

IJSBANEN EN ENERGIEBESPARING

**afd. WKT
KT-archief**

door

P.J. Pesik

N.J. Duijm

A.D. Koppenol

B.D. Mennink



postbus 342
7300 AH apeldoorn

bezoekadres
laan van westenenk 501

telex 36395 tnoap
telefoon 055 - 77 33 44

Ref.nr. : 87-097

Dossiernr. : 8725-17161

Datum : maart 1987

P

„Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.”

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de „Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten aan TNO, 1979” dan wel de desbetreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.

©1987 TNO 's-Gravenhage

INHOUDSOPGAVE

PAGINA

1.	INLEIDING	3
2.	ONDERZOEKMETHODEN	4
3.	RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK	7
4.	METHODEN OM ENERGIE TE BESPAREN	10
5.	CONCLUSIES	14
6.	REFERENTIES	15

FOTO'S: 1 en 2

1. INLEIDING

Bij de ijsbanen in Nederland bestaan diverse mogelijkheden om energie te besparen. Oriënterende berekeningen die door MT-TNO in 1983 zijn uitgevoerd hebben uitgewezen dat besparingen van meer dan 50% zouden kunnen worden gehaald. Aangezien alle ijsbanen bij elkaar een totaal ijsoppervlak hebben van ca. 75.000 m² en verantwoordelijk zijn voor een totaal energiegebruik van 2.800.000 m³ gas en 9.500.000 kWh elektriciteit, is het duidelijk dat aanzienlijke energiebesparingen kunnen worden gerealiseerd. Daarom heeft de Belangengroep Kunstijsbanen in 1984 aan de afdeling Warmte- en Koudetechniek van MT-TNO opdracht gegeven, om met financiële ondersteuning van het ministerie van Economische Zaken een sectoronderzoek te verrichten naar de energiebesparingsmogelijkheden bij ijsbanen. Het onderzoek heeft plaatsgevonden tijdens het schaatsseizoen van 84/85. De resultaten van het sectoronderzoek heeft geleid tot vervolgonderzoeken bij een aantal kunstijsbanen, te weten Alkmaar, Groningen en Haarlem. Dit artikel volgt in hoofdzaak de resultaten van het sectoronderzoek [1], aangevuld met enkele bijdragen uit vervolgonderzoeken [3, 4].

2. ONDERZOEKMETHODEN

Het onderzoekprogramma bestaat uit twee delen, te weten:

* windtunnelonderzoek aan modellen van drie 400 m buitenbanen naar de invloed van wind op de warmtebelasting van het ijsoppervlak. Tevens zijn met gebruikmaking van dezelfde modellen maatregelen onderzocht om de windsnelheid boven het ijs te reduceren.

* Praktijkonderzoeken op vijf ijsbanen.

Ten behoeve van de selectie van vijf te onderzoeken ijsbanen is vooraf een enquête uitgevoerd onder de ijsbanen. Op basis van de enquêteresultaten zijn de volgende banen gekozen:

- een 400 m buitenbaan in de kuststreek: Alkmaar,
- een 400 m buitenbaan/hockeybaan-combinatie in het binnenland: Deventer,
- een 400 m buitenbaan/overdekte hockeybaan-combinatie in het binnenland: Utrecht,
- een overdekte hockeybaan met een hoog energiegebruik: Tilburg,
- een overdekte hockeybaan met een laag energiegebruik: Den Bosch.

Windtunnelonderzoek

De windtunnelonderzoeken zijn uitgevoerd in een zogeheten gesimuleerde atmosferische grenslaagstroming, waarin een aantal eigenschappen van de atmosferische stroming is nagebootst [2].

De omgevende bebouwing en begroeiing binnen een straal van 500 m van de ijsbaan zijn op schaal (1:250) op het schaalmodel aangebracht met het doel de effecten van het windpatroon te simuleren [foto 1]. De begroeiing is nagebootst door middel van kooien van gaas met een winddoorlaatbaarheid van 80%, hetgeen representatief is voor kale bomen in de herfst. Het model is geplaatst op een draaitafel, zodat metingen uit alle richtingen kunnen worden uitgevoerd (bijvoorbeeld iedere 15°).

De warmtebelasting van het ijs is indirect gemeten via windsnelheidsmetingen vlak boven de ijsvloer (op volle schaal: 0,5 m).

De snelheidsmetingen vinden plaats met behulp van de "thermistorteknik" [2]. Bij dit onderzoek zijn 50 meetposities aangebracht. De gegevens kunnen worden gepresenteerd zowel in lokale snelheidscoëfficiënten (met betrekking tot een lokale windsnelheid) als in snelheidscoëfficiënten die gerelateerd zijn aan het dichtstbijzijnde meteostation. In het laatste geval worden

veranderende terreinruwheden tussen onderzoeksobject en meteostation in de berekeningen verwerkt.

Met behulp van de bestaande correlatie tussen windsnelheid, richting en luchttemperatuur gedurende het schaatsseizoen, is voor de referentie-configuratie de convectieve belasting berekend, evenals voor verschillende configuraties met windreducerende maatregelen.

Het doel van het windtunnelonderzoek is:

- * het reduceren van het convectieve deel van de warmtebelasting van buitenbanen,
- * het verkrijgen van een gelijkmatige windverdeling op buitenbanen,
- * het verkrijgen van een beter schaatsklimaat op buitenbanen.

Praktijkonderzoek bij de vijf kunstijsbanen.

De activiteiten omvatten de volgende onderdelen:

- * Onderzoek naar de warmtebelasting van het ijs. Hiertoe zijn speciaal ontworpen warmtestroommeters gebruikt. De meters werden aangebracht op zorgvuldig geselecteerde plaatsen op het beton/ijs- of zand/ijsoppervlak en waar mogelijk ook op de onderzijde van de ijsbaan. In verband met het variëren van de convectieve warmtebelasting over het ijsoppervlak zijn hierbij de resultaten van het windtunnelonderzoek gebruikt.
- * Onderzoek van de koelinstallatie. Ten behoeve van de bepaling van de koudefactor en de maximaal haalbare hoeveelheid warmteterugwinning zijn de volgende grootheden gemeten:
 - a) de verdampings- en condensatiedruk,
 - b) de looptijden van de diverse componenten van de koelinstallatie,
 - c) de mate van deellast waarbij gedraaid wordt,
 - d) de diverse toegevoerde vermogens,
 - e) de zuig- en persttemperatuur van de koelinstallatie.

Op basis van de resultaten is het energiegebruik van het totale koelsysteem berekend; tezamen met de gemeten warmtebelasting van het ijs werd het mogelijk de koudefactor af te leiden.

Ten behoeve van de bepaling van de maximaal terug te winnen warmtehoeveelheid is gebruik gemaakt van het Mollier-diagram.

- * Onderzoek aan de verwarmingsinstallatie. Er zijn metingen uitgevoerd naar het rendement van de installatie en de diverse temperatuurniveaus.

* Onderzoek aan de verlichting en de overige apparatuur. Hierbij zijn de vermogens van de halverlichting en de verlichting van de 400 m baan gemeten. Met behulp van registraties van de dagelijkse gebruikstijden zijn de totale elektriciteitsverbruiken afgeleid.

Van de overige verlichting (kantoren, restaurant enz.) en de diverse apparatuur is een inventarisatie opgemaakt. Tezamen met informatie over de dagelijkse gebruikstijden konden de verbruiken worden berekend.

3. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

Buitenbanen

De totale warmtebelasting van buitenbanen (zowel 400 m- als hockeybanen) kan worden onderverdeeld in:

- a) warmtebelasting via de bovenzijde, bestaande uit:
 - convectieve belasting beïnvloed door de temperatuur van het ijsoppervlak en de lucht, de relatieve vochtigheid van de lucht en de windsnelheid (netto-effect van de natuurlijke wind en de door de schaatsers veroorzaakte windbeweging),
 - belasting door het zonlicht,
 - regenbelasting,
 - belasting tengevolge van het dweilen van het ijs.
- b) Warmtebelasting via de baanonderzijde. Bevindt de ijsbaan zich direct op de bodem, dan vindt alleen warmtegeleiding plaats. Is er echter een (kruip)ruimte tussen de baanonderzijde en de bodem, dan is er sprake van convectie en warmtestraling van de bodem naar de baanonderzijde.

Met betrekking tot buitenbanen is er naast warmtebelasting van het ijs tevens warmte-uitstraling van het ijs naar het heelal; zelfs indien de omgevingslucht een hogere temperatuur heeft dan het ijsoppervlak. De hoeveelheid uitstraling hangt af van: de bewolkingsgraad,

de helderheid van de lucht,
de temperatuur van het ijsoppervlak,
de temperatuur van het heelal/de wolken.

Indien de gemiddelde temperatuur van het heelal en de wolken tezamen hoger is dan de ijsoppervlaktetemperatuur, dan zal er een warmtebelasting zijn in plaats van een warmte-uitstraling. Over het algemeen echter is er ten aanzien van het heelal en de bewolking sprake van een warmte-uitstraling. Uitgedrukt in gemiddelde percentages (gemiddeld over het seizoen en betrokken op de onderzochte ijsbanen), ziet de belastingverdeling er als volgt uit:

* convectieve belasting	94%
* zonlichtbelasting	16%
* regenbelasting	10%
* dweilen	4%
* warmte-uitstraling	-35%
* baanonderzijde	11%

De gemiddelde totale warmtebelasting van buitenbanen bedraagt hierbij 145 W/m^2 .

Overdekte hockeybanen

Bij overdekte hockeybanen bestaat de warmtebelasting uit:

- convectieve belasting beïnvloed door de temperatuur van de hallucht en het ijsoppervlak, de relatieve vochtigheid van de hallucht en de lucht-beweging in de hal (veroorzaakt door tocht en de schaatsters),
- warmtestraling van het plafond en de wanden (inclusief de tribunes) naar het ijsoppervlak,
- belasting tengevolge van het dweilen van het ijs,
- belasting afkomstig van de verlichting,
- belasting via de baanonderzijde.

(Bij hockeyhallen blijkt er dus sprake te zijn van een warmtestralingsbelasting in plaats van een warmte-uitstraling).

De belastingverdeling, uitgedrukt in gemiddelde percentages is als volgt:

* convectieve belasting	40%
* warmtestraling hal	40%
* dweilen	5%
* halverlichting	2%
* baanonderzijde	13%

De gemiddelde totale warmtebelasting in hockeyhallen bedraagt 120 W/m^2 .

De gemiddelde koudefactor van de complete koelinstallatie (dus inclusief pompen en ventilatoren) heeft een waarde van 2,9.

Dit betekent dat het gas- of elektriciteitsverbruik (uitgedrukt in energie-eenheden) gemiddeld 930.000 kWh voor 400 m buitenbanen en 330.000 kWh voor openlucht-hockeybanen (in beide gevallen bedraagt de seizoensduur 155 dagen per jaar).

Het energiegebruik van overdekte hockeybanen bedraagt 320.000 kWh (seizoensduur bedraagt 180 dagen per jaar). Naast energiegebruik ten behoeve van het koelsysteem wordt er in hockeyhallen ook energie aangewend ten behoeve van de verwarming van het plafond en de hallucht.

De gemiddelde warmtebehoefte bedraagt 900.000 kWh. Voor een gasgestookte verwarmingsinstallatie (rendement = 80%) betekent dit een gasverbruik van 120.000 m³.

4. METHODEN OM ENERGIE TE BESPAREN

De mogelijkheden om energie te besparen zijn:

- * verlaging van de warmtebelasting van de ijsbaan,
- * verhoging van de koudefactor van de ijsbaan,
- * warmteterugwinning uit de koelinstallatie.

Indien besloten wordt om energie te besparen volgens alle drie de genoemde mogelijkheden, dan is het belangrijk om warmteterugwinning pas na de twee andere besparingsmogelijkheden toe te passen. De reden is dat in vergelijking tot de oorspronkelijke situatie, de terug te winnen hoeveelheid warmte door invoering van besparingsmaatregelen volgens de twee bedoelde mogelijkheden afneemt. Het gevolg van een verkeerde volgorde zal dan zijn dat een te grote warmteterugwininstallatie wordt geïnstalleerd. Verder zij erop gewezen dat de hierna genoemde besparingspercentages alleen gelden voor de betreffende maatregelen afzonderlijk. Indien ze gecombineerd worden toegepast, dan kunnen de maatregelen elkaar met betrekking tot de te behalen energiebesparingen beïnvloeden.

In dit artikel zullen de meest in het oog springende maatregelen worden behandeld. Vanwege het feit dat reeds veel bekend is over warmteterugwinning uit koelinstallaties, zal dit onderwerp hier niet worden besproken.

Het windtunnelonderzoek heeft geresulteerd in de volgende maatregelen die van toepassing zijn op 400 m buitenbanen:

- 1) Een (voor wind) 50% doorlatende binnenboarding in combinatie met een ondoorlatende buitenboarding, beide met een hoogte van 1,20 m. Beide boardings staan op 1 m van de ijsvloer af.

Het maximale reducerende effect op de convectieve belasting bedraagt circa 30%, hetgeen betekent dat ongeveer 30% van het energiegebruik kan worden gereduceerd.

Genoemde maatregel is tijdens het schaatsseizoen van 85/86 bij de ijsbaan te Alkmaar genomen, waarbij door TNO metingen zijn verricht naar de besparingen. Hieruit is naar voren gekomen dat inderdaad besparingen van 30% haalbaar zijn.

- 2) Als maatregel 1, echter met toevoeging van een voor wind 50% doorlaatbaar scherm rondom de ijsbaan. Totale hoogte 6 tot 10 m.

Maximale reductie van de convectieve belasting: 60%. Een uitbreiding van

de functionaliteit van de combinatie kan worden bereikt door het scherm uit te voeren als een zogeheten "wind/warmtehek" [foto 2].

Dit hek is gemaakt van pijpen en kan dus worden gebruikt als een warmte-wisselaar: in de pijpen circuleert glycol, door middel waarvan condensatiewarmte wordt afgevoerd tijdens het schaatsseizoen 86/87. Uit dit onderzoek is gebleken dat energiebesparingen haalbaar zijn van 40 tot 45%. Over nadere resultaten van het onderzoek aan de maatregelen 1 en 2 wordt verwezen naar het artikel "Begeleidingsonderzoek aan het wind/warmtehek op de kunstijsbaan te Alkmaar" door ing. A.D. Koppenol, elders in dit blad.

- 3) Door een wegneembare overkapping (ophaalbare zijkanten van voor wind 50% doorlaatbaar materiaal, gecombineerd met een dak dat kan worden weggeschoven), is een maximale besparing op de convectieve belasting mogelijk van 66%.

Naast windsnelheidsreductie biedt de overkapping eveneens een mogelijkheid om de regen- en zonlichtbelasting te reduceren.

Daartegenover staat dat de warmte-uitstraling van het ijs naar het heelal wordt tegengehouden; er wordt zelfs een warmtestralingsbelasting door het dak op het ijs uitgeoefend! Deze problemen kunnen worden opgeheven door gebruikmaking van een straling-selectieve folie (polyethyleen), met eigenschappen om enerzijds het zonlicht tegen te houden en anderzijds warmtestraling van het ijsoppervlak naar het heelal door te laten.

Op de ijsbaan te Haarlem is een experiment uitgevoerd met een gedeeltelijke overkapping van de baan. De resultaten tonen aan dat de gebruikte folie het zonlicht voor 57% reflecteert, terwijl de warmte-uitstraling van het ijs voor 64% wordt doorgelaten. Aangezien het dak weggeschoven kan worden gedurende droge en heldere nachten, kan de warmte-uitstraling dan ongestoord plaatsvinden. Afhankelijk van de situatie kan de winst, verkregen via de verhoogde warmte-uitstraling door het wegschuiven van het dak, deels of volledig teniet worden gedaan door de daaraan inherente toename van de convectieve belasting van het ijs.

Aan de hand van berekeningen op basis van de resultaten van genoemd experiment zijn, afhankelijk van de uitgangssituatie, energiebesparingen haalbaar van 77% [3].

Een groot voordeel van de windsnelheidsreducerende maatregelen is dat het schaatsklimaat ook wordt verbeterd.

Overige maatregelen om de energiebehoefte op ijsbanen te verminderen zijn:

- 1) Bij ijsbanen met een kruipruimte kan de warmtebelasting worden beperkt door middel van een dubbele folie-isolatie, die onder de baan is aangebracht. De onderste folie is voorzien van een aluminium coating.

Naast de baanonderzijde kunnen ook de koelmiddeltransportleidingen door middel van folie worden geïsoleerd. Hiertoe kan gebruik worden gemaakt van een enkelvoudige, aluminium gecoate folie, waarbij met behulp van ringvormige afstandhouders een (isolerende) luchtlaag tussen de leidingen en de folie gecreëerd kan worden.

Een onderzoek bij de ijsbaan te Groningen gedurende het schaatsseizoen van 85/86 heeft aangetoond dat een reductie van 75% van de belasting via de onderzijde mogelijk is. Op het totale energiegebruik betekent dit een besparing van 8% [4].

- 2) Uit de metingen bij de ijsbanen is gebleken dat de gemiddelde ijsoppervlaktetemperatuur -5°C bedraagt.

In Japanse onderzoeken naar de eigenschappen van ijs [5] is gebleken dat de beste glij-eigenschappen worden verkregen bij temperaturen van -1 à 2°C .

Dit betekent dat verhoging van de ijsoppervlaktetemperatuur geen verlaging van de ijskwaliteit tot gevolg zal hebben, maar juist een verhoging. Bovendien neemt daardoor de convectieve belasting af, terwijl de warmte-uitstraling van het ijs naar het heelal toeneemt (er ontstaat namelijk een groter temperatuurverschil tussen het ijsoppervlak en het heelal). Voor overdekte banen betekent de hogere ijsoppervlaktetemperatuur een verlaging van de warmtestraling van het plafond en de wanden naar het ijs, doordat het temperatuurverschil tussen het ijsoppervlak enerzijds en het plafond en de wanden anderzijds kleiner is geworden. Tot slot zal ook de koudefactor hoger worden doordat nu met een hogere verdampings-temperatuur wordt gedraaid. Op basis van berekeningen is een energiebesparing van 13% mogelijk, waarbij wordt uitgegaan van een temperatuurverhoging van 4 K.

- 3) Bij betonbanen is een ijsdikte van 7 tot 10 cm gebruikelijk en bij zandbanen 10 tot 15 cm.

Het zal duidelijk zijn dat naarmate het ijs dikker is, de verdampings-temperatuur bij gelijke ijsoppervlaktetemperatuur lager moet zijn. Het is echter algemeen bekend dat de koudefactor van koelinstallaties lager

wordt bij verlaging van de verdampingstemperatuur.

Door verkleining van de ijsdikte met minstens 5 cm zal de energiebesparing ongeveer 14% bedragen of meer.

- 4) In hockeyhallen kan de warmtestraling naar het ijs worden gereduceerd door middel van zogeheten straling reducerende schermen (aluminium ge-coate folies), die langs het plafond moeten worden aangebracht. Eventueel kan de maatregel worden uitgebreid met gordijnen van hetzelfde materiaal, aangebracht rondom de ijsvloer. De gordijnen zijn 's nachts dichtgetrokken en overdag geopend.

De posten waarop kan worden bespaard zijn:

- * koelenergie door vermindering van de warmtestraling van het plafond en de wanden (inclusief tribunes) naar het ijsoppervlak,
- * verwarmingsenergie, doordat het plafond en de wanden door afname van de warmtestraling naar het ijs minder afkoelen en dus ook minder verwarming behoeven,
- * koelenergie met betrekking tot de overblijvende weg te koelen warmtebelasting van het ijs: vanwege de afgenomen warmtebelasting is een hogere verdampingstemperatuur toegestaan, zodat met een hogere koudefactor wordt gedraaid,
- * verlichtingsenergie: door de hogere reflectie kan met een lager lampvermogen worden volstaan.

De maximale afname van de warmtestraling bedraagt 80%, hetgeen een energiebesparing van 30% betekent. Aan verwarmingsenergie wordt circa 50% bespaard. De verhoogde koudefactor resulteert in een energiebesparing van 4%. De besparing op verlichtingsenergie is afhankelijk van de uitgangssituatie: in lichtgeverfde hallen kan 15% worden bespaard, terwijl in donkergeverfde hallen 40% haalbaar is.

Bijkomend positief effect is dat de folietemperatuur aanmerkelijk hoger zal zijn dan de plafondtemperatuur in de oorspronkelijke situatie, zodat de kans op condensatie dan vrijwel verdwenen zal zijn.

Bovendien zorgt de luchtlaag tussen de folie en het plafond voor een isolerende werking, zodat ook op grond daarvan (verwarmings)energie wordt bespaard.

Ten aanzien van de halverlichting wordt een homogenere verdeling verkregen, zodat met name kunstrijders en hockeyers minder last zullen hebben van sterke contrasten.

5. CONCLUSIES

- * Door middel van warmtebelastingverlagende maatregelen is het mogelijk minstens 50% van het energiegebruik van ijsbanen te reduceren.
- * Naast energiebesparing leiden bepaalde maatregelen tot een verbeterd schaatsklimaat.
- * Over het algemeen zijn op ijsbanen maatregelen genomen om warmte terug te winnen zonder de mogelijkheden om de warmtebelasting te reduceren na te gaan. Op basis van bovengenoemde maatregelen zal duidelijk zijn dat juist reductie van de warmtebelasting kan leiden tot besparing van grote hoeveelheden energie.

6. REFERENTIES

- [1] B.D. Mennink, P.J. Pesik, A.D. Koppenol, H.J. Menkveld,
Rapport kunstijsbanen en energiebesparing,
MT-TNO rapport nr. 86-060 (maart 1986).

- [2] P.J.H. Builtjes, P.E.J. Vermeulen,
Atmospheric boundary layer simulation in the "Pia" and "Mia" wind tunnels of TNO-Apeldoorn,
MT-TNO rapport nr. 80-0290 (januari 1980).

- [3] P.J. Pesik, P.E.J. Vermeulen,
Onderzoek aan de gedeeltelijke ijsbaanoverkapping te Haarlem,
MT-TNO rapport nr. 87-037 (februari 1987).

- [4] P.J. Pesik,
Isolatie van de baanonderzijde van het ijsstadion Stadspark te Groningen met dubbele folie,
MT-TNO rapport 86-285 (september 1986).

- [5] Teisaku Kobayashi,
Studies on the properties of ice speed-skating rinks,
Ashrae Journal (januari 1973).

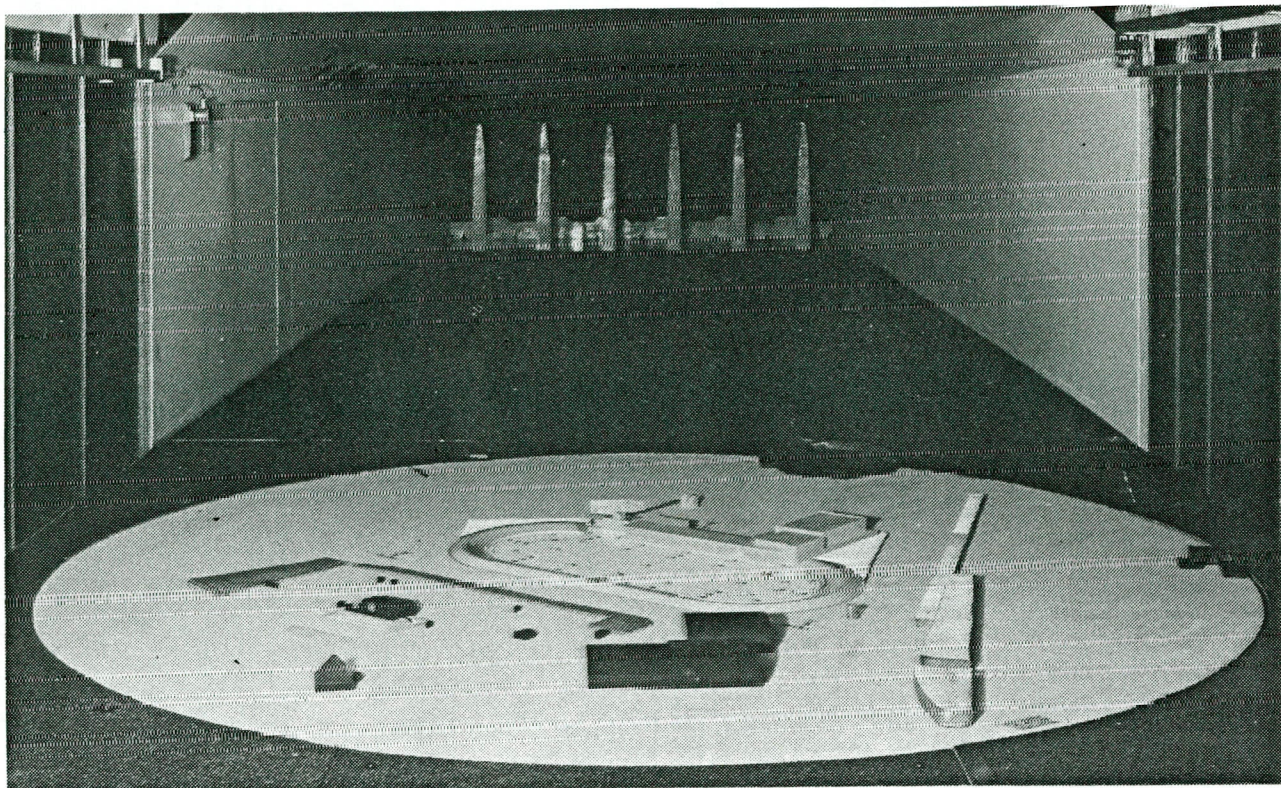


Foto 1 Model van een 400 m buitenbaan in de windtunnel.

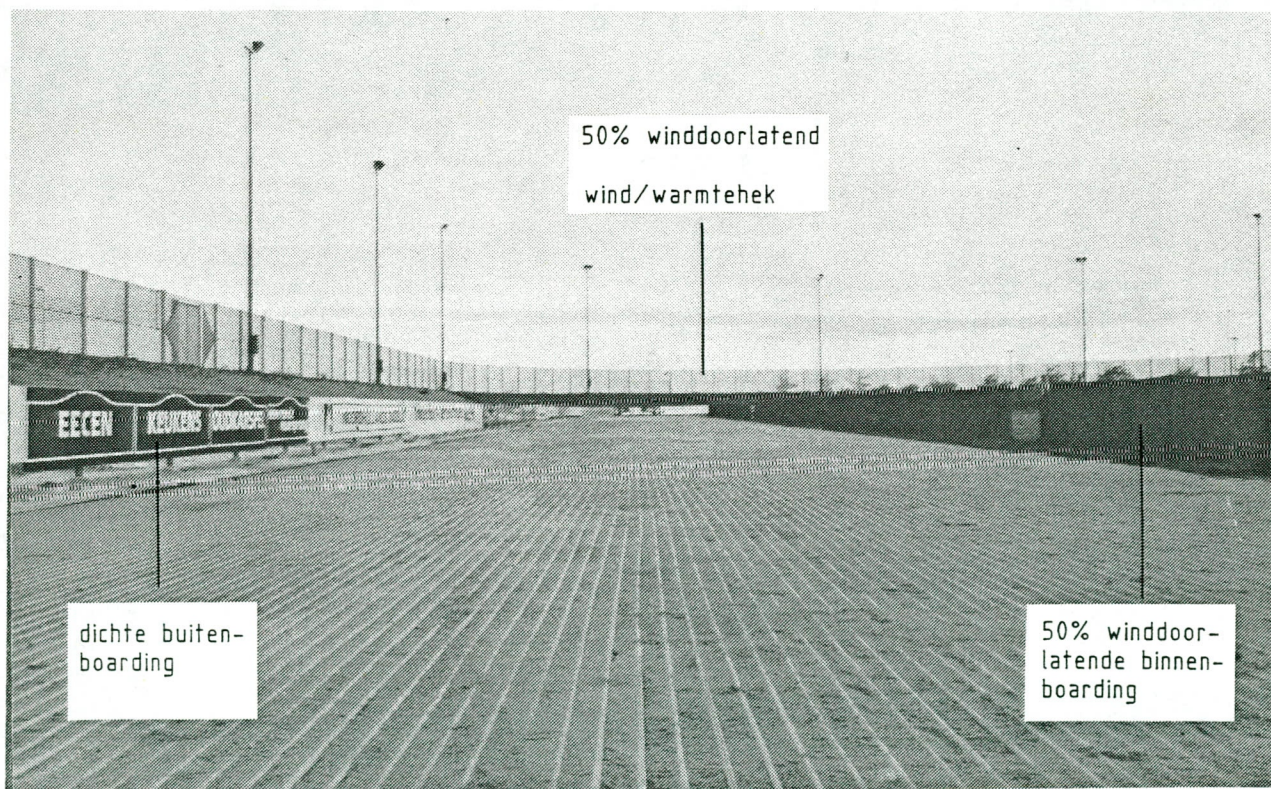


Foto 2 Combinatie van een binnen en buiten boarding met een wind/warmte hek.