

adres Stieltjesweg 1 ^{DO4}
2628 CK Delft
postadres Postbus 155
2600 AD Delft
telefoon (015) 78 80 20
telex 38091 tpd dt nl

TPD-TNO-TH
Werkg. Bouwkeramiek
Postbus 513
5600 MB EINDHOVEN

No.: No. 853.202-E1
Afd.: Keramiek
Behandeld: ing. J.H. van der Velden

Datum: 25 maart 1988

RAPPORT

WERKEXEMPLAAR

van der Velden

DE TEGENSTROOMTUNNELDROGER
Toepasbaarheid, irrigating en
energiegebruik voor vormbakstenen.

AAN

- De Nederlandse Grofkeramische Industrie
- Konstruktors van droogapparaten

VOORWOORD

Toen de studie over de tegenstroomtunneldroger zoals beschreven in dit rapport ons door de auteur in handgeschreven vorm ter inzage werd voorgelegd, leek het onderwerp voldoende interessant om te voldoen aan het verzoek de reproductie ervan op ons te nemen. Temeer, daar bij de uitvoering van de studie een ruim gebruik werd gemaakt van de resultaten van vroegere researchinspanningen van TNO op droogtechnisch gebied; inspanningen waar de auteur overigens een actief aandeel in had. Tevens paste deze studie in het huidige onderzoeksprogramma van de Werkgroep Bouwkeramiek van de afdeling Keramiek van de TPD.

Behalve de door de auteur gedane suggesties met betrekking tot het optimaliseren van de inrichting van tegenstroomtunneldrogers voor baksteenvormelingen, bevat de studie ook andere elementen, die een verkrijgbaarstelling van het rapport ten volle zullen rechtvaardigen.

De auteur van dit rapport, ing. J.H. van der Velden, is jarenlang hoofd geweest van de Werkgroep Bouwkeramiek. In die tijd heeft de auteur naast een gedegen theoretische kennis ook veel praktische kennis opgebouwd over het drogen in de grofkeramische industrie.

De afdeling Keramiek prijst zich dan ook gelukkig dat de heer Van der Velden voornoemde studie via onze afdeling ter beschikking van de keramische industrie wil stellen.

Eindhoven, 25 maart 1988

TPD-TNO-TH

A.H. de Vries

ir. R.B. Wiegers

ing. J. van der Zwan.

INHOUDSOPGAVE.

Samenvatting.

1. Inleiding.	1
2. Suggesties met betrekking tot de inrichting en bedrijfsvoering van tegenstroomtunneldrogers.	3
3. Capaciteit en bedrijfsvoering van de droger.	7
4. Specificatie van grondstoffen en vormelingen.	8
5. Ruimtelijke rangschikking van de vormelingen.	10
5.1 Droogplaatkeuze.	10
5.2 Droogplaten groepering in droogrekken.	10
5.3 Situering van de rekken in de droger.	11
6. Drogerijproductie.	12
7. Toelaatbare droogsnelheden.	13
8. Droogsnelheidsverloop onder constante uitwendige condities.	15
9. Droogsnelheidsverloop in een tegenstroom-tunneldroger.	18
10. Inlaatcondities van de lucht.	21
11. Productiecapaciteit per tunnelspoor.	22
12. Aantal drooglorries per tunnelspoor.	25
13. Toepasbaarheid van een eenvoudige tegenstroomtunneldroger.	30
14. Luchtverbruik van de droger.	31
15. Egalisatie van de droogcondities in verticale dwarsdoorsneden van de tunnels.	34
16. Opwarming van de vormelingen.	35
17. Conditionering van de droger.	36
18. Energiegebruik.	37
19. Bespreking van de resultaten en conclusies.	38
20. Literatuuropgave.	41

SAMENVATTING.

De studie heeft betrekking op de tegenstroomtunneldrooginrichting.

Nagegaan wordt in hoeverre dit sedert lang bekende, in regeltechnisch opzicht erg aantrekkelijke, doch anderzijds beperkt flexibele drogerijtype, toepasbaar is voor het drogen van vormbakmetselsteenvormelingen in waalformaat en dikformaat. Ook de grondstofsamenstelling van de vormelingen wordt daarbij in de beschouwingen betrokken.

Voorts worden suggesties gedaan aangaande de inrichting en bedrijfsvoering van de tegenstroomtunneldroger. Vooral wordt aandacht besteed aan een optimale dimensionering van de droogtunnellengte en aan de mogelijkheden, het doorgaans toch al gunstige warmteverbruik van de droger nog verder terug te dringen.

De studieresultaten worden aan de hand van een fictief praktijkvoorbeeld uitgewerkt.

Trefwoorden: - bouwkeramiek
- droogtechniek
- energiebesparing

1. INLEIDING.

Een tegenstroomtunneldroger is een convectiedroger, waarin een al dan niet intermitterende stroom te drogen produkten, op railgebonden wagens (drooglorries) of aan een hangbaan, in tegenstroom met het droogmedium lucht door een tunnel wordt gevoerd. De drooglucht zorgt daarbij zowel voor de aanvoer van de voor waterverdamping nodige warmte, als voor de afvoer van de ontstane waterdamp.

Bij droging van keramische vormelingen dient een en ander te geschieden onder vermindering van kwaliteitsdefecten aan het gedroogde halffabrikaat zoals breuk, scheuren, een ontwrichte scherfstructuur, deformaties (ontoelaatbare kromte, scheluwte, tapsheid e.d.), te grote maatverschillen, een te grote vochtgehaltespreiding of een ongewenst restwatergehalteniveau. Het gebruik van verdunde rookgassen is toelaatbaar voorzover deze geen agressieve bestanddelen bevatten.

Een industriële installatie bestaat gewoonlijk uit een aantal identieke parallel gegroepede tunnels.

In de eenvoudigste uitvoeringsvorm wordt het droogregime in de tunnels bij een gegeven produktietempo uitsluitend bestuurd door het debiet, de temperatuur en de vochtigheid van de warme lucht, die aan de produktuitgang binnenstroomt.

De in de tunnels, door de drogende produkten, geboden mogelijkheden voor warmte- en stofoverdracht bepalen vervolgens het verloop van de droogcondities en de droogsnelheid tijdens het proces, alsmede de in energetisch opzicht belangrijke mate van verzadiging van de afgewerkte lucht, die aan de produktingang ontwijkt.

Deze in regeltechnisch opzicht aantrekkelijke, doch beperkt flexibele conditioneringswijze, komt in de keramische industrie vooral in aanmerking voor vormelingen, die tijdens de droging weinig of slechts matig gevoelig zijn voor het ontstaan van kwaliteitsdefecten.

Ter verbetering van de flexibiliteit van het droogregime, evenwel ten koste van de eenvoud van regime-instelling, zijn uitvoeringsvormen ontwikkeld, die zijn uitgerust met luchtrecirculatie-systemen en met

meer, over de tunnellenge verdeelde toe- en afvoermogelijkheden van lucht en warmte.

De voorgelegde studie heeft betrekking op de toepasbaarheid van een eenvoudige uitvoeringsvorm van de tegenstroomtunneldroger voor het drogen van vormbak-baksteenvormelingen.

Aan de hand van een analyse van de gebreken, die in de loop der jaren aan drogers en inzonderheid aan tunneldrogers in de grofkeramische industrie werden gekonstateerd, worden een aantal suggesties gedaan betreffende de inrichting van een doelmatige, in regeltechnisch en energetisch opzicht aantrekkelijke uitvoeringsvorm van een tegenstroomtunneldroger.

Voorts wordt nagegaan of en onder welke voorwaarden dit drogerijtype geschikt is voor het drogen van vormbakvormelingen in waalformaat en dikformaat. Aangezien voor de vervaardiging van vormbakstenen grondstoffen met onderling sterk uiteenlopende droogeigenschappen worden gebruikt, is de invloed van deze variabele op het toepasbare droogregime en op de grootte en inrichting van de droger mede in de studie betrokken. Ter concretisering van de studieresultaten is bij wijze van voorbeeld verondersteld, dat de tunneldroger past in een fictieve baksteenfabriek met een ovenscapaciteit van 1.428.000 stuks waalformaat-vormbakstenen per week of een equivalent tonnage aan dikformaatstenen.

2. SUGGESTIES MET BETREKKING TOT DE INRICHTING EN BEDRIJFSVOERING VAN TEGENSTROOMTUNNELDROGERS.

Voor zover zich bij drogers in de keramische industrie gebreken voordoen, hebben deze in het algemeen betrekking op de beheersing van de produkt-kwaliteit, op het energiegebruik, op de flexibiliteit van de installatie, op bedrijfsstoringen of op de arbeidsproduktiviteit.

Wat tunneldrogers betreft zijn bijvoorbeeld te noemen:

- a. een oneigenlijk gebruik van de installatie, doordat ter besparing op investeringen werd afgezien van een continue toevoer van produkt aan de tunnels,
- b: onvolkomenheden in de uitvoeringswijze van de systemen voor de aanvoer en distributie van lucht en warmte,
- c: condensatie van waterdamp op het koude ingevoerde verse produkt, dan wel, ter voorkoming van condensaat-schade, een droging op een in energetisch opzicht ongunstig, laag natteboltemperatuurniveau,
- d: te dicht naast elkaar gegroepede vormelingen en/of, in het bijzonder in eenvoudige tegenstroomtunneldrogers, te ruimte spleten naast, boven of onder de tunnelcharge,
- e: gebrekkige of storingsgevoelige voorzieningen ter egalisatie van de droogcondities in de tunneldoorsneden,
- f: een verkeerd gekozen tunnellengete, gezien de aanwezige mogelijkheden van warmte- en stofoverdracht,
- g: een afwijkend droogregime in de buitentunnels, als gevolg van het warmteverlies van de buiten-zijwanden,
- h: het ontbreken van pasklare procedures en programma's ter correctie van het droogregime bij wijziging van het produktieprogramma,

- i: een gebrekkige lektheid van de installatie of een aanmerkelijke periodieke uitstoot van warme lucht aan de produktuitgang van de tunnels,
- j: onvoldoende zorg voor de warmte-isolatie van de inrichting, in het bijzonder die van de tunnelvloer,
- k: een blokkering van het transportsysteem in de tunnels door van de vormelingen afgeblazen vormzand,
- l: het gebruik van een verouderd, arbeidsintensief transportsysteem.

Bij het ontwerpen van tegenstroomtunneldrogers vragen de bedoelde punten alle aandacht.

Een continue voeding van de droger met produkt gedurende 168 uren per week door middel van een volautomatisch geregeld transportsysteem is een eerste voorwaarde voor een succesvolle toepassing van een tegenstroom-tunneldroger.

Bij verwerking van klei met een hoog vochtexpansiecoëfficiënt (zie hoofdstuk 4) is een geconditioneerde opvang van het gedroogde halffabrikaat gewenst.

Op de grondslag van zo nauwkeurig mogelijke specificaties van het productieprogramma en de toe te passen droogregimes dient bijzondere zorg te worden besteed aan een optimale dimensionering van alle componenten van het droogsysteem, zoals die voor de aanvoer en distributie van lucht en warmte, de ruimtelijke rangschikking van de vormelingen en de tunnel-lengte.

Een goede warmte-isolatie van vloeren en wanden, alsmede de lektheid van de installatie zijn vooral voor de beperking van het warmtegebruik van belang.

Ter compensatie van het warmteverlies van de buiten-zijmuren kan een met een heetwatercircuit verwarmde, of een met warme lucht geventileerde spouw in deze muren toegepast worden.

Voor het egaliseren van de droogcondities in de tunneldoorsneden bieden wellicht optimaal gesitueerde krachtige stralen vochtige lucht een storingsvrije oplossing. Door hun inducerende werking bewerkstelligen zulke "jets" het beoogde effect en vervullen tevens een droogregime-regulerende functie.

Door de keuze van omhoog gerichte eenzijdig aanliggende stralen langs de zijwanden van de tunnel ter plaatse van ruime spleten tussen de opeenvolgende charges van de drooglorries, kan een direkte aanblazing van de vormelingen, gepaard gaande met plaatselijk te sterke droogsnelheden en aanmerkelijk vormzandverlies worden voorkomen.

Onder deze omstandigheden mag, gezien de relatief lage luchtsnelheid van de hoofdstroom in een tegenstroomtunneldrooginrichting, worden verwacht, dat eenvoudige zandschotels in het chassis van de drooglorries het risico van zandoverlast voldoende zullen verkleinen.

Ofschoon tegenstroomtunneldrogers, als gevolg van de hoge verzadigingsgraad van de afgewerkte lucht, doorgaans al een gunstig warmteverbruik bezitten, is een belangrijke extra besparing op het energiegebruik te bereiken door het droogproces op een hoog gekozen natteboltemperatuurniveau te doen verlopen.

Ter voorkoming van condensatie van waterdamp op de koude in de tunnel gereden vormelingen, dienen deze, voorafgaand aan het contact met de afgewerkte lucht van de droger, opgewarmd te worden tot het dauwpunt daarvan.

Het ligt voor de hand die opwarming te bewerkstelligen in een naast de droogtunnels gesitueerde en daartoe speciaal geconditioneerde opwarmtunnel.

In de appendix van dit rapport zijn ontwerpschetsen opgenomen van een tegenstroomtunneldroger voor droogprocessen van vormbakvormelingen in waalformaat en dikformaat op natteboltemperatuurniveaus van 34° tot 40° C.

In de navolgende hoofdstukken wordt onder meer aangegeven langs welke weg de hoofddimensies van de installaties en in het bijzonder de optimale tunnellingte konden worden bepaald.

3. CAPACITEIT EN BEDRIJFSVOERING VAN DE DROGER.

Bij wijze van voorbeeld wordt verondersteld, dat de te ontwikkelen tegenstroomtunneldroger dient te passen in een baksteenfabriek met een ovencapaciteit van 1.428.000 stuks waalformaat vormbakstenen per week. Het droogproces zal continu, gedurende 168 uren per week, verlopen. De vormelingen liggen op geperforeerde droogplaten in droogrekken op railgebonden wagens. Na gelijke tussenpozen wordt een beladen drooglorrie in het droogproces opgenomen, respectievelijk afgevoerd. Het beladen en ontladen van de drooglorries vindt plaats in één dienst per werkdag, gedurende vijf dagen per week.

Een baksteenproductie in continu bedrijf, met een volledige synchronisatie van alle bewerkingen, die een aanzienlijke besparing op investeringen voor produktiemiddelen en bedrijfsgebouwen zou opleveren, blijft vooralsnog buiten beschouwing.

Verondersteld wordt voorts, dat het droogproces wordt voortgezet tot een tot nu toe voor tunneldrogers gebruikelijk restwatergehalte van nominaal circa 2 %

Er wordt niet ingegaan op een eventuele terugdringing van de huidige functie tot die van een voordroger, waarin de vormelingen slechts op een stijfheid worden gebracht, die hen stapelbaar op tunnelovenwagens maakt, om daarop dan te worden nagedroogd en gebakken.

4. SPECIFICATIE VAN GRONDSTOFFEN EN VORMELINGEN.

Voor de vervaardiging van vormbakstenen komen kleien in ~~in~~ aanmerking met een totaal specifiek oppervlak van 35 tot 85 m²/g.

De invloed van de grondstofkeuze op de toepasbaarheid en de dimensionering van een tegenstroomtunneldroger werd voor vier grondstoffen met specifieke oppervlakken van respectievelijk 45, 55, 65 en 75 m²/g bestudeerd.

Het gebruik van grondstoffen met een specifiek oppervlak hoger dan 75 m²/g en lager dan 45 m² werd buiten beschouwing gelaten. De eerste soort omdat een eenvoudige tegenstroomdroger voor dergelijke vette kleien op voorhand minder passend geacht werd, de tweede soort omdat een probleemloze toepasbaarheid van een eenvoudige tegenstroomtunneldroger voor zulke magere kleien reeds vaststaat en om die reden een minder interessant studieobject is.

In tabel 1 zijn enkele gegevens van de gekozen grondstoffen en de te drogen vormelingen vermeld. Wat betreft de aanwezigheid van zwellende kleimineralen in de grondstof werd verondersteld, dat het vochtexpansiecijfer* een voor Nederlandse kleien gemiddelde waarde bezit.

*Het vochtexpansiecijfer is het quotient van de volumevergroting in volumeprocenten en de hoeveelheid geadsorbeerde waterdamp in massa-procenten van een dun proefstaafje klei dat na droging bij 105 + 5° C gedurende zeven etmalen bij 20 + 5° C in een omgeving met een relatieve vochtigheid van 0,75 + 0,01 heeft verkeerd.

Tabel 1. Gegevens van grondstoffen en vormelingen.

		grondstof-opties			
	eenheid	A	B	C	D
totaal specifiek oppervlak	m ² /g	75	65	55	45
vochtexpansiecoëfficiënt	--	200x10 ⁻³	200x10 ⁻³	200x10 ⁻³	200x10 ⁻³
vormgevingsconsistentie PRH	mm	6.5	6.5	6.5	6.5
vormgevingswatergehalte Wi	% (m/m _D)	30	28	26	24
lineaire droogkrimp	% (L/L _n)	7.9	6.7	5.7	4.5
WAALFORMAAT VORMELINGEN					
gebakken: 210x100x50 mm					
lineaire bakrimp: 1,5 %					
afmetingen nat:					
lengte Ln	mm	231,5	228,5	226,1	223,2
breedte Bn	mm	110,2	108,8	107,7	106,3
hoogte Hn	mm	55,1	54,4	53,8	53,2
massa droog (W _r = 0 %)	g	2006	1994	1982	1970
restwatergehalte W _r	%	2	2	2	2
verdampt water	g	562	518	476	433
DIKFORMAAT VORMELINGEN					
gebakken: 210x100x65 mm					
lineaire bakrimp: 1,5 %					
afmetingen nat:					
lengte Ln	mm	231,5	228,5	226,1	223,2
breedte Bn	mm	110,2	108,8	107,7	106,3
hoogte Hn	mm	71,6	70,7	70,0	69,1
massa droog W _r = 0 %	g	2608	2593	2577	2559
restwatergehalte W _r	%	2	2	2	2
verdampt water	g	730	674	618	563

5. RUIMTELIJKE RANGSCHIKKING VAN DE VORMELINGEN.

5.1 Droogplaatkeuze.

Voor de ondersteuning van de natte WF- en DF-vormelingen worden in de gekozen opzet geperforeerde droogplaten van 2200 x 280 x 32 mm met een Aluzinc^c-coating (150 g/m²) gebruikt. De plaatdikte bedraagt 1,75 mm. Een vlak van 2140 x 220 mm is voor 17,5 % met gaten van 5 mm \emptyset geperforeerd. De massa bedraagt 16,7 kg per plaat.

Elke plaat draagt 17 vormelingen in waalformaat of dikformaat met een onderlinge hartafstand van 125 mm.

De spleet tussen de vormelingen varieert in dit geval afhankelijk van het kleitype van 15 tot 19 mm.

Uit vroeger verricht TNO-onderzoek [1] valt af te leiden, dat een nauwere spleet dan 15 mm niet wenselijk is.

5.2 Droogplaten groepering in droogrekken.

- aantal droogplaten per etage: 8 (287,5 mm h.o.h.)
- aantal etages per rek : 20
- aantal vormelingen per rek : 2720
- etage-afstand : 180 mm
- insteekdiepte van rek : 2300 mm

5.3 Situering van de rekken in de droger.

De rekken zijn op drooglorries gemonteerd. De lengte-richting van de vormelingen komt overeen met de rijrichting van de lorries in de tunneldroger.

Elke tunnel telt 2 sporen:

Overall-lengte van lorrie (h.o.h.):	2700 mm
Spleetwijdte tussen rekken:400 mm
Overall-breedte van lorrie:	2380 mm
Hoogte van 1e etage boven rails:350 mm
Overall-hoogte van lorrie + rek:	3950 mm
Inwendige tunnelhoogte boven rails:	4050 mm
Inwendige tunnelbreedte voor 2 sporen:	4940 mm
Oppervlak verticale doorsnede per tunnel:	~ 20 m ²

6. DROGERIJPRODUKTIE.

De geplande produktie van 1.428.000 waalformaat bakstenen per week komt bij een 168 urig bedrijf van de drogerij overeen met een produktietempo van 8500 WF per uur. De wat tonnage betreft equivalente produktie in dikformaat bedraagt dan 6540 DF per uur.

Tabel 2 geeft een overzicht van de op deze basis berekende produktie-cijfers.

Tabel 2. Produktiegegevens van de droger.

produktietempo	eenheid	waal- formaat	dik- formaat
produktie in vormelingen per week	st/w.	1.428.000	1.098.700
produktie in vormelingen per uur	st/h.	8.500	6.540
produktie in rekken per uur	st/h.	3,125	2,405
produktie in rekken per week	st/w.	525	404
verdampt water per uur, Ss = 75 m ² /g	kg/h.	4.775	4.775
verdampt water per uur, Ss = 65 m ² /g	kg/h.	4.405	4.405
verdampt water per uur, Ss = 55 m ² /g	kg/h.	4.044	4.044
verdampt water per uur, Ss = 45 m ² /g	kg/h.	3.681	3.681

7. TOELAATBARE DROOGSNELHEDEN.

Aan door TNO in de jaren '50 tot '70 uitgevoerde droogonderzoekingen [2] [3] [4] [5] [6] [7] konden met betrekking tot de toelaatbare droogsnelheid aan vormbakvormelingen onder meer de volgende inzichten worden ontleend:

- a. De maximale initiële droogsnelheid van waalformaat- en dikformaat vormelingen is, zeer globaal beschouwd, omgekeerd evenredig met het kwadraat van het totaal specifiek oppervlak van de verwerkte klei.
- b. De getalwaarde van de maximale initiële droogsnelheid, uitgedrukt in grammen verdampt water per uur per vormeling, blijkt voor waalformaat- en dikformaatvormelingen met eenzelfde grondstofsamenstelling onderling gelijk te zijn.
- c. De maximale droogsnelheid I_{ms} bij de krimprens is in het algemeen hoger dan de maximale droogsnelheid I_{mi} bij het initieel watergehalte W_i [%].

Als vuistregel geldt:

$$I_{ms} = \{1 + 0,015 (W_i - 14,5)\} I_{mi}$$

- d. De maximale droogsnelheid van vormbakvormelingen, die bij 45 à 50 °C zijn gevormd, blijkt, ook na een afkoeling voorafgaand aan het droogproces, hoger te zijn dan de maximale droogsnelheid van vormbakvormelingen uit koud verwerkte klei.

Voor droogprocessen op natteboltemperatuurniveaus tussen 34 en 40 °C geldt als veilige vuistregel, dat zowel de maximale initiële droogsnelheid, als de maximale droogsnelheid bij de krimprens, bij een warme vormgeving 35 % hoger zijn dan de betreffende maximale droogsnelheden bij een kleiverwerking in koude toestand.

Op de grondslag van het vorenstaande en rekening houdend met de geplande groepeeringswijze kon het in tabel 3 gegeven overzicht van maximale

droogsnelheden bij de krimpgrens (W ~ 14,5 %) worden samengesteld. Het is uiteraard een globale voorzichtig te interpreteren richtlijn.

Tabel 3. Toelaatbare droogsnelheden van waalformaat- en dikformaat-vormbakvormelingen.

spec. opp. m ² /g	vormwater Wi %	Imi g/h	max. droogsnelheid bij W = 14,5 % per WF- of DF-vormeling, I _{ms} in g/h	
			koud verwerkte klei	warm verwerkte klei
85	32	14,8	18,67 (18,5)	25,2 (25)
75	30	19	23,5	31,5
65	28	25	30	41
55	26	35	41	56
45	24	53	60	81
95	34	11,84	15,30 (15)	20,65 (20)
35	22			

$$I_{ms} = \{ 1 + 0,015 (W_i - 14,5) I_{mi}$$

$$I_{warm} = I_{koud} \times 1,35.$$

$$I_{mi} = \frac{A}{S_s^2}$$

$$S_s^2 \times I_{mi} = A.$$

$$\frac{32,0}{14,5} = 17,5$$

$$75^2 \times 19,0 = 85^2 \times Y \quad Y = \frac{75^2 \cdot 19}{85^2} = \frac{5625}{7225} \times 19 = 14,79$$

$$(85) \quad I_{ms} = \{ 1 + 0,015 (32,0 - 14,5) 14,79$$

$$(95) \quad I_{mi} = \frac{75^2 \times 19}{95^2} = \frac{5625}{9025} \times 19 = 11,84$$

$$I_{ms} = \{ 1 + 0,015 (34 - 14,5) \} 11,84 =$$

$$Y = \frac{75^2 \cdot 19}{35^2} = \frac{5625 \cdot 19}{1225} = 87,2$$

$$I_{ms} = \{ 1 + 0,015 (22 - 14,5) \} 87,2 = 97,80$$

8. DROOGSNELHEIDSVERLOOP ONDER CONSTANTE UITWENDIGE CONDITIES.

Het droogproces van keramische vormelingen kan globaal worden verdeeld in een stadium waarbij de waterverdamping aan de oppervlakte van de vormelingen plaatsvindt en een stadium waarin het verdampingsfront zich aanvankelijk ten dele en later geheel in de poriën van de vormeling terugtrekt.

Uit in de vijftiger jaren door TNO verricht onderzoek [1] [8] bleek, dat het verloop van de droogsnelheid met het watergehalte bij droging van een gegeven soort vormelingen onder constant blijvende droogcondities onder meer afhankelijk is van de ondersteuningwijze van de vormelingen, de onderlinge rangschikking ten opzichte van de stromingsrichting van de drooglucht en de samenstelling van de grondstof.

Er konden slechts enkele algemeen geldende wetmatigheden worden vastgesteld.

Zo kon uit het bedoelde onderzoek bijvoorbeeld voor droogprocessen op een constant nattebolniveau van waalformaat- en dikformaatvormbakvormelingen, met een initiaal watergehalte van 30 % en bij een rangschikking en luchtstromingsrichting als aangegeven in hoofdstuk 5, de navolgende globale relatie tussen de initiële droogsnelheid I_0 en de droogluchtcondities worden afgeleid.

$$I_0 = C_0 \cdot (1 + V_0) \Delta \theta_0 \quad (1)$$

Hierin is:

I_0 :	initiële droogsnelheid per vormeling	[g/h]
V_0 :	luchtsnelheid in de ledige tunneldoorsnede	[m/s]
$\Delta \theta_0$:	psychrometrisch temperatuurverschil	[°C]
C_0 :	vormfactor	[-]
	voor waalformaat vormbakvormelingen $C_0 = 0,894$	
	voor dikformaat vormbakvormelingen $C_0 = 1,048$	

Voorts bleek de droogsnelheid gedurende het gehele droogproces ongeveer recht evenredig te blijven met het toegepaste psychrometrisch temperatuurverschil.

Het in vorenstaande formule weergegeven effect van de luchtsnelheid bleek globaal genomen slechts geldig te zijn tot een restwatergehalte van circa 15 % In het stadium van waterverdamping in de poriën bleek de invloed van de luchtsnelheid op de droogsnelheid allengs geringer te worden, hetgeen overigens ook volgt uit een beschouwing van de condities waaronder de warmte- en stofoverdracht plaatsvindt.

De factor C bleek in het beginstadium van de droging gerelateerd te kunnen worden aan de uit de watergehalteafname te berekenen oppervlaktekrimp van de vormelingen.

Aan de hand van de resultaten van het in de vijftiger jaren verrichte droogonderzoek is in figuur 1 het verloop van de droogsnelheid met het watergehalte van waalformaat-vormbakvormelingen gestileerd weergegeven voor $V_0 = 1$ m/s en $\Delta\theta_0 = 10$ °C.

Aangezien in de ontwikkelingsfase van de beoogde tegenstroomtunneldroger geen nadere proefondervindelijke gegevens ter beschikking staan, werd dit gestileerde droogsnelheidsverloop als grondslag gekozen voor een globale berekening van droogtijden, die in tegenstroomtunneldrogers gerealiseerd kunnen worden.

Ten behoeve van een eerste droogtijdraming werd eenvoudigheidshalve, onder verwaarlozing van de afnemende invloed van de luchtsnelheid, verondersteld, dat de droogsnelheid van WF-vormelingen, vervaardigd uit de vier geopteerde kleien, voor elke waarde van het watergehalte, berekend kan worden uit:

$$I = I_w \frac{(1+V_0)}{20} \Delta\theta_w \quad (2)$$

Hierin is:

I : de droogsnelheid van WF-vormelingen bij een watergehalte W [g/h]

I_w : de uit figuur 1 afleesbare droogsnelheid bij een watergehalte W [g/h]

V_0 : de gekozen luchtsnelheid in de ledige tunneldoorsnede

(0,6 tot 1,8 m/s) [m/s]

$\Delta\theta_w$: het vigerende psychrometrisch temperatuursverschil [°C]

Ten aanzien van DF-vormelingen werd verondersteld, dat de droogsnelheid hiervan, bij elk watergehalte, onder overigens gelijke uitwendige condities, een factor $1,048/0,894 = 1,17226$ groter is dan die van WF-vormelingen bij het betreffende watergehalte.

9. DROOGSNELHEIDSVERLOOP IN EEN TEGENSTROOM-TUNNELDROGER.

Uit oriënterende berekeningen van de warmteverliezen in tegenstroom-tunneldrogers blijkt, dat droogprocessen hierin bij benadering adiabatisch verlopen, indien aan de warmte-isolatie en lekdichtheid van de installatie voldoende zorg wordt besteed en indien men veronderstelt, dat de vormelingen met een temperatuur gelijk aan de natteboltemperatuur van de afgewerkte lucht de droogtunnel binnengaan.

Uit het Mollierdiagram voor vochtige lucht (figuur 2) kan voor zo'n adiabatisch verlopend droogproces op natteboltemperatuurniveaus tussen 34 en 40 °C, bij verzadiging van de drooglucht tot een uit energetische overwegingen aanvaardbaar psychrometrisch temperatuurverschil van 3,5 °C (relatieve vochtigheid 0,8) de volgende nauwkeurige vuistregel worden afgeleid.

$$\Delta\theta = 3,50 + 2300 \Delta x + 5500 \Delta x^2 \quad (3a)$$

of:
$$\Delta x = 0,009091 \sqrt{521,3 + 2,2\Delta\theta} - 0,209091 \quad (3b)$$

Hierin is:

$\Delta\theta$: psychrometrisch temperatuurverschil van de drooglucht [°C]

Δx : resterende wateropnamecapaciteit van de drooglucht tot een relatieve vochtigheid van 0,8 in kg water per kg droge lucht [kg/kg]

Een wat ruwere benadering is:

$$\Delta\theta = 3,50 + 2360 \Delta x \quad (3c)$$

In tegenstroomtunneldrooginrichtingen is de wateropname van de drooglucht Δx , gerekend vanaf elke plaats in de tunnel tot aan de luchtuitlaat, recht evenredig met de afname van het watergehalte ΔW van de vormelingen in procenten (m/m_d) tot die plaats.

$$\Delta x = K \Delta W \quad (4)$$

De formules 3 en 4 samen bepalen het verloop van het psychrometrisch temperatuurverschil met de watergehalteafname van de vormelingen. De factor K kan berekend worden uit de te specificeren begin- en eindcondities van de lucht en de te specificeren begin- en eindwatergehalten van de vormelingen.

Aan de hand van de formules 2, 3 en 4 en figuur 1 kan vervolgens, voor een eveneens te specificeren luchtsnelheid, het verloop van droogsnelheid en het psychrometrisch temperatuurverschil met het watergehalte en de tijd worden berekend.

Uit dergelijke berekeningen, waarbij als eindwatergehalte 2 % werd gekozen, blijkt, dat bij droging van zowel WF-vormelingen als DF-vormelingen vervaardigd uit de vier gekozen kleitypen, de droogsnelheid steeds bij een watergehalte van 14 à 15 % een piekwaarde vertoont. Het tijdstip, waarop de piekwaarde optreedt, blijkt zich, gerekend vanaf het begintijdstip van het droogproces, in het algemeen op 50 tot 54 % van de totale droogtijd voor te doen, ongeveer halverwege de droogtunnel dus.

In de figuur 3 en 4 vindt men, voor een willekeurig gekozen droogproces van waalformaatvormelingen uit klei met een specifiek oppervlak van $55 \text{ m}^2/\text{g}$, het verloop van de droogsnelheid en het verloop van het temperatuurverschil van de drooglucht met respectievelijk het watergehalte en de droogtijd van de vormelingen.

De naar watergehalte, tijd en plaats globaal gesitueerde piekwaarde van de droogsnelheid is in tweeërlei opzicht een belangrijke parameter van het droogproces in tegenstroomtunneldrogers.

In de eerste plaats mag deze namelijk niet hoger uitvallen dan de in tabel 3 vermelde maximale droogsnelheid bij het betreffende watergehalte. Aangezien de luchtsnelheidsinvloed tot een watergehalte van 14 à 15 % ten naaste bij nog overeenkomstig formule 2 zal zijn, mogen de berekende waarden van de piekdroogsnelheid nog redelijk betrouwbaar geacht worden.

In de tweede plaats blijkt uit berekeningen, dat de totale droogtijd van vormelingen met een gegeven beginwatergehalte nagenoeg geheel wordt bepaald door deze piekdroogsnelheid. Met name blijkt de invloed van de keuze van de luchtsnelheid V_0 op de relatie tussen piekdroogsnelheid en droogtijd gering te zijn, wanneer althans de afnemende invloed van de luchtsnelheid op de droogsnelheid in de laatste droogfase, zoals toegelicht in hoofdstuk 8 voorlopig buiten beschouwing wordt gelaten.

De bedoelde relatie is voor de uit vier kleien vervaardigde WF- en DF-vormelingen bij een luchtsnelheid V_0 van 1 m/s in de figuren 5 en 6 aangegeven in het eerste kwadrant.

10. INLAATCONDITIES VAN DE LUCHT.

De uit de formules 2, 3 en 4 en figuur 1 te berekenen relatie tussen het psychrometrisch temperatuurverschil $\Delta\theta_i$ van de inlaatlucht van de droger en de piekdroogsnelheid, is in het tweede kwadrant van de figuren 5A, B, C en D en 6A, B, C en D voor de vier kleitypen en voor een ruim veld van luchtsnelheden, variërend van 0,6 tot 1,8 m/s, grafisch uitgezet.

Het psychrometrisch temperatuurverschil $\Delta\theta_i$ van de inlaatlucht is daarbij niet hoger gekozen dan 60 °C.

De reden hiervoor is onder meer gelegen in de ontwerpeis, dat de tunneldroger naar keuze op een natteboltemperatuurniveau tussen 34 en 40 °C moet kunnen werken.

Een hoger psychrometrisch temperatuurverschil van de inlaatlucht dan 60 °C zou, bij een adiabatisch droogproces op een nattebolniveau van 34 °C, een niet onder alle omstandigheden haalbaar laag watergehalte van de verse inlaatlucht vereisen (figuur 2).

11. PRODUCTIECAPACITEIT PER TUNNELSPOOR.

De verdampingscapaciteit per tunnelspoor wordt bepaald door de wateropname per kg droge lucht, Δx en het aantal kg droge lucht, dat per tijdseenheid en per tunnelspoor wordt toe- en afgevoerd.

In het onderhavige geval is de wateropname per kg droge lucht, Δx , volgens formule 3a, gerelateerd aan het psychrometrisch temperatuurverschil, $\Delta \theta_i$ van de aan de tunnel toegevoerde drooglucht.

Het aantal kg droge lucht dat per spoor en per uur toe- en afgevoerd wordt laat zich berekenen uit:

$$G = \frac{3600 V_o A \rho}{(1 + x_u)} \quad (5)$$

Hierin is:

G :	toe- en afgevoerd aantal kg droge lucht per spoor en per uur	[kg/h]
V _o :	luchtsnelheid in de ledige tunneldoorsnede nabij de luchtuitlaat	[m/s]
A :	oppervlak van de tunneldoorsnede per spoor	[m ²]
ρ :	dichtheid van de drooglucht nabij de uitlaat	[kg/m ³]
X _u :	watergehalte van de uitlaatlucht in kg waterdamp per kg droge lucht	[kg/kg]

Tabel 4 geeft een overzicht van de droogluchtdebieten voor luchtsnelheden V_o van 0,6 tot 1,8 m/s, een doorsnede A van 10 m², een watergehalte van de uitlaatlucht X_u van 0,0472 kg/kg (nattebolniveau 40 °C) en een dichtheid ρ van de uitlaatlucht van 1,085 kg/m³.

Tabel 4. Toe- en afgevoerde kg droge lucht per uur per tunnelspoor.

Vo [m/s]	G (per spoor) [kg/h]	Vo [m/s]	G (per spoor) [kg/h]	Vo [m/s]	G (per spoor) [kg/h]
0,6	22380	1,1	41029	1,5	55949
0,7	26110	1,2	44759	1,6	59679
0,8	29840	1,3	48489	1,7	63409
0,9	33570	1,4	52219	1,8	67139
1,0	37300				

De per drooglorrie, dat wil zeggen, de per 2720 vormelingen te verdampen hoeveelheid water, kan ontleend worden aan de gegevens in tabel 1. De uitkomsten zijn in tabel 5 gerangschikt.

Tabel 5. Per drooglorrie te verdampen water in kg.

water- gehalte Wi [%]	WF-vormelingen	DF-vormelingen
30	1528,6	1985,6
28	1409,0	1833,3
26	1294,7	1681,0
24	1177,8	1531,4

Aan de hand van vorenstaand vermelde gegevens werd in de figuren 5A, B, C, D en 6A, B, C, D, in het derde kwadrant, voor WF- en DF-vormelingen met watergehalten van 30, 28, 26 en 24 % en voor luchtsnelheden Vo, variërend van 0,6 tot 1,8 m/s, de relatie tussen het psychrometrisch temperatuurverschil van de inlaatlucht $\Delta\theta_i$ en de productiecapaciteit van één tunnel^{spoor}~~droger~~ P, in drooglorries per uur, grafisch uitgezet.

Tevens zijn in het derde kwadrant een aantal lijnen van constante piekdroogsnelheid I_p getekend, die aan de grafiek in het tweede kwadrant werden ontleend.

12. AANTAL DROOGLORRIES PER TUNNELSPOOR.

Voor de betrekking tussen het aantal drooglorries N , dat per spoor in een droogtunnel aanwezig is, de produktiecapaciteit P per tunnelspoor, in drooglorries per uur, en de droogtijd T in uren, geldt:

$$P T = N \quad (6)$$

De relatie is in het vierde kwadrant van de figuren 5A, B, C, D, en 6A, B, C, D weergegeven voor waarden van N variërend van 10 tot 18 drooglorries per spoor.

Op de P -as van de diagrammen is tevens (tussen haakjes) het aantal *dubbelsporig* tunnel~~en~~ S aangegeven, dat nodig is om overeenkomstig tabel 2 een totale produktiecapaciteit te bereiken van respectievelijk 525 drooglorries met WF-vormelingen per week of 404 drooglorries met DF-vormelingen per week.

Met minder dan 10 drooglorries per tunnelspoor zou de tunnellenge, gezien de hoogte ervan, om stromingstechnische redenen te kort uitvallen. Meer dan 18 drooglorries per tunnel zijn op grond van de aanwezige mogelijkheden van warmte- en stofoverdracht niet zinvol.

De keuze van het aantal drooglorries per tunnel is niet vrij, doch hangt af van de operationele mogelijkheden, die de coördinaten van een bepaalde keuze van N en S in de andere kwadranten van de figuren 5A, B, C, D of 6A, B, C, D bieden. Hierbij zij opgemerkt, dat alleen even getalwaarden van het aantal sporen S in aanmerking komen, aangezien, zoals aangegeven in hoofdstuk 5, ter besparing op investeringen, dubbelsporige tunnels voorzien zijn.

Een extra beperking in de keuze van het aantal drooglorries per spoor vloeit voort uit de ontwerpeis, dat die keuze zowel voor waalformaat- als voor dikformaatvormelingen passend dient te zijn en bovendien geschikt moet zijn voor de verwerking van kleien van uiteenlopende samenstelling. Verschillen in grootte van de installatie voor een gegeven produktie-

capaciteit komen op deze wijze alleen tot uitdrukking in het aantal parallel gegroepeerde tunnels.

De tabellen 6A t/m 6G geven voor de geplande drogerijproductie naar effectief aantal drooglorries per spoor (N) gerangschikte overzichten van een aantal operationele mogelijkheden.

De letters K of W achter de getalwaarden van het specifiek oppervlak S_s van de klei geven aan, dat de grondstof koud respectievelijk warm is verwerkt.

De lettercombinaties WF en DF hebben betrekking op waalformaat- respectievelijk dikformaatvormbakvormelingen.

I_p = piekwaarde van de droogsnelheid [g/h]

S = aantal dubbelsporige tunnels, dat nodig is voor een productie, die, wat tonnage betreft, overeenkomt met een productie van 1.428.000 WF per week [-]

T = effectieve droogtijd [h]

V_o = luchtsnelheid in ledige tunneldoorsnede [m/s]

$\Delta\theta_i$ = psychrometrisch temperatuurverschil aan de lucht-inlaatzijde van de droger [°C]

W_i = vormgevingswatergehalte [%] (m/md)

Tabel 6A. Operationele mogelijkheden bij 10 drooglorries per spoor.

S_s [m ² /g]	WF/DF	W_i [%]	I_p [g/h]	T [h]	V_o [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
75 W	DF	30	25,6	50,0	1,45	21	6
75 W	DF	30	31,8!	41,2	1,09	31,5	5
65 K	DF	28	38,8	41,2	1,04	31	5
65 K	DF	28	23,0	50,0	1,40	20	6
65 W	DF	28	36,4	33,2	0,85	45,5	4

Tabel 6B. Operationele mogelijkheden bij 11 drooglorries per spoor.

Ss [m ² /g]	WF/DF	Wi [%]	Ip [g/h]	T [h]	Vo [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
75 W	DF	30	28,5	45,5	1,80	20	5
75 K	WF	30	23,5	42,3	1,02	28	6
75 W	WF	30	29,2	35,2	0,78	42,5	5
65 K	DF	28	25,7	45,6	1,70	20	5
65 K	WF	28	26,3	35,2	0,90	35	5
65 W	DF	28	33,0	36,3	1,12	35	4
65 W	WF	28	34,2	28,0	0,70	54	4
55 K	DF	26	40,2	27,2	0,85	55	3
55 K	WF	26	30,4	28,0	0,64	54	4
45 K	DF	24	35,8	27,2	0,74	57	3
45 K	WF	24	26,8	28,0	0,63	52	4

Tabel 6C. Operationele mogelijkheden bij 12 drooglorries per spoor.

Ss [m ² /g]	WF/DF	Wi [%]	Ip [g/h]	T [h]	Vo [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
65 W	DF	28	29,8	40,0	1,85	22,5	4
55 K	DF	26	36,3	30,0	1,12	42	3
45 K	DF	24	32,2	30,0	1,00	43	3

Tabel 6D. Operationele mogelijkheden bij 13 drooglorries per spoor.

Ss [m ² /g]	WF/DF	Wi [%]	Ip [g/h]	T [h]	Vo [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
75 W	WF	30	31,5	33,0	1,20	35,5	4
65 W	DF	28	37,6	32,2	1,80	29,5	3
65 K	WF	28	28,2	33,2	1,16	34	4
65 W	WF	28	39,0	25,0	0,92	55,5	3
55 K	DF	26	33,8	32,2	1,54	33,5	3
55 K	WF	26	35,0	24,8	0,83	56	3
45 K	DF	24	30,0	32,2	1,32	33,5	3
45 K	WF	24	30,4	25,0	0,79	54,5	3

Tabel 6E. Operationele mogelijkheden bij 14 drooglorries per spoor.

Ss [m ² /g]	WF/DF	Wi [%]	Ip [g/h]	T [h]	Vo [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
55 K	WF	26	31,8	26,8	0,68	61,5	3
45 K	DF	24	42,0	23,2	1,30	49,5	2

Tabel 6F. Operationele mogelijkheden bij 15 drooglorries per spoor.

Ss [m ² /g]	WF/DF	Wi [%]	Ip [g/h]	T [h]	Vo [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
55 K	WF	26	29,4	28,7	0,83	51,5	3
45 K	DF	24	39,0	25,0	1,70	38	2
45 K	WF	24	26,0	28,7	1,20	32,5	3

Tabel 6G. Operationele mogelijkheden bij 16, 17 en 18 drooglorries per spoor.

Ss [m ² /g]	WF/DF	Wi [%]	Ip [g/h]	T [h]	Vo [m/s]	$\Delta\theta_i$ [°C]	S [-]
<u>16 lorries/spoor:</u>							
45 K	WF	24	38	20,4	1,05	60,5	2
<u>17 lorries/spoor:</u>							
45 K	WF	24	35,8	21,6	1,29	50,5	2
<u>18 lorries/spoor:</u>							
55 K	WF	26	38	23,0	1,00	56,0	2

De conclusies, die uit vorenstaand tabellarisch overzicht kunnen worden getrokken kunnen als volgt worden samengevat:

- a. De grootste flexibiliteit bezitten tunnels met 11 en 13 drooglorries per spoor. Rekening houdend met de beperkte nauwkeurigheid van de berekeningswijze komt de keuze van een standaard droogtunnellengte, die plaats biedt aan 13 drooglorries per spoor het meest in aanmerking. Opgemerkt zij, dat in deze lengte de ruimte nodig voor een condensaatvrije opwarming van de vormelingen tot het gewenste natteboltemperatuurniveau niet is begrepen.
- b. Voor kleien met zeer gunstige droogeigenschappen, bijvoorbeeld die met een specifiek oppervlak gelijk of kleiner dan 45 m²/g, zijn droogtunnels met 15 tot 17 drooglorries per spoor toepasbaar. Men kiese in dat geval bij voorkeur een lengte, die plaats biedt aan 17 drooglorries per spoor.

13. TOEPASBAARHEID VAN EEN EENVOUDIGE TEGENSTROOMTUNNELDROGER.

Uit de diagrammen in de figuren 5A, B, C, D en 6A, B, C, D kan voorts afgeleid worden, dat de toepasbaarheidsgrens van een eenvoudige tegenstroomtunneldroger voor vormbakvormelingen in waalformaat en dikformaat ligt bij een specifiek oppervlak van de verwerkte klei van ongeveer $75 \text{ m}^2/\text{g}$ en een vormgevingswatergehalte van 30 %.

Bij een verwerking van vettere kleien zou een in stromingstechnisch opzicht te korte tunnellenlengte gekozen dienen te worden of zou met een weinig effectief laag psychrometrisch temperatuursverschil $\Delta\theta_i$ van de inlaatlucht moeten worden gewerkt ($<20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Voor dikformaatvormelingen geldt bovendien, dat bij gebruik van een klei met een specifiek oppervlak van $75 \text{ m}^2/\text{g}$ een warme verwerking van de klei absoluut noodzakelijk is voor een succesvolle toepassing van een eenvoudig type tegenstroomtunneldroger.

In het algemeen geldt overigens, dat een warme vormgeving bij een specifiek oppervlak gelijk aan of groter dan $65 \text{ m}^2/\text{g}$ ten sterkste moet worden aanbevolen.

Bij verwerking van kleien met een hoger specifiek oppervlak dan $75 \text{ m}^2/\text{g}$ moet de toepassing van een eenvoudige tunneldroger worden ontraden en biedt bijvoorbeeld een kamerdroger een veiliger oplossing.

14. LUCHTVERBRUIK VAN DE DROGER.

Het specifiek luchtverbruik van de tegenstroomtunneldroger wordt bepaald door de uitlaatcondities van de lucht en door het watergehalte van de vers aangevoerde verwarmde drooglucht.

Laatstgenoemd watergehalte is seizoenafhankelijk en wordt, in het geval van een aanvullende verhitting van de lucht met aardgas, mede door de hoeveelheid bij de aardgasverbranding ontstane waterdamp beïnvloed.

Aanbevelingen voor een standaard industrieel binnenklimaat zijn opgenomen in tabel 7.

Voor de toename van het watergehalte van de lucht door bijstook met aardgas rekent men in de baksteenindustrie, indien nadere gegevens betreffende die bijstook vooralsnog ontbreken, bijvoorbeeld 0,002 kg H₂O per kg droge lucht.

Tabel 7. Standaard industrieel binnenklimaat.

luchtcondities	eenheid	januari - april	mei - augustus	september - december	jaar- ge- middelde
temperatuur	°C	12	18	15	15
watergehalte per kg droge lucht	kg/kg	0,004	0,008	0,006	0,006
euthalpie per kg droge lucht	kJ/kg	22	38	30	30
dichtheid	kg/m ³	1,235	1,210	1,220	1,220

Voor de eindcondities van de drooglucht na een adiabatisch verloopend droogproces kieze men, afhankelijk van het geprojecteerde natteboltemperatuurniveau, bijvoorbeeld de in tabel 8 vermelde, aan het Mollier-diagram voor vochtige lucht ontleende gegevens.

Tabel 8. Alternatieve condities van de afgewerkte lucht.

luchtcondities	eenheid	natteboltemperatuurniveau			
		40 °C	38 °C	36 °C	34 °C
droge boltemperatuur	°C	43,5	41,5	39,5	37,5
relatieve vochtigheid	-	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
watergehalte per kg droge lucht	kg/kg	0,0472	0,0420	0,0372	0,0330
euthalpie per kg droge lucht	kJ/kg	165,0	150,0	136,0	122,5
dichtheid	kg/m ³	1,085	1,094	1,105	1,116

Voor een preferent natteboltemperatuurniveau van 40 °C en een bijstookaandeel in het watergehalte van de verse lucht van 0,002 kg/kg bedraagt het specifiek luchtverbruik in kg droge lucht per kg verdampt water:

- per jaar, gemiddeld: 25,5 kg/kg
- van januari tot en met april, gemiddeld: 24,3 kg/kg
- van mei tot en met augustus, gemiddeld: 26,9 kg/kg
- van september tot en met december, gemiddeld: 25,5 kg/kg

Vermenigvuldiging van deze waarden met de in de concrete situatie per uur te verdampen hoeveelheid water (tabel 2) levert het uurverbruik aan verse lucht op voor droogprocessen op een nattebolniveau van 40 °C.

Door menging van de verse hete lucht met retourgevoerde afgewerkte lucht wordt de gewenste veilige inlaattemperatuur op het gewenste nattebolniveau ingesteld.

Het circa één meter hoge retourkanaal is direkt boven de tunnels gelegen. Ter vermindering van condensatie van waterdamp in het retourkanaal wordt het plafond van de droogtunnels slechts matig geïsoleerd.

De produktuitgangen van de tunnels zijn voorzien van deuren.

De bij voorkeur met centrifugaalventilatoren plaatsvindende warme luchttoevoer aan de produktuitgangen van de tunnels is stromingstechnisch zodanig ontworpen, dat enerzijds een redelijk gelijkmatige luchtverdeling over de tunneldoorsnede plaatsvindt en dat anderzijds, bij het openen van de deuren, een te sterke uitstoot van warme lucht wordt voorkomen. Uit hier buiten beschouwing blijvende aanvullende berekeningen van de drukverliezen in het systeem zal blijken, in hoeverre de plaatsing van axiaalventilatoren in de afvoer van de afgewerkte lucht, ter verlaging van het drukk niveau aan de toevoerszijde van de lucht, aanbeveling verdient.

15. EGALISATIE VAN DE DROOGCONDITIES IN VERTIKALE DWARSDOORSNEDEN VAN DE TUNNELS.

Uit de tabellen 6A tot en met 6G en de in hoofdstuk 5 vermelde gegevens over de ruimtelijke rangschikking van de vormelingen valt af te leiden, dat het getal van Reynolds van de luchtstroming in de charge van de droogtunnels, afhankelijk van het droogregime en het type vormelingen, zal variëren van ongeveer 12500 tot 36000.

De stroming in de charge is derhalve vol-turbulent.

Dat neemt echter niet weg, dat zich, zoals ook de praktijk uitwijst, in de hoofdstroom, op zijn weg naar de produktingang van de tunnel, in de hoogterichting een temperatuurgradiënt en een snelheidsgradiënt zal ontwikkelen.

Zonder passende tegenmaatregelen zal de droogkracht van de lucht boven in de charge daardoor gemiddeld groter zijn dan in het ondergedeelte.

Zoals in hoofdstuk 2 reeds werd aangestipt, bieden langs de zijwanden van de tunnels omhoog gerichte stralen vochtige lucht, vanwege hun inducerende werking, wellicht een oplossing voor het probleem.

De "jets" dienen bij voorkeur in nissen in beide zijwanden telkens ter plaatse van bijvoorbeeld de eerste tien spleten tussen de lorriecharges (gerekend van de produktingang af) te worden gemonteerd. De jets zorgen voor een de droogcondities egaliserende luchtcirculatie, zonder dat de luchtstralen de vormelingen direkt aanblazen en vormzand doen opwaaien.

In figuur 7 zijn de berekeningsgrondslagen voor eenzijdig aanliggende luchtstralen vermeld, terwijl tevens de beoogde capaciteit en uitvoeringswijze van de jets schetsmatig zijn aangegeven. De jets worden gevoed met een mengsel van vochtige retourlucht en verse hete lucht. Per tunnel zorgt één centrifugaalventilator voor de toevoer aan 20 jets.

16. OPWARMING VAN DE VORMELINGEN.

In hoofdstuk 2 werd gewezen op het belang van een opwarming van de vormelingen zonder dat daarbij schade veroorzakend condensaat op het verse produkt neerslaat. Als oplossing wordt een naast de droogtunnels gesitueerde speciaal geconditioneerde opwarmtunnel voorgesteld.

Hierbij wordt gedacht aan een enkelsporige tunnel van dezelfde lengte als de droogtunnels (13 drooglorries), waarin in 12 secties overdwars een van lorrie tot lorrie van richting wisselende horizontale circulatiestroming wordt onderhouden.

Aan beide zijden van de trein met lorries bevindt zich een in 12 toegankelijke compartimenten verdeelde gang. De luchttoevoer aan de charge geschiedt hierin via horizontale spleten ter hoogte van de vrije ruimte tussen de etages.

De dwarscirculatie wordt bewerkstelligd door 12 axiaalventilatoren, die in bovenliggende omloopkanalen zijn gemonteerd. De warmtetoevoer vindt plaats door middel van gasbranders met instelbare capaciteit en gas/-luchtverhouding.

De opwarmtunnel is aan de produktingang afgesloten met een deur en staat aan de andere zijde via een traverse in open verbinding met de ingangen van de droogtunnels.

17. CONDITIONERING VAN DE DROGER.

Voor een gegeven soort vormelingen, een gegeven grondstofsamenstelling en een gegeven produktietempo komt het veilige en in energetisch opzicht efficiënte droogregime in tegenstroomtunneldrogers in hoofdzaak tot stand door een tijd-onafhankelijke instelling en handhaving van de juiste druk, het juiste debiet, de juiste temperatuur en het gewenste natteboltemperatuurniveau van de lucht, die aan de produktuitgang de tunnels binnenstroomt.

Voor de controle op de druk en het debiet van de verse hete lucht kunnen druk- en drukverschilmetingen worden gebruikt. De regeling kan met jalouziekleppen geschieden.

De gewenste natteboltemperatuur van de drooglucht wordt in hoofdzaak bepaald door de temperatuur van de verse hete lucht en kan ingesteld worden door terugkoppeling van de meetwaarde naar de bijstookinrichting. Het aandeel van de retourlucht in het totale luchtdebiet bepaalt de luchttemperatuur aan de produktuitgang van de droger en kan via een meting van het psychrometrisch temperatuurverschil halverwege de tunnels, door middel van jalouziekleppen worden geregeld.

De afstelling van de bedrijfscondities van de egalisatie-jets kan eenmalig aan de hand van een controle op de temperatuur en de werkdruk, plaatsvinden.

Ook de juiste afstelling van de capaciteit en luchtvermaat van de branders in de opwarmtunnel kan eventueel met de hand geschieden. Door signalering van de temperatuur en luchtvochtigheid in de opeenvolgende secties zal in het algemeen voldoende controle op het gewenste resultaat uitgeoefend kunnen worden.

Voor een vlotte afstelling van de gewenste droogcondities zijn aanwijzende instrumenten voor de meting van de drogebol- en natteboltemperatuur in de afgewerkte lucht en vooral ook op een meetplaats halverwege de tunnellen, waar de piekdroogsnelheid optreedt, onmisbaar.

Uiteraard verdient het voorts aanbeveling de installatie op verschillende punten van potentiële meetplaatsen te voorzien.

In de appendix van dit rapport is een voorlopig, verder te optimaliseren en nader uit te werken processchema opgenomen.

18. ENERGIEGEBRUIK.

Aan de hand van een in de appendix van deze studie opgenomen schetsontwerp van een tegenstroomtunneldrooginrichting met een weekproduktie van 1.428.000 vormbakmettselsteenvormelingen per week in waalformaat, vervaardigd uit warmverwerkte klei met een specifiek oppervlak van $75 \text{ m}^2/\text{g}$, werd een berekening gemaakt van het te verwachten energieverbruik van zo'n installatie.

Voor het natteboltemperatuurniveau werd $40 \text{ }^\circ\text{C}$ gekozen.

De resultaten zijn in het warmtestroomdiagram van figuur 8 weergegeven. Boven het in hoofdstuk 14, tabel 7 gespecificeerde standaard-jaargemiddelde van het warmteniveau van het industrieel binnenklimaat blijkt het warmteverbruik voor het opwarmen en drogen van de vormelingen tot een restwatergehalte van 2 % slechts circa 3590 kJ of circa 860 kcal per kg verdampt water te bedragen.

Ten opzichte van het huidige verbruiksniveau in de Nederlandse baksteenindustrie is de bovenvermelde waarde, dankzij het hoge natteboltemperatuurniveau, de goede verzadiging van de lucht en de doeltreffende isolatie van de inrichting, uitzonderlijk laag.

De benodigde verdampingswarmte blijkt 67 % van het totale warmteverbruik te bedragen.

Opgemerkt zij, dat een aanzienlijk deel van het genoemde totale warmteverbruik in de praktijk zal worden gedekt door de afvalwarmte van de oven op het fictieve baksteenbedrijf.

Het totale krachtverbruik van de in de inrichting geïnstalleerde ventilatoren wordt geraamd op ongeveer 165 kW per kg verdampt water, hetgeen eveneens gunstig genoemd mag worden.

In figuur 8 zijn de vorenstaand vermelde cijfers per 1000 waalformaatvormelingen weergegeven.

19. BESPREKING VAN DE RESULTATEN EN CONCLUSIES.

1. De studie leidt tot de conclusie, dat de toepasbaarheidsgrens van een eenvoudige uitvoeringsvorm van de tegenstroomtunneldroger voor het drogen van vormbakvormelingen in waalformaat en dikformaat ligt bij een specifiek oppervlak van de verwerkte grondstof van ongeveer $75 \text{ m}^2/\text{g}$. Bij verwerking van kleien met een hoger specifiek oppervlak wordt een veilige instelling van het droogregime moeilijk. Voor het drogen van dikformaatvormelingen uit klei met een specifiek oppervlak van $75 \text{ m}^2/\text{g}$ is een vormgeving met warme klei noodzakelijk. Overigens geldt, dat een warme vormgeving van zowel waalformaat als dikformaatvormelingen uit kleien met een specifiek oppervlak gelijk of groter dan $65 \text{ m}^2/\text{g}$ ter beperking van de droogtijd aanbeveling verdient.

Kleien met een specifiek oppervlak rond $75 \text{ m}^2/\text{g}$ worden in het district "Grote Rivieren" frequent voor de vervaardiging van vormbakstenen toegepast. Daarmee lijkt de toepassing van de tegenstroomtunnel in dit district discutabel.

Het vormbakproces leent zich echter bij uitstek voor de verwerking van schrale kleien en levert in dat geval door de geringere hoeveelheid per vormeling te verdampen water alleen al in energetisch opzicht een aanzienlijk voordeel op.

Bij een op middellange termijn waarschijnlijk te verwachten stijging van de energieprijzen zal het gebruik van vulstoffen ter verschraling van de massa op bedrijven, die thans nog met een klei met een specifiek oppervlak van $75 \text{ m}^2/\text{g}$ werken aantrekkelijk zijn.

De toepassing van een tegenstroomtunneldroger voor vormbakprodukten is dan ook zeker het overwegen waard.

2. Dank zij de resultaten van TNO-speurwerk in de jaren '50 tot '70, kon het lastige probleem van de vaststelling van de optimale lengte van tegenstroomtunneldrogers aan de hand van globale berekeningen worden opgelost.

Voor de als voorbeeld gekozen courante rangschikking van de vormelingen komt een lengte, die plaats biedt aan 13 drooglorries, elk met 8 rijen droogplaten achter elkaar, het meest in aanmerking.

Voor droogprocessen van zeer schrale kleien met een specifiek oppervlak van 45 m²/g of lager blijken tunnels met 17 lorries aantrekkelijk te zijn.

3. Een euvel, dat zich in tegenstroomtunneldrogers nogal eens voordoet, is het ontstaan van schade aan het produkt door de neerslag van waterdamp uit de afgewerkte lucht op de ingereden verse, koude vormelingen.

De oplossing, die voor dit euvel wordt aangedragen, is het voorwarmen van het produkt tot het gewenste natteboltemperatuurniveau van het droogproces in luchtcirculatiecircuits in een naast de droogtunnels gesitueerde opwarmtunnel.

De toepassing van een hogere natteboltemperatuur dan het niveau dat tot nu toe in tegenstroomtunneldrogers gebruikelijk is, wordt daarmee mogelijk, hetgeen in energetisch opzicht bijzonder aantrekkelijk is.

Hierbij zij opgemerkt, dat een hoog natteboltemperatuurniveau niet in alle gevallen toegepast kan worden. Vormelingen, die vervaardigd zijn uit een sterk luchthoudende, zeer schrale kleimassa, boeten bij opwarming, onder meer ten gevolge van de expansie van ingesloten luchtbelletjes, aan sterkte in. Ze worden bros en scheurgevoelig. Een proefondervindelijke toetsing van de toepasbaarheid van een gewenst nattebolniveau is daarom nodig. Een vormgeving met warme klei kan een oplossing bieden.

4. Een ander euvel, dat zich vooral in hoge tegenstroomtunneldrogers kan manifesteren, is het ontstaan van een temperatuurgradiënt en een luchtsnelheidsgradiënt in de hoogterichting van de tunnel. Beide verschijnselen bewerkstelligen een ongewenste ongelijkmatigheid van de droging in de charges.


Voorgesteld wordt, die ongelijkmatigheid te elimineren door gebruik te maken van de inducerende werking van krachtige omhoog gerichte éénzijdig aanliggende luchtstralen (jets), die in nissen in de tunnelzijwanden zijn geprojecteerd.

Een prettige bijkomstigheid van deze oplossing is, dat zich geen storingsgevoelige apparatuur in de tunnel bevindt en dat de bedoelde

luchtstralen, die het produkt niet aanblazen, geen vormzandoverlast veroorzaken.

5. Er werd een schetsontwerp ontwikkeld van een met een opwarmtunnel uitgeruste tegenstroomtunneldrooginrichting voor een capaciteit van 1.428.000 vormbakvormelingen in waalformaat per week.
- Aan de hand van dit schetsontwerp werd een berekening gemaakt van het te verwachten warmte- en krachtverbruik van zo'n installatie.
- Dankzij onder meer de toepassing van een natteboltemperatuurniveau van 40 °C en een goede warmteisolatie van de vloer en de wanden van de tunnels, werd, ten opzichte van het warmteniveau van een standaard industrieel binnenklimaat, een warmteverbruik berekend van 3590 kJ (860 kcal) per kg verdampt water.
- Het krachtverbruik van de ventilatoren van de installatie werd geraamd op ongeveer 165 kW per kg verdampt water.
- Aangezien warmteverbruiken van 1100 kcal per kg verdampt water en krachtverbruiken van 230 kW per kg verdampt water voor de bestaande drooginrichtingen geen uitzondering zijn, mag het energieverbruik van de ontwikkelde installatie uitzonderlijk gunstig genoemd worden.

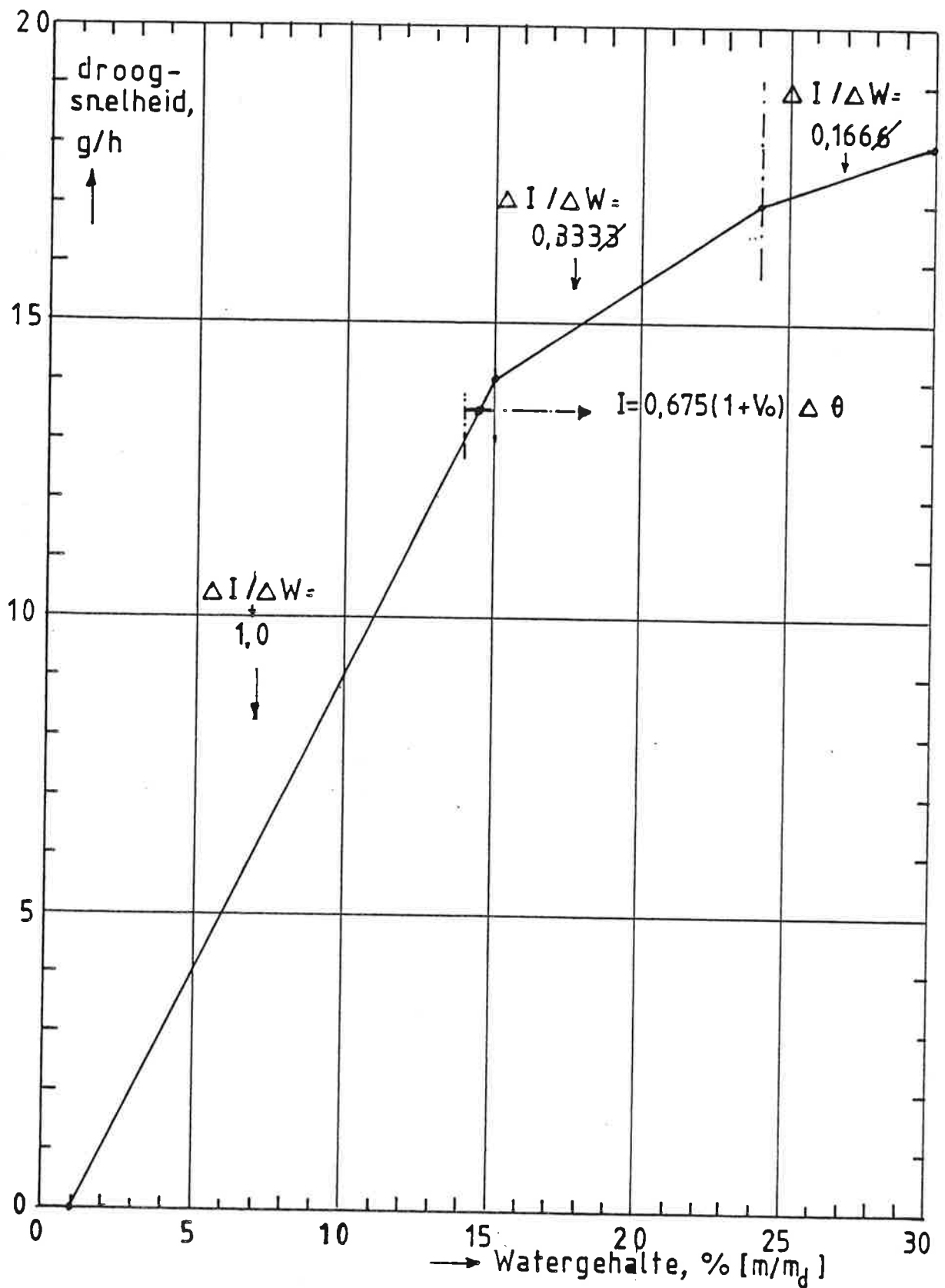
Technisch Fysische Dienst



Ing. J.H. van der Velden

20. LITERATUUROPGAVE.

- [1] Ker. Inst. TNO "Invloed van de ordening van vormelingen op de droogsnelheid"
"Klei" (1961), 9, p. 185-190
- [2] Ker. Inst. TNO "Het kunstmatig drogen van vormelingen van gestoomde klei op laboratoriumschaal"
"Klei" (1954), 12, p. 437-440
- [3] Ker. Inst. TNO "Een experimenteel laboratoriumdroog-
onderzoek van grofkeramische vormelingen"
"Klei" (1956), 3, p. 99-114
- [4] Ker. Inst. TNO "Overzicht van de scheurgevoeligheid van
Nederlandse kleisoorten bij het kunstmatig
drogen"
"Klei" (1955), 5, p. 156-160
- [5] Ker. Inst. TNO "De scheurgevoeligheid van vormelingen van
gestoomde en van koud verwerkte klei bij
een droogproces op een laag temperatuur-
niveau"
- [6] Klugt, L.J.A.R. van der, "Droogtijden van grofkeramische
vormelingen"
"Klei & Keramiek", 1970, p. 114 e.v.
- [7] Amerongen, H. van, en "Samenstelling en eigenschappen van 31
Velden, J.H. van der kleisoorten, delen I en II"
Rapport MT-TNO, 1970 nr. 70-04032
- [8] Ker. Inst. TNO "Bepaling van formaatfactoren van verschil-
lende grofkeramische vormelingen"
"Klei" (1959), 8, p. 205-215

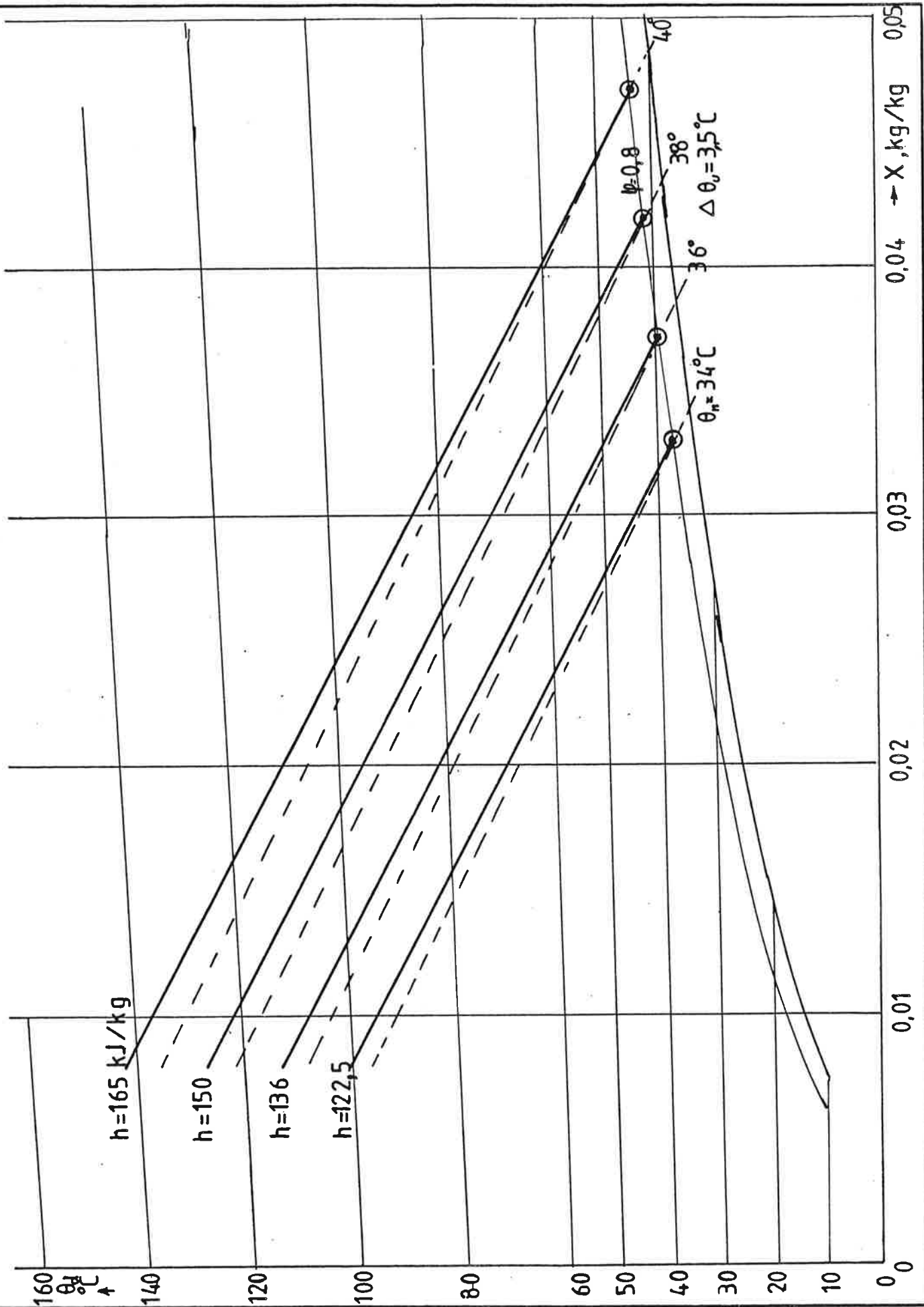


$$I_{df} = 1,17226 I_{wf}$$

GESTILEERD VERLOOP VAN DE DROOGSNELHEID
VAN WF-VORMBAK VORMELINGEN

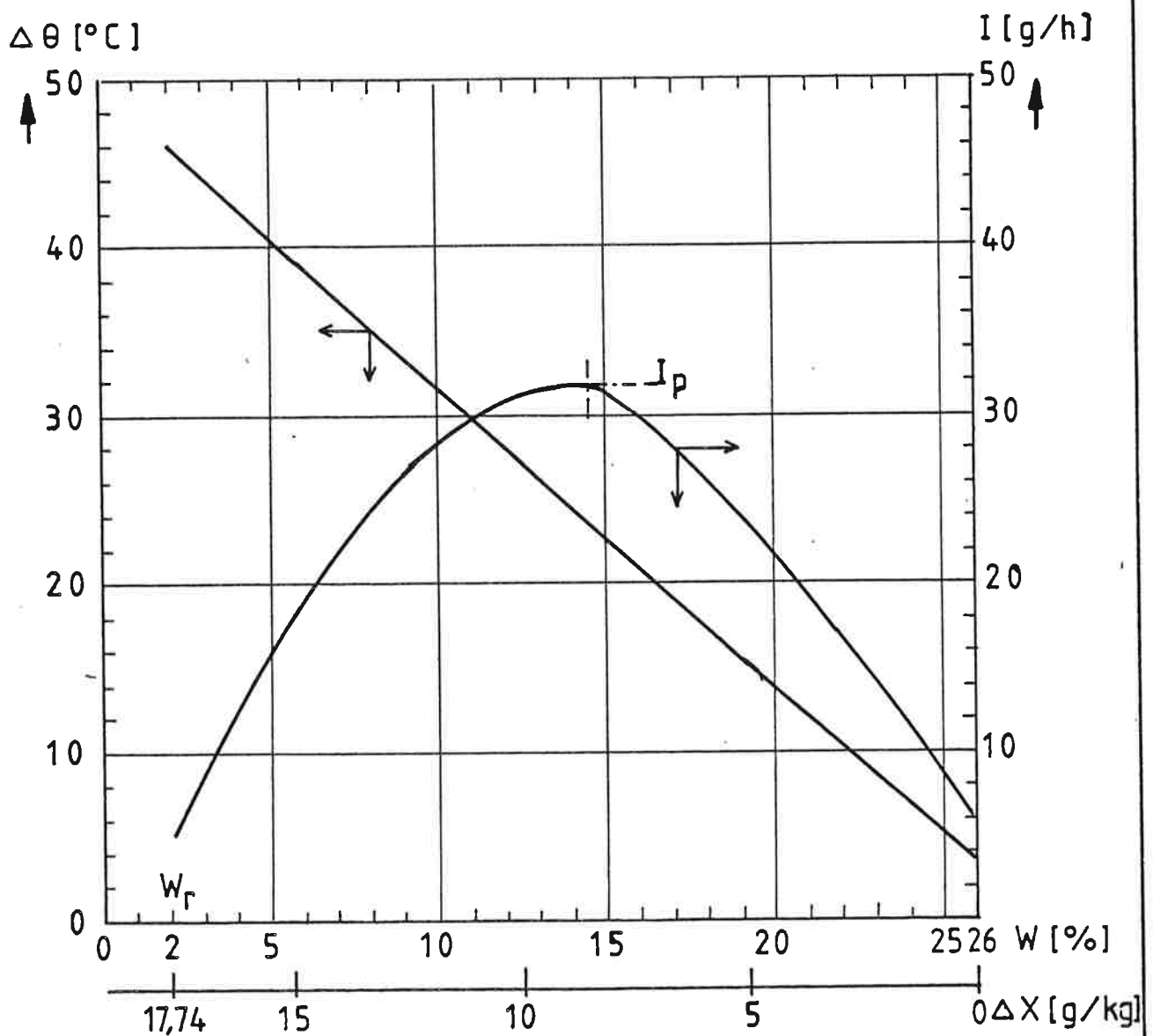
$V_0 = 1 \text{ m/s}$, $\Delta \theta = 10^\circ \text{C}$

FIG. 1



ADIABATISCHE DROOGPROCESSEN
IN MOLLIER-DIAGRAM

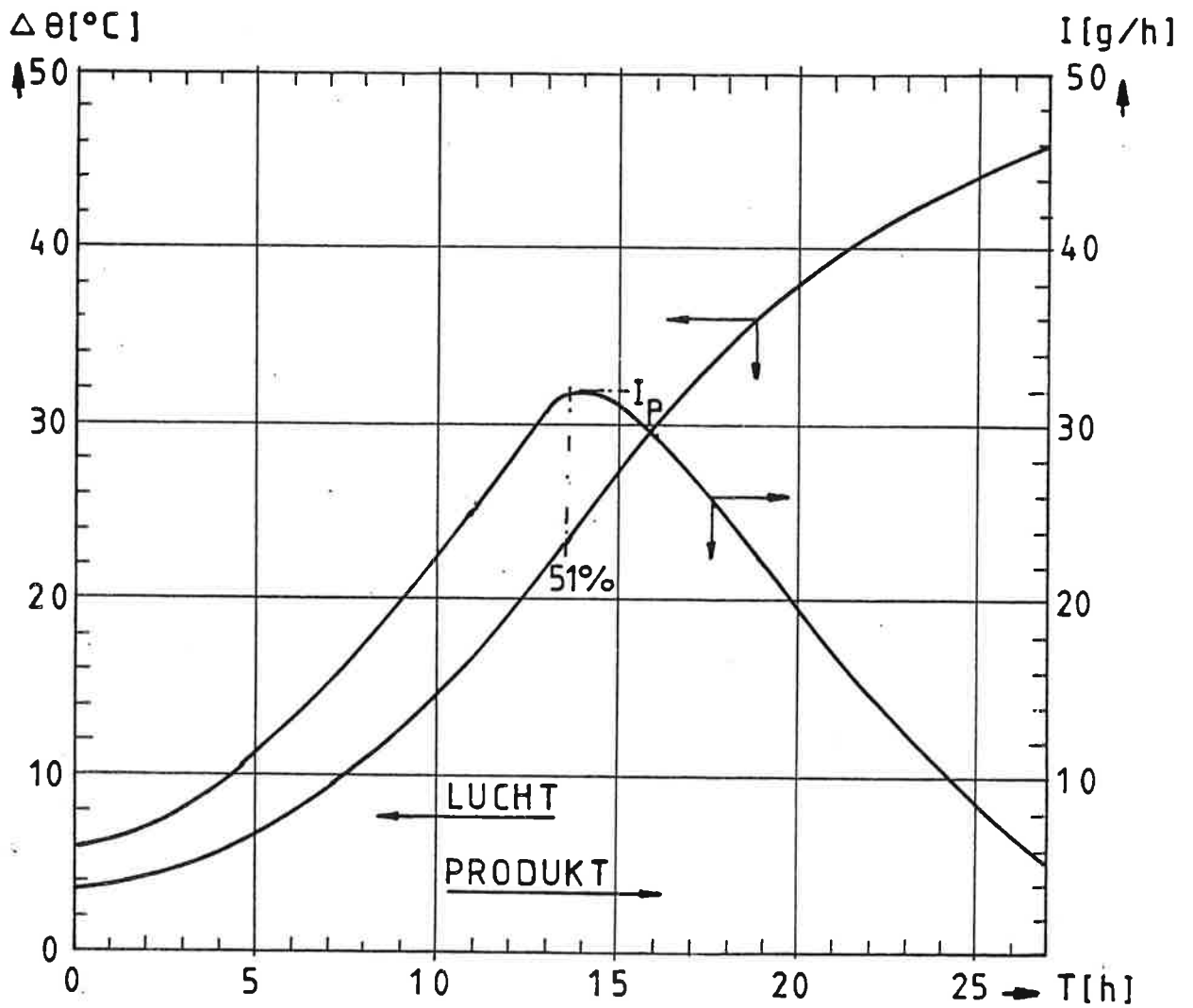
FIG. 2



VOORBEELD VAN HET VERLOOP VAN HET PSYCHROMETRISCH TEMPERATUURVERSCHIL EN DE DROOGSNELHEID MET HET WATERGEHALTE ($V_0 = 1 \text{ m/s}$)

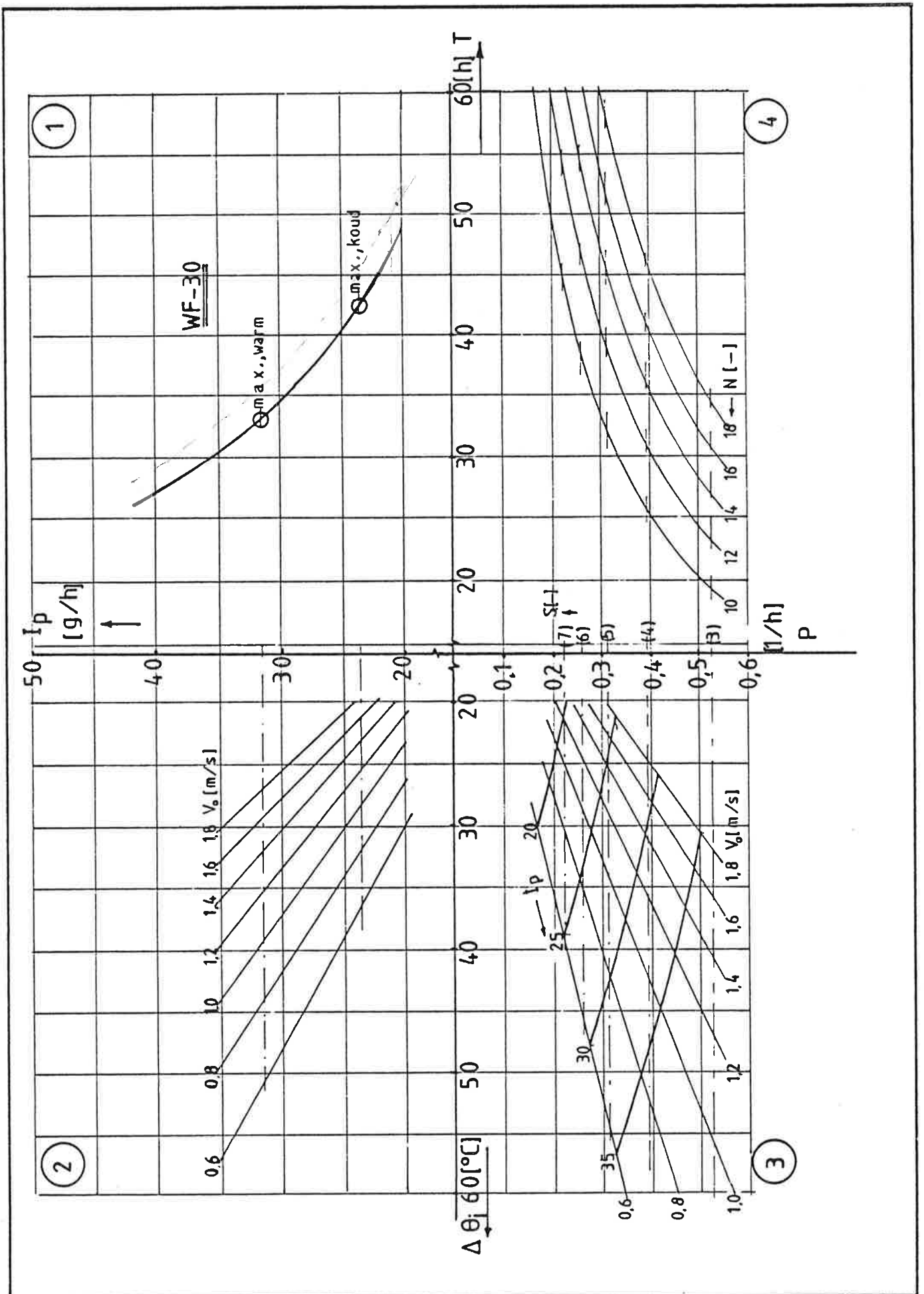
FIG. 3

WF- vormelingen



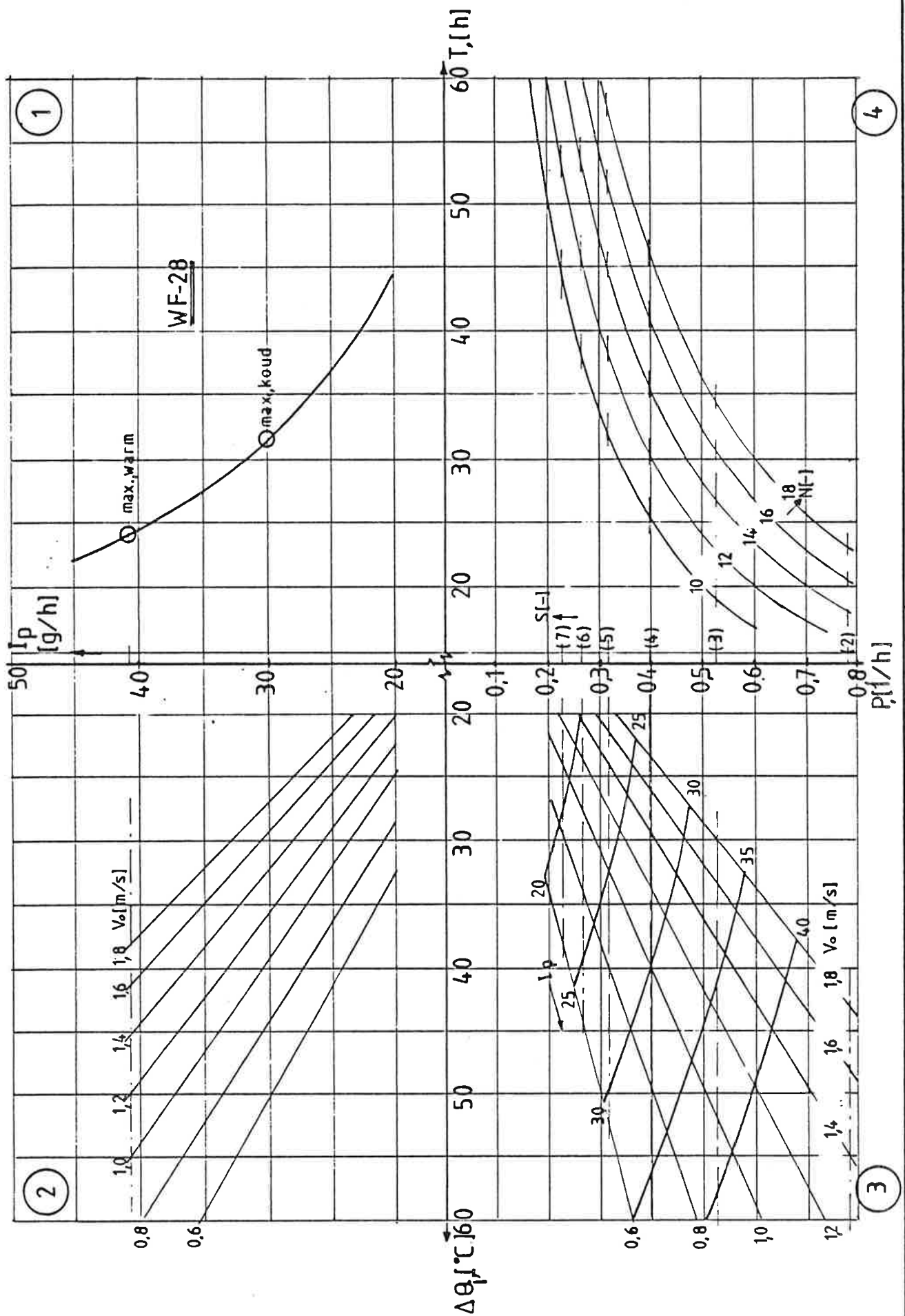
VOORBEELD VAN HET VERLOOP VAN HET PSYCHROMETRISCH TEMPERATUURVERSCHIL EN DE DROOGSNELHEID MET DE DROOGTIJD. ($V_0 = 1$ m/s)

FIG. 4

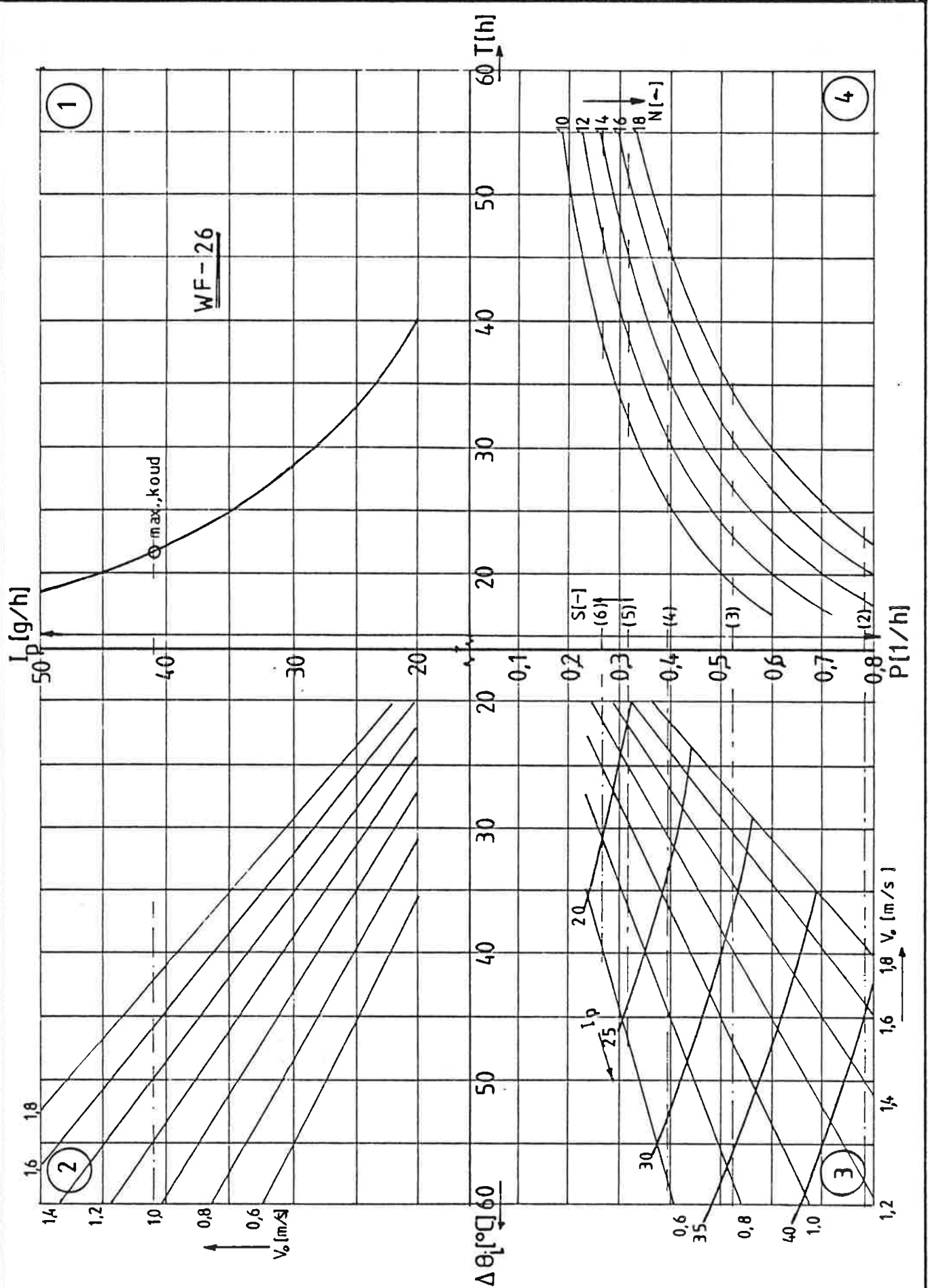


T - I_p - $\Delta\theta_i$ - P - DIAGRAM voor WF-30

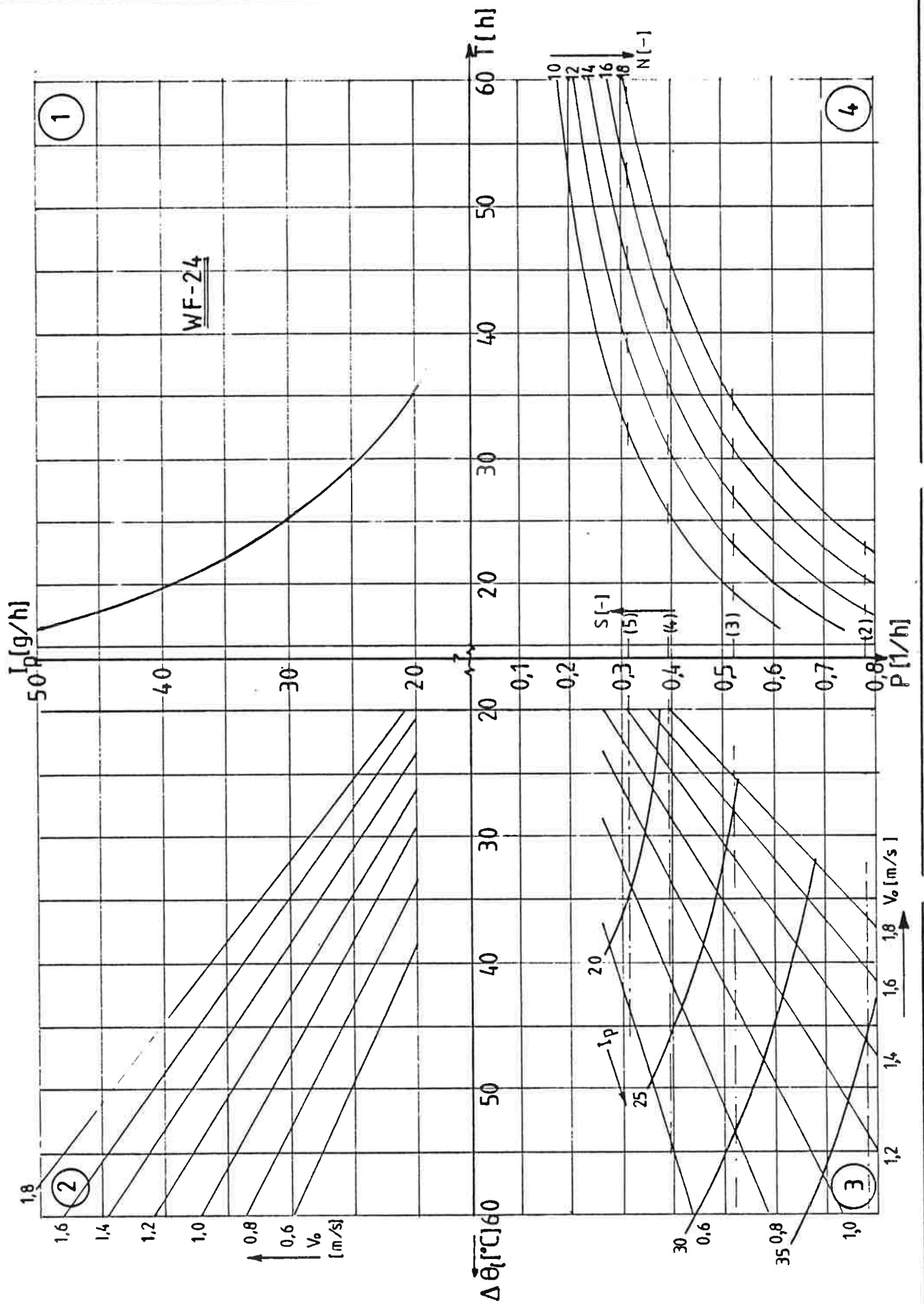
FIG.5A



T - I_p - $\Delta\theta_i$ - P - DIAGRAM voor WF-28

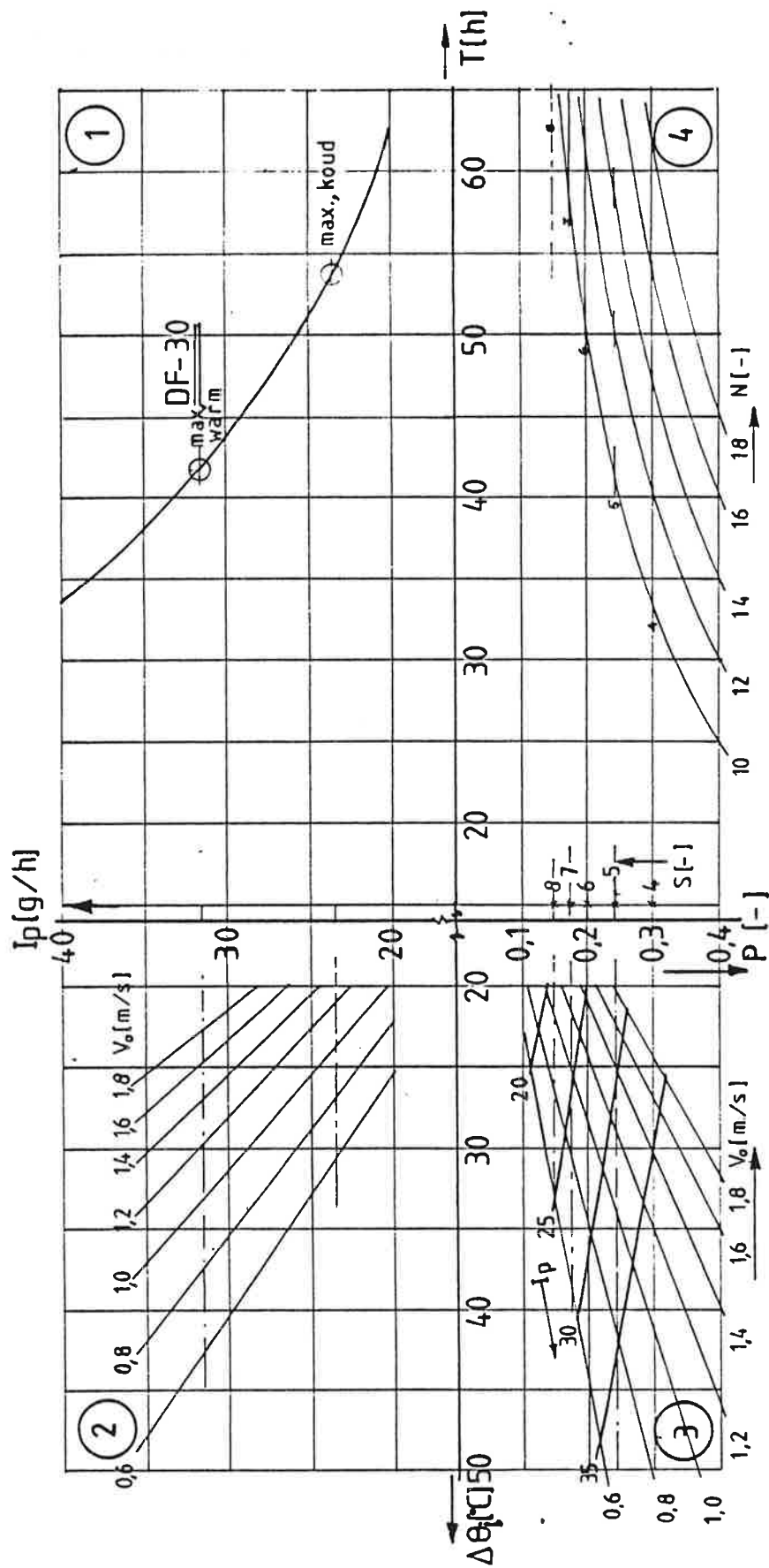


T - I_p - $\Delta\theta_j$ - P - DIAGRAM voor WF-26



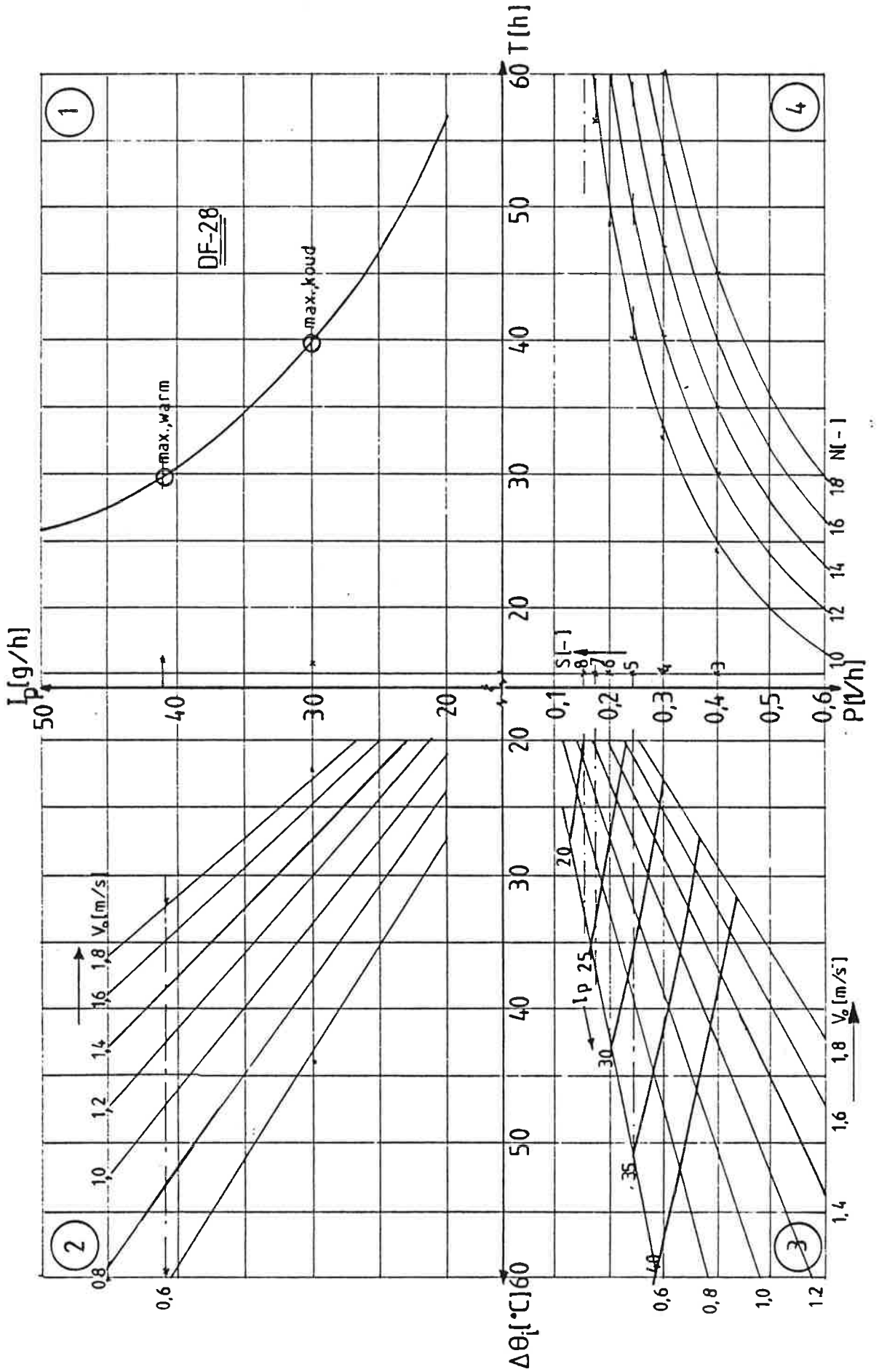
T - I_p - $\Delta\theta_i$ - P-DIAGRAM voor WF-24

FIG.5D



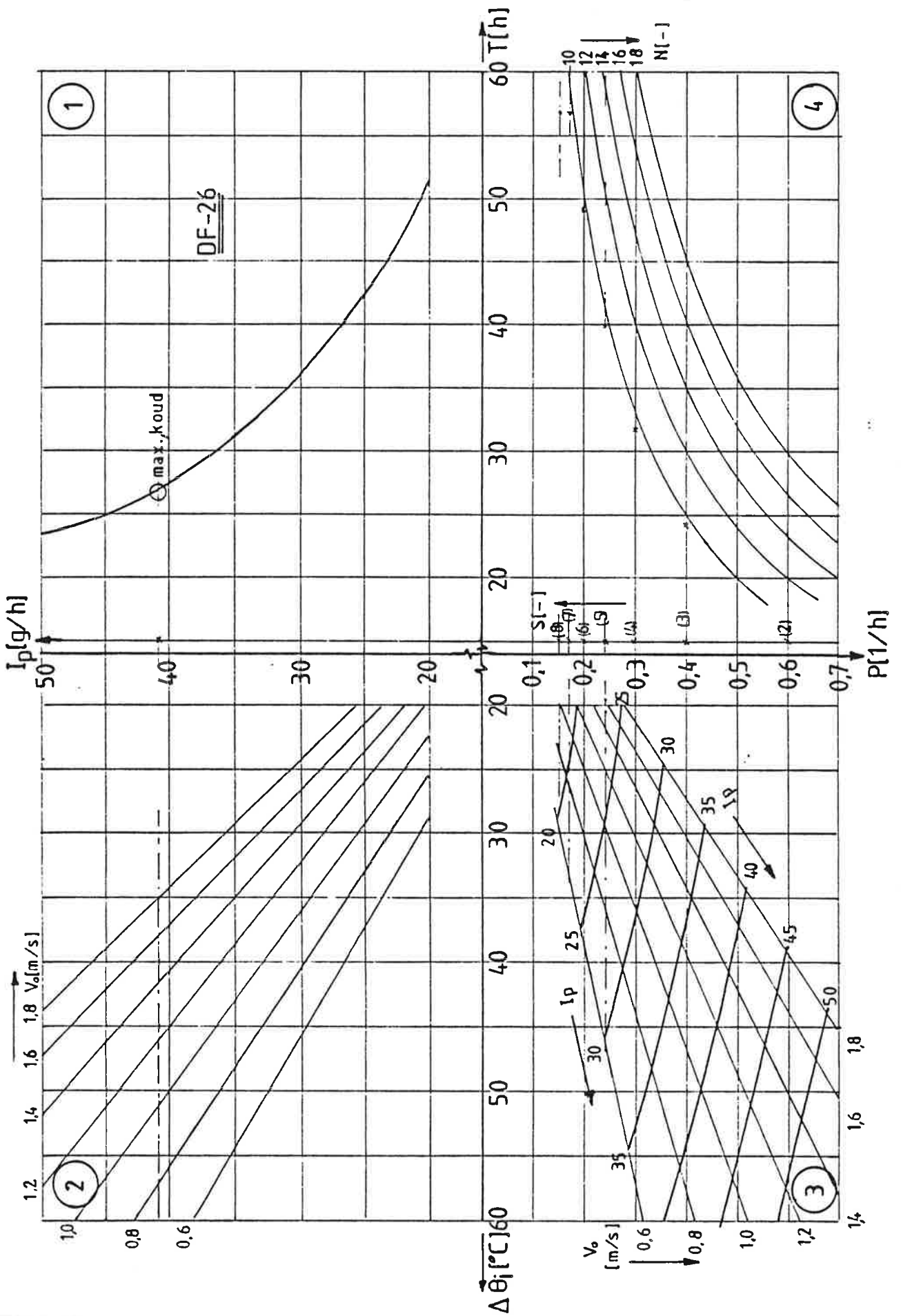
T - I_p - $\Delta\theta_i$ - P - DIAGRAM voor DF-30

FIG. 6 A

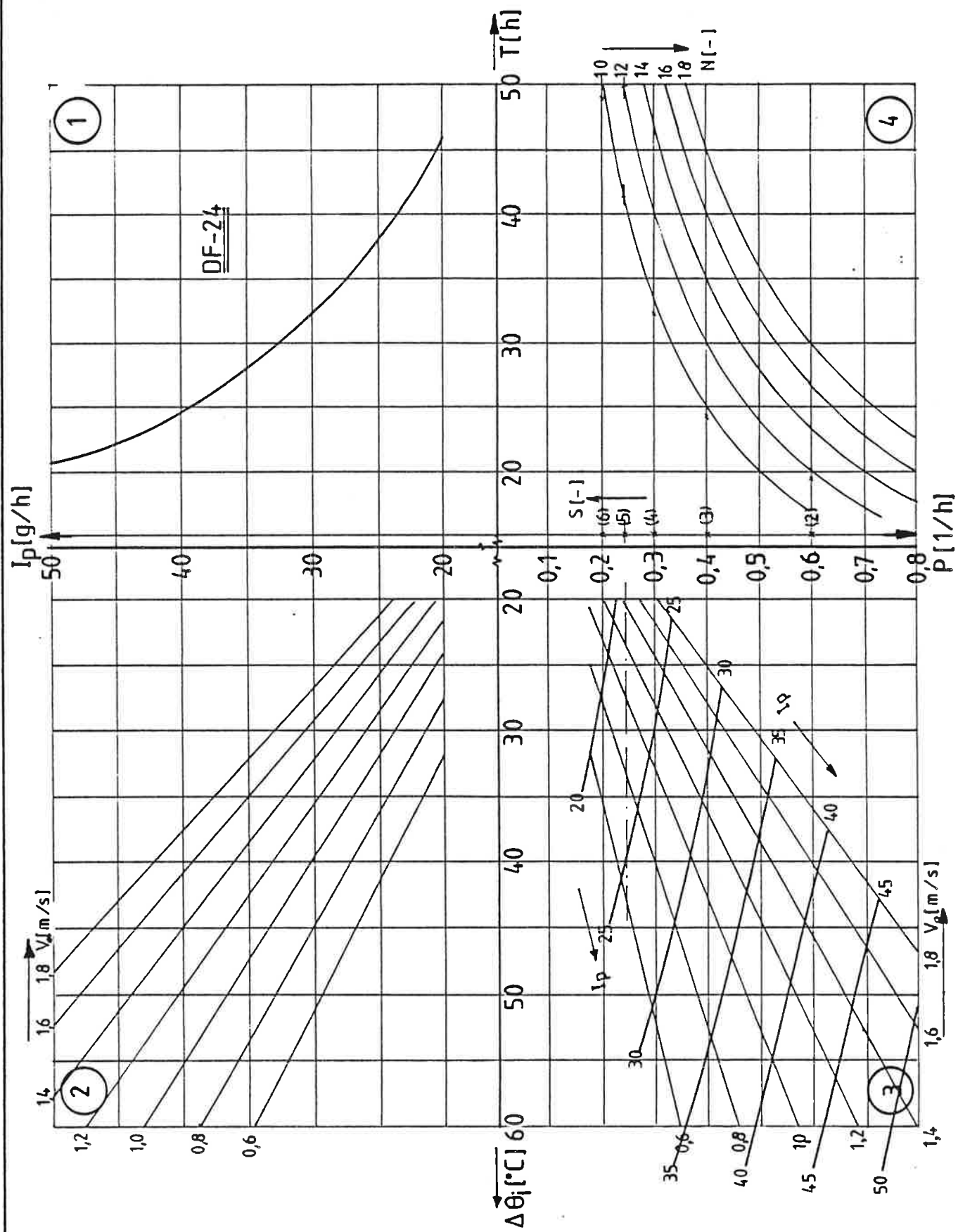


T - I_p - $\Delta\theta_j$ - P - DIAGRAM voor DF-28

FIG. 6B

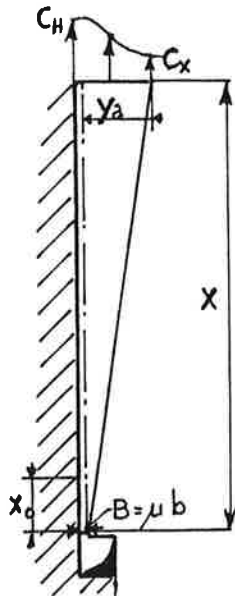


T - I_p - Δθ_i - P - DIAGRAM voor DF-26



T - I_p - $\Delta\theta_i$ - P - DIAGRAM voor DF-24

FIG. 6 D



- L : spleetlengte, [m]
 b : spleetbreedte, [m]
 μ : contractiecoëfficiënt, ($\mu = 0,85$), [-]
 B : effectieve spleetbreedte, ($B = \mu \cdot b$), [m]
 Δp : drukverschil over spleet, [N/m^2]
 ρ : dichtheid medium, ($\rho = 1,08$), [kg/m^3]
 Q_0 : debiet van spuitstuk, [m^3/s]
 C_0 : uitstroomsnelheid aan spuitstuk, [m/s]
 X_0 : kernlengte van de straal, [m]
 m : turbulentiefactor, ($m = 0,25$), [-]
 X : beschouwde straallengte, [m]
 C_x : snelheid aan wand op afstand X , [m/s]
 Y_x : straalverbreding op afstand X tot
 $C_x = 0,5 C_0$, [m]
 Q : straaldebiet op afstand X , [m^3/s]

$$\pm 1 N/m^2 = 0,1 \text{ mm H}_2\text{O}.$$

RELATIES VAN TORRICELLI

$$C_0 = \sqrt{2 \Delta p / \rho}$$

$$Q_0 = \mu \cdot b \cdot L \cdot C_0$$

RELATIES VAN REGENSCHEIT

$$X_0 = \frac{2B}{m} = 8B$$

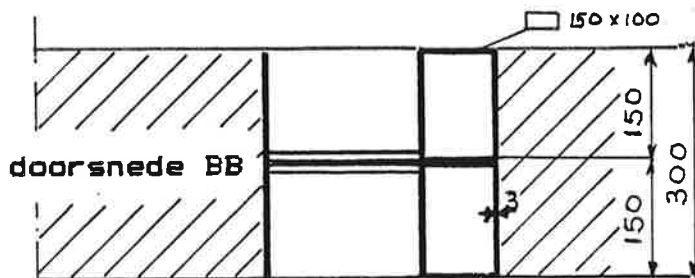
$$C_x = C_0 \sqrt{\left(\frac{X_0}{X}\right)^{0,75}}$$

$$Y_x = 2B \sqrt{\frac{2 \ln 2}{\pi}} \cdot \left(\frac{X}{X_0}\right)^{0,75} = 1,328 B \left(\frac{X}{X_0}\right)^{0,75}$$

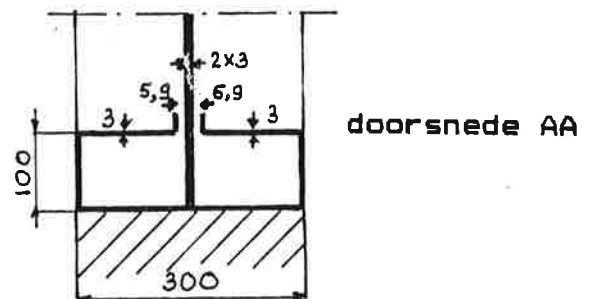
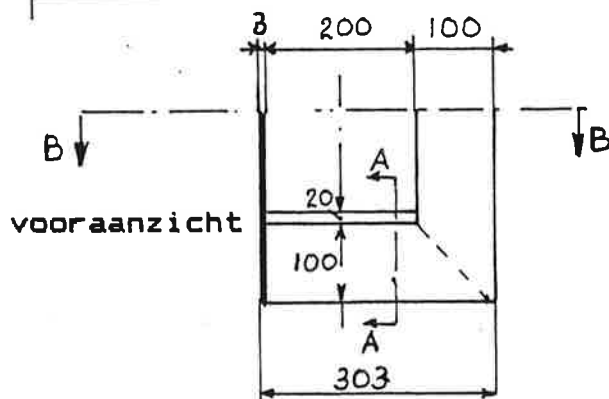
$$Q = Q_0 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{X}{X_0}\right)^{0,75}} = 1,414 Q_0 \sqrt{\left(\frac{X}{X_0}\right)^{0,75}}$$

Eigenschappen van geprojecteerde jet bij een straallengte van $X = 20 \times 0,18 = 3,6 \text{ m}$

L [mm]	b [mm]	B [mm]	Δp [N/m^2]	C_0 [m/s]	Q_0 [m^3/s]	X_0 [mm]	C_x [m/s]	Y_x [mm]	Q [m^3/s]	Q/ Q_0 [-]
200	5,9	5	2500	68	0,068	40	12,6	194	0,520	7,6



DUBBELE JETVOET
{maten in mm}



SPECIFICATIE VAN EGALISATIEJET

BASISGEGEVENS:

drogerijproductie 1.428.000 WF - vormelingen per week.

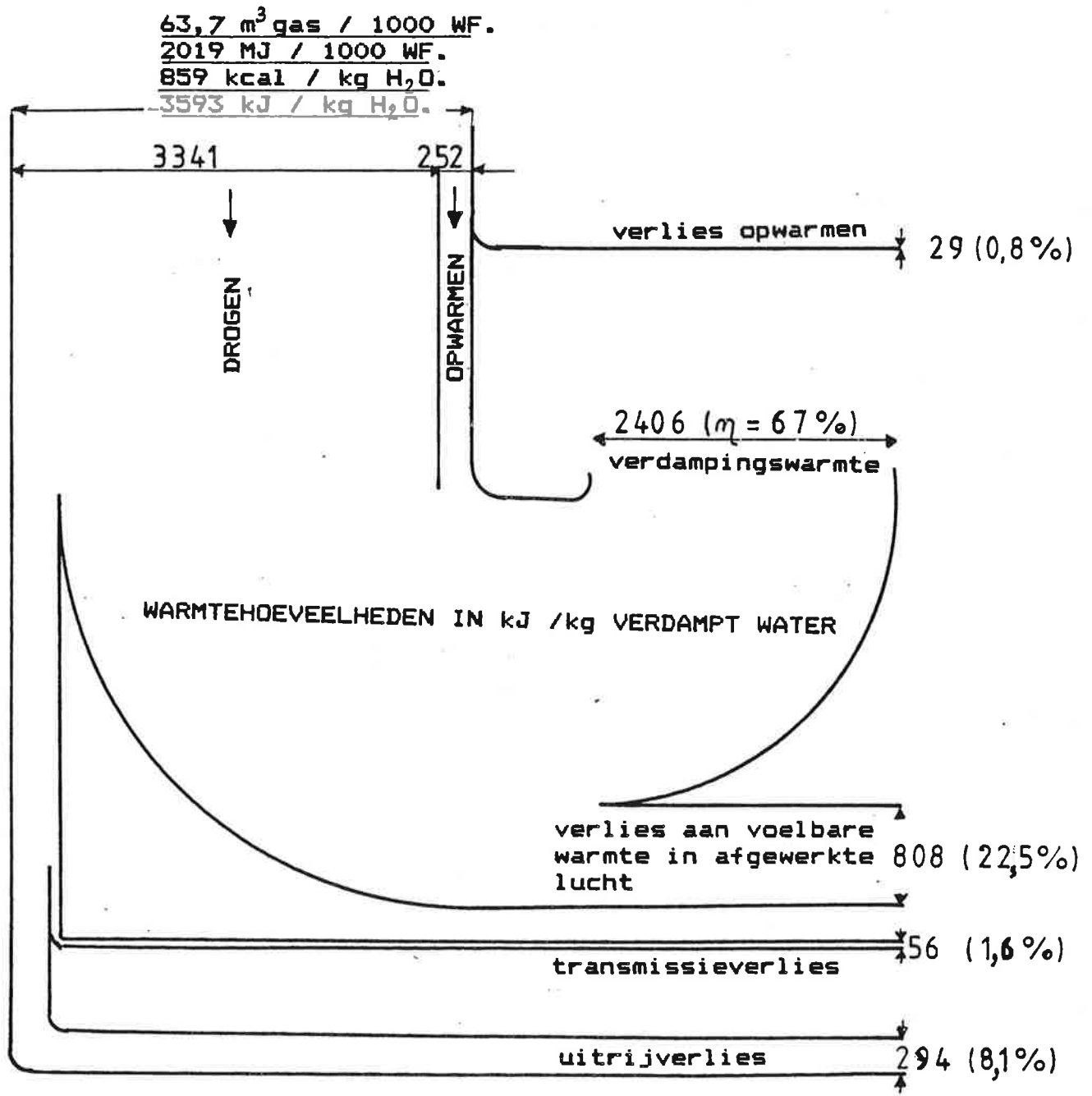
specifiek oppervlak van klei: $75 \text{ m}^2 / \text{g}$.

massa, droog per vormling: 2006 g.

te verdampen water (30 - 2 %): $0,562 \text{ kg} / \text{stuk} \approx 4775 \text{ kg} / \text{h}$.

natte-boltemperatuurniveau: 40°C .

stookwaarde van aardgas: $31,7 \text{ MJ} / \text{m}^3 \text{ (i.n.)}$.



KRACHTVERBRUIK: $165 \text{ kWs} / \text{kg} \text{ H}_2\text{O} \approx 25,8 \text{ kWh} / 1000 \text{ WF}$.

WARMTE EN KRACHTVERBRUIK VAN EEN
 TEGENSTROOM-TUNNELDROGER OP EEN
 NATTEBOLNIVEAU VAN 40°C .

APPENDIX

SCHETSONTWERP
VAN EEN

TEGENSTROOMTUNNELDROGER
VOOR

VORMBAK-METSEL BAKSTEENVORMELINGEN

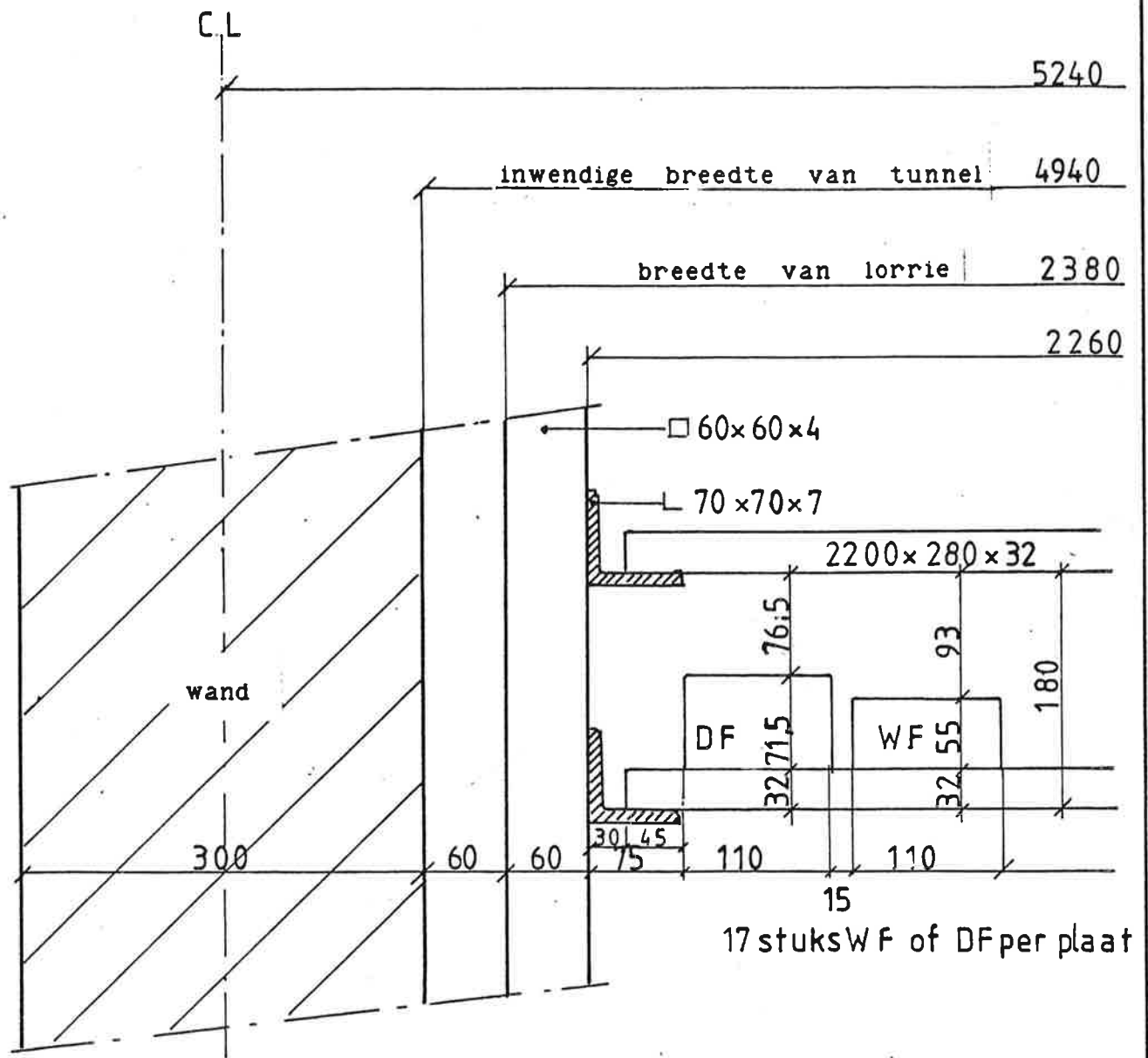
KLEITYPE: $S_g = 75 \text{ m}^2 / \text{g}$, $w_i = 30 \%$

CAPACITEIT: 1.428.000 WF-VORMELINGEN PER WEEK.

KRACHTVERBRUIK : 165 kWs / kg H₂O.

WARMTEVERBRUIK : 3590 kJ / kg H₂O, (860 kcal / kg H₂O).

BLADEN A 0 - A B .



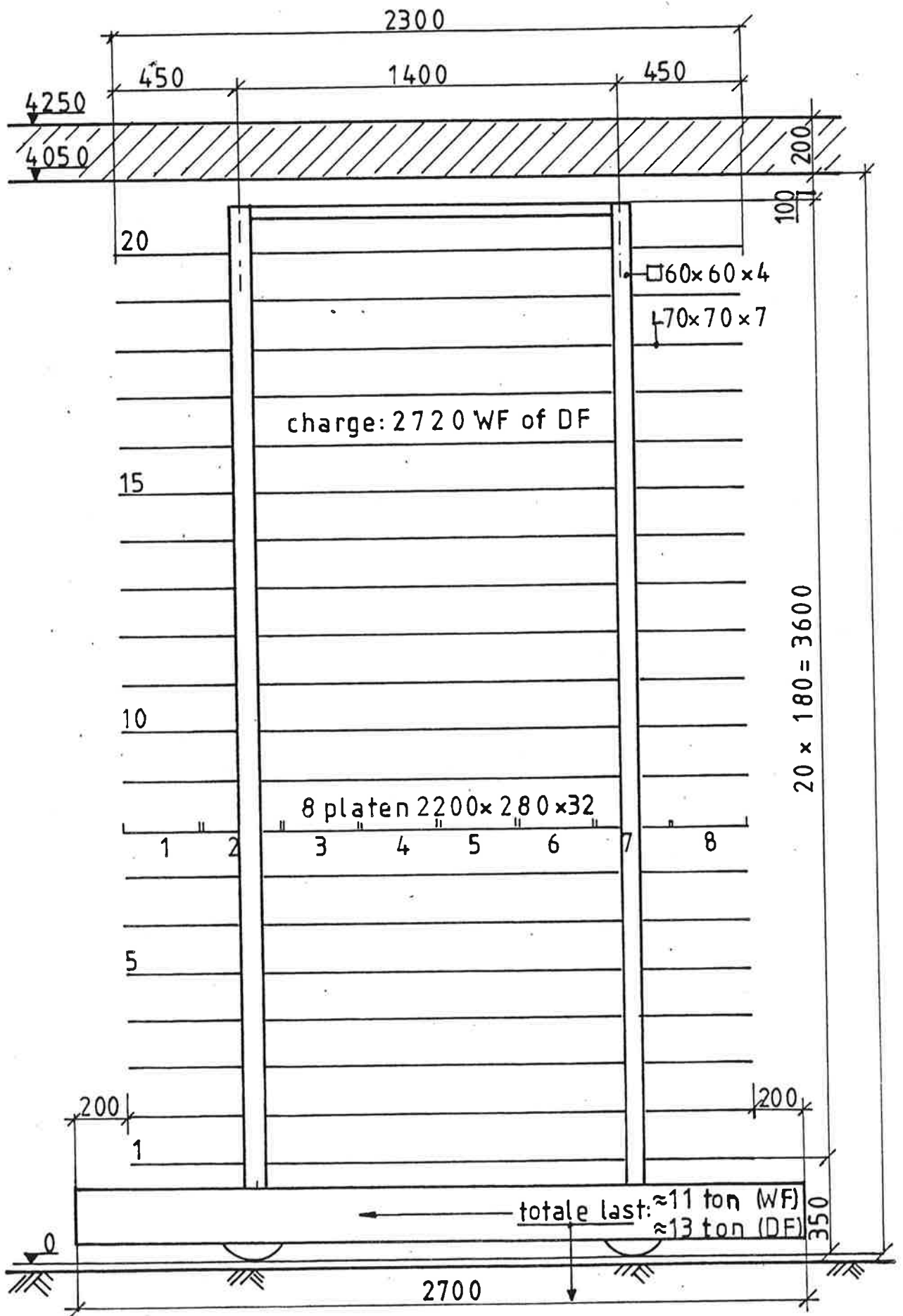
luchtstroom in lengterichting van vormelingen

maten in mm

TEGENSTROOM-TUNNELDROGER
RANGSCHIKKING VAN VORMELINGEN

SCHETSONTWERP
880220

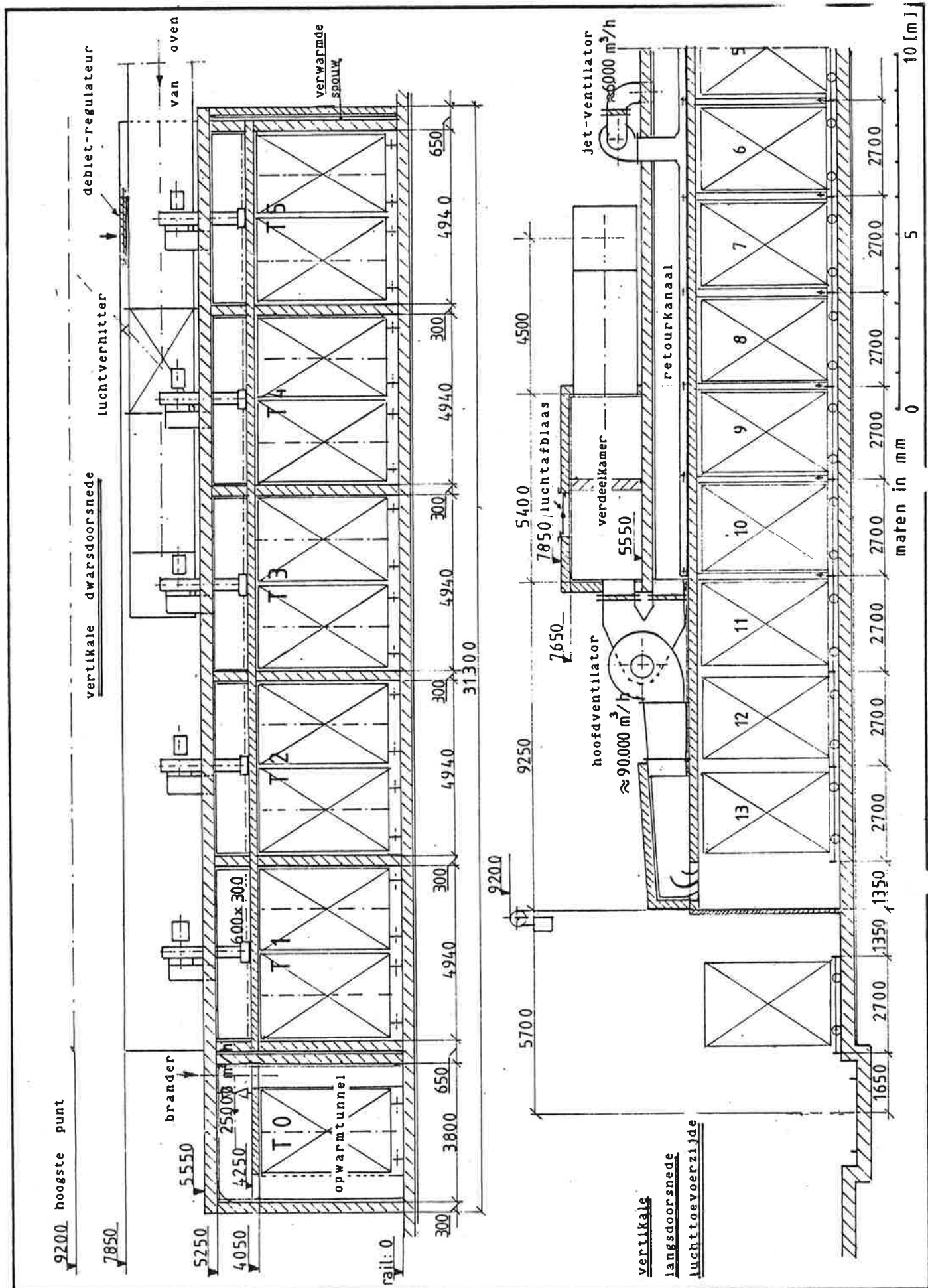
A 1



TEGENSTROOM-TUNNELDROGER
 DROOGLORRIE

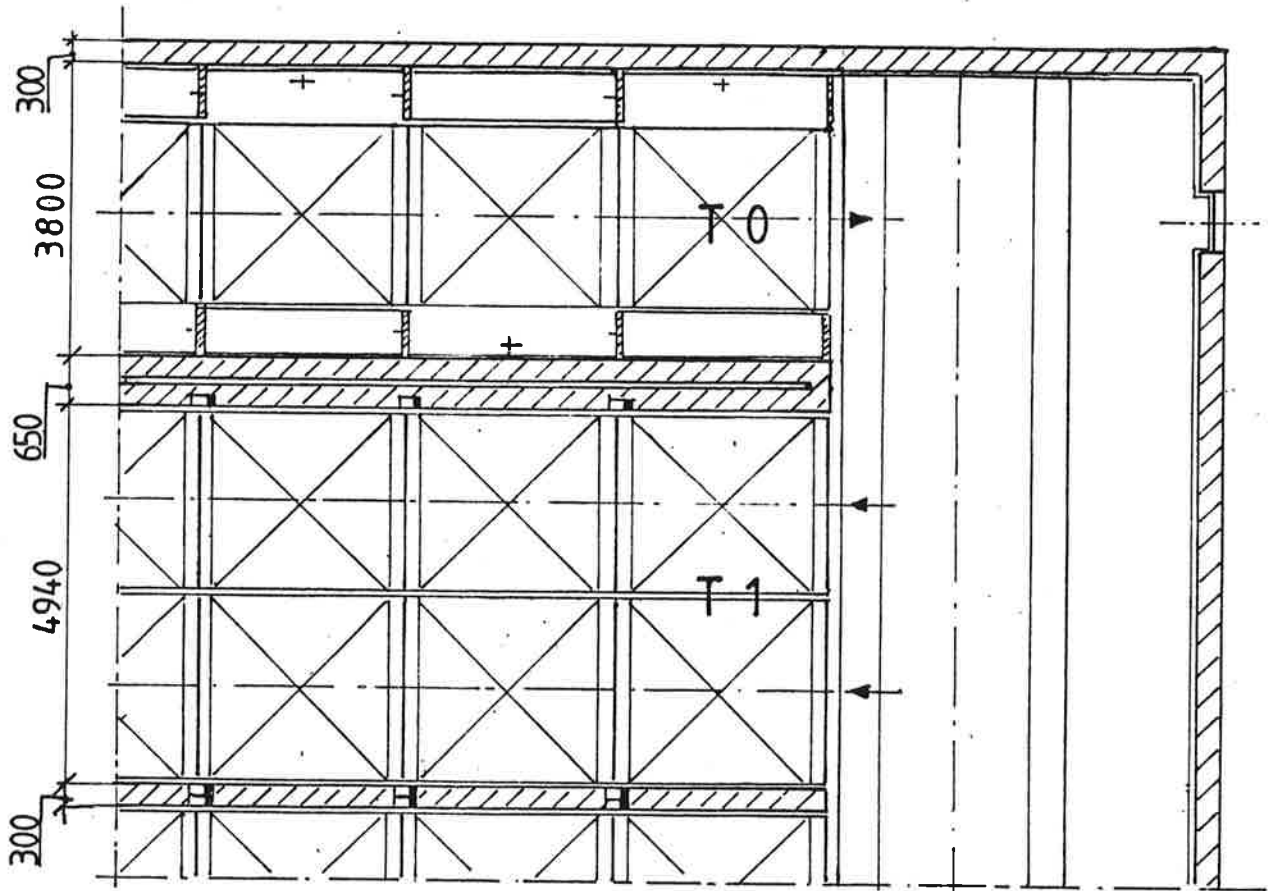
SCHETSONTWERP
 880220

A 2

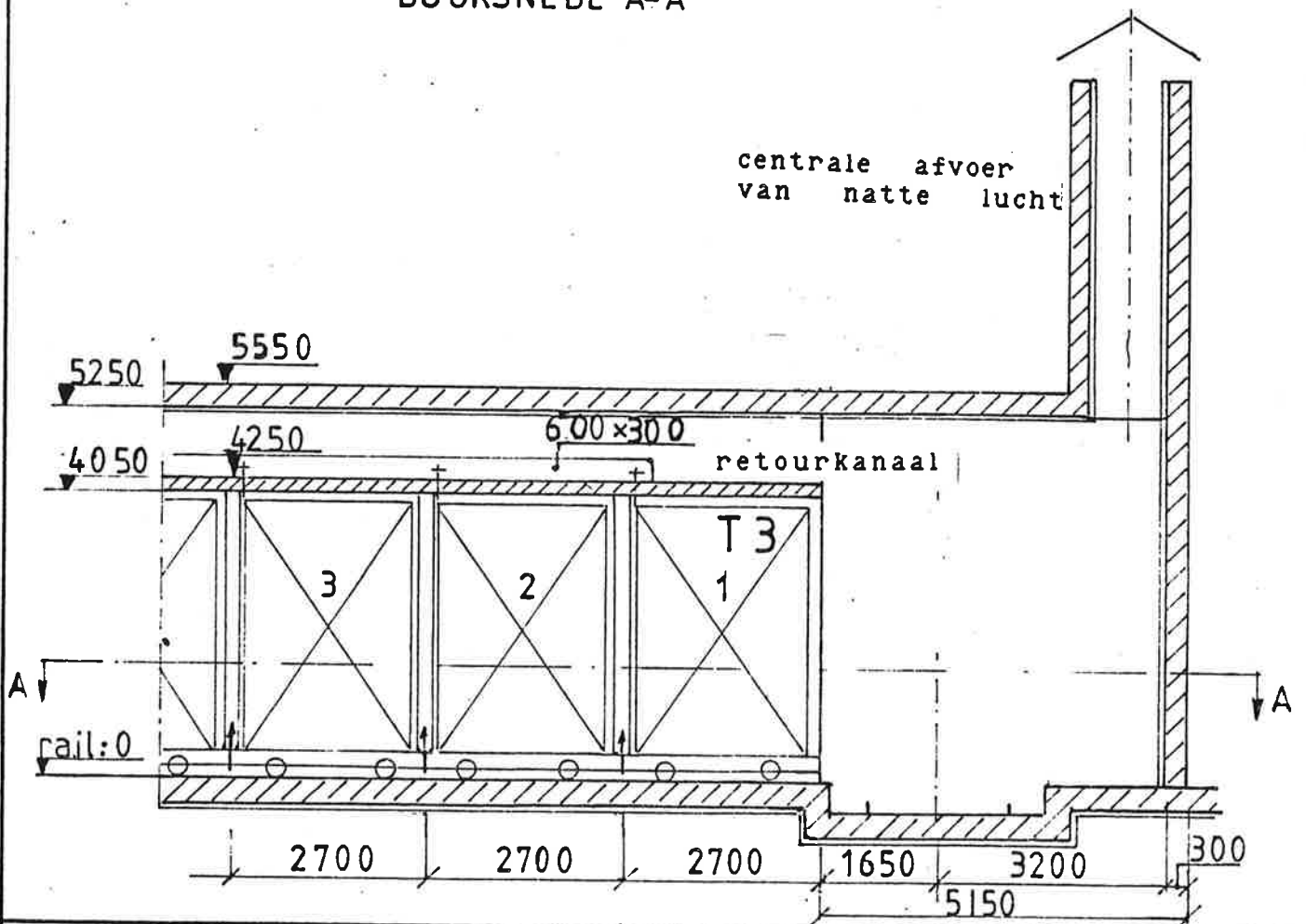


TEGENSTROOM-TUNNELDROGER
 DWARSDOORSNEDE +
 LUCHTINVOERZIJDE

SCHETSONTWERP
 880220



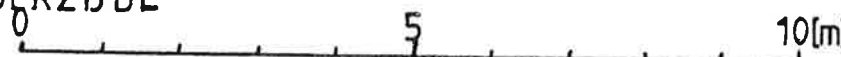
DOORSNEDE A-A

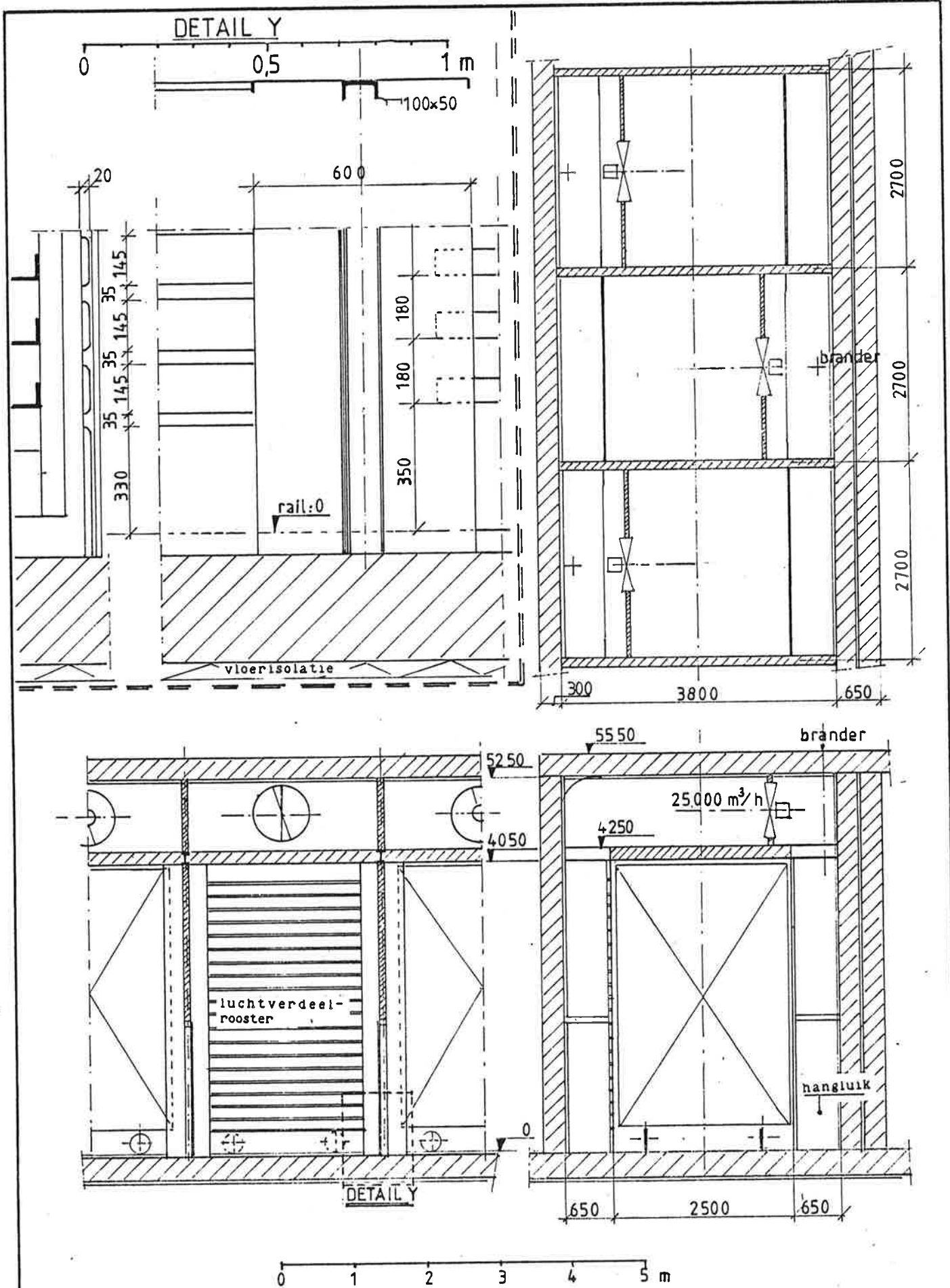


TEGENSTROOM-TUNNELDROGER
 LUCHTAFVOERZIJD
 maten in mm

SCHETSONTWERP
 880220

A 4



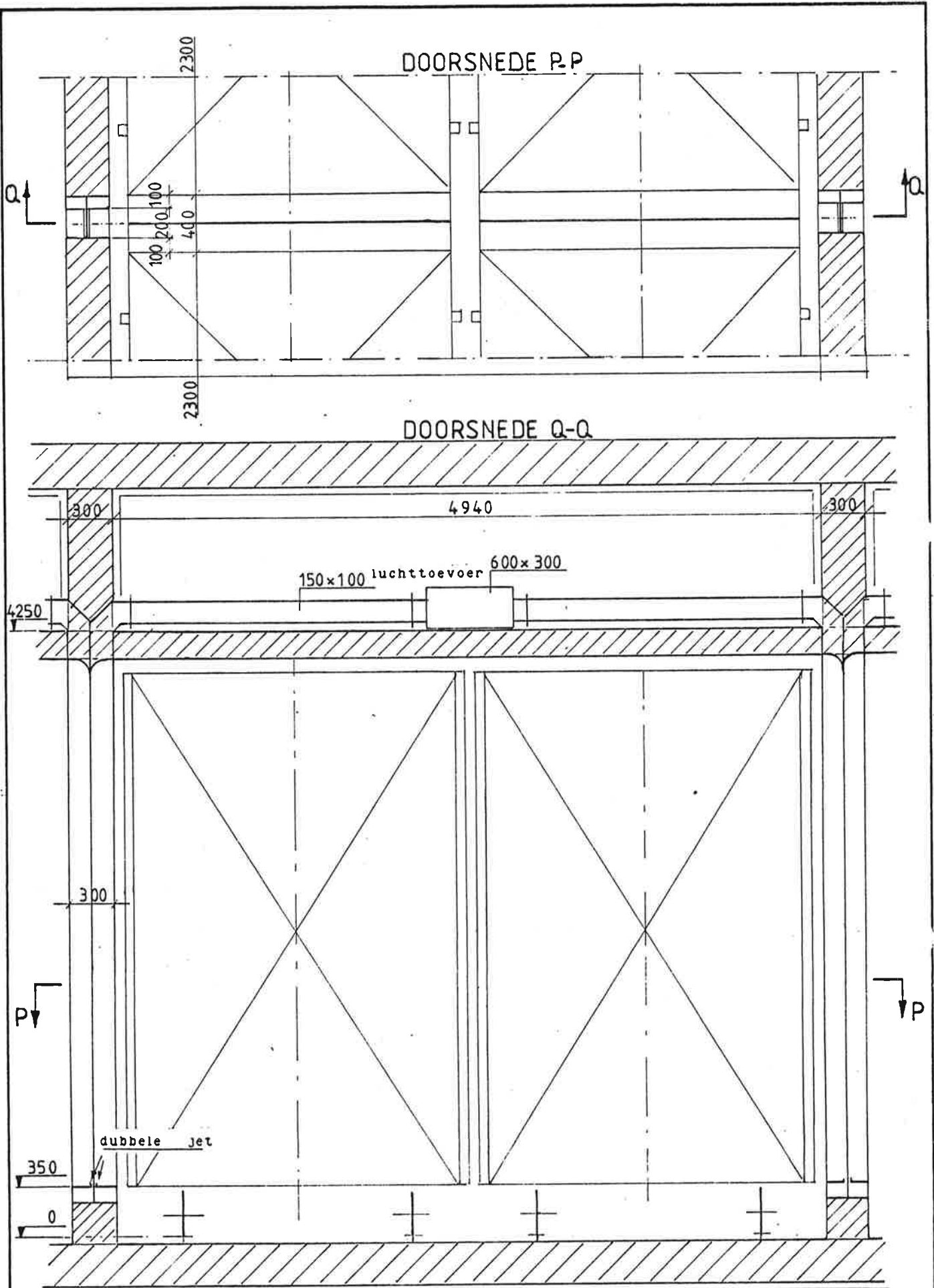


TEGENSTROOM-TUNNEL DROGER
OPWARMTUNNEL

SCHETSONTWERP
880220

maten in mm

A 5



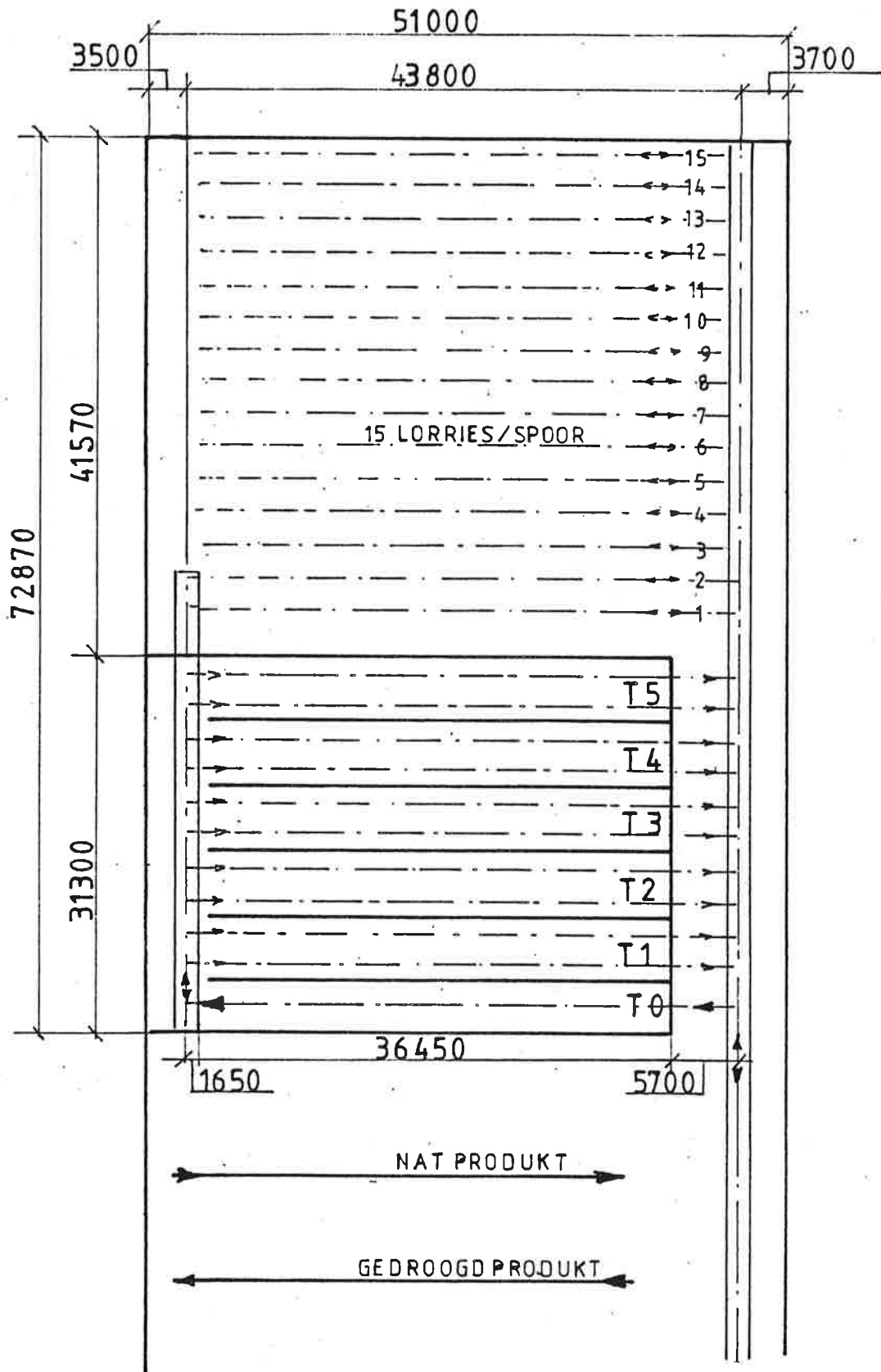
TEGENSTROOM-TUNNELDROGER
EGALISATIE-JETS

SCHETSONTWERP
880220

0 1000 2000

maten in mm

A 6



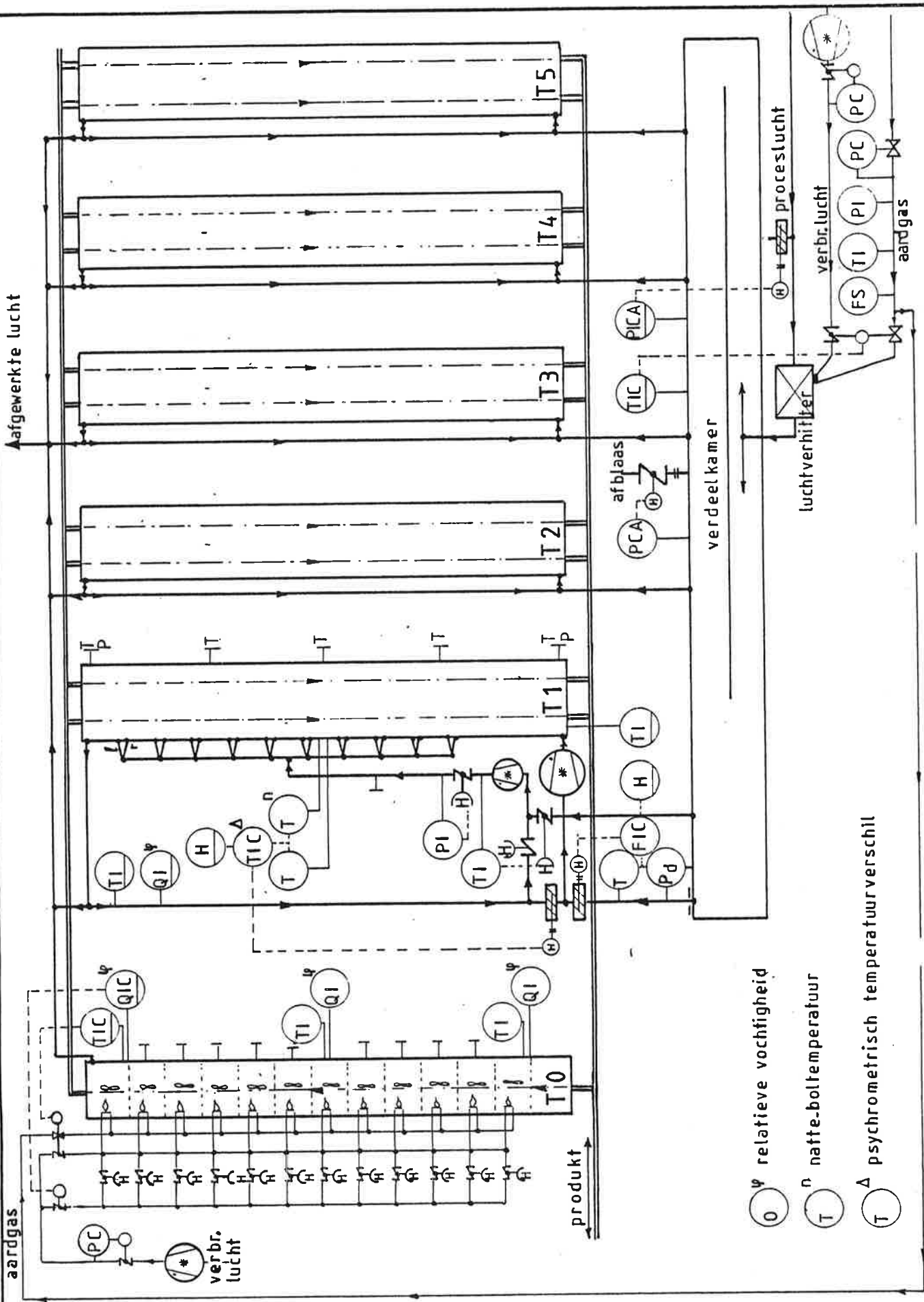
PRODUKTIECAPACITEIT: 1.428.000 STUKS WF PER WEEK.

KLEITYPE : $S_s = 75 \text{ m}^2 / \text{g}$; $W_L = 30 \%$

TEGENSTROOM-TUNNELDROGER
ROUTING

SCHETSONTWERP
880220

A 7



- ψ relatieve vochtigheid
- n natte-boltemperatuur
- Δ psychrometrisch temperatuurverschil

TEGENSTROOM TUNNELDROGER
PROCESSHEMA

SCHETSONTWERP
880220

NOTITIE

Aan: Afdeling KERAMIEK, werkgroep BOUWKERAMIEK, TPD TNO TUE.

Van: J.H. van der Velden

Datum: 18 april 1988

Betreft: Rapport No 853.202.E1 "De tegenstroomtunneldroger"

Gelieve onderstaand lijstje van errata bij verzending van het rapport in te sluiten.

ERRATA:

blz 8, regel 2 :in in aanmerking, moet zijn: in aanmerking.

blz 10, regel 5 :aluzine, moet zijn: aluzinc.

blz 23, laatste regel :één tunneldroger, moet zijn: één tunnelspoor

blz 38, onder aan bladzijde aanvullen:

lingen komt een lengte, die plaats biedt aan 13 drooglorries, elk met 8 rijen droogplaten achter elkaar, het meest in aanmerking.