	2	5	5	3	4

De grafische voorstelling van de stroomsnelheden (figuren 4a tot 4g) wijst op het volgende :

1. In eenzelfde meetvlak komen uiteenlopende waarden voor.

2. De stroomsnelheid voor een punt in de opeenvolgende meetvlakken vertonen uiteenlopende waarden.

3. De snelheden bovenaan in de rookvakken wijzen hogere waarden aan dan deze onderaan.

4. De windsnelheden in de punten 3, 6, 9 blijken hogere waarden te bereiken dan in de respectievelijk overeenstemmende punten 1, 4, 7.

Ten einde deze vaststellingen statistisch te kunnen staven, werd met behulp van de analyse van de verscheidenheid de significante verschillen in de stroomsnelheden berekend.

1. Opsporen van wezenlijke verschillen in stroomsnelheid in de meetpunten van eenzelfde vlak.

Op basis van de gegevens vermeld in tabel 2 werd de standaardafwijking berekend met de Range-methode voor de meetpunten in het vlak I A.

Fig 4a

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden in het VAK I

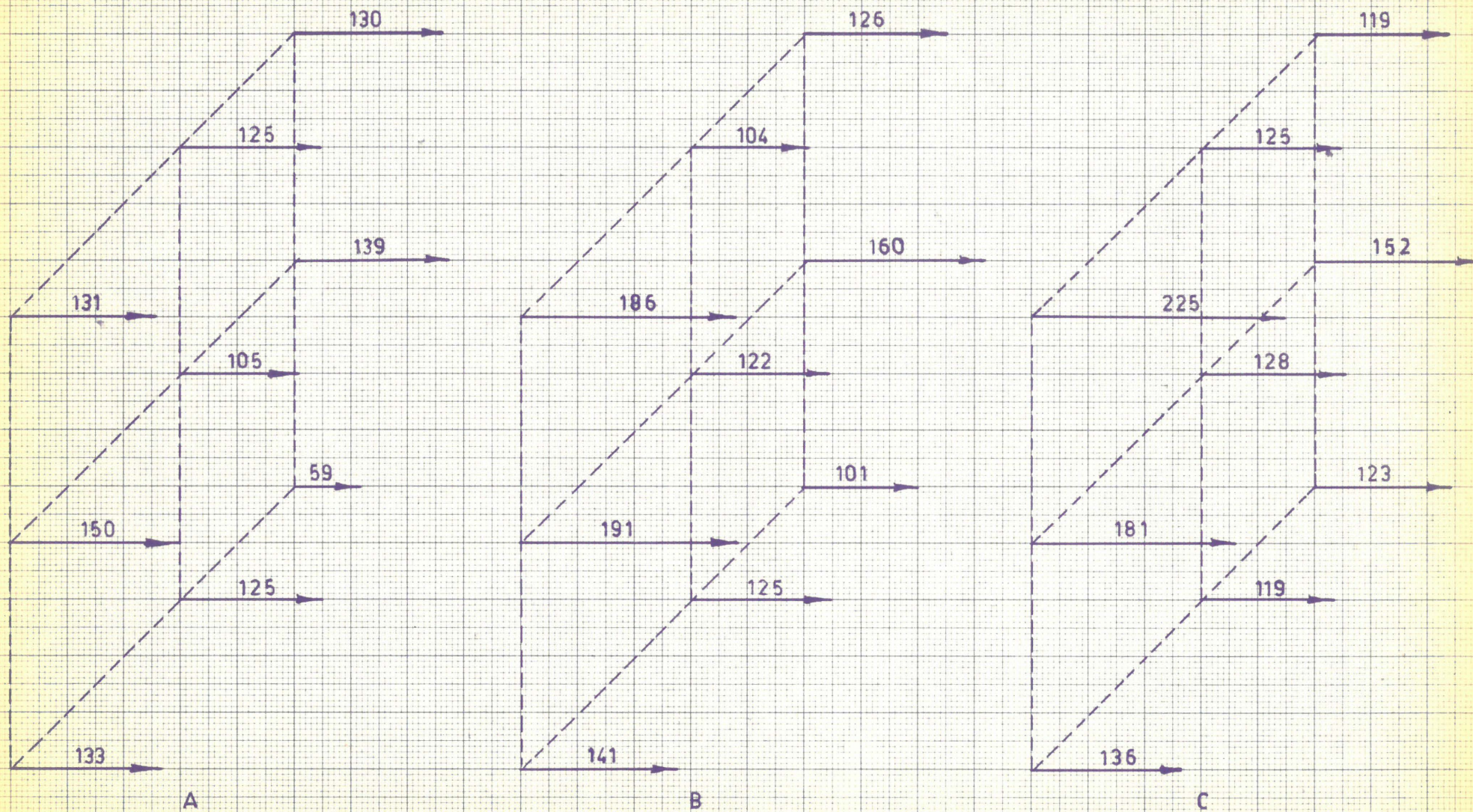


Fig 4b

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden in het VAK II

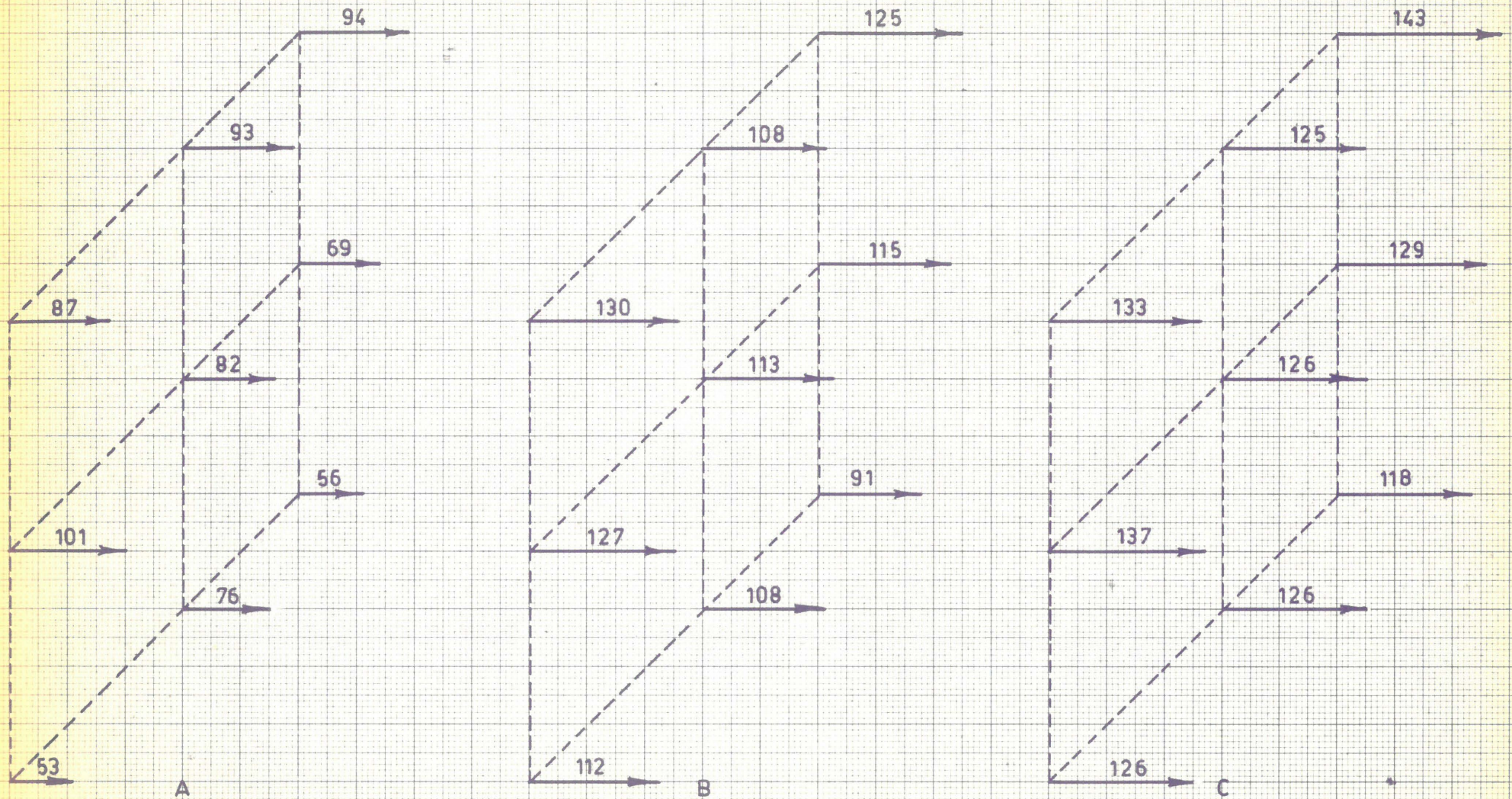


Fig 4c

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden in het VAK III.

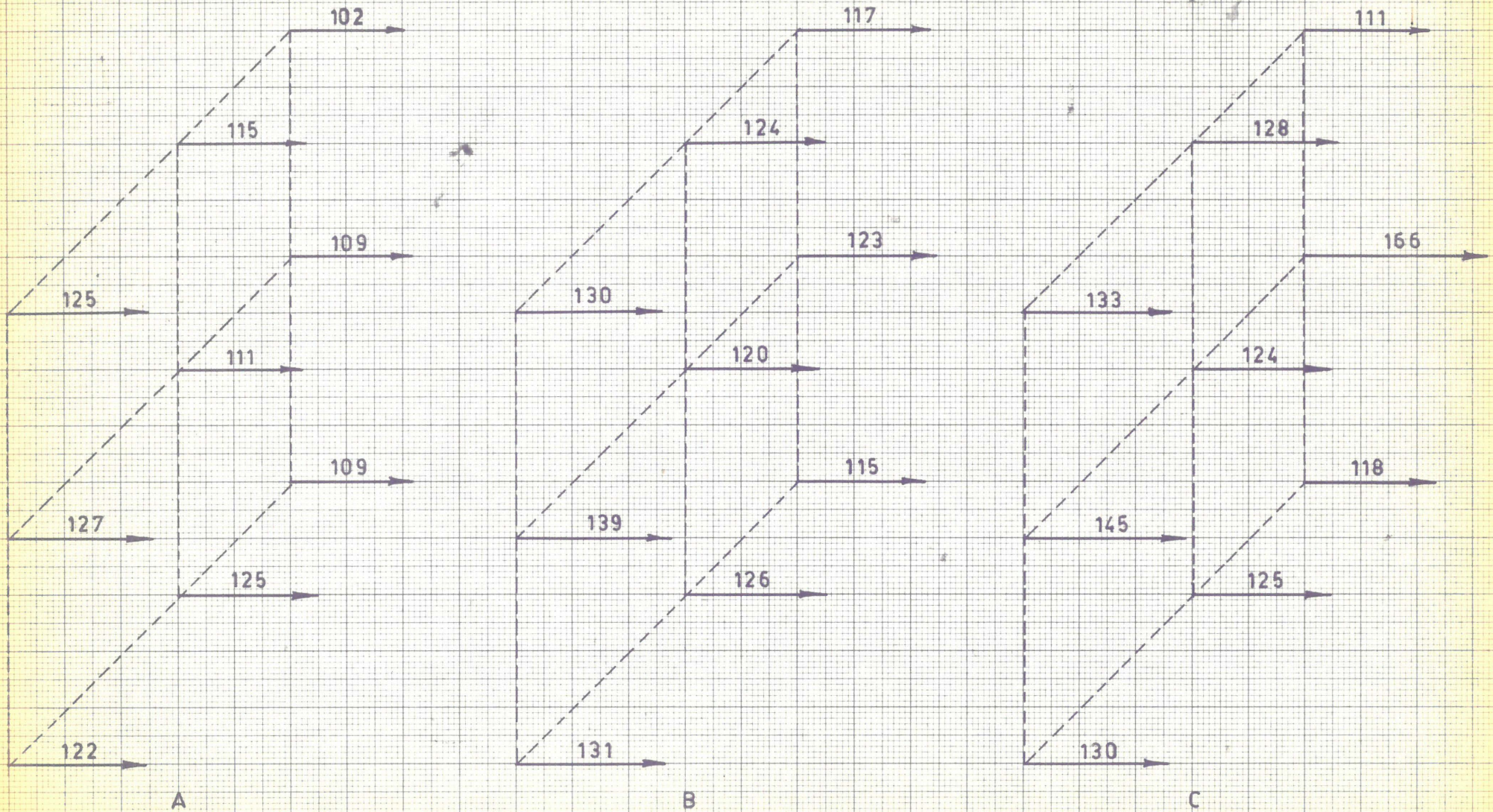


Fig 4d

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden in het VAK IV

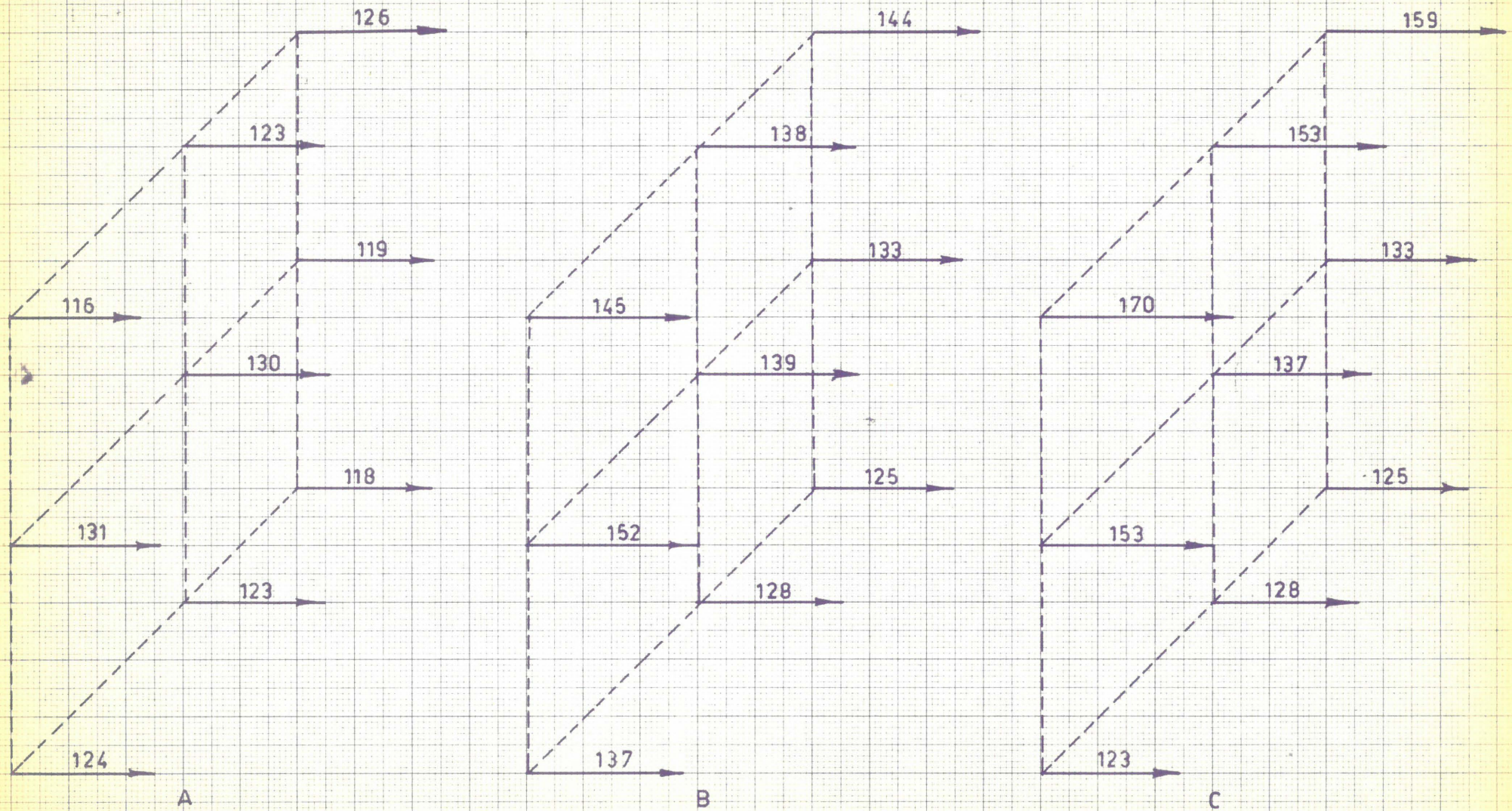


Fig 4e

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden gemeten in de overstemmende punten van de opeenvolgende meetvlakken

Meetpunt

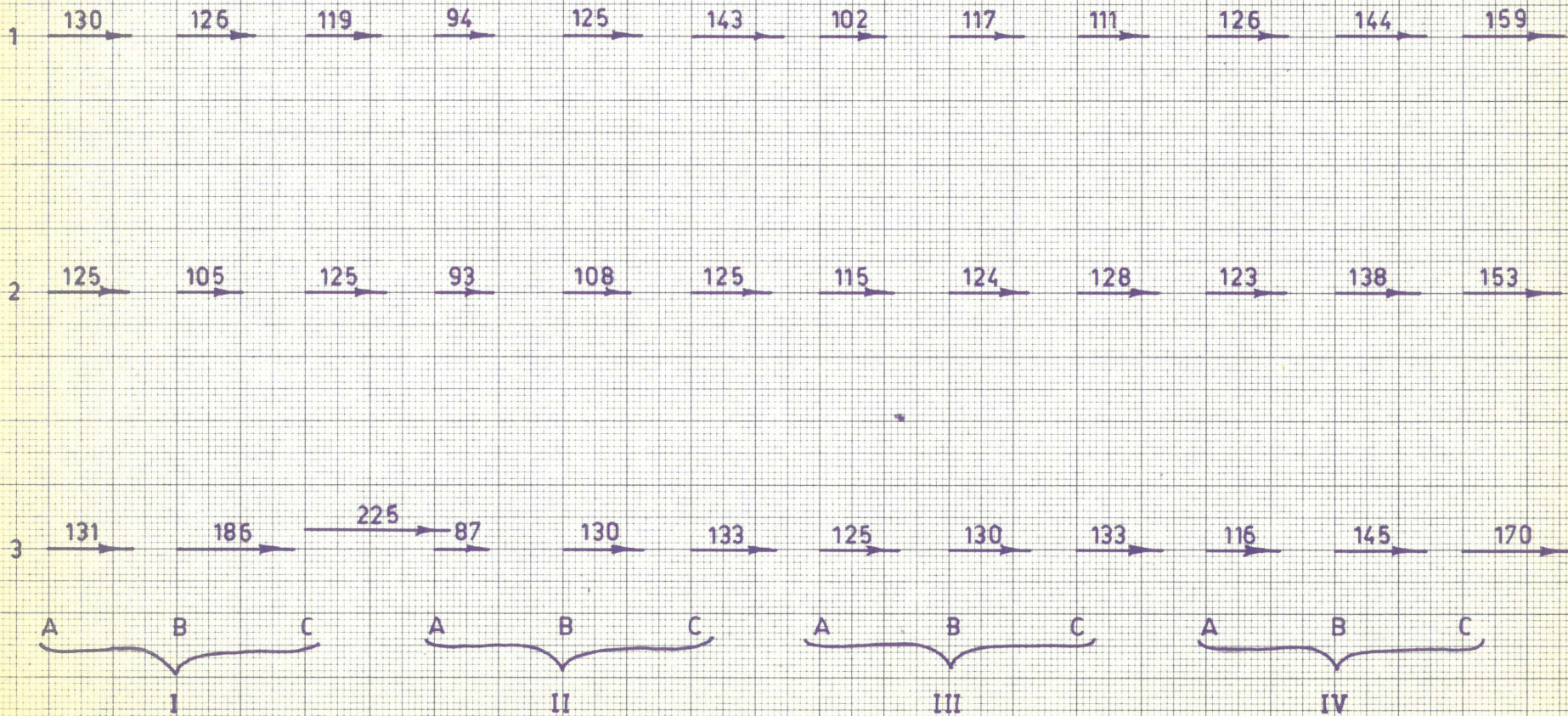


Fig 4f

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden gemeten in de overeenstemmende punten van de opeenvolgende meetvlakken

Meetpunt

4



5



6

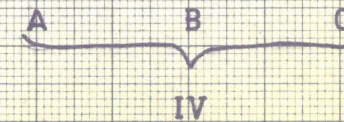
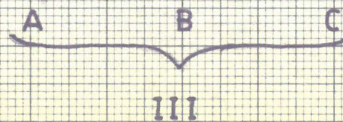
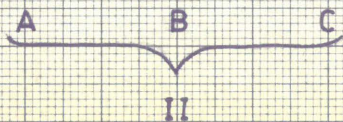
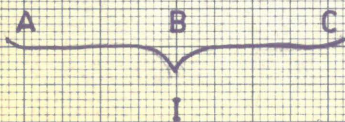
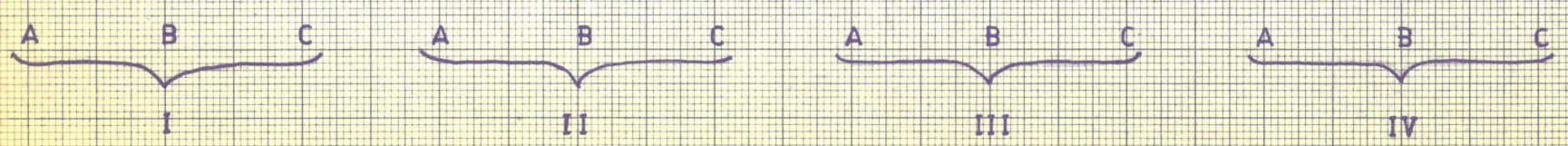


Fig 4g

Grafische voorstelling van de stroomsnelheden gemeten in de overeenstemmende punten van de opeenvolgende meetvlakken

Meetpunt



Tabel 2. - Stroomsnelheid uitgedrukt in cm/sec in het vlak A.

Meetpunt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	122	118	145	156	128	125	76	98	133
	128	123	125	138	102	162	56	123	131
	132	128	126	140	105	171	51	140	132
	130	128	128	132	98	162	58	127	132
	133	127	132	135	93	170	62	131	136
	137	128	131	131	105	170	52	130	136
Σ	782	752	787	832	631	900	355	749	800
Gemiddelde (\bar{x})	130	125	131	139	105	150	59	125	133
R	15	10	20	25	35	46	25	42	5

De resultaten van de berekening zijn de volgende :

a) Nulhypothese (H_0) : geen significante verschillen komen voor tussen de negen meetpunten.

b) $\Sigma R = 15 + 10 + 20 + 25 + 35 + 45 + 25 + 42 + 5 = 223$.

c) Gemiddelde waarde voor R :

$$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{9} = \frac{223}{9} = 24,77$$

(\bar{R} geeft de waarde van de variatie aan in de meetpunten).

d) Grootste verschil tussen de meetpunten ($\bar{x}_6 - \bar{x}_7$) of $150 - 59 = 91$.

e) Het probleem heeft 9 groepen (k) van 6 (n) waarden. Dit geeft een equivalent aantal vrijheidsgraden $f = 40,5$ en een faktor $c_1 = 2,55$ waarmede bij gebruik van de formule $s = \frac{\bar{R}}{c_1}$ de standaardafwijking berekend wordt.

$$s = \frac{24,77}{2,55} = 9,71$$

f) De zekerheidscoëfficiënt $q = \frac{\bar{x}_6 - \bar{x}_7}{s/\sqrt{n}}$ wordt $q = \frac{91\sqrt{6}}{9,71} = 22,95$

g) de theoretische waarden van q voor $k = 9$ en $f = 40,5$ bij 95 % en 99 % betrouwbaarheid zijn respectievelijk 4,63 en 5,50.

Deze waarden worden overtroffen door de berekende zekerheidscoëfficiënt. Waaruit tenslotte kan worden afgeleid dat bij een betrouwbaarheid van 99 % er wel degelijke significante verschillen voorkomen in het vlak I A.

h) Opzoeken van wezelijke verschillen tussen de meetpunten onderling.

Bij vergelijking van twee gemiddelden wordt de theoretische q waarde voor $k = 2$ en $f = 40,5$ bij 95 % en 99 % betrouwbaarheid respectievelijk 2,86 en 3,82.

De minimale significante verschillen worden gegeven door :

$$w_{0,05} = \frac{q_{0,05} \times s}{\sqrt{n}} = \frac{2,86 \times 9,71}{\sqrt{6}} = 11,26$$

$$w_{0,01} = \frac{t_{0,01} \times s}{\sqrt{n}} = \frac{3,82 \times 9,71}{\sqrt{6}} = 15,05$$

Dit betekent dat de gemiddelden die onderling meer dan 15,05 cm van elkaar verschillen, significant verschillend zijn bij een betrouwbaarheid van 99 %.

Op analoge wijze werden de verschillen in de stroomsnelheid in de meetpunten van de andere vlakken berekend.

Om de stroomsnelheden voor de meetpunten van een vlak onderling met elkaar te vergelijken, werden de resultaten samengevat in tabel 3. Hierin worden bij 99 % betrouwbaarheid niet wezenlijke verschillen aangeduid door het - teken en de significante verschillen door het + teken. Uit de tabellen blijkt het volgende :

a) In ieder meetvlak komen significante verschillen naar voor.

b) Zelfs meetpunten die naast elkaar liggen kunnen in significant grote wijze van elkaar verschillen.

2. Statistische vergelijking van de stroomsnelheden gemeten in de overeenstemmende punten van de opeenvolgende vlakken. (bv. alle punten 1).

Uit de analyse van de verscheidenheid blijkt dat hier ook in alle punten wezenlijke verschillen voorkomen.

Deze verschillen werden aangeduid in de tabel 4

3. Statistische vergelijking van de snelheden in het meetvlak gaande door de punten 1, 4, 7 (vlak links van het middenvlak volgens de lengterichting van de tunnel) ten

Tabel 3. - Onderlinge vergelijking van stroomsnelheden in de punten van eenzelfde meetvlak.

Meetvlak IA									Meetvlak IB									Meetvlak IC								
A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9		B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9		C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	
A1	-	-	-	+	+	+	-	-	B1	+	+	+	-	+	+	-	+	C1	-	+	+	-	+	-	-	+
A2		-	-	+	+	+	-	-	B2		+	+	-	+	-	+	+	C2		+	+	-	+	-	-	+
A3			-	+	+	+	-	-	B3			-	+	-	+	+	+	C3			+	+	+	+	+	+
A4				+	-	+	-	-	B4				+	+	+	+	+	C4				+	+	+	+	+
A5					+	+	+	+	B5					+	+	-	-	C5					+	-	-	-
A6						+	+	+	B6						+	+	+	C6						+	+	+
A7							+	+	B7							+	+	C7							-	+
A8								-	B8								+	C8								+

Meetvlak IIA									Meetvlak IIB									Meetvlak IIC								
A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9		B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9		C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	
A1	-	-	+	-	-	+	-	+	B1	+	-	-	-	-	+	+	-	C1	+	+	+	+	+	+	+	+
A2		-	+	-	-	+	-	+	B2		+	-	-	+	+	-	-	C2		+	+	-	+	+	-	-
A3			-	-	+	+	-	+	B3			+	+	-	+	+	+	C3			+	+	+	+	+	-
A4				-	+	-	-	-	B4				-	-	+	-	-	C4				-	+	+	-	-
A5					+	+	-	+	B5					+	+	-	-	C5					+	+	-	-
A6						+	+	+	B6						+	+	+	C6						+	+	+
A7							+	-	B7							+	+	C7							+	+
A8								+	B8								-	C8								-

Tabel 3. - Onderlinge vergelijking van stroomsnelheden in de punten van eenzelfde meetvlak (vervolg).

Meetvlak IIIA									Meetvlak IIIB									Meetvlak IIIC									
A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9				
A1	+	+	-	+	+	-	+	+	B1	+	+	+	-	+	-	+	+	C1	+	+	+	+	+	+	+	+	
A2		+	-	-	+	-	+	-	B2		+	-	+	+	+	-	+	C2		+	+	-	+	+	-	-	
A3			+	+	-	+	-	-	B3			+	+	+	+	+	-	C3			+	+	+	+	+	-	
A4				-	+	-	+	+	B4				-	+	+	-	+	C4				+	+	+	+	+	
A5					+	-	+	+	B5				+	+	+	+	+	C5					+	+	-	+	
A6						+	-	-	B6					+	+	+	+	C6						+	+	+	
A7							+	+	B7						+	+	+	C7							+	+	
A8								-	B8								+	+	C8								+

Meetvlak IVA									Meetvlak IVB									Meetvlak IVC								
A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9			
A1	-	+	+	-	+	+	-	-	B1	+	-	+	+	+	+	+	C1	+	+	+	+	+	+	+	+	
A2		+	-	+	+	+	-	-	B2		+	+	-	+	+	+	C2		+	+	+	-	+	+	+	
A3			-	+	+	-	+	+	B3			+	+	+	+	+	C3			+	+	+	+	+	+	
A4				+	+	-	-	+	B4				+	+	+	+	C4				+	+	+	+	+	
A5					-	+	+	+	B5				+	+	+	-	C5					+	+	+	+	
A6						+	+	+	B6					+	+	+	C6						+	+	+	
A7							+	+	B7						-	+	C7							-	-	
A8								-	B8							+	C8								+	

Tabel 4. - Vergelijking van de stroomsnelheden van overeenstemmende punten in de opeenvolgende meetvlakken.

Meetpunt 1										Meetpunt 2									
	IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA		IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA
IA	-	+	+	-	+	+	+	+	-	IA	+	-	+	+	-	+	-	-	-
IB		-	+	-	-	-	-	+	-	IB		+	+	-	+	+	+	+	+
IC			+	-	+	+	-	-	-	IC			+	+	-	+	-	-	-
IIA				+	+	-	+	+	+	IIA				+	+	+	+	+	+
IIB					+	+	-	+	-	IIB					+	+	+	+	+
IIC						+	+	+	+	IIC						+	-	-	-
IIIA							+	+	+	IIIA							-	+	-
IIIB								-	+	IIIB								-	-
IIIC									+	IIIC									-

Meetpunt 3										Meetpunt 4									
	IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA		IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA
IA	+	+	+	-	-	-	-	-	+	IA	+	+	+	+	-	+	-	+	+
IB		+	+	+	+	+	+	+	+	IB		-	+	+	+	+	+	-	+
IC			+	+	+	+	+	+	+	IC			+	+	+	+	+	+	+
IIA				+	+	+	+	+	+	IIA				+	+	+	+	+	+
IIB					-	-	-	-	+	IIB					+	-	-	+	-
IIC						-	-	-	+	IIC						-	-	+	-
IIIA							-	-	-	IIIA							-	+	-
IIIB								-	+	IIIB								+	-
IIIC									+	IIIC									+

Tabel 4. - Vergelijking van de stroomsnelheden van overeenstemmende punten in de opeenvolgende meetvlakken (vervolg).

Meetpunt 5										Meetpunt 6									
	IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA		IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA
IA	+	+	+	-	+	-	+	+	+	IA	+	+	+	+	-	+	-	-	+
IB		-	+	+	-	+	-	-	-	IB		-	+	+	+	+	+	+	+
IC			+	+	-	+	-	-	-	IC			+	+	+	+	+	+	+
IIA				+	+	+	+	+	+	IIA				+	+	+	+	+	+
IIB					+	-	-	+	+	IIB					-	-	-	+	-
IIC						+	-	-	-	IIC						-	-	-	-
IIIA							+	+	+	IIIA							-	+	-
IIIB								-	-	IIIB								-	-
IIIC									-	IIIC									+

Meetpunt 7										Meetpunt 8									
	IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA		IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA
IA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	IA	-	-	+	+	-	-	-	-	-
IB		+	+	+	+	+	+	+	+	IB		-	+	+	-	-	-	-	-
IC			+	+	-	+	+	-	-	IC			+	+	-	-	-	-	-
IIA				+	+	+	+	+	+	IIA				+	+	+	+	+	+
IIB					+	+	+	+	+	IIB					+	+	+	+	+
IIC						+	-	-	-	IIC						-	-	-	-
IIIA							-	+	+	IIIA							-	-	-
IIIB								-	-	IIIB								-	-
IIIC									-	IIIC									-

Tabel 4. - Vergelijking van de stroomsnelheden van overeenstemmende punten in de opeenvolgende meetvlakken (vervolg)

Meetpunt 9

	IB	IC	IIA	IIB	IIC	IIIA	IIIB	IIIC	IVA
IA	-	-	+	+	-	+	-	-	+
IB		-	+	+	+	+	+	+	+
IC			+	+	+	+	-	-	+
IIA				+	+	+	+	+	+
IIB					+	+	+	+	+
IIC						-	-	-	-
IIIA							+	-	-
IIIB								-	-
IIIC									-

opzichte van de snelheden in het meetvlak gevormd door de punten 3, 6, 9 (vlak rechts).

De snelheden gemeten in de punten 1, 4, 7 worden respectievelijk vergeleken met de snelheden in de punten 3, 6, 9.

De vergelijking werd samengevat in de onderstaande tabel 5, waarbij niet significante verschillen aangeduid zijn door = ; significante verschillen door > of < .

Tabel 5. - Vergelijking der verschillen in stroomsnelheid tussen de punten 1 en 3 ; 4 en 6 ; 7 en 9.

Vak	Vlak	1 en 3	4 en 6	7 en 9
I	A	=	=	<
	B	<	<	<
	C	<	<	<
II	A	=	<	=
	B	=	=	<
	C	>	<	<
III	A	<	<	<
	B	<	<	<
	C	<	<	<
IV	A	<	<	<
	B	=	<	<
	C	>	<	<
Aantal maal				
=		4	2	1
<		6	9	11
>		2	1	-

Uit de tabel komt tot uiting dat er een tendens bestaat dat de waarden voor de punten 1, 4 en 7 kleiner zijn dan respectievelijk de waarden 3, 6 en 9.

4. Vergelijking van de stroomsnelheden bovenaan in de tunnel ten opzichte van de overeenstemmende stroomsnelheden onderaan in de tunnel.

De snelheden gemeten in de punten 1, 2, 3 werden vergeleken, respectievelijk met de snelheden in de punten 7, 8 en 9.

De verschillen werden samengebracht in onderstaande tabel 6. De significante verschillen werden aangeduid door het $>$ of $<$ -teken. De niet significante verschillen door = teken.

Tabel 6. - Vergelijking der verschillen in stroomsnelheid
in de punten 1 en 7 ; 2 en 8 ; 3 en 9.

Vak	Vlak	1 en 7	2 en 8	3 en 9
I	A	>	=	=
	B	>	<	>
	C	=	=	>
II	A	>	=	>
	B	>	=	>
	C	>	=	=
III	A	=	<	=
	B	=	=	=
	C	<	=	=
IV	A	>	=	<
	B	>	>	>
	C	>	<	>
Aantal maal				
=		3	8	5
>		8	2	6
<		1	2	1

De tendens om hogere waarden te bereiken in de punten bovenaan in de tunnel is niet zo sterk uitgesproken als de tendens om hogere snelheden te bereiken in het linkervlak dan in het rechtervlak.

Deze twee neigingen werden eveneens genoteerd bij het roken van haringfilets. De haringfilets die rechts in de tunnel opgehangen zijn, blijken vlugger

te drogen. Het verschil in graad van droging van haringfilets werd eveneens vastgesteld volgens de hoogterichting van de tunnel ; deze verschillen waren echter minder uitgesproken.

5. Bij het onderzoek werden eveneens de stroomsnelheid der luchtnassa gemeten bij verscheidene instelling van de kringloopklep (KL) en van de luchtinlaatklep (LI). In elke rookvak werd naar willekeur een meetpunt uitgekozen en met een thermische anemometer werd op dezelfde wijze de windsnelheid genoteerd bij verschillende standen der kleppen. De gegevens zijn samengevat in tabel 8.

Uit de berekeningen bleek dat de klepstanden geen wezenlijke invloed hadden op de windsnelheden.

D. Het rook-luchtmengsel.

Het beheersen van de factoren die een optimale rookdichtheid bepalen is één der belangrijkste onderzoeksobjecten. De factoren die de rookdensiteit in de proefinstallatie bepalen zijn onder te verdelen in twee groepen namelijk de technologische factoren en de intrinsieke factoren.

1. De technologische factoren.

(a) De aangevoerde rookhoeveelheid.

Deze hoeveelheid is afhankelijk van het aantal in werking zijnde rookhaarden. De rookhoeveelheid per rookhaard wordt bepaald door :

- de houtsoort,
- de vochtigheid van het zaagmeel,
- de dikte van het zaagmeelbed,

Tabel 8.- Waargenomen windsnelheden in cm/sec bij verschillende instellingen van de kringloop- en
luchtinlaatklep (bij $\pm 20^{\circ}$ C)

Instelling van de kleppen							Instelling van de kleppen						
K.L.	0,5	0,2	1,0	0,5	0,5	0,5	K.L.	0,5	0,2	1,0	0,5	0,5	0,5
L.I.	2,0	2,0	2,0	1,0	0,5	0,0	L.I.	2,0	2,0	2,0	1,0	0,5	0,0
Meetpunt IC5	131	132	121	129	133	126	Meetpunt IIIB1	115	120	113	123	118	123
	129	122	130	133	121	125		118	122	120	123	122	125
	128	130	130	134	126	120		123	125	117	115	125	113
	133	128	135	134	128	130		120	127	125	117	117	120
	128	128	128	120	133	130		120	117	113	118	118	120
	120	130	129	130	130	120		115	117	115	125	125	125
Som Gemiddelde R.	769	770	773	780	771	751	Som Gemiddelde R.	711	728	703	721	725	726
	128	128	129	130	128	125		118	121	117	120	121	121
	13	10	14	14	12	10		8	10	12	10	8	12
Meetpunt IIC8	125	120	127	125	135	128	Meetpunt IVB3	145	147	150	143	145	143
	123	128	121	127	130	127		153	147	153	151	157	149
	124	130	133	128	122	124		148	157	153	153	155	146
	127	122	120	130	130	133		145	143	149	153	147	150
	126	126	127	132	133	120		155	150	147	155	153	152
	127	130	122	133	133	122		145	150	155	153	147	149
Som Gemiddelde R.	752	756	750	775	783	754	Som Gemiddelde R.	891	894	907	908	904	889
	125	126	125	129	130	126		148	149	151	151	151	148
	4	10	13	8	13	13		10	14	8	12	12	9

- toestand en dikte van de laag hout-
spaanders,
- de toegelaten hoeveelheid lucht aan
het verbrandingsproces.

(b) De hoeveelheid lucht waarmede de rook gemengd wordt. Voor het gegeven aanzuigdebiet van de ventilator wordt deze hoeveelheid bepaald door de stand van luchtinlaat- en kringloopklep.

2. De intrinsieke factoren.

De rookdichtheid is verder afhankelijk van de temperatuur en de vochtigheidsgraad van de rook.

Buitenlandse onderzoekers hebben hierover onderzoekingen uitgevoerd die o.m. leiden tot het volgende : (a) een vochtigheidsvariatie van 10 % tot 50 % heeft geen invloed op de rookdichtheid wanneer de temperatuur beneden 100°C blijft, (b) bij konstante relatieve vochtigheid gaat een temperatuurstijging gepaard met een vermindering van een rookdichtheid.

Er dient opgemerkt dat niet altijd bij een zo laag mogelijke temperatuur kan gewerkt worden. Bij warm roken (stomen) mag niet beneden 75°C gewerkt worden, daar anders uit de aard zelf het bijzonderste effect, waarbij het vlees van de vis in eigen vocht stoomt, niet bekomen wordt. Bij koud roken kunnen anderzijds de lage temperaturen (20°-25°C) moeilijk gehandhaafd worden, wanneer de temperatuur van de aangezogen lucht - zoals tijdens de zomer - reeds ongeveer 20°C bedraagt. Aan deze moeilijkheid zou eventueel een oplossing kunnen worden gegeven door een systeem voor afkoeling van de rook.

Bij het bepalen van de rookdichtheid onder veranderlijke instelling van de verscheidene technologische factoren bleek het noodzakelijk te beschikken over een maatstaf. Hiervoor werd uitgezien naar een geschikte rookdensiteitsmeter. Met behulp van dit toestel worden voor het ogenblik verder gegevens verzameld om de invloed van de verscheidene factoren te kennen en af te baken..

Uit deze fase van het onderzoek waarbij de instelbare factoren in de experimentele rookinstallaties bestudeerd werden kunnen volgende algemene besluiten getrokken worden :

a) **Temperatuur** : De temperatuurinstelling is regelbaar en de oscillaties van de temperatuur werden door de afregeling van het regelmechanisme en door het gebruik van de magnetische stoomkleppen beperkt tot $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

b) **Relatieve vochtigheid van de rookluchtmengsel**. Is moeilijk te meten in een rookmengsel wegens de teerafzetting. Verscheidene factoren zoals hoeveelheid aangezogen lucht ; samenstelling van het zaagmeelbed en wijze van verbranding, beïnvloeden het vochtgehalte. Het veranderen der instelling der kleppen beïnvloedt de relatieve vochtigheid.

c) **De stroomsnelheid van de luchtrookmassa**. Er treden in de tunnel wezenlijke verschillen op die momenteel niet rechtstreeks onder controle kunnen gebracht worden.

d) **De rookdichtheid van het rookluchtmengsel**. Met behulp van de rookdensiteitsmeter zal gepoogd worden de rookdichtheid in de proefinstallatie onder controle te krijgen. Hierbij zullen in de eerste plaats de invloed van de verscheidene factoren onderzocht worden.

Als volgende stap in het onderzoek over het roken en stomen zal getracht worden de invloed van de opgespoorde anomalieën te verwijderen waarbij eveneens gestreefd zal worden naar een verdere konkrete afbakening van de factoren : relatieve vochtigheid en dichtheid van het rookluchtmengsel. Daarna wordt het mogelijk de invloed van de niet instelbare factoren op het rookproces na te gaan onder welbepaalde omstandigheden.