

VENTILATIE VAN GEBOUWEN

Door: Ing. B. Knoll,  
Ing. W.F. de Gids  
J.B.C. van de Kruk en  
Ing. J.C. Phaff

Rapport C 449, maart 1980

**MG-TNO**

VENTILATIE VAN GEBOUWEN

Door: Ing. B. Knoll,  
Ing. W.F. de Gids  
J.B.C. van de Kruk en  
Ing. J.C. Phaff

Rapport C 449, maart 1980

**MG-TNO**

postbus 214  
2600 AE delft

bezoekadres  
schoemakerstraat 97  
delft

telefoon 015 - 56 93 30

Afdeling Geluid, Licht en Binnenklimaat  
Projectnr. 3.3.16 (code 020030216)

Verbetering van de natuurlijke ven-  
tilatie van de groenteveiling te  
Bleiswijk.

„Voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever met betrekking tot dit rapport wordt verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor onderzoeks- en ontwikkelingsopdrachten aan TNO, 1979', zoals gedeponeerd ter Griffie van de Arrondissementsrechtbank te 's-Gravenhage en bij de Kamers van Koophandel en Fabrieken.”

„© jaar van uitgifte rapport TNO, 's-Gravenhage.  
Onverminderd de rechten van de opdrachtgever mag niets uit deze uitgave worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotocopie, microfilm of welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.”

SAMENVATTING

De mogelijkheden ter verbetering van de natuurlijke ventilatie van de veilinghallen van de Coöperatieve Groentenveilingvereniging "Bleiswijk" W.A. zijn onderzocht.

Hiertoe zijn in een windtunnel winddrukken gemeten aan twee modellen van het hallencomplex.

De gewenste ventilatie blijkt gedurende het grootste gedeelte van de tijd haalbaar te zijn door op bepaalde plaatsen regelbare roosters van bepaalde grootte aan te brengen, gepaard gaande met enige bouwkundige voorzieningen.

Bij juiste bediening en instelling van de roosters kunnen, vooral afhankelijk van de heersende windsnelheid en -richting, ventilatievouden tussen 2 en 30 h<sup>-1</sup> worden verkregen. Hiertoe zijn bedieningstabellen samengesteld.

I N H O U D

	<u>Pag.</u>
1. INLEIDING	1
2. ONTSTAAN EN BESCHRIJVING VAN DE METHODE VAN ONDERZOEK	1
2.1 Ontstaan van natuurlijke ventilatie	1
2.2 Bepalen van ventilatie met behulp van de wind- drukken op een model in de windtunnel.	3
2.3 Drukmetingen	4
3. UITVOERING	5
4. MEETRESULTATEN	5
5. VERWERKING VAN DE MEETRESULTATEN	6
5.1 Bepaling van de plaats van de roosters	6
5.2 Keuze van het roostertype	9
5.3 Berekening van de roosteroppervlakken	10
6. GEBRUIK VAN DE VENTILATIEVOORZIENINGEN	12
7. CONCLUSIES	16
8. AANBEVELINGEN	17
9. GEBRUIKTE SYMBOLEN	18
10. LITERATUUR	19
Bijlage 1 : eisen voor modelonderzoek	20
Bijlagen 2 t/m 5: Statistische gegevens over de wind in de natuur	22
Bijlagen 6 en 7: Plattegronden van de modellen met druk- meetpunten	26

Grafieken 1 t/m 18 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten als  
functie van de windrichting.

Pag.

28

C 449

maart 1980

IMG-TNO/Afd. GLB

BK/adv

VENTILATIE VAN GEBOUWEN. VERBETERING VAN DE NATUURLIJKE VENTILATIE  
VAN DE GROENTEVEILING TE BLEISWIJK.

---

1. INLEIDING

Het veilingcomplex van de Coöperatieve Groentenveilingvereniging "Bleiswijk" W.A. omvat drie hallen. In de huidige situatie wordt de, op natuurlijke wijze tot stand komende, ventilatie van de hallen als onvoldoende ervaren. Alvorens tot het aanbrengen van mechanische ventilatievoorzieningen over te gaan, heeft de veilingvereniging aan het IMG-TNO opdracht verstrekt tot het nagaan van de mogelijkheden ter verbetering van de natuurlijke ventilatie.

Uitgangspunten voor voldoende ventilatie zijn hierbij:

- globale beheersing van de temperatuur van de aangevoerde producten;
- voldoende verdunning van de uitlaatgassen van de aanwezige transportvoertuigen.

Een en ander heeft de veilingvereniging gebracht tot de eis van een minimaal ventilatievoud van  $4\frac{1}{2} \text{ h}^{-1}$ .

In de huidige situatie zijn roosters aangebracht in de verticale vlakken van de sheddakconstructie. Deze vlakken zijn alle op het noorden georiënteerd. Ter verbetering van de ventilatie is plaatsing van rooster op verschillende windrichtingen gewenst.

Ter bepaling van de gunstige plaatsen en de grootte van de roosteroppervlakken zijn in een windtunnel drukmetingen uitgevoerd aan schaalmodellen van het veilingcomplex.

2. ONTSTAAN EN BESCHRIJVING VAN DE METHODE VAN ONDERZOEK

2.1 Ontstaan van natuurlijke ventilatie

Natuurlijke ventilatie van een gebouw ontstaat doordat onder invloed van de wind lucht door openingen het gebouw in- en uitstroomt.

Ook door temperatuurverschillen en luchtwervelingen kan natuurlijke ventilatie ontstaan.

Omdat er in de hallen weinig warmteproductie is, wordt bij dit onderzoek de wind in de meeste gevallen als voornaamste drijvende "kracht" verondersteld voor de natuurlijke ventilatie.

De wind oefent op een willekeurig gevel- of dakvlak van een gebouw een over- of onderdruk uit.

Deze winddruk is afhankelijk van de windsnelheid en de windrichting ten opzichte van dat vlak.

Obstakels in de omgeving (bebouwing, bebossing e.d.) beïnvloeden zowel de windsnelheid als de windrichting ter plaatse van het gebouw.

Zo kan bij een bepaalde windrichting en -snelheid op elk gedeelte van het gebouw een andere winddruk ontstaan.

Afhankelijk van de grootte en de weerstand van de openingen in elk gedeelte van het gebouw ontstaan dan luchttransporten door het gebouw. De druk in het gebouw zal hierdoor een waarde bereiken die ergens tussen de waarden van de hoogste en de laagste winddruk van de gebouwvlakken ligt.

Het verschil tussen de druk in het gebouw en de winddruk op het gedeelte van het gebouw waarin zich een opening bevindt, is bepalend voor de grootte van het luchttransport door de opening. Uit de som van de luchttransporten kan het ventilatievoud worden bepaald.

Het genoemde drukverschil kan door temperatuurverschillen nog groter of kleiner worden.

Dit berust op door temperatuurverschillen ontstane luchtdichtheidsverschillen (verschillen in gewicht).

Warme lucht wil hierdoor opstijgen en koude lucht wil vallen.

Een dergelijke situatie kan zich bijvoorbeeld 's zomers voordoen als door zonbestraling in de hallen een luchttemperatuurverhoging plaatsvindt. Ook door de warmte-ontwikkeling van de motoren van de aanwezige transportvoertuigen kan een temperatuurverhoging optreden.

## 2.2 Bepalen van ventilatie met behulp van de winddrukken op een model in de windtunnel

Uit het voorgaande blijkt dat het ventilatievoud is te bepalen uit de winddrukken. Meting van de winddrukken kan in de werkelijke situatie plaatsvinden.

De wind verandert voortdurend, zowel wat de richting als de snelheid betreft.

Het in werkelijkheid vastleggen van de relatie tussen de winddrukken en de windrichting en windsnelheid kan daarom lang duren en kostbaar worden.

Met een in een windtunnel geplaatst model is dit eenvoudiger. Door draaiing van het model is de windrichting instelbaar, terwijl de windsnelheid in de windtunnel regelbaar is. Ook zijn constructieve veranderingen in een model eenvoudig aan te brengen, als deze bij het onderzoek nodig blijken te zijn. Men moet echter wel aan een aantal modelregels voldoen. In bijlage I wordt hierop nader ingegaan.

Tevens moet men bedenken dat in een windtunnel nooit exact de werkelijke situatie is na te bootsen. De luchtstroming in een windtunnel is constant en isotherm, terwijl in de werkelijkheid altijd min of meer sterke fluctuaties voorkomen, zowel in windrichting als in windsnelheid.

De in de windtunnel gemeten winddrukken moeten daarom worden beschouwd als gemiddelde waarden die niet geheel exact zijn. Ze zijn onderling echter wel goed vergelijkbaar.

De windtunnelmetingen geven geen informatie over de mate van voorkomen van de diverse windrichtingen en windsnelheden.

Daarom worden hiervoor de in bijlagen 2 t/m 5 weergegeven meteorologische gegevens geraadpleegd. Deze geven weer in welke mate bepaalde windrichtingen en -snelheden zijn voorgekomen in de periode van 1931 tot en met 1960 en welke relatie er bestaat met de periode van het jaar.

Er is besloten een model van het gehele veilingcomplex te maken op schaal 1 : 500. Voor een meer gedetailleerd onderzoek is boven-



dien een model vervaardigd van een gedeelte van een hal op schaal 1 : 125. Om de omgeving te simuleren zijn op de bodem van de windtunnel obstakels aangebracht. Hierbij is rekening gehouden met de ongunstige invloed van een mogelijke toeneming van de bebouwing rond het veilingcomplex in de toekomst.

### 2.3 Drukmetingen

Alle winddrukken op de te onderzoeken gedeelten van het gebouw worden als drukverschil ( $\Delta p$ ) gemeten, met als referentie de statische druk van de ongestoorde luchtstroming. De drukverschillen worden weergegeven in verhouding tot de snelheidsdruk ( $\frac{1}{2} \rho v_o^2$ ) van de ongestoorde luchtstroming. De aldus verkregen drukverhouding per meetpunt ( $\frac{\Delta p_{\text{meetpunt}}}{\frac{1}{2} \rho v_o^2}$ ) wordt drukfactor (K) genoemd. Door de drukfactor (K) kan een winddruk dimensieloos en onafhankelijk van de grootte van de ongestoorde windsnelheid ( $v_o$ ) worden weergegeven.

Deze weergave is mogelijk omdat de luchtstroming in de windtunnel en in de werkelijkheid turbulent is. Tussen de windsnelheid ( $v_o$ ) en de snelheidsdruk ( $\frac{1}{2} \rho v_o^2$ ) bestaat dan steeds het kwadratische verband.

Voor elke windsnelheid zijn met de drukfactoren (K) de winddrukken dus te berekenen via  $\Delta p_{\text{meetpunt}} = K_{\text{meetpunt}} \times \frac{1}{2} \rho v_o^2$ .

Om het verband tussen de drukfactoren en de windrichting vast te leggen wordt het model steeds 10 graden verdraaid.

Hiertoe wordt op de draaibare schijf waarop het model in de windtunnel is geplaatst een gradenverdeling aangebracht

(noord =  $0^\circ$  of  $360^\circ$ , oost =  $90^\circ$ , zuid =  $180^\circ$  en west =  $270^\circ$ ).

Bij de keuze van de drukmeetpunten zijn alle gedeelten van het gebouw betrokken waarin plaatsing van roosters mogelijk is. Er is tevens rekening gehouden met mogelijke verschillen in winddrukken op eenzelfde gevel- of dakoriëntatie onder invloed van loslating van de stroming aan de randen van het gebouw en onder invloed van de omliggende bebouwing. In een later stadium van het onderzoek zijn nog een aantal meetpunten gekozen ter plaatse van gewijzigde dakconstructies, omdat is gebleken dat zonder aanpassing van de be-

staande constructie niet voor alle windrichtingen voldoende ventilatie haalbaar is.

De plaatsen van de drukmeetpunten zijn weergegeven in de bijlagen 6 en 7.

### 3. UITVOERING

Beide modellen zijn gemaakt van polystyreenschuim. Het eerste model betreft het gehele veilingcomplex op schaal 1 : 500, het tweede model betreft een gedeelte van een hal (zes kappen) op schaal 1 : 125. Elk model is afzonderlijk op een draaibare schijf in de windtunnel geplaatst en de bijbehorende bodemruwheid is aangebracht.

Als ongestoorde windsnelheid in de windtunnel is 8 m/s aangehouden. Aan elk model zijn drukmeetpunten aangebracht. Deze punten zijn elk met een slang verbonden aan één zijde van een elektrische drukverschilopnemer.

De andere zijde van elke drukverschilopnemer is verbonden met het statische drukmeetpunt van een in de ongestoorde luchtstroming geplaatste pitotbuis. De door de elektrische drukverschilopnemers afgegeven meetsignalen zijn in bijbehorende versterkers versterkt. De door de versterkers afgegeven signalen zijn elektrisch uitgedempt. De gedempte signalen zijn op een Linseis zes-lijnschrijver geregistreerd.

De geregistreeerde signalen worden beschouwd ten opzichte van het signaal dat geregistreerd wordt als de drukverschilopnemer de ongestoorde snelheidsdruk meet.

De ongestoorde snelheidsdruk is verkregen door de drukverschilopnemer aan te sluiten op beide drukmeetpunten van een in de ongestoorde luchtstroming geplaatste pitotbuis.

De totale meetnauwkeurigheid van de winddrukken ( $\Delta p$ ) bedraagt  $\pm 2\%$  van de snelheidsdruk van de ongestoorde wind ( $\frac{1}{2} \rho v_0^2$ ).

Aan elk drukmeetpunt is bij 36 standen van het model gemeten om de relatie tussen winddruk en windrichting vast te leggen.

### 4. MEETRESULTATEN

De resultaten van de drukmetingen zijn weergegeven in de grafieken

l t/m 18. In de grafieken is op de horizontale as de windrichting aangegeven in graden, waarbij noord =  $0^{\circ}$  of  $360^{\circ}$ , oost =  $90^{\circ}$ , zuid =  $180^{\circ}$  en west =  $270^{\circ}$ . Op de verticale as is de winddruk ( $\Delta p$ ) op het desbetreffende meetpunt weergegeven in verhouding tot de snelheidsdruk van de ongestoorde wind ( $\frac{1}{2} \rho V_0^2$ ) = drukfactor (K).

Bij een ongestoorde windsnelheid van bijvoorbeeld 2 m/s is de snelheidsdruk  $\Delta p = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 2^2 = 2,4$  Pa ( $\rho = 1,2$  kg/m<sup>3</sup> voor lucht van  $20^{\circ}$  C). Wil men de winddruk op een bepaald meetpunt meten bij deze windsnelheid en een bepaalde windrichting, dan dient men de in de desbetreffende grafiek afgelezen drukfactor (K) te vermenigvuldigen met de berekende snelheidsdruk. Een negatief getal geeft een onderdruk weer ten opzichte van de statische druk en een positief getal een overdruk.

## 5. VERWERKING VAN DE MEETRESULTATEN

### 5.1 Bepaling van de plaats van de roosters

De winddrukken op de plaatsen waar roosters geplaatst kunnen worden, zijn per hal vergeleken. Er is naar een combinatie van plaatsen gezocht die bij alle windrichtingen een zo groot mogelijk verschil in winddrukken geeft. De grootte van het drukverschil is namelijk een bepalende factor voor het totale benodigde roosteroppervlak. Gebleken is dat met de beschikbare plaatsen in de bestaande halconstructie niet voor alle windrichtingen voldoende ventilatie haalbaar is. Het betreft hier vooral windrichtingen loodrecht op de lange zijden van de hallen (oost en west).

Een en ander is een gevolg van het feit dat in alle hallen aan één of meer lange zijden gesloten exporteursloodsen zijn gevestigd of moeten kunnen worden gevestigd, zodat deze zijden niet kunnen worden benut voor het plaatsen van roosters.

Als aanvulling zijn voor deze situatie winddrukken gemeten aan opbouwen (zie fig. 5.1-1 en 5.1-2) dwars op de richting van de kappen. Deze dwarsopbouwen blijken een goede aanvulling te zijn en worden daarom betrokken in iedere mogelijke plaatscombinatie van de roosters. Voor alle hallen blijkt de gunstigste plaatscombinatie te zijn (zie fig. 5.1-1 of 5.1-2):

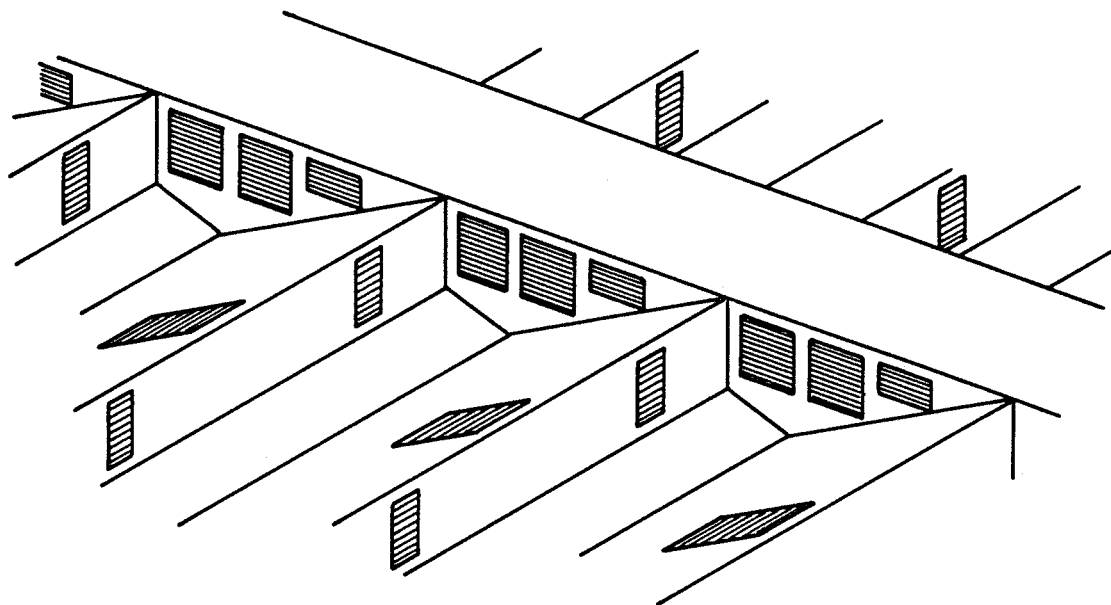


Fig. 5.1-1 Roosters in het dak en in een tunnelopbouw

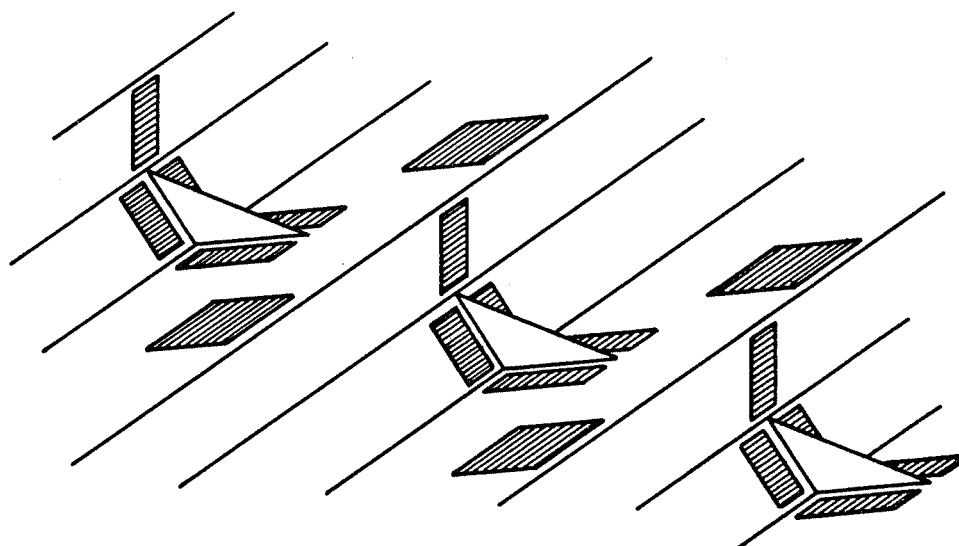


Fig. 5.1-2 Roosters in het dak en naast stuwscotten

- roosters bovenin het schuine dakvlak;
- roosters in het verticale dakvlak, versprongen geplaatst t.o.v. de roosters in het schuine dakvlak;
- roosters in of bij dwarsopbouwen op het dak.

Voor de dwarsopbouwen kan men kiezen uit twee mogelijkheden. Ze kunnen bestaan uit:

- een tunnel aan weerszijden (oost- en westzijde) voorzien van roosters (fig. 5.1-1). Deze tunnel is een dakopbouw dwars over de kappen. De tunnel mag tot aan de daknokken reiken. De tunnelbreedte moet minimaal 3 m bedragen.
- verticale stuwschotten met aan weerszijden (oost- en westzijde) roosters onderin het bestaande dakvlak (fig. 5.1-2). De stuwschotten staan dwars op de kappen van het dak. De bovenzijde mag tot aan de verticale zijde van het sheddak reiken. Omdat de invloed van de stuwschotten op de luchtstroming het grootst is direct naast de stuwschotten is de breedte van de roosters naast de stuwschotten beperkt tot 2 à 2,5 m. Afhankelijk van het benodigde roosteroppervlak wordt hierdoor het aantal stuwschotten bepaald.

Zowel bij toepassing van een tunnel als van stuwschotten, kunnen bij aan weerszijden van de tunnel of de stuwschotten geopende roosters kortsluitstromingen ontstaan. Dit houdt in dat de aan één zijde van de tunnel of een stuwschot binnenstromende lucht voor een groot gedeelte direct aan de andere zijde naar buiten stroomt. Bij gebruik van stuwschotten kan men kortsluitstroming voorkomen door de stuwschotten tot binnen in de hal te laten doorlopen.

Als men een stuwschot ter plaatse van een dakspant aanbrengt, kan men bijvoorbeeld het spant dichtmaken ter plaatse van de roosters. Bij gebruik van een tunnel zou men in het hart van de tunnel een verticale plaat kunnen plaatsen.

In plaats van de reeds genoemde plaatscombinatie van de roosters is er voor hal 1, waarin de kantoren zijn gevestigd, nog een mogelijkheid, namelijk:

- roosters in de noordgevel en de zuidgevel;
- roosters aan de oostzijde van dwarsopbouwen op het dak;
- bestaande roosters in het dak.

In verband met de aanwezigheid van brandmuren in de hallen 2 en 3 is deze laatste mogelijkheid hier niet toe te passen. Andere mogelijke plaatscombinaties van roosters geven slechts dan voor alle windrichtingen voldoende ventilatie als ze als aanvulling één van de hiervoor genoemde combinaties hebben.

Het totale aantal te plaatsen roosters zal in dat geval steeds groter zijn dan voor de eerder genoemde combinaties.

In een eerste bespreking van de meetresultaten met de opdrachtgever is besloten de eerstgenoemde plaatscombinatie (roosters in het dakvlak) verder uit te werken, omdat deze voor alle hallen toepasbaar is.

## 5.2 Keuze van het roostertype

Voor het berekenen van de benodigde oppervlakken van de roosters moet bekend zijn welke roostertypen worden toegepast.

Algemene eisen voor de roosters moeten zijn de weersbestendigheid en de bescherming tegen weersinvloeden.

Ten aanzien van de kwaliteit van de toegepaste roostermaterialen en de duurzaamheid van het functioneren van de beweegbare delen dient men daarom hoge eisen te stellen.

In verband met tochthinder is het wenselijk dat de standen van de roosters eenvoudig instelbaar zijn door het personeel. Bediening van de roosters moet afzonderlijk kunnen geschieden al naar gelang de ventilatiebehoefte in een bepaald gedeelte van de hal.

Ook tegen regeninslag moeten de roosters afschermen. Voor roosters in een hellend dakvlak kan men een roostertype kiezen dat behalve naar buiten ook naar binnen kan afwateren, waar het regenwater via opvanggoten naar de bestaande hemelwaterafvoer wordt geleid. Men kan ook een roostertype kiezen dat altijd naar buiten afwatert.

In dat geval mogen de lamellen van het rooster in de geopende stand niet voorbij de horizontale stand komen.

Het netto-oppervlak van het geopende rooster (= totale luchtdoorlatende opening) is in het laatste geval beperkt ten opzichte van het bruto-oppervlak (= opening na verwijdering van het rooster).

In het eerste geval kan de verhouding netto-/bruto-oppervlak van het rooster veel gunstiger zijn. De weerstand van dit type rooster is echter groter door de opvanggoten.

Bij de berekening van het totale roosteroppervlak wordt uitgegaan van een roostertype dat altijd naar buiten afwatert. Mocht men echter de voorkeur geven aan een ander roostertype dan kan het roosteroppervlak hiervoor gecorrigeerd worden.

### 5.3 Berekening van de roosteroppervlakken

De drukfactoren (K) voor de gekozen roosterplaatsen (het verticale dakvlak, de bovenzijde van het schuine dakvlak en de oost- en westzijde van de dwarsopbouwen op het dak) zijn onderling vergeleken. Aan de hand daarvan zijn de roosteroppervlakken geschat. De drukfactoren die worden beschouwd zijn afgeleid van de winddrukken die zijn gemeten op het midden van een hal. Aan de randen heersen andere winddrukken, doch deze worden buiten beschouwing gelaten vanwege hun geringe aandeel in de totale ventilatie. Als deze aan de randen optredende drukken sterk afwijken zijn ze meestal hoger, zodat de ventilatie hierdoor gunstig wordt beïnvloed.

Vervolgens zijn berekeningen uitgevoerd met een rekenprogramma.

Hierbij is van het volgende uitgegaan:

- de gemeten drukfactoren (K) voor de roosterplaatsen;
- het ventilatievoud ( $a$ ) =  $4,5 \text{ h}^{-1}$  bij een ongestoorde windsnelheid van 2 m/s en geen thermische stroming;
- de contractiecoëfficiënt van de roosters = 0,7,
- de verhouding netto-/bruto-oppervlak van de roosters in het verticale dakvlak = 0,9; van de roosters in het  $25^\circ$  hellende dakvlak = 0,4.

Het ventilatievoud ( $a$ ) wordt verkregen door deling van de per uur in- of uittredeende luchtvolumestroom ( $q_v \times 3600$ ) op het halvolume

$$(V) : a = \frac{q_v \times 3600}{V}$$

De contractiecoëfficiënt is een maat voor de vernauwing van de luchtstroming door wrijving aan de lamellen van de roosters.

De verhouding netto-/bruto-oppervlak is de verhouding tussen de luchtdoorlatende opening van het geopende rooster en de opening die ontstaat bij verwijdering van het rooster.

Het rekenprogramma berekent de drukken in het gebouw bij een aantal opgegeven windrichtingen en een met behulp van de verschillen in drukfactoren gedane schatting van de verschillende roosteroppervlakken. Daarna worden de luchtvolumestromen door de roosters bepaald en de ventilatievouden die hierdoor ontstaan.

Door een aantal malen de roosteroppervlakken in de verschillende dakvlakken te corrigeren en de berekening opnieuw uit te voeren, kan uiteindelijk een gewenst ventilatievoud worden berekend bij een aantal kritieke windrichtingen. Kritieke windrichtingen zijn windrichtingen waarbij de verhouding tussen de voor de ventilatie bepalende winddrukken ongunstig is. Als voor deze windrichtingen het gewenste ventilatievoud kan worden verkregen, kan voor de overige windrichtingen een groter ventilatievoud worden verkregen.

Een ventilatievoud van ca.  $4,5 \text{ h}^{-1}$  wordt bij de kritieke windrichtingen verkregen als de roosters per kap de volgende bruto-oppervlakken hebben:

- in het verticale dakvlak ca.  $28 \text{ m}^2$ , hetgeen overeenkomt met elf roosters zoals nu reeds zes stuks aanwezig in het verticale dakvlak;
- boven in het schuine dakvlak ca.  $120 \text{ m}^2$ . Omdat de roosters versprongen moeten worden geplaatst t.o.v. de roosters in het verticale dakvlak en om voldoende onderlinge afstand tussen de roosters in het verticale en het schuine dakvlak te houden, lijkt een twaalftal roosters met afmetingen van ca. 4 m hoogte en ca. 2,5 m breedte het gunstigst;
- aan de oost- en de westzijde van de stuwschotten per zijde totaal ca.  $48 \text{ m}^2$  of bij toepassing van een tunnel per zijde ca.  $21 \text{ m}^2$ . Bij gebruik van stuwschotten komt dit neer op drie



stuwschotten per kap, bij een roosterbreedte van ruim 2 m en een roosterhoogte gelijk aan de hoogte van de korte, schuine dakzijde voor roosters in de korte, schuine dakzijde en een roosterhoogte van ca. 4 m voor de roosters onderin de lange schuine dakzijde. Bij windsnelheden hoger dan 2 m/s kunnen met deze ventilatievoorzieningen ventilatievouden worden bereikt die hoger zijn dan  $4,5 \text{ h}^{-1}$ .

Windsnelheden lager dan 2 m/s komen volgens bijlage 5 ca. 7% van de tijd voor.

Omdat 's nachts de windsnelheden gemiddeld lager zijn dan overdag, is de kans op windsnelheden lager dan 2 m/s overdag kleiner.

Bovendien kan in de pieksituaties waarvoor een ventilatievoud van  $4,5 \text{ h}^{-1}$  gewenst wordt op een behoorlijke thermische stroming gerekend worden. Immers, wanneer een groot aantal transportvoertuigen uitlaatgassen in de hal produceert, is er een aanzienlijke warmteproductie van de motoren, en bij bestraling van de hal door de zon zal de temperatuur in de hal ook snel boven de buitentemperatuur komen.

De thermische stroming die in deze gevallen vooral bij geopende toegangsdeuren ontstaat, zal bij vrijwel windstil weer al een behoorlijke bijdrage tot de ventilatie geven.

Samenvattend betekent dit dat de kans dat met de voornoemde voorzieningen overlast optreedt door te weinig ventilatie vrijwel nihil is. Mocht dit een overweging zijn om de ventilatie op een ventilatievoud lager dan  $4,5 \text{ h}^{-1}$  af te stemmen, dan kan men in principe de berekende roosteroppervlakken evenredig verkleinen.

## 6. GEBRUIK VAN DE VENTILATIEVOORZIENINGEN

In het voorgaande is berekend met welke ventilatievoorzieningen een ventilatievoud van  $4,5 \text{ h}^{-1}$  haalbaar is bij een aantal kritieke windrichtingen, een windsnelheid van 2 m/s en geen thermische stroming. Volgens bijlage 5 zullen ca. 93% van de tijd hogere windsnelheden optreden, gepaard gaande met een groter ventilatievoud.

Ook zal in werkelijkheid in bepaalde mate thermische stroming optreden. De luchtstroming door de geheel geopende roosters kan bij hogere windsnelheden dan ook met zulke luchtsnelheden gepaard

gaan dat tochthinder kan optreden. In dat geval zal men vooral de roosters waardoor lucht naar binnen stroomt geheel of gedeeltelijk willen sluiten. Ook zal in vele gevallen een ventilatievoud lager dan  $4,5 \text{ h}^{-1}$  voldoende zijn en bijvoorbeeld in een koude periode zelfs wenselijk om de temperatuur in de hal zo aangenaam mogelijk te houden. Om een en ander te kunnen verwezenlijken moeten de roosters bijvoorbeeld per groep regelbaar zijn. Roosters in verschillende dakzijden moeten onafhankelijk van elkaar regelbaar zijn. Een goede voorinstelling van de roosters aan het begin van elke gebruiksday is meestal voldoende voor de duur van die dag.

Tabel 6-1: VENTILATIEVOUDEN BIJ VERSCHILLENDE ROOSTERSTANDEN;  
ventilatie uitsluitend t.g.v. wind (bewolkt weer en weinig transport-  
voertuigen in de hal).

Windrichting				Noord			Oost			Zuid			West		
Windsnelheid [m/s]				2	5	8	2	5	8	2	5	8	2	5	8
Roosterstanden															
Verticale dakvlak	bovenin schuine dakvlak	oostzijde dwarsopbouw	westzijde dwars opbouw												
1	1	1	1	6,5	18	29	6,5	17	27	5	13	20	4,5	12	19
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3,5	9	14	3	8,5	14	2,5	6,5	10	2	6	9,5
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	2	4,5	7	1,5	4	6,5	1	3	5	1	3	4,5
1/8	1/8	1/8	1/8	1	2	3,5	1	2	3	0,5	1,5	2,5	0,5	1,5	2,5
$\frac{1}{2}$	1	1	1	5	13	22	5,5	15	24	4	11	18	3,5	9,5	16
0	1	1	1	4	10	17	4	11	18	3,5	9	15	3	7,5	13
1	$\frac{1}{2}$	1	1	5,5	14	23	5,5	15	24	3,5	9	15	4	11	18
1	0	1	1	3	7	12	3,5	9,5	15	1,5	4	6,5	3	8,5	14
1	1	$\frac{1}{2}$	1	5,5	15	25	6	16	26	4,5	12	19	4	10	17
1	1	0	1	4,5	12	20	5,5	14	23	4	11	17	3	8,5	14
1	1	1	$\frac{1}{2}$	6,5	17	28	5	13	22	4,5	12	20	3	8,5	14
1	1	1	0	6	16	26	3,5	8,5	14	4,5	12	19	3	7,5	12

Tabel 6-2: VENTILATIEVOUDEN BIJ VERSCHILLENDE ROOSTERSTANDEN;

ventilatie t.g.v. wind en thermische stroming (zonnig weer en/of veel transportvoertuigen in de hal)

Windrichting				Noord				Oost				Zuid				West			
Windsnelheid [m/s]				0	2	5	8	0	2	5	8	0	2	5	8	0	2	5	8
Roosterstanden																			
verticale dakvlak	bovenin schuine dakvlak	oostzijde dwarsopbouw	westzijde dwarsopbouw																
1	1	1	1	2,5	7	19	30	2,5	7	18	30	2,5	4,5	13	22	2,5	4,5	12	19
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1,5	4	10	16	1,5	3,5	10	15	1,5	2,5	7	12	1,5	2	6	9,5
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	2	5,5	9	1	2	5	8	1	1,5	4	6,5	1	1	3	5
1/8	1/8	1/8	1/8	0,5	1	3	5	0,5	1	2,5	4,5	0,5	1	2	3,5	0,5	1	1,5	3
$\frac{1}{2}$	1	1	1	2	5,5	15	24	2	6	16	26	2	4	12	19	2	3,5	9,5	16
0	1	1	1	2	5	11	18	2	5	12	20	2	3	9,5	16	2	3	7,5	13
1	$\frac{1}{2}$	1	1	2	5,5	15	24	2	6	15	25	2	4	9,5	16	2	4	11	18
1	0	1	1	1,5	3	7,5	12	1,5	4	9,5	16	1,5	2	5	8,5	1,5	4	9	15
1	1	$\frac{1}{2}$	1	2	6	16	27	2	6,5	17	27	2	4,5	12	20	2	4	11	17
1	1	0	1	1,5	5,5	14	22	1,5	5,5	14	23	1,5	4	11	19	1,5	3,5	8,5	14
1	1	1	$\frac{1}{2}$	2	7	18	29	2	5,5	14	24	2	4,5	13	21	2	3,5	8,5	14
1	1	1	0	1,5	6,5	17	28	1,5	4	10	16	1,5	4,5	12	20	1,5	3,5	8	13

De gebruikstabellen 6-1 en 6-2 zijn hiervoor samengesteld.

Tabel 6-1 geldt voor ventilatie uitsluitend ontstaan door de wind. In de praktijk betekent dit bewolkt weer en weinig verkeer in de hallen.

Tabel 6-2 geldt voor ventilatie ontstaan door de wind en door thermische stroming. Deze situatie doet zich voor als er veel verkeer in de hallen is en/of bij zonnig weer.

Met behulp van weerkundige gegevens van het K.N.M.I. en afhankelijk van de verwachte aanvoer van produkten kan men zo de gunstigste voorinstelling van de roosterstanden bepalen.

## 7. CONCLUSIES

le Voor alle hallen is met een combinatie van de volgende voorzieningen (zie ook figuren 5.1.-1 en 5.1.-2) gedurende minimaal 93% van de tijd een ventilatievoud van  $4,5 \text{ h}^{-1}$  haalbaar:

- roosters in het verticale dakvlak met een totaal bruto-oppervlak van ca.  $28 \text{ m}^2$  per kap, alsmede
- roosters bovenin het schuine dakvlak met een totaal bruto-oppervlak van ca.  $120 \text{ m}^2$  per kap, versprongen geplaatst t.o.v. de roosters in het verticale dakvlak en
- roosters aan weerszijden direct naast een drietal stuwschotten per kap met een bruto-oppervlak van  $16 \text{ m}^2$  per zijde per stuwschot. De roosterbreedte mag maximaal 2 à 2,5 m bedragen. De stuwschotten moeten in het onderste dakgedeelte verticaal worden geplaatst in vlakken loodrecht op de lengterichting van de kap op zo groot mogelijke afstand van elkaar. De stuwschotten moeten tot in de hallen doorlopen;
- in plaats van de roosters aan weerszijden van stuwschotten kan men ook een tunnel over de middens der kappen aanbrengen. In beide verticale zijden van de tunnel dienen roosters aangebracht te worden met een bruto-oppervlak van ca.  $21 \text{ m}^2$  per kap per zijde. In het hart van de tunnel moet een verticale plaat worden aangebracht.

2e De kans op overlast door te weinig ventilatie is bij juist gebruik van de voornoemde ventilatievoorzieningen nihil. Bij windstil weer wordt wel aanbevolen de ventilatie te vergroten door het openen van de toegangsdeuren.

3e Gedurende het grootste gedeelte van de tijd is een ventilatievoud groter dan  $4,5 \text{ h}^{-1}$  haalbaar, afhankelijk van de heersende windsnelheid en de standen van de roosters. Men kan de bedieningstabellen 6-1 en 6-2 raadplegen om te zien of een gewenst ventilatievoud haalbaar is onder bepaalde omstandigheden en om te zien met welke roosterstanden dit wordt bereikt.

Dit is met name van belang om in de zomermaanden de temperatuur in de hal niet te hoog te laten oplopen.

## 8. AANBEVELINGEN

Aanbevolen wordt de ventilatievoorzieningen niet direct geheel aan te brengen, maar in fasen. Er kan dan blijken of met een gedeelte van de voorzieningen al een bevredigende situatie wordt bereikt. Ook zou men eerst één of twee hallen van genoemde roosters of een gedeelte ervan kunnen voorzien, als de klachten in de overige hallen gering zijn.

Aan de hand van de bevindingen kan men dan besluiten of en in welke mate men ventilatievoorzieningen aanbrengt in de overige hallen. Bij het aanbrengen in fasen moet men er wel voor zorgen dat de roosteroppervlakken in de verschillende dakvlakken in de genoemde verhoudingen worden aangebracht.

De ventilatievouden die men nog kan verwachten als van alle roosteroppervlakken bijvoorbeeld een kwart wordt aangebracht, zijn gelijk aan de ventilatievouden die in de tabellen 6-1 en 6-2 zijn vermeld voor de totale roosteroppervlakken als deze voor een vierde deel zijn geopend.

Aansluitend op het voorgaande is door de opdrachtgever gevraagd welk minimaal ventilatievoud als uitgangspunt kan gelden om een aanvaardbare verdunning te krijgen van de uitlaatgassen van de transportvoertuigen. Hiervan is als volgt een schatting te maken.

Voor schade aan de gezondheid door uitlaatgassen in de lucht wordt door de milieu-inspecties de koolmonoxydeconcentratie bepalend geacht. Als grenswaarde wordt een maximaal aanvaarde concentratie (m.a.c.) gehanteerd van  $50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^3$  (per  $\text{m}^3$  lucht mag maximaal  $50 \times 10^{-6} \text{ m}^3$  koolmonoxyde voorkomen). De gemiddelde koolmonoxydeproductie van vrachtauto's, bestelauto's en heftrucks is aan de hand van literatuurgegevens [1] geschat op  $0,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  per transportvoertuig. Bij een gemiddelde duur van het verblijf in de hal met draaiende motor van 5 minuten produceert een transportvoertuig een hoeveelheid koolmonoxyde van  $0,4 \times 10^{-3} \times 5 \times 60 = 0,12 \text{ m}^3$ . Bij een aanname van 100 transportvoertuigen per uur in een pieksituatie is de gemiddelde koolmonoxydeproductie tijdens dat uur  $\frac{100 \times 0,12}{3600} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

De minimale volumestroom buitenlucht die moet worden toegevoerd om deze koolmonoxyde productie dusdanig te verdunnen dat de concentratie de m.a.c. niet overschrijdt is  $\frac{3 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-6}} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$  (=  $200.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Bij een halvolume van ongeveer  $200.000 \text{ m}^3$  komt dit neer op een minimaal ventilatievoud van ca.  $1 \text{ h}^{-1}$ . Wil men andere uitgangspunten kiezen voor het aantal transportvoertuigen per uur of de gemiddelde verblijfsduur dan kan men hiervoor het minimaal gewenste ventilatievoud evenredig veranderen. Bovenstaande berekening houdt niet in dat plaatselijk gedurende bepaalde tijd geen koolmonoxydeconcentraties op kunnen treden die de m.a.c. te boven gaan. De berekening geeft slechts een indruk van de gemiddelde concentratie.

#### 9. GEBRUIKTE SYMBOLEN

a	= ventilatievoud	$[\text{h}^{-1}]$
K	= drukfactor	-
$q_v$	= luchtvolumestroom	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
V	= volume van de hal	$[\text{m}^3]$
$V_0$	= ongestoorde windsnelheid	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
$\Delta p$	= drukverschil	$[\text{Pa}]$
$\rho$	= dichtheid van lucht	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

10. LITERATUUR

- [1] Mercey, A. Ventilatie van ondergrondse en bovengrondse gesloten parkeergarages. Technisch Gemeentebld 1969, 8/9.



## BIJLAGE I: EISEN VOOR MODELONDERZOEK

### Bijlage 1.1 : Keuze van het model

De keuze van de grootte van het model hangt nauw samen met de uitgestrektheid van het veilingcomplex of een te onderzoeken deel daarvan en met de beschikbare ruimte in de windtunnel.

De windtunnel van het IMG-TNO heeft een doorsnede van  $1,10 \times 1,10 \text{ m}^2$ , waarvan naar de ervaring leert slechts 15% door het model geblokkeerd mag worden. Tevens moet het model zich, in verband met ongewenste grenslaagverschijnselen, minstens 0,05 m vanaf de zijwanden van de tunnel bevinden. Afhankelijk van het onderzoek is het soms noodzakelijk de omliggende bebouwing in het model op te nemen. Het model mag hierdoor niet te klein worden, daar dan de meetinstrumenten een te grote storingsfactor gaan vormen en de meetuitkomsten onbetrouwbaar worden.

Om op een gemakkelijke manier de windrichting ten opzichte van het model te kunnen instellen wordt dit bevestigd op een in de tunnelbodem opgenomen draaibare ronde schijf, die een diameter heeft van 1 m. Op grond van bovenstaande overwegingen is besloten tot het maken van een model van het gehele veilingcomplex op schaal 1 : 500.

Voor een meer gedetailleerd onderzoek is bovendien een model vervaardigd van een gedeelte van een hal op schaal 1 : 125.

### Bijlage 1.2 : Simulatie van de omgeving

In hoofdstuk 2.1 is al vermeld dat de windsnelheid en de windrichting door obstakels in de omgeving van het te onderzoeken object beïnvloed worden.

De windrichting ter plaatse van een gedeelte van het gebouw wordt voornamelijk beïnvloed door de directe omgeving. Indien dit van toepassing is, wordt de directe omgeving in het model opgenomen.

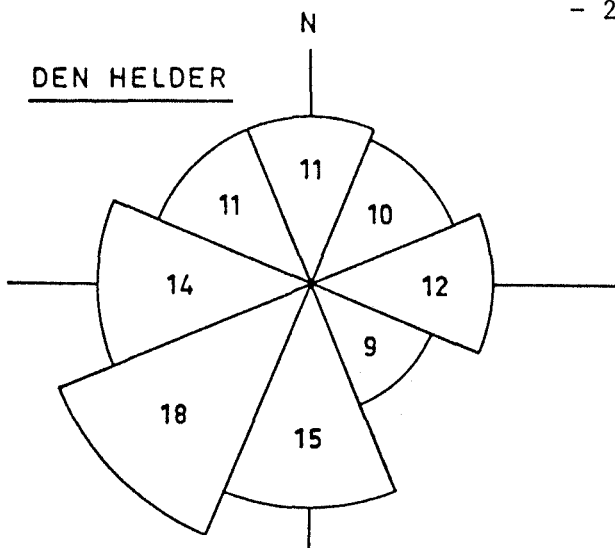
De windsnelheid wordt behalve door de directe omgeving ook door de verder stroomopwaarts gelegen omgeving beïnvloed. Hierdoor ontstaat in de werkelijkheid een verloop van de windsnelheid met de

hoogte: hoe kleiner de afstand tot de bodem wordt des te lager wordt de windsnelheid. De door dit verloop gekarakteriseerde snelheden moeten worden gezien als gemiddelden van de werkelijk optredende windsnelheden, daar de wind in de natuur zowel in richting als in grootte voortdurend varieert. De vorm van het snelheidsprofiel hangt in grote mate af van de ruwheid van het stroomopwaarts gelegen bodemoppervlak en kan gekarakteriseerd worden door een zogenaamde ruwheidsfactor  $Z_0$ . De verschijnselen die in werkelijkheid optreden kunnen in een windtunnel goed worden nagebootst, mits men ervoor zorgt dat het verloop van de windsnelheid met de hoogte bij het modelonderzoek hetzelfde is als in de natuur.

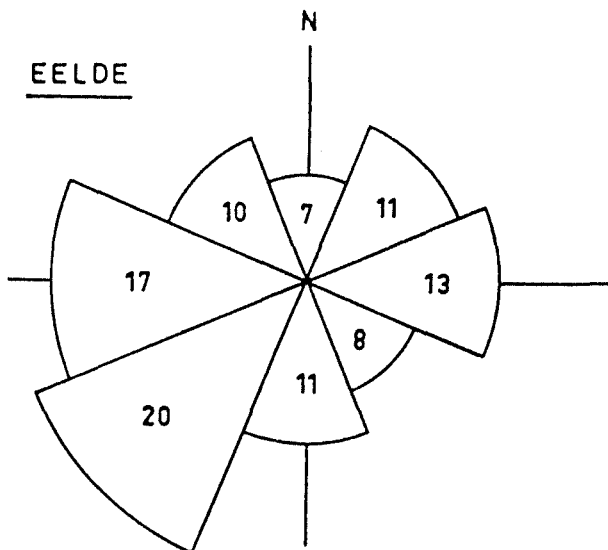
Dit zou het meest natuurgetrouw verkregen worden als voor de diverse windrichtingen in de gehele aanloopstrook van de tunnel een model van de omgeving geplaatst zou worden. Door de Deense onderzoekers Jensen en Franck is echter een methode ontwikkeld, waarbij met behulp van latten of balken in de windtunnel een grenslaag gecreëerd kan worden met vrijwel hetzelfde snelheidsverloop als in de natuur. De ruwheidsfactor van de tunnelvloer is dan op schaal dezelfde als de werkelijke ruwheidsfactor.

Op grond van literatuurgegevens van vergelijkbare oppervlakken is de ruwheidsfactor in de werkelijkheid ( $Z_0$ ) voor de oriëntaties zuid tot west geschat op 1 m en voor de overige richtingen op 0,5 m. Omdat in de toekomst mogelijkwerwijs rond het veilingcomplex wordt gebouwd, is voor alle richtingen de ongunstigste ruwheidsfactor (1 m) aangehouden.

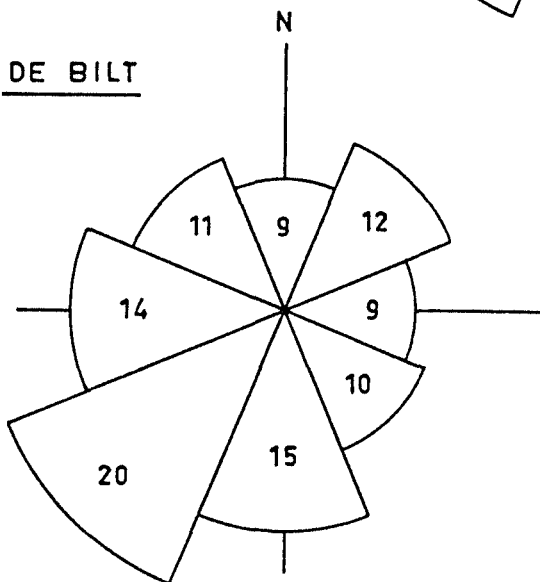
DEN HELDER



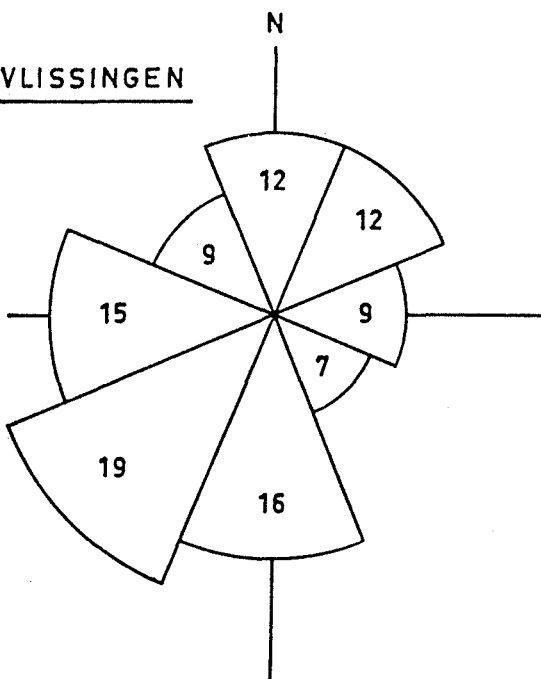
EELDE



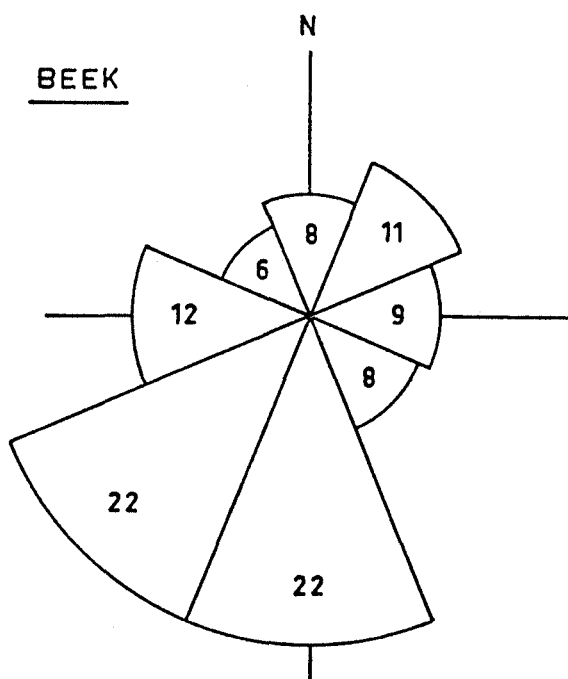
DE BILT



VLISSINGEN

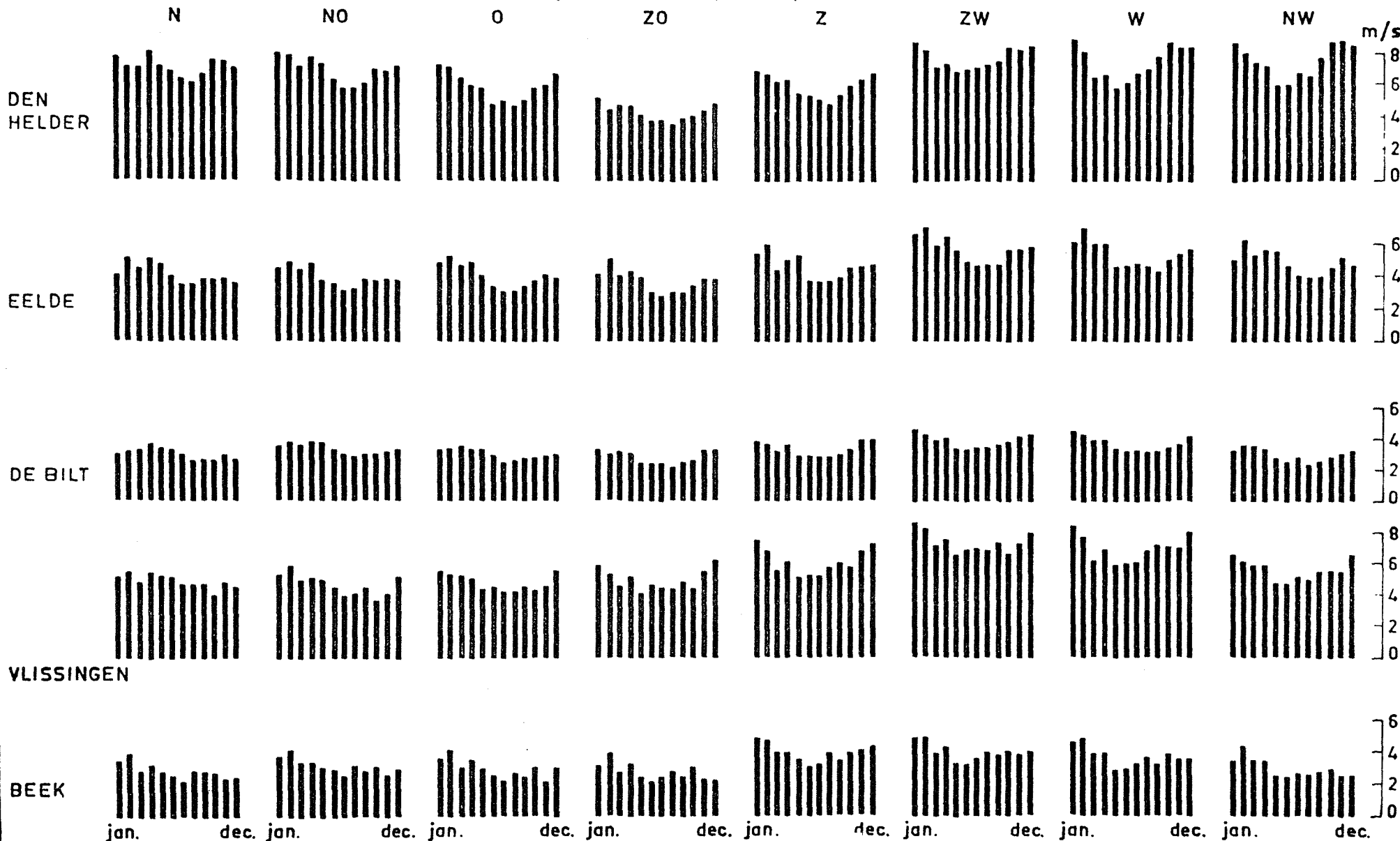


BEEK

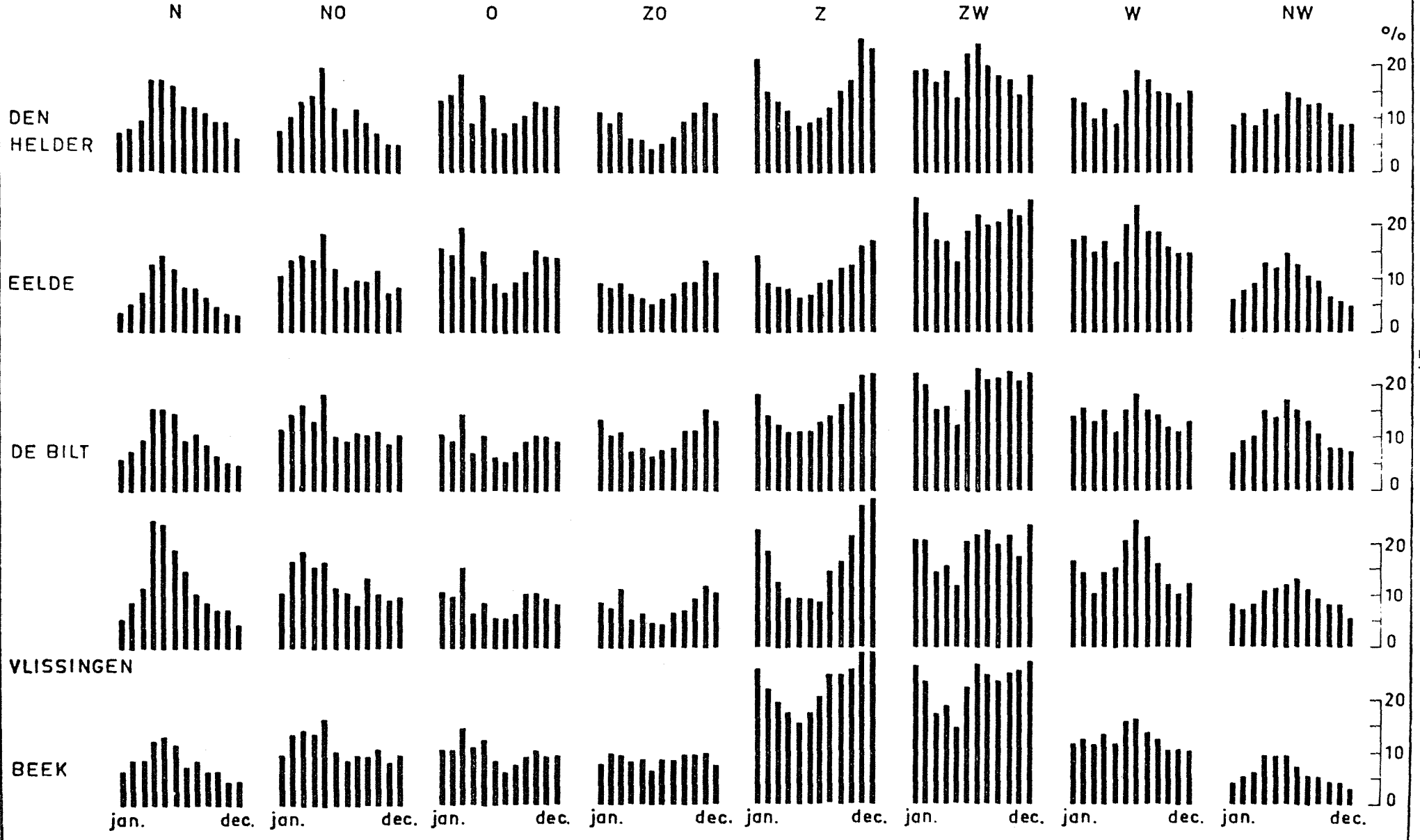


Frequentieverdeling (%) van de windrichtingen voor de vijf hoofdstations in de periode 1931 t/m 1960

Gemiddelde windsnelheden per maand voor de vijf hoofdstations  
(periode 1931 t/m 1960)



Frequentieverdeling van de windrichtingen per maand voor de vijf hoofdstations  
(periode 1931 t/m 1960)

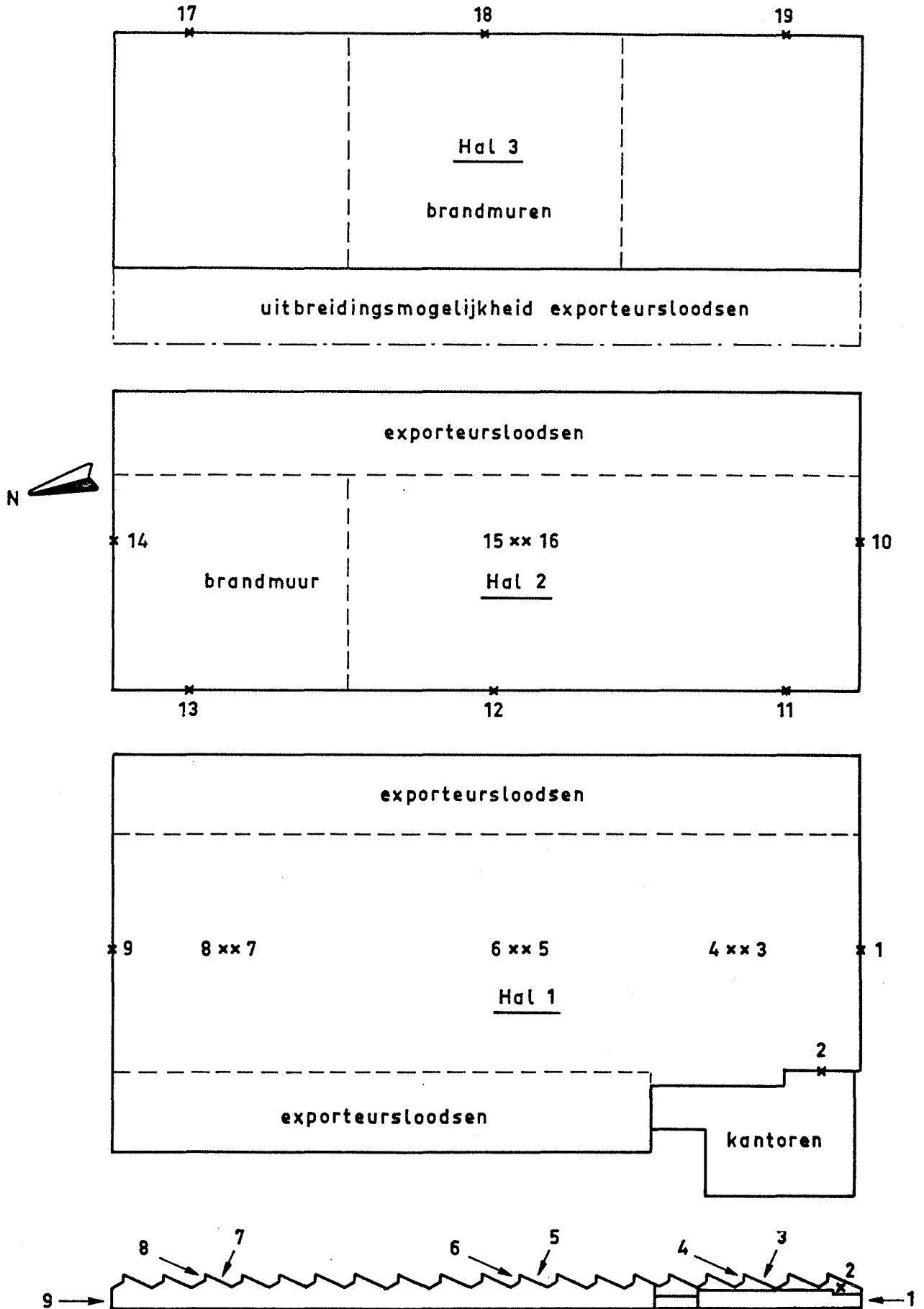


Frequentieverdeling (in %) van de gemiddelde windsnelheden  
in de periode 1931 t/m 1960

Klassen	<u>DE BILT</u>		<u>DEN HELDER</u>		<u>VLISSINGEN</u>	
	Fractie	Somfunctie	Fractie	Somfunctie	Fractie	Somfunctie
00	0,8	0,8	3,0	3,0	3,6	3,6
01	5,7	6,5	3,9	6,9	6,1	9,7
02	14,7	21,3	6,5	13,5	11,5	21,2
03	19,5	40,8	9,4	22,9	12,8	34,0
04	18,4	59,2	11,3	34,1	14,2	48,1
05	14,0	73,2	11,3	45,4	11,9	60,0
06	9,8	83,1	10,9	56,3	10,6	70,6
07	6,6	89,7	9,8	66,1	8,8	79,4
08	4,5	94,1	8,3	74,4	6,3	85,7
09	2,6	96,7	6,5	80,8	4,7	90,3
10	1,4	98,1	5,4	86,3	3,1	93,4
11	0,8	98,9	4,4	90,6	2,3	95,7
12	0,5	99,4	3,2	93,9	1,4	97,1
13	0,3	99,7	2,3	96,2	0,9	98,0
14	0,2	99,8	1,3	97,5	0,7	98,7
15	0,08	99,9	0,9	98,4	0,5	99,2
16	0,04	99,97	0,8	99,2	0,3	99,6
17	0,02	99,98	0,4	99,5	0,2	99,7
18	0,01	99,99	0,2	99,7	0,1	99,8
19	0,00	99,99	0,1	99,8	0,06	99,8
20	0,00	99,99	0,07	99,9	0,04	99,9
21	0,00	99,99	0,04	99,95	0,02	99,98
22	0,00	99,99	0,03	99,98	0,01	99,99
23	0,00	99,99	0,01	99,99	0,00	99,99
24	0,00	99,99	0,00	99,99	0,00	99,99
25	0,00	100,00	0,00	99,99	0,00	99,99
26			0,00	99,99	0,00	99,99
27			0,00	99,99	0,00	100,00
28			0,00	99,99		
29			0,00	99,99		
30			0,00	100,00		

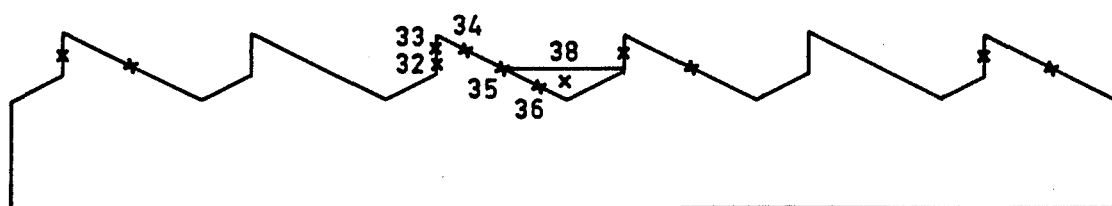
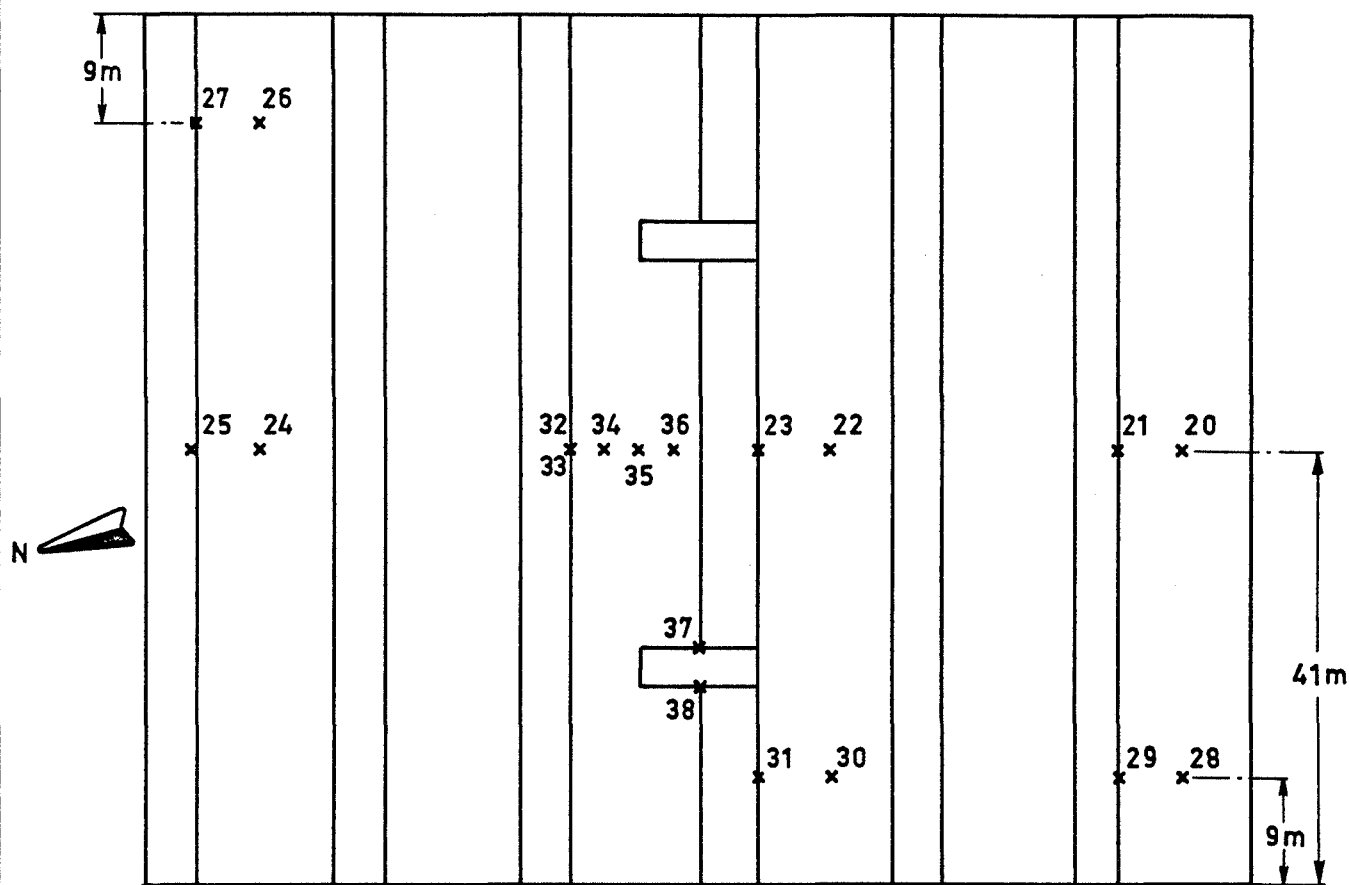
Klassen 00: 0,0 t/m 0,9 m/s  
01: 1,0 t/m 1,9 m/s enz.

0,00 wel voorgekomen, maar minder dan 0,005%



Plattegrond met drukmeetpunten (1 t/m 19) aan model 1:500 van veilingcomplex „Bleiswijk“

Bijlage 6

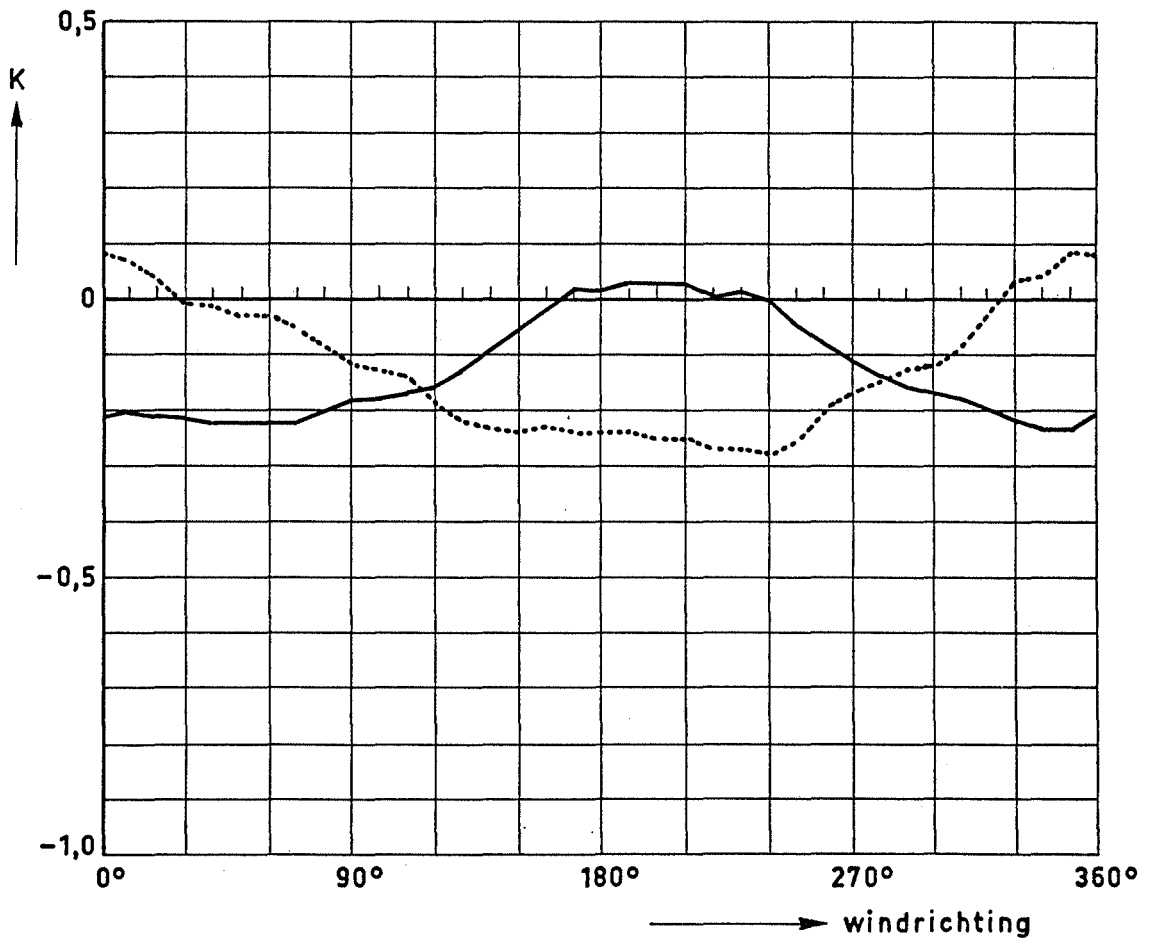


Plattegrond met drukmeetpunten (20 t/m 38) aan model 1:125 van een gedeelte van een veilinghal



Grafiek 1 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 1 en 9  
als functie van de windrichting

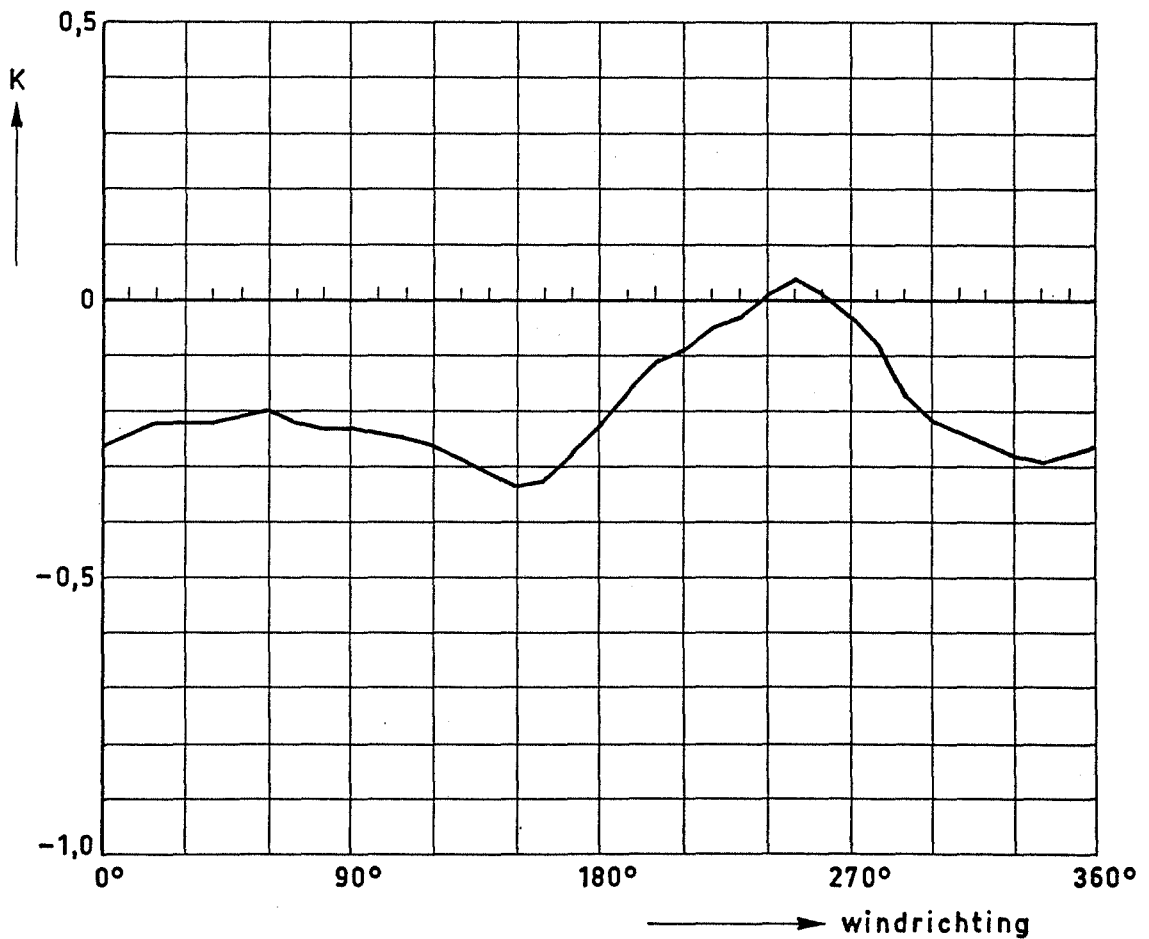
1 = ————— zuidgevel } hal 1  
9 = ..... noordgevel }



0° = Noord  
90° = Oost  
180° = Zuid  
270° = West

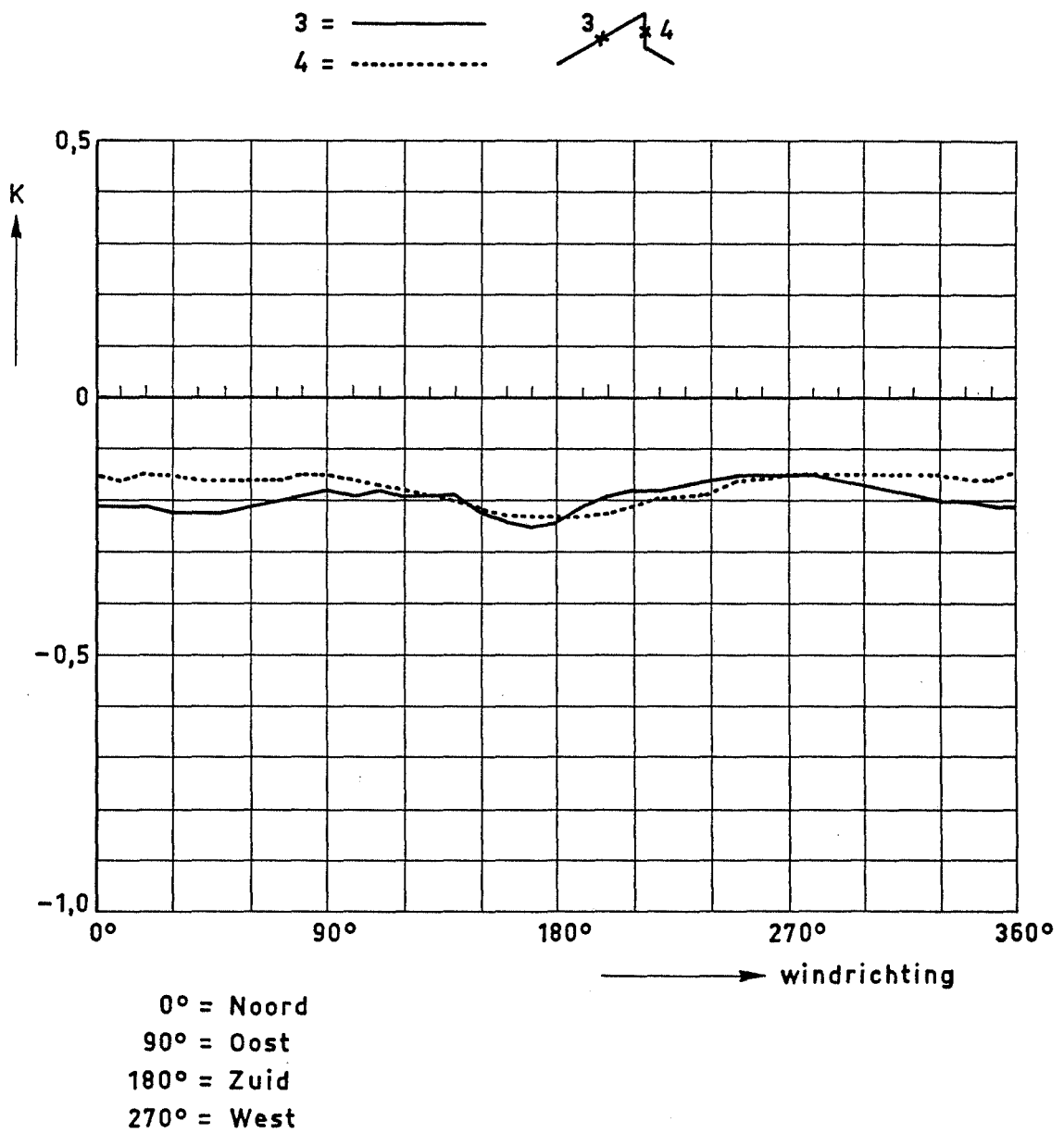
Grafiek 2 : Drukfactor (K) voor meetpunt 2  
als functie van de windrichting

2 = ————— bovenkantoren westgevel

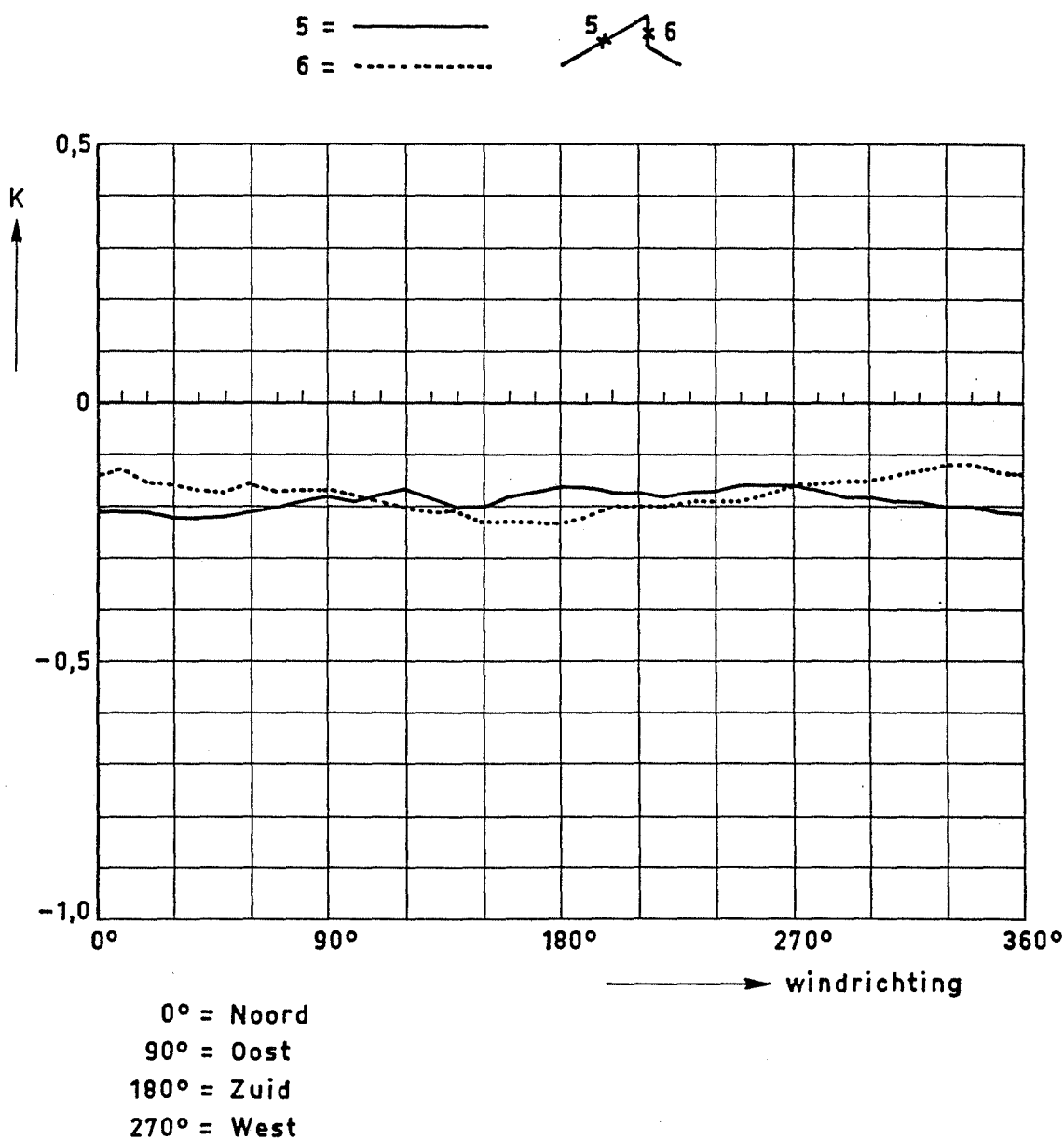


0° = Noord  
90° = Oost  
180° = Zuid  
270° = West

Grafiek 3 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 3 en 4  
als functie van de windrichting

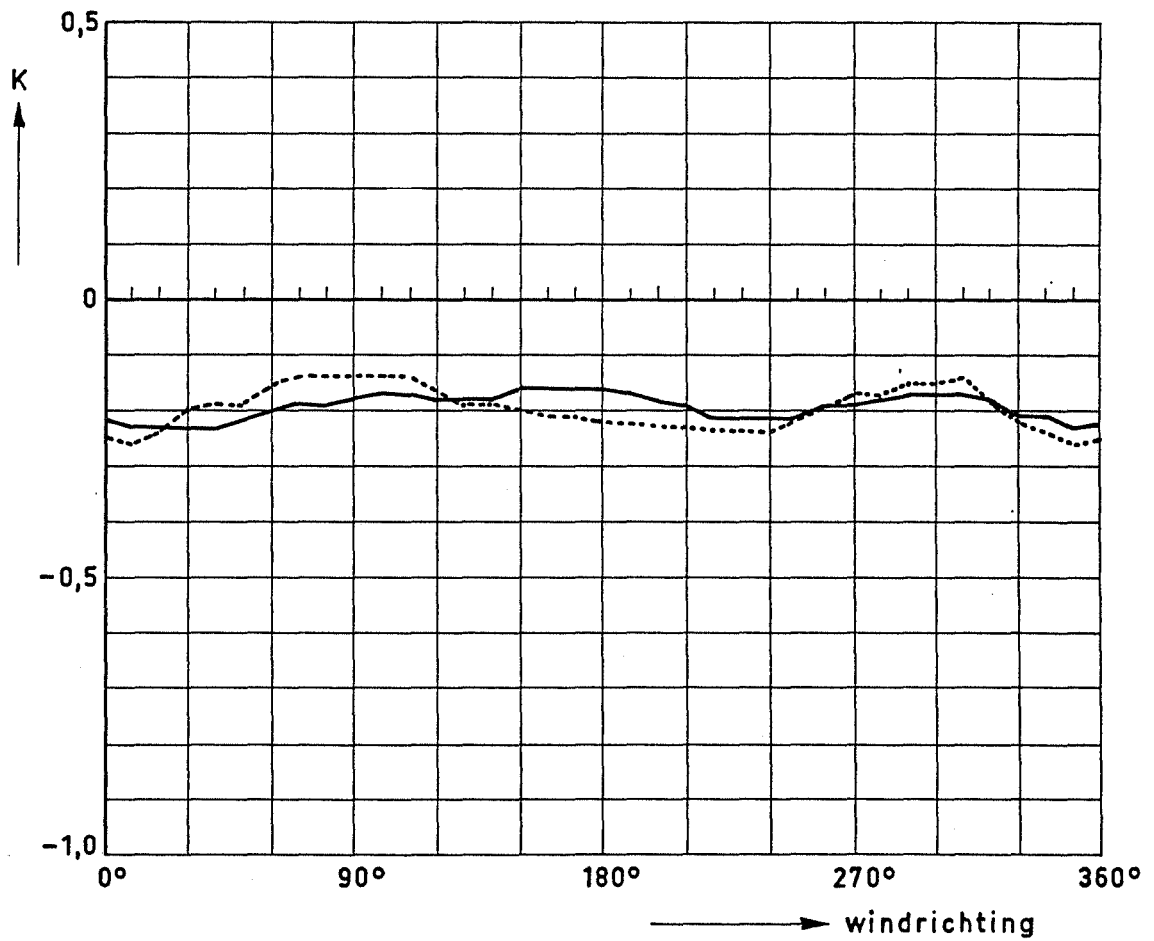
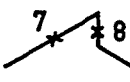


Grafiek 4 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 5 en 6  
als functie van de windrichting



Grafiek 5 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 7 en 8 als functie van de windrichting

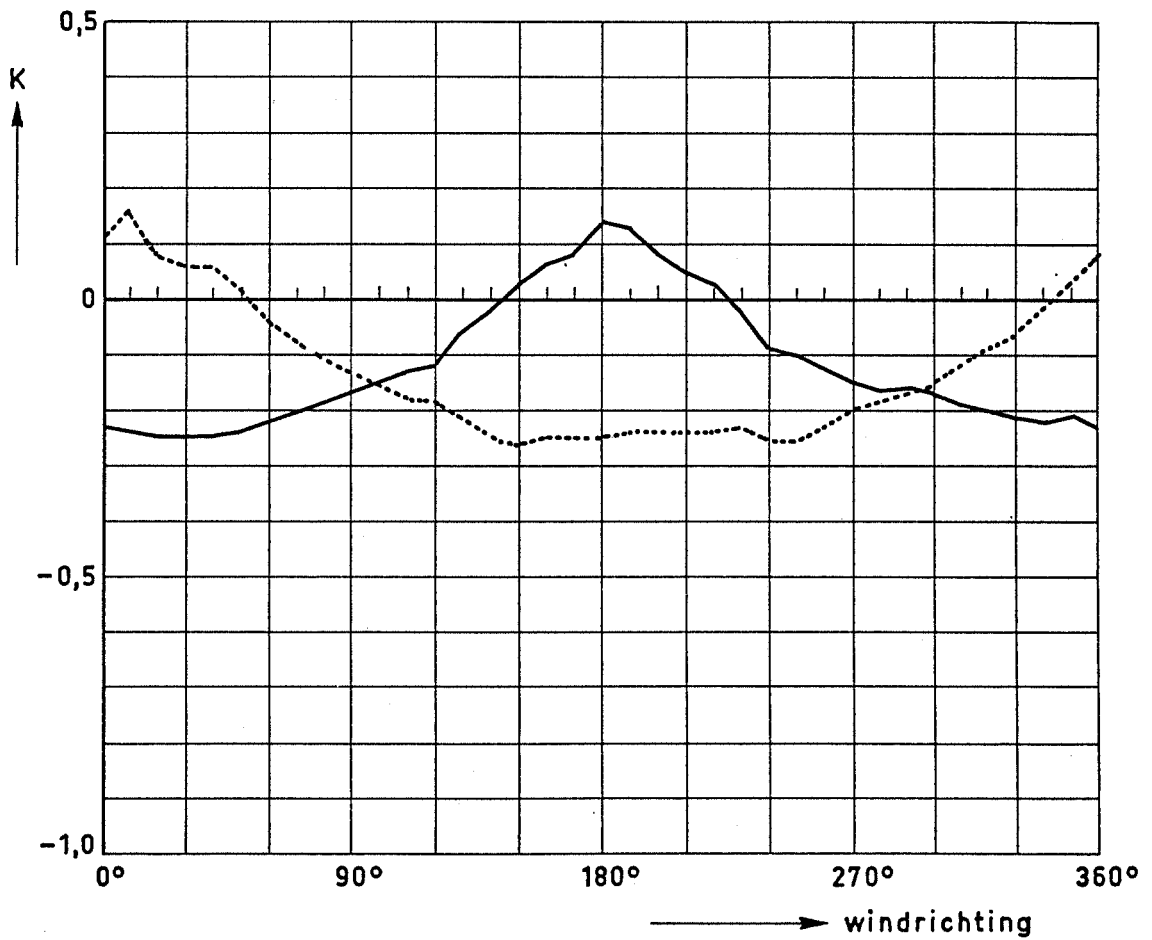
7 = —————  
8 = - - - - -



0° = Noord  
90° = Oost  
180° = Zuid  
270° = West

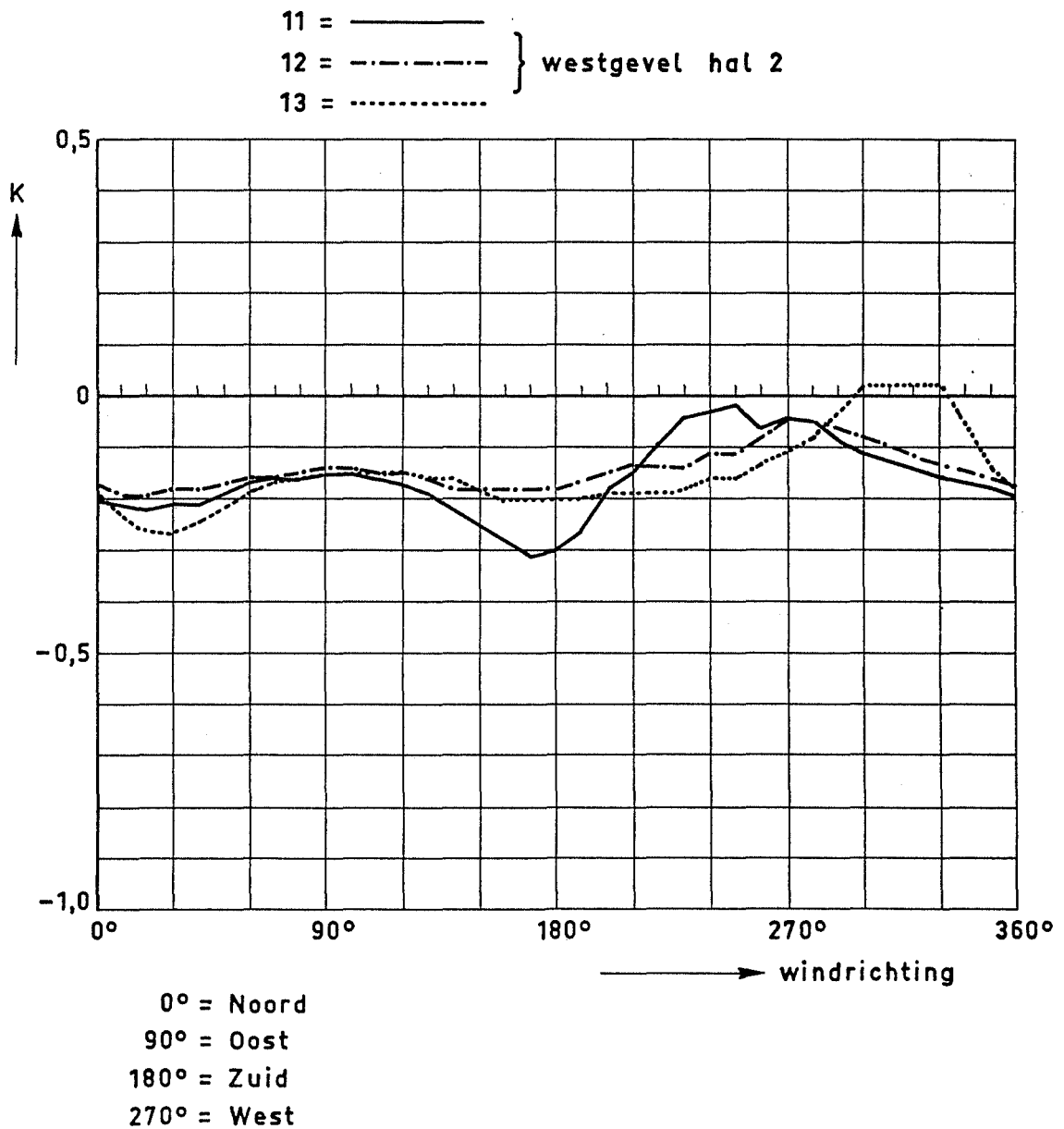
Grafiek 6 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 10 en 14 als functie van de windrichting

10 = ————— zuidgevel } hal 2  
14 = ..... noordgevel }

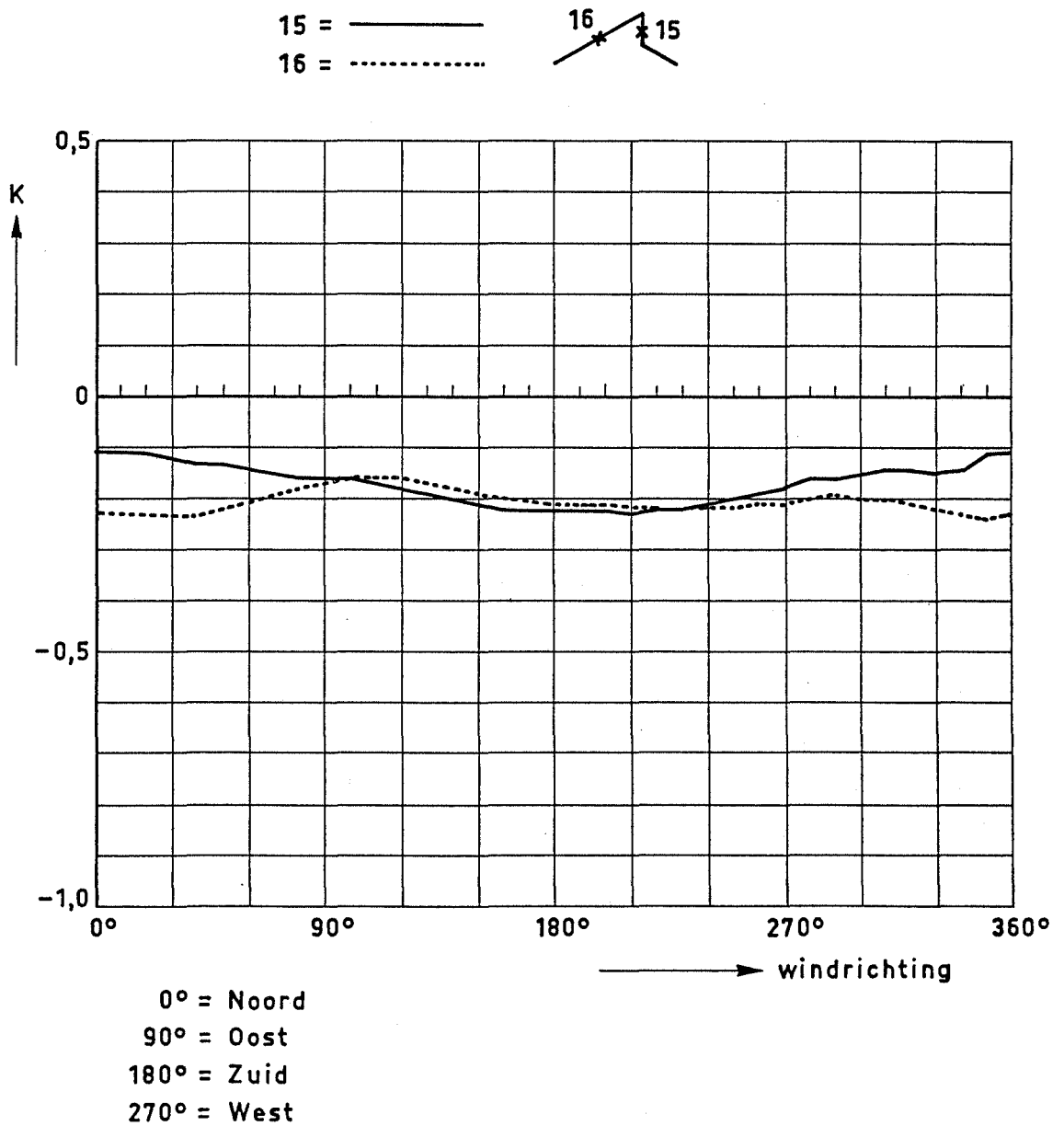


0° = Noord  
90° = Oost  
180° = Zuid  
270° = West

Grafiek 7 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 11,12 en 13 als functie van de windrichting



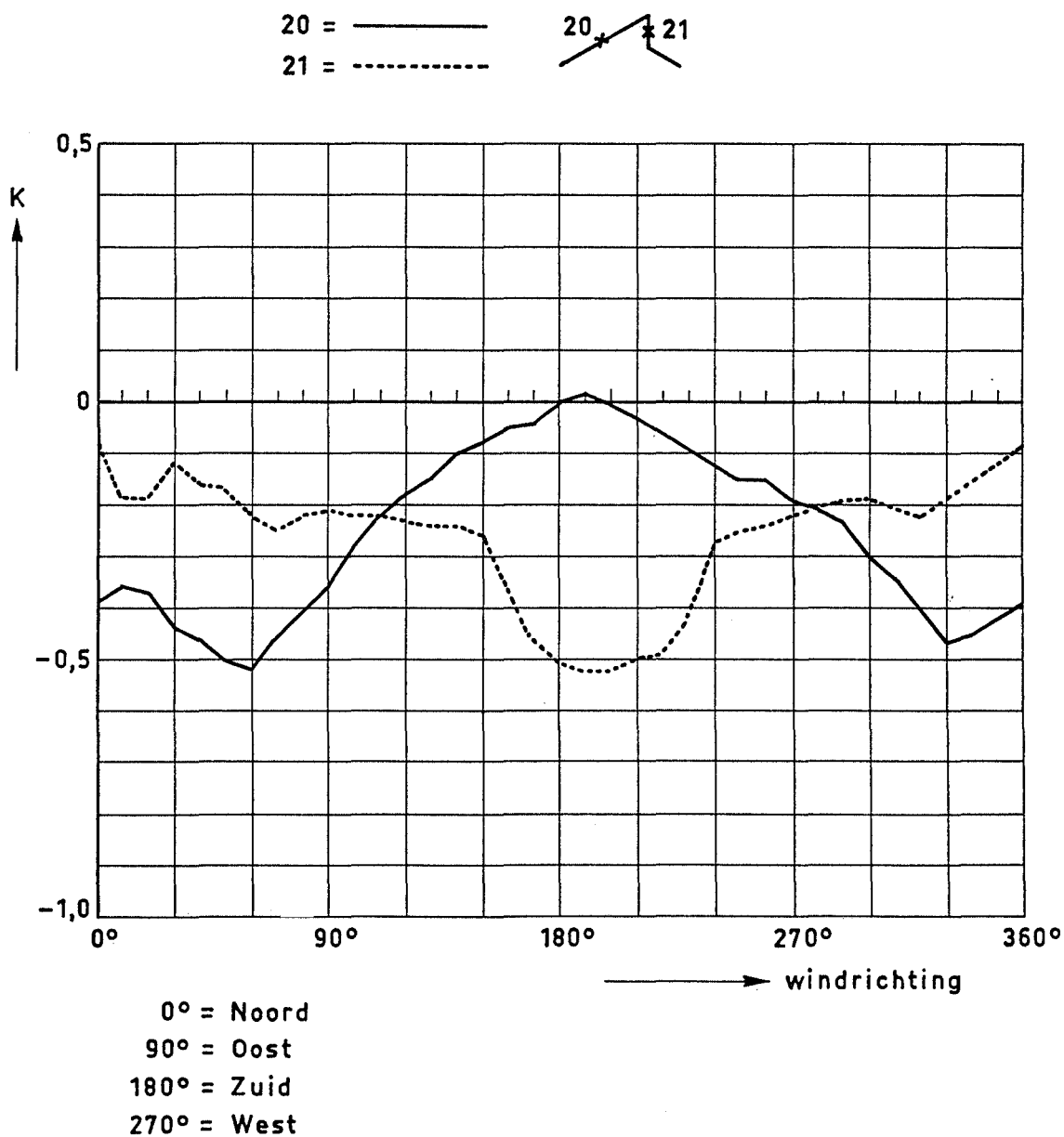
Grafiek 8 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 15 en 16 als functie van de windrichting



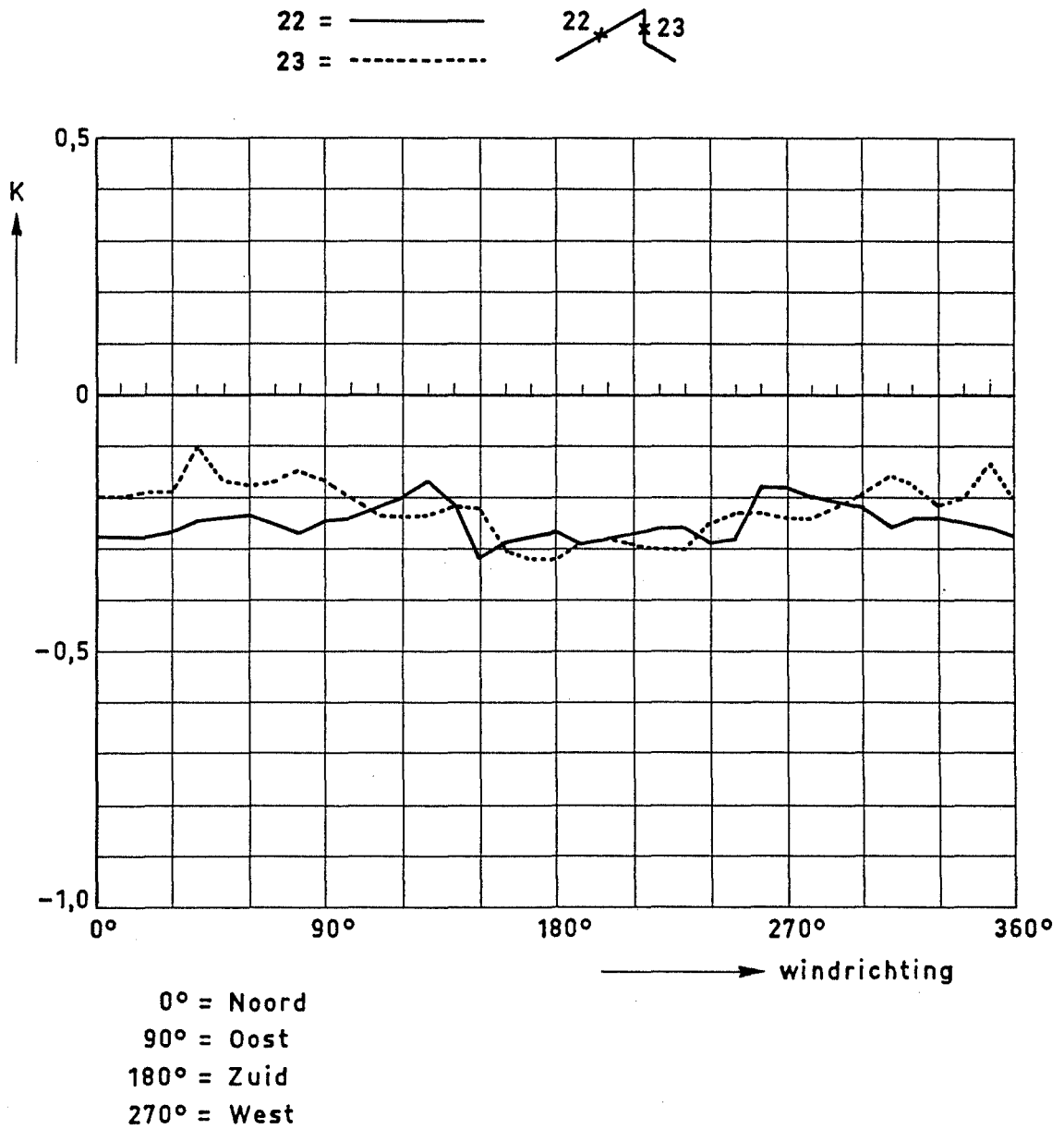




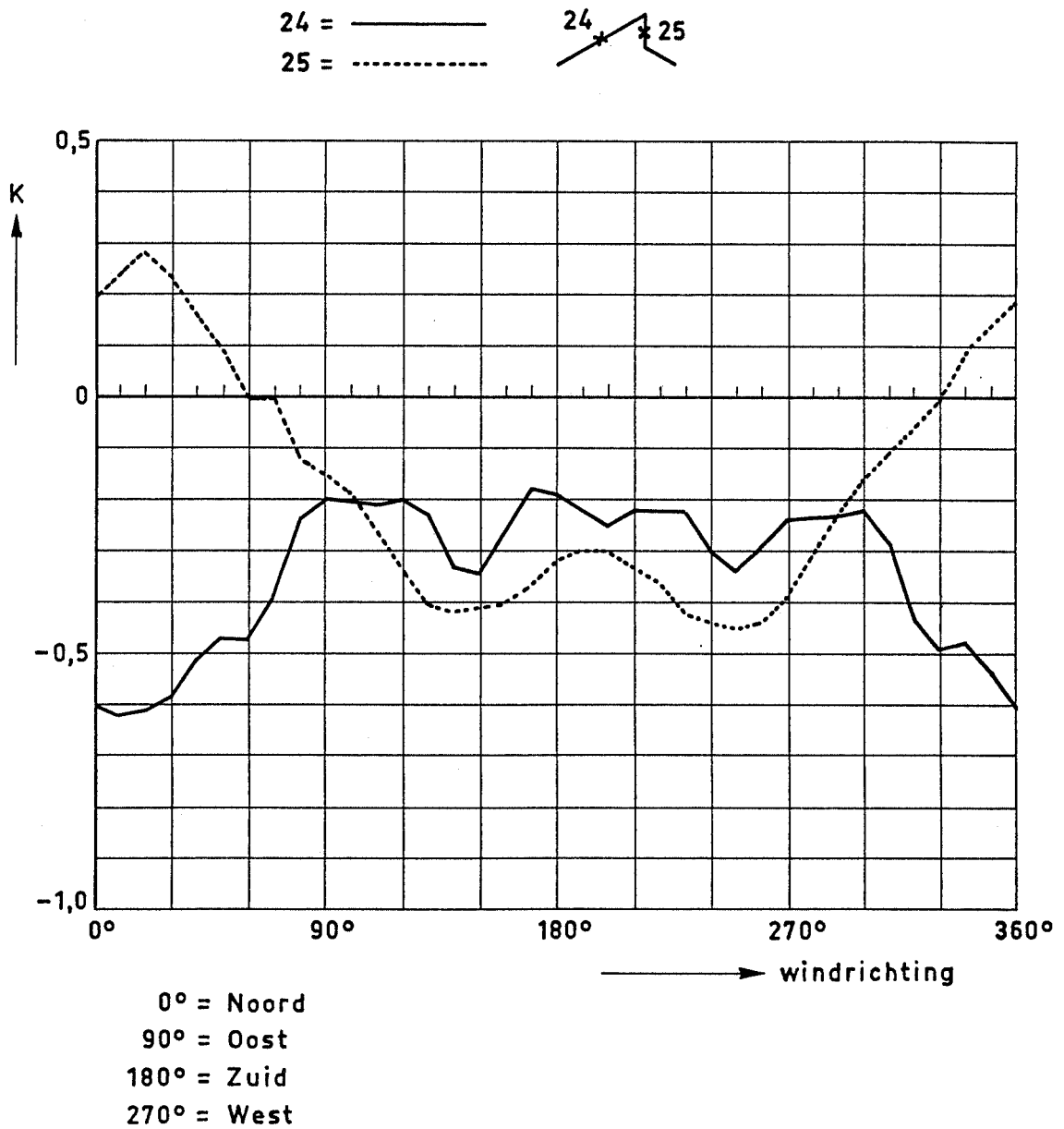
Grafiek 10: Drukfactoren (K) voor de meetpunten 20 en 21 als functie van de windrichting



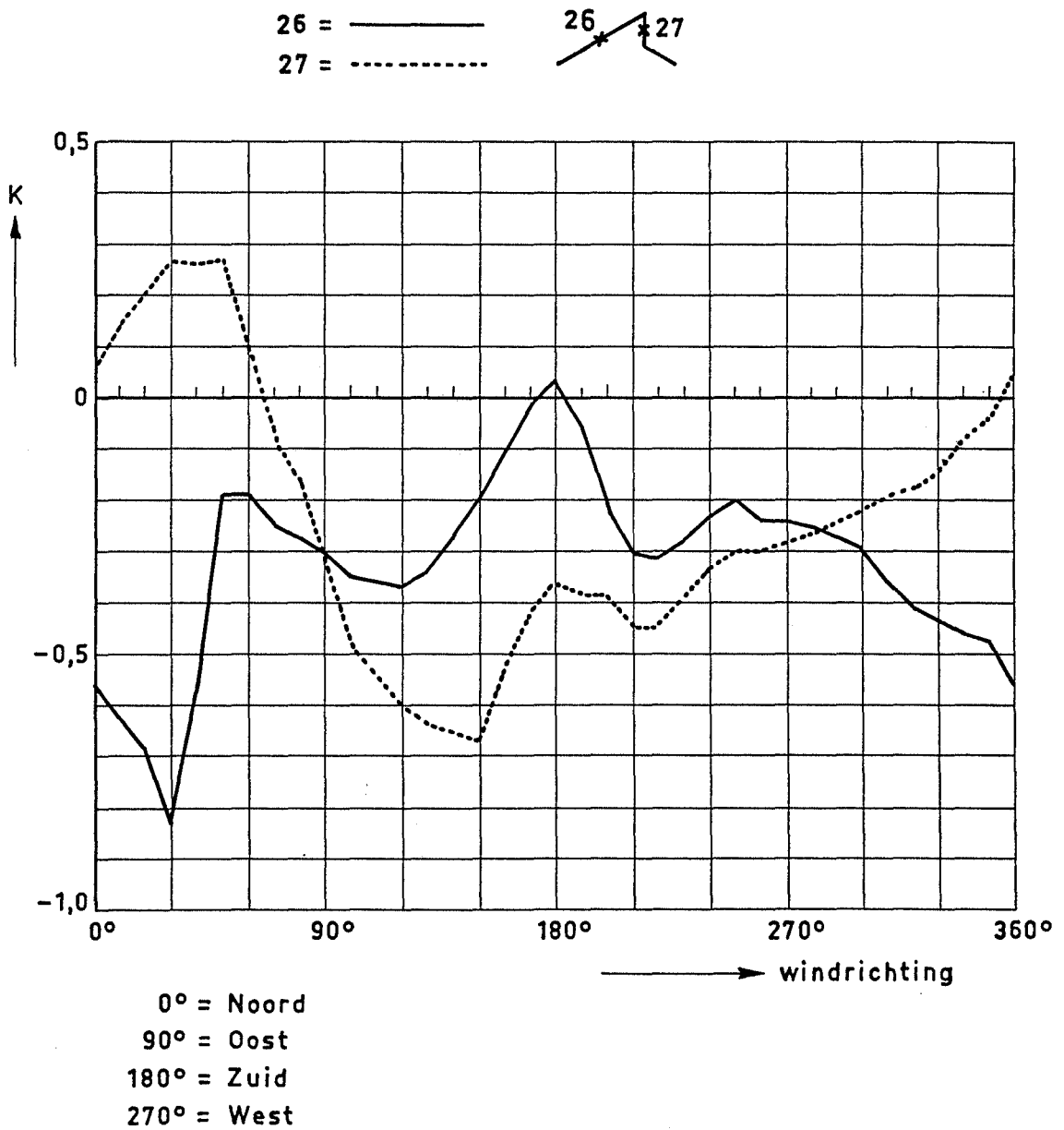
Grafiek 11 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 22 en 23  
als functie van de windrichting



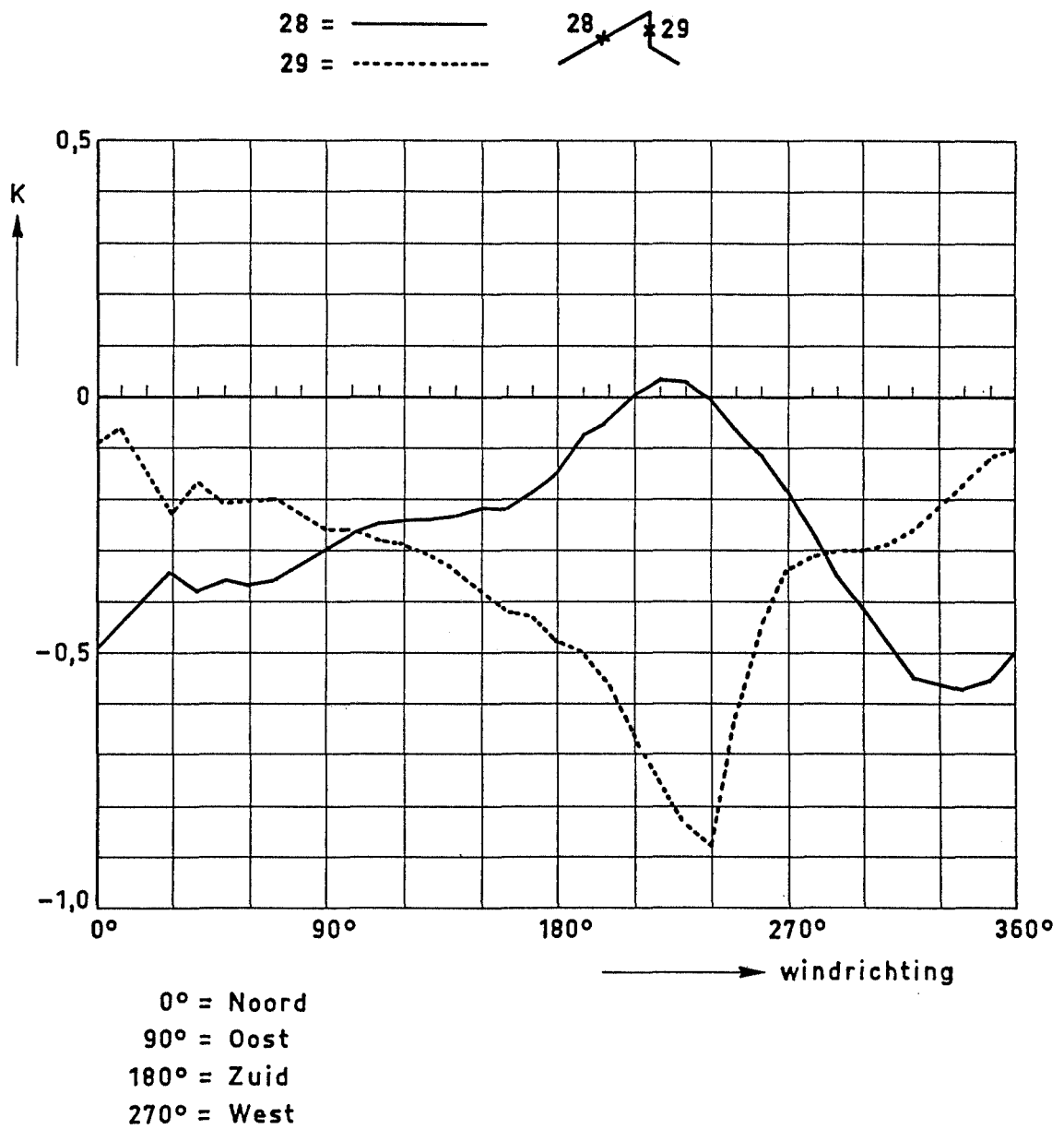
Grafiek 12 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 24 en 25 als functie van de windrichting



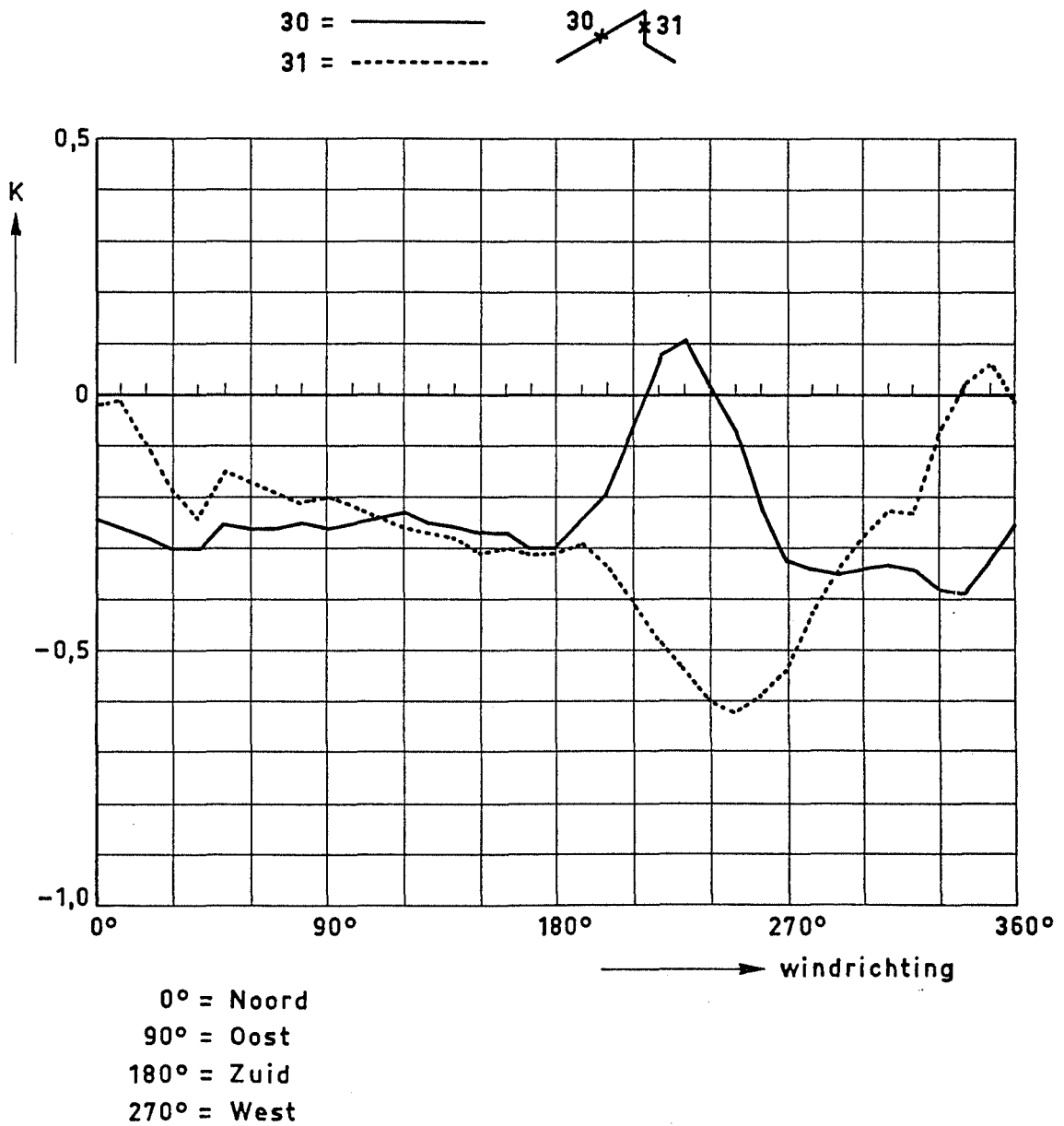
Grafiek 13 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 26 en 27 als functie van de windrichting



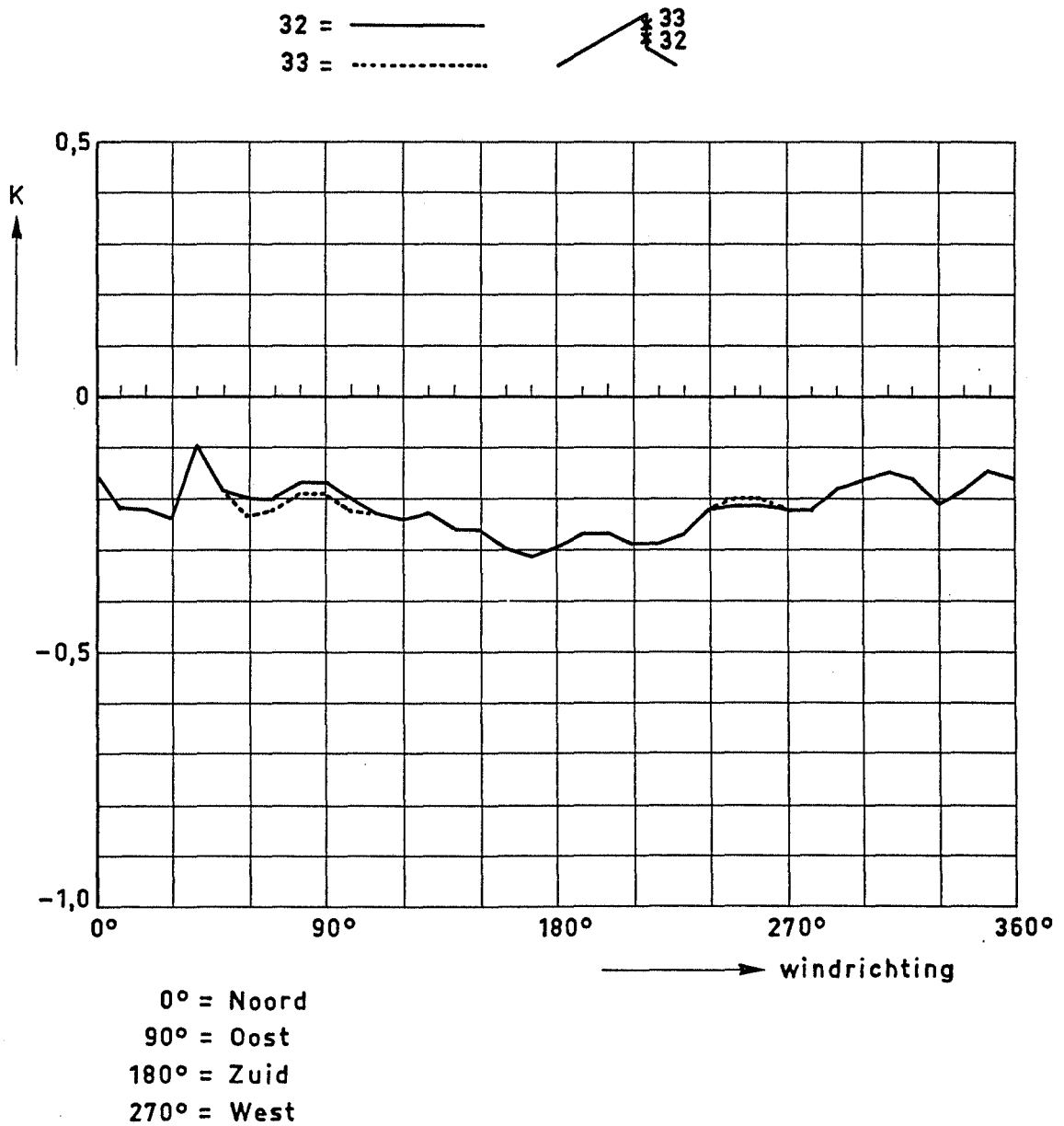
Grafiek 14: Drukfactoren (K) voor de meetpunten 28 en 29 als functie van de windrichting



Grafiek 15 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 30 en 31 als functie van de windrichting

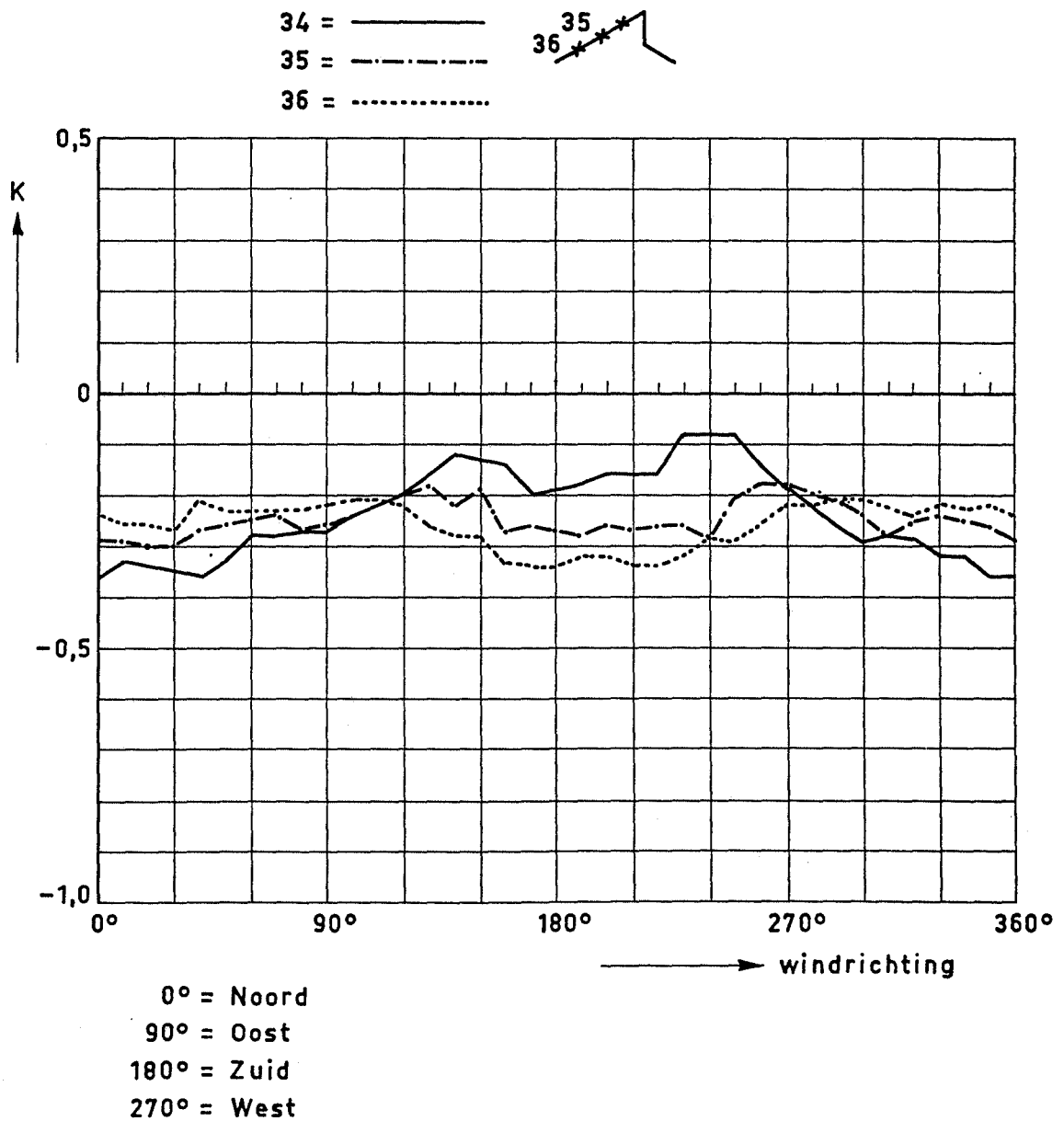


Grafiek 16: Drukfactoren (K) voor de meetpunten 32 en 33  
als functie van de windrichting





Grafiek 17: Drukfactoren (K) voor de meetpunten 34, 35 en 36 als functie van de windrichting



Grafiek 18 : Drukfactoren (K) voor de meetpunten 37 en 38  
als functie van de windrichting

