

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/190

**TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie**

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenek 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Opbrengstberekeningen voor een energiedak, in ontwikkeling bij R & R Systems b.v.

Datum
mei 2000

Auteur(s)
Ir. C.P.J.M. Geelen
Ing. H.P. Oversloot (TNO-Bouw)

Projectnummer
31247

Trefwoorden
– opbrengstberekening
– energiedak
– warmtepomp

Bestemd voor
R & R Systems b.v.
t.a.v. de heer R. Claesen

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, 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 onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 2000 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1. Inleiding	4
2. Uitgangspunten.....	5
3. Resultaten	6
3.1 De werking van de vinnen.....	6
3.2 De invloed van de verbindingsweerstand tussen plaat en kanalen	6
3.3 Invloed van de ingaande temperatuur	7
4. Conclusies en aanbevelingen	9
5. Verantwoording	10
Bijlage 1	
Bijlage 2	

Samenvatting

Door R & R Systems B.V. wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een in dak-elementen geïntegreerd energiedak. Het doel is met het energiedak laagtemperatuur zonnewarmte en omgevingswarmte te benutten onder meer als bron voor warmtepompen.

Door TNO zijn, aan de hand van simulatiemodellen, berekeningen uitgevoerd van de mogelijke jaar-opbrengst bij lage mediumtemperaturen, zoals die normaliter voor warmtepompen gelden.

Uit de berekeningen blijkt dat bij een ingaande watertemperatuur van 10 °C, een opbrengst 1700 tot 1800 MJ/m² per jaar verwacht kan worden.

De invloed op de opbrengst van de warmteweerstand van de verbinding tussen stalen afdekplaat en lamel (poly-propyleen kanaalplaat) is gering mits de onderlinge afstand klein blijft (0.15 mm).

De invloed van de ingaande watertemperatuur op de opbrengst is groot; deze varieert van 2500 à 3000 MJ/m² bij 5 °C tot 200 à 300 MJ/m² bij 25 °C.

1. Inleiding

Door R & R Systems B.V. wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een in dak-elementen geïntegreerd energiedak. Het doel is met het energiedak laagtemperatuur zonnewarmte en omgevingswarmte te benutten onder meer als bron voor warmtepompen.

Door TNO zijn, aan de hand van simulatiemodellen, berekeningen uitgevoerd van de mogelijke jaar-opbrengst bij lage mediumtemperaturen, zoals die normaliter voor warmtepompen gelden.

Bij de werkzaamheden zijn twee TNO instituten betrokken: TNO-Bouw en TNO-MEP.

Het energiedak van R&R Systems wordt in het kader van dit onderzoek beschouwd als een niet afgedekte zonnecollector. Deze collector is opgebouwd uit een polypropyleen lamel (kanaalplaat), ingebed in een 150 mm dikke isolerende dakbedekking met een stalen dekplaat. De polypropyleen kanaalplaat heeft 11 kanalen met een diameter van circa $11.6 * 12.6$ mm. De totale breedte bedraagt 140 mm. Een tekening van de kanaalplaat is opgenomen in bijlage 1. Bijlage 2 bevat een schets van de constructie van het energiedak.

Door R & R Systems is een monster ter beschikking gesteld. Hieruit zijn ter bepaling van de absorptie factor twee stukjes afdekplaat verwijderd. Eén van de stukjes is twee maal zwart gespoten met RAL-kleur 2178.

2. Uitgangspunten

De berekeningen zijn uitgevoerd met het TNO-Bouw zonneboiler simulatie model, echter met een aangepast model voor de zonnecollector.

Van zowel de originele witte, als de zwart gespoten dekplaat, is de absorptie gemeten onder een hoek van 45 graden voor de invallende straling. De absorptie factor van de witte plaat is vastgesteld op 0.24. De werking als collector verdwijnt hiermee volledig, zodat simulatie hiervan niet zinvol wordt geacht.

De absorptie factor van de zwarte afdekplaat is vastgesteld op 0.93. De berekeningen zijn op basis van de hoge absorptie factor uitgevoerd (voor een zwarte plaat).

De berekeningen zijn verder gebaseerd op een dak van 25 m² en een constante aanvoertemperatuur. De berekeningen zijn uitgevoerd voor vijf verschillende aanvoertemperaturen variërend van 5 °C tot 25 °C.

De invloed van de verbinding tussen de stalen afdekplaat en de onderliggende kanaalplaat is gevarieerd. Aangezien het onderhavige model het midden houdt tussen een kanaalplaat collector en een vinpijpcollector, waren enkele modelmatige aanpassingen noodzakelijk. Hiertoe is de overdrachts-formule voor de berekening van de collector-efficiency in het model zodanig gewijzigd, dat de geleiding van deze verbinding kon worden ingevoerd. Daarnaast is het warmte-afgevend oppervlak van de vinpijp aangepast aan de verwachte omstandigheden voor de kanaalplaat.

Het debiet is ingesteld op 0.02 kg/sm² (dit komt overeen met 180 liter/uur per kanaalplaat (lamel) bij een lengte van 5 m en twee kanaalplaten per strekkende meter). De gevoeligheid voor het debiet is niet nader onderzocht. De warmteoverdracht wordt bepaald door de laminaire stroming in de rechthoekige kanalen. Voor niet afgedekte (bijv. zwembad) collectoren worden normaliter hogere debieten aanbevolen teneinde het temperatuurverschil met de omgeving laag te houden. Het debiet van 0.02 kg/sm² bevindt zich aan de ondergrens van dit gebied.

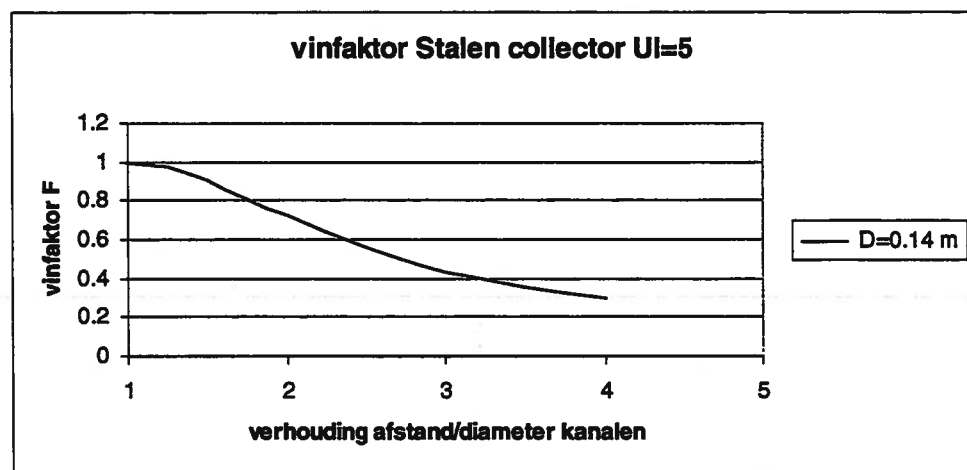
De invloed van de stalen plaat is bekeken door het berekenen van de vinfactor voor één bepaalde verlieswaarde naar de omgeving ($U_l = 5$).

De regeling bepaalt mede de opbrengst van de installatie. Aangehouden is een schakel-regiem dat gebruikelijk is voor niet afgedekte collectoren. Een aanschakel criterium van 3 K en een uitschakel criterium van 0.5 K. De invloed hiervan is niet onderzocht. In het algemeen neemt bij lagere schakelcriteria de opbrengst toe, echter met een onevenredig hoge toename van de benodigde pompenergie.

3. Resultaten

3.1 De werking van de vinnen

De kanalen worden op een hart op hart afstand van 50 cm gelegd. Met een breedte van 14 cm bevindt zich dus tussen de kanalen uitsluitend de stalen plaat die warmte zijdelings transporteert naar de afvoerkanalen.



Figuur 1 Illustratie vinwerking stalen plaat.

De werking van de stalen vin met een dikte van 0.45 mm is geïllustreerd in figuur 1. Hierin is de vinfactor afgezet tegen de breedte van de vin. De gekozen verhouding van het systeem van R & R Systems komt op circa 3.5. Bij de gekozen omstandigheden voor de UI komt de vinfactor op 0.35. De vinfactor is gevoelig voor het verlies naar de omgeving, de zogenaamde UI. De UI van 5 ontstaat bijvoorbeeld bij een temperatuur verschil van 2.5 °C tussen plaat en lucht en een windsnelheid van 1 m/s. Uit bovenstaande figuur blijkt dat voor een betere werking van de vin de kanaalafstand kleiner dient te worden gekozen.

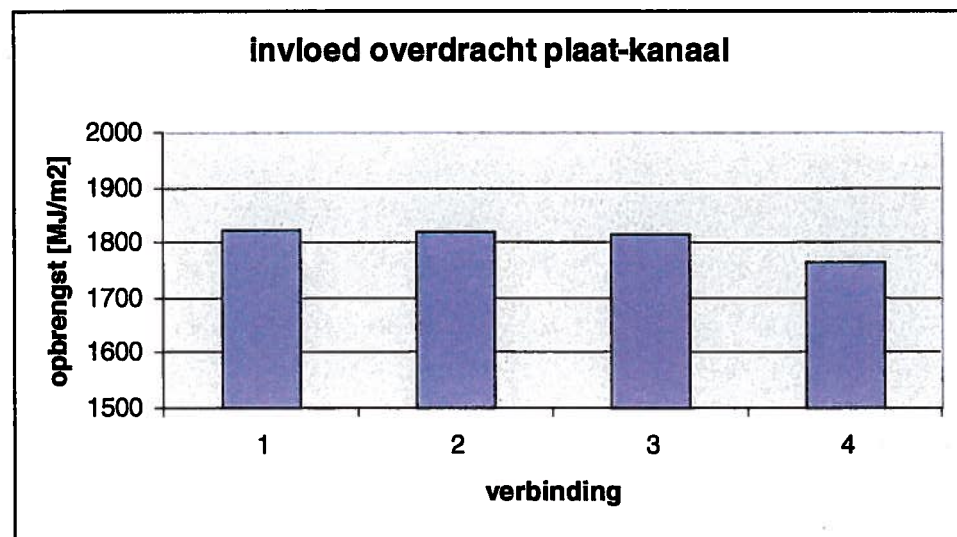
3.2 De invloed van de verbindingsweerstand tussen plaat en kanalen

De verbinding tussen plaat en kanalen is gevarieerd in een viertal stappen. Hierbij is de ideale situatie een verbinding met oneindig hoge warmtegeleiding. In de reële situatie bestaat deze uitsluitend als de kanalen in de staalplaat geïntegreerd zijn. Voor de praktische toepassing is gerekend met een verbindingslaag met een laagdikte van 0.15 mm. De weerstand kan worden gedacht uit volledig bestaande uit lucht in het slechtste geval tot een lijm verbinding van bijvoorbeeld poly-urethaan

die gedeeltelijk uit lucht en gedeeltelijk uit redelijk geleidende lijm bestaat. Hiertoe zijn de volgende stappen gehanteerd voor de overdracht door geleiding:

1. oneindig, (geen weerstand);
2. $1200 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (100% verlijmd);
3. $786 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (60% verlijmd);
4. $90 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (lucht).

Dit levert de volgende resultaten voor een ingaande temperatuur van 10°C .

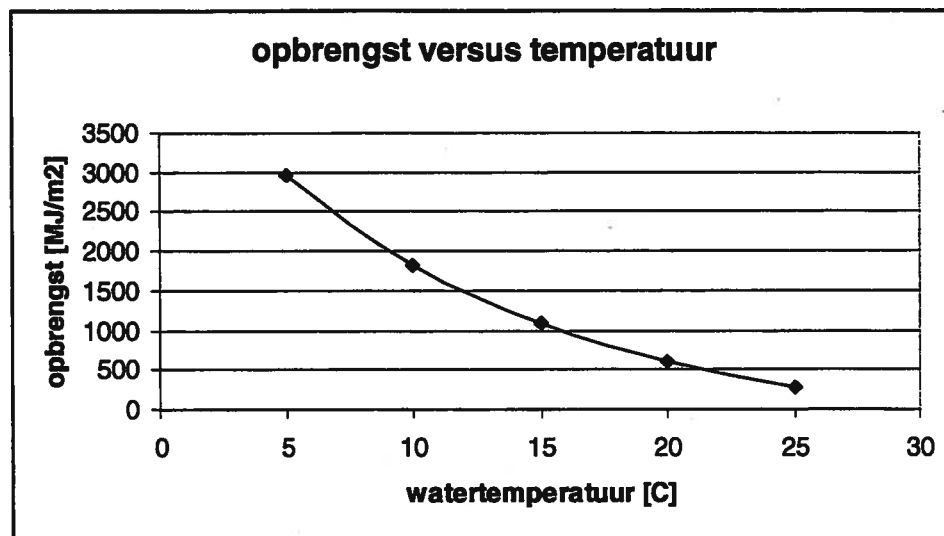


Figuur 2 Warmteoverdracht plaat-kanaal bij 4 verschillende overgangsweerstanden.

Zoals verwacht is er een afname in de energieopbrengst naar mate de weerstand van de verbinding toeneemt. Echter zelfs voor de dunne laag lucht valt deze invloed nog mee, mits deze laag dun is (0.15 mm). De invloed beperkt zich tot een circa 5% lagere opbrengst op jaarbasis.

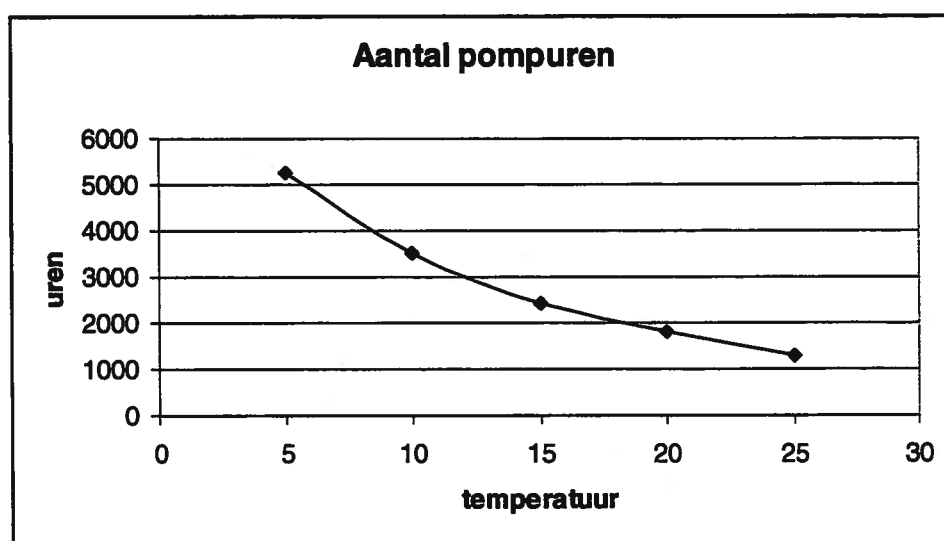
3.3 Invloed van de ingaande temperatuur

De invloed van de ingaande temperatuur is gevarieerd in een aantal stappen. Dit is een belangrijke factor in de opbrengst van de collector, tezamen met het schakelcriterium. Het schakelcriterium is gekozen op 3 K: "aan" en 0.5 K: "uit". Dit is het temperatuur verschil tussen mediumtemperatuur en, in dit geval, de plaattemperatuur. Niet nader onderzocht is de opbrengst als gevolg van condensvorming bij lage watertemperaturen. De aanvoer van latente warmte kan aanzienlijk zijn. Echter indien dit water niet vrijelijk kan afstromen zal er energetisch gezien geen winst worden geboekt, aangezien de verdamping hiervan weer wordt onttrokken aan de plaat en omgeving. Bij horizontale ligging is dit veelal het geval.



Figuur 3 Verband tussen ingaande temperatuur en jaaropbrengst.

Figuur 3 illustreert de jaaropbrengst voor het geval van een ideale verbinding tussen plaat en kanalen.



Figuur 4 Aantal pompuren per jaar bij figuur 3.

De opbrengst neemt sterk af bij toenemende watertemperatuur in het systeem. Ook het aantal pompuren neemt sterk af bij toenemende watertemperatuur. Bij een normaal bedrijf bij watertemperaturen van 10-15 °C bedraagt op zonnige dagen het temperatuurverschil tussen ingaande en uitgaande temperatuur circa 5 K.

4. Conclusies en aanbevelingen

Uit deze eerste verkenning middels simulatie-berekeningen blijkt dat de energie-opbrengst op basis van het beoogde ontwerp ruimschoots aan de verwachtingen voldoet. Verdere ontwikkeling van het ontwerp ligt dan ook voor de hand.

Vervolgens kunnen de praktijkprestaties aan de hand van een test-opstelling met een prototype worden gemeten.

Ten aanzien van de toepassing van het energiedak met een warmtepomp lijkt het vooralsnog zinvol in een systeemontwerp de combinatie met seizoenopslag (bijvoorbeeld door middel van gesloten bodemwarmtewisselaars) mee te nemen.

5. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

R & R Systems b.v.

t.a.v. de heer R. Claesen

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. C.P.J.M. Geelen

Ing. H.P. Oversloot (TNO-Bouw)

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

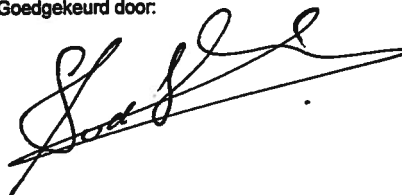
maart 2000 - mei 2000

Ondertekening:

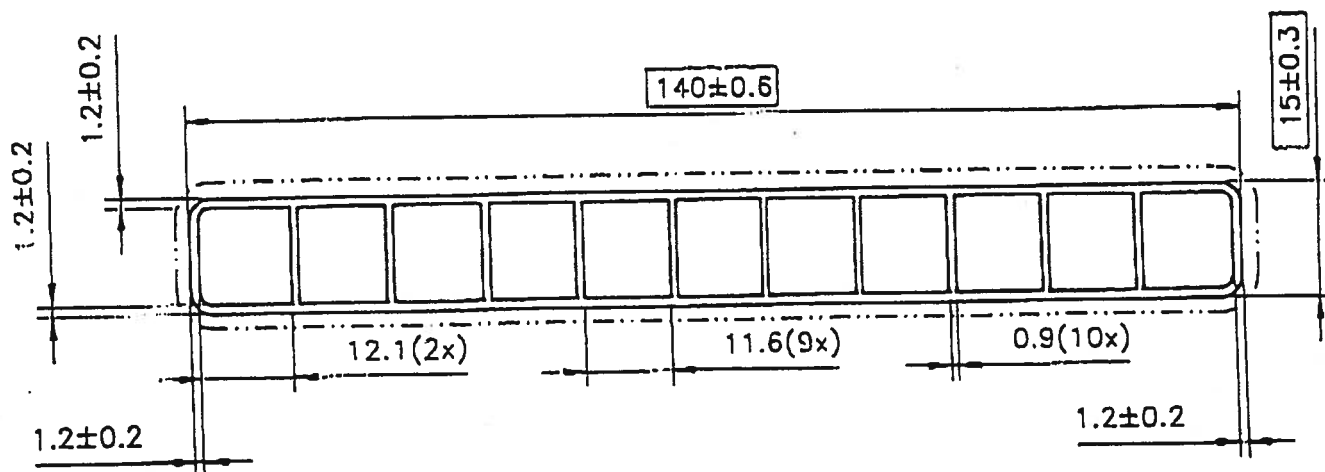


Ir. C.P.J.M. Geelen
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd



Zichtzijde niet belangrijk.

Materiaal: P.P. (Hocchst PPH 2150)

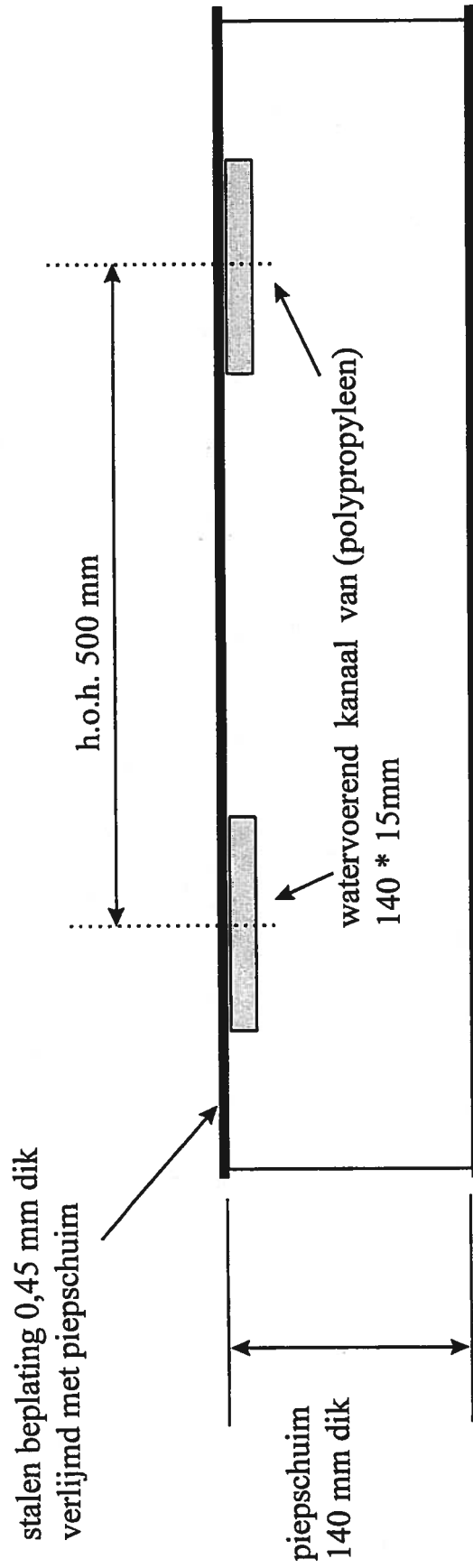
Haaks afzagen.

Spuitgietdeel moet goed op uiteinden kunnen worden gelast.

Scherp getekende hoeken: R0.2

hoofdprofiel: mat.: P.P. opp.: 475 mm ² coextrusie: mat.: opp.: mm ² 2e coextrusie: mat.: opp.: mm ²			TER GOEDKEURING: Firma: _____ Datum: _____ Handtekening _____	
omtrek uitwendig: 305 mm.		omtrek inwendig: 532 mm.		gecontroleerd: <i>A. J.</i> datum: 29-11-'95
als geen tol. bijgeschr. geldt: DIN 16941/3			☐ voor toepassing belangrijke maat	
get.: G v Dijk		schaal: 1:1		datum: 1995-11-29
benaming: Lamelprofiel 140 mm.				projectie
klant: R & R Systems B.V.				tekening no.: M-5924-01

Dwarsdoorsnede (niet op schaal)



Ontwerp: R&R Systems

(Getekend TNO-MEP
Gln00148.ppt / 23-3-00)