Olympisch Stadion Amsterdam

Windtunnelmetingen ten behoeve van de bepaling van de invloed van nieuwbouw op de windbelastingen van de tribunedaken

Rapportnummer GJ 3001-2-RA-006 d.d. 11 november 2022

Olympisch Stadion Amsterdam

Windtunnelmetingen ten behoeve van de bepaling van de invloed van nieuwbouw op de windbelastingen van de tribunedaken



opdrachtgever	Gemeente Amsterdam en PEAK
rapportnummer	GJ 3001-2-RA-006
datum	11 november 2022
referentie	MvU/GJ 3001-2-RA-006
verantwoordelijke	Ir. G.M. van Uffelen
opsteller	Ir. G.M. van Uffelen
	+31 858228644
	m.vanuffelen@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 85 822 86 00, mook@peutz.nl, www.peutz.nl
kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – eindhoven – düsseldorf – dortmund – berlijn – nürnberg – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**4**
2	**Meetmethode en analyse**	**6**
2.1	**Bepaling lokale windbelasting conform CUR-Aanbeveling 103**	**6**
2.2	**Windtunnel**	**7**
2.3	**Maquette en instrumentatie**	**8**
2.4	**Meetinstrumenten**	**12**
2.4.1	Drukmeetsysteem lokale drukken	12
2.5	**Extreme-waardenanalyse**	**12**
2.5.1	Lokale drukken	12
2.5.2	Drukverschillen	13
3	**Resultaten**	**14**
3.1	**Lokale drukverschillen**	**14**
3.2	**Krachten en momenten per dak**	**14**
3.3	**Vergelijking met eerdere metingen**	**14**
3.4	**Interne momenten en reactiekrachten**	**16**
4	**Conclusies**	**18**
4	**Bijlagen**	

1 Inleiding

In opdracht van Gemeente Amsterdam en in 2022 aanvullend van PEAK uit Amsterdam is een windtunnelonderzoek uitgevoerd voor de bepaling van de te verwachten extreme fluctuerende winddrukken en hieruit voortvloeiende belastingen op de daken van de tribunes van het Olympisch stadion te Amsterdam. Dit gebeurt in het kader van de voorziene ontwikkeling van nieuwe hoogbouw op het IJsbaanpad ten zuiden van het stadion. Het onderzoek moet uitwijzen of deze nieuwbouw invloed heeft op de windbelastingen op de tribunedaken van het stadion. Door de gebouwturbulentie zou de maximale windbelasting op de daken kunnen toenemen.
In 2019 en 2020 zijn soortgelijke windtunnelmetingen uitgevoerd ten behoeve van de plaatsing van zonnepanelen op de daken. Omdat de belastbaarheid van de daken nogal kritisch is gebleken volgens berekeningen voortvloeiend uit die metingen, is de toevoeging van de nieuwbouw, die kan zorgen voor toegevoegde windbelasting, een reden om het windtunnelonderzoek te herhalen met de nieuwe geplande bebouwing. In 2022 is een aanvullende meting met alleen Kavel 1 en verder de huidige bebouwing gedaan.

Metingen en hieruit voortvloeiende berekeningen gebeuren conform de CUR Aanbeveling 103 "Windtunnelonderzoek aan de windbelasting op (hoge) gebouwen". Dit omdat de speciale vorm van het gebouw, met de twee tegenover elkaar gelegen tribunes, buiten het toepassingsgebied valt van de tabellen en figuren met vormfactoren uit de windlastnorm NEN-EN 1991-1-4.

De fluctuerende winddrukken zijn dynamisch en simultaan gemeten teneinde inzicht te verkrijgen in de pieken in de winddrukken, alsmede de frequentie-inhoud en de ruimtelijke verdeling daarvan. Dit maakt een dataverwerking en extreme-waardenanalyse conform methode B uit de CUR Aanbeveling 103[CUR] mogelijk. Derhalve kunnen de gemeten representatieve winddrukken door de constructeur gebruikt worden, in plaats van de winddrukken bepaald met de windvormfactoren uit de NEN-EN 1991-1-4[EUROCODE1].

De gemeente Amsterdam heeft van de Stichting Exploitatie Olympisch Stadion toestemming gekregen voor het gebruik van de eerder gefabriceerde maquette. Voor de vervaardiging van de maquette is uitgegaan van:
- De op 21-09-2018 door Stichting Exploitatie Olympisch Stadion aangeleverde tekeningen van de tribunedaken;
- openbare bronnen betreffende de omgeving van het plan.

Daarnaast is voor de toevoeging van de nieuwe bebouwing gebruik gemaakt van de door de gemeente op 4-augustus-2021 aangeleverde 3D-modellen.

De foto op de voorzijde van dit rapport geeft een beeld van de maquette met omliggende bebouwing. Op de tribunedaken in de maquette zijn in totaal op ca. 60 plaatsen op onder- en bovenzijde drukmetingen verricht met behulp van micromanometers. De metingen zijn verricht in 1 meetserie.

In dit rapport wordt verslag gedaan van het windtunnelonderzoek waarbij de volgende indeling is gehanteerd. Nadat in hoofdstuk 2 de meetmethode en de extreme waarden analyse van het windtunnelonderzoek zijn beschreven, worden in hoofdstuk 3 de resultaten gepresenteerd. In hoofdstuk 4 is een samenvatting van het onderzoek opgenomen en worden conclusies gegeven.

2 Meetmethode en analyse

2.1 Bepaling lokale windbelasting conform CUR-Aanbeveling 103

In Nederland is de regelgeving voor de bepaling van lokale windbelasting op gebouwen vastgelegd in de NEN-EN 1991-1-4[EUROCODE1], ook bekend als de Eurocode. Deze norm biedt de mogelijkheid om de windbelasting te bepalen middels windtunnelmetingen. De uitvoeringspraktijk voor deze metingen is vastgelegd in CUR Aanbeveling 103[CUR]. Deze CUR Aanbeveling schrijft voor het bepalen van lokale windbelastingen voor dat gebruik gemaakt wordt van dynamische drukmetingen. Dit houdt in dat op de posities waar de windbelasting bepaald moet worden in de windtunnel met behulp van een snelle druksensor een tijdserie gemeten moet worden.

De CUR Aanbeveling beschrijft drie mogelijke bepalingsmethodes voor de windbelasting met behulp van windtunnelonderzoek (A, B en C). De keuze hangt af van het doel van het windtunnelonderzoek.

Methode A betreft de meting en analyse van gemiddelde krachten en momenten voor bepaling van de windbelasting op de hoofddraagconstructie. Het is een veilige methode voor de bepaling van de windbelasting op de hoofddraagconstructie, maar is niet geschikt voor het bepalen van de lokale windbelasting. Methode B maakt gebruik van een extreme waarden analyse van de meetresultaten en is daarbij een vereenvoudiging van methode C. Beide methoden (B en C) zijn geschikt voor de bepaling van de windbelasting op de hoofddraagconstructie en voor het bepalen van de lokale windbelasting.

In dit rapport zullen de lokale maximale en minimale representatieve winddrukken op het bouwwerk bepaald worden via methode B, aangezien dit met methode A niet mogelijk is. Methode B is een enigszins eenvoudigere analyse methode dan methode C, maar beide mogen onder dezelfde omstandigheden worden toegepast. Volgens methode B, die gebruik maakt van een extreme waarden analyse, kan de representatieve windbelasting bepaald worden die voldoet aan het betrouwbaarheidsniveau dat in de NEN 6700[NEN 6700] wordt voorgeschreven.

Methode B schrijft als referentiesnelheid voor de bepaling van de maatgevende windbelasting een potentiële windsnelheid met een gemiddelde herhalingstijd van 12,5 jaar voor. Vanuit deze potentiële windsnelheid, kan met behulp van in de CUR voorgeschreven parameters voor een logaritmisch snelheidsprofiel een referentiesnelheid op dakhoogte worden bepaald. Voor de windroosafhankelijkheid van de windsnelheden wordt gebruik gemaakt van de in de CUR Aanbeveling 103 opgenomen tabel 2, waarin voor de verschillende gebieden per windrichting correctiefactoren opgenomen zijn voor de referentiesnelheid. Dit resulteert uiteindelijk in windsnelheden met een gemiddelde herhalingstijd van 50 jaar voor iedere afzonderlijke windrichting. Opgemerkt moet worden dat de representatieve stuwdruk zoals voorgeschreven in de CUR-Aanbeveling afwijkt van de

representatieve stuwdruk zoals voorgeschreven in de NEN-EN 1991-1-4. In de rapportage is daarom gebruik gemaakt van de representatieve stuwdruk uit de NEN-EN 1991-1-4, waarbij de correctiefactoren uit de CUR-Aanbeveling gebruikt zijn.

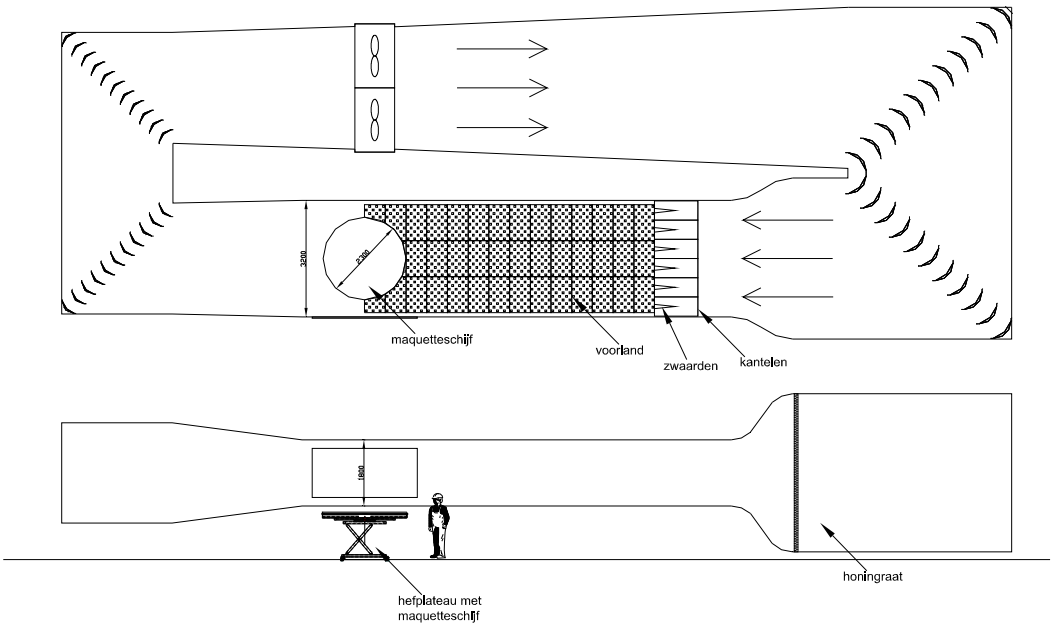
De te verdisconteren extreme waarden van de winddrukcoëfficiënten worden op statistische wijze berekend volgens de methode van N.J. Cook[COOK]. Dit houdt in dat per meetpunt en per windrichting de parameters van de zogenaamde cumulatieve kansdichtheidsverdeling Fisher-Tippett I voor de winddrukcoëfficiënten worden bepaald uit de meetresultaten. Dit wordt gedaan door de gemeten tijdserie op te delen in minstens 24 subseries met elk een lengte van minstens 60 seconden op volle schaal (bij deze metingen is ook de tijd verschaald, zodat de meettijd in de windtunnel kleiner is). De resulterende deelregistraties kunnen eventueel nog gefilterd worden met een laagdoorlaatfilter, als de gemiddelde drukken over een oppervlak dat groter is dan het oppervlak van de druksensoren bepaald moet worden. Uit de minima en maxima van deze subseries wordt nu per windrichting een representatief minimum en maximum voor de optredende druk bepaald.

Om een representatieve waarde voor de belasting te berekenen die gemiddeld één keer in de vijftig jaar wordt overschreden, is één maximale waarde van alle verschillende windrichtingen tezamen gepresenteerd.

2.2 **Windtunnel**

Voor het uitvoeren van windtunnelonderzoek beschikt Peutz over een eigen windtunnel. De tunnel van Peutz is een gesloten grenslaagtunnel, speciaal ontworpen voor het simuleren van een atmosferische grenslaag. Een schematische weergave van de tunnel is gegeven in figuur 2.1.

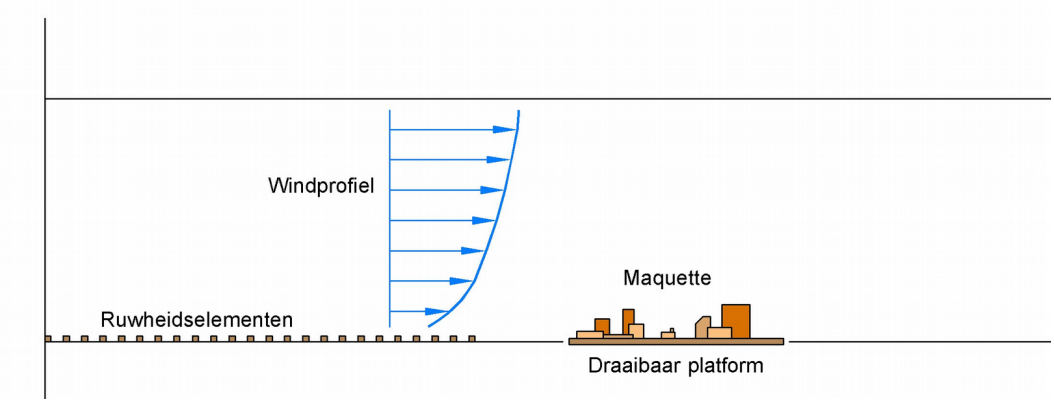
f2.1 Schematische weergave van de gesloten grenslaagtunnel van Peutz



In de windtunnel wordt de grenslaagstroming die in de praktijk aanwezig is (bij neutrale stabiliteit t.a.v. het temperatuurprofiel) op schaal opgewekt, zodat aan de rand van het schaalmodel het juiste windprofiel (afhankelijk van de terreinruwheid) wordt gesimuleerd. Verfijning van de lokale windsituatie vindt plaats door het mee modelleren van de directe omgevingsbebouwing.

Zoals afgebeeld in figuur 2.2 is in de windtunnel een zogenaamd 'voorland' van regelmatig verdeelde blokjes aanwezig dat het aanstromende windprofiel genereert, inclusief de turbulentie (zie ook de figuur op het titelblad van dit rapport). De meetsectie van de tunnel heeft een breedte van 3,2 m en een hoogte van 1,8 m. De draaischijf waarop de maquette geplaatst is heeft een diameter van 2,3 m.

f2.2 Opwekken windprofiel in de windtunnel



2.3 Maquette en instrumentatie

De metingen zijn uitgevoerd met behulp van een maquette op schaal 1:200, met de omliggende bebouwing binnen een straal van 230 m rondom het stadion op de meetschijf.

De gemeente Amsterdam heeft van de Stichting Exploitatie Olympisch Stadion toestemming gekregen voor het gebruik van de eerder gefabriceerde maquette. Voor de vervaardiging van de maquette is uitgegaan van:

- de op 21-09-2018 door Stichting Exploitatie Olympisch Stadion aangeleverde tekeningen van de tribunedaken;
- openbare bronnen betreffende de omgeving van het plan.

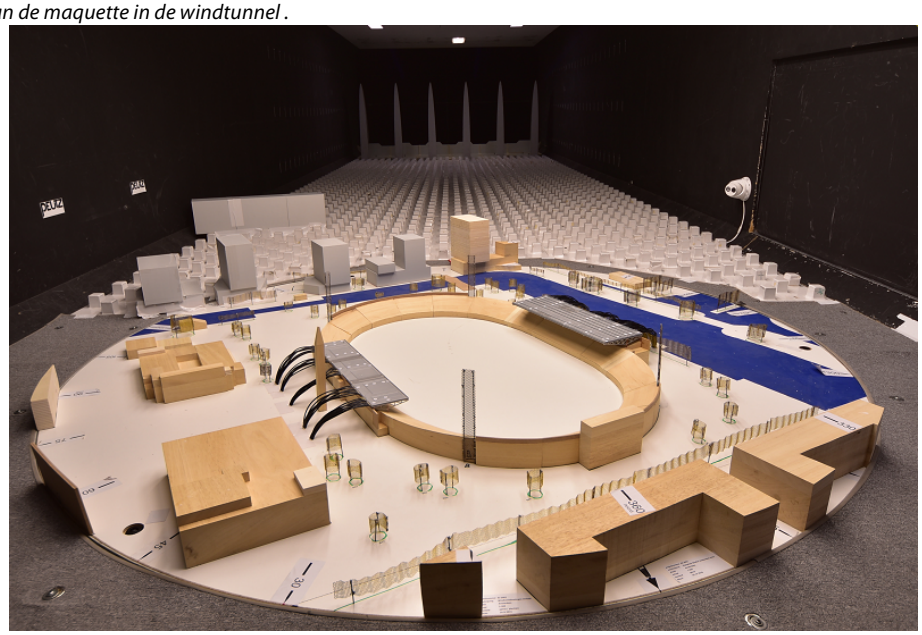
Daarnaast is voor de toevoeging van de nieuwe bebouwing gebruik gemaakt van de door de gemeente op 4-augustus-2021 aangeleverde 3D-modellen.

Deze gegevens, alsmede de hoogtegegevens van de omliggende bebouwing zijn bij Peutz gearchiveerd onder projectnummers GH 3001 en GJ 3001.

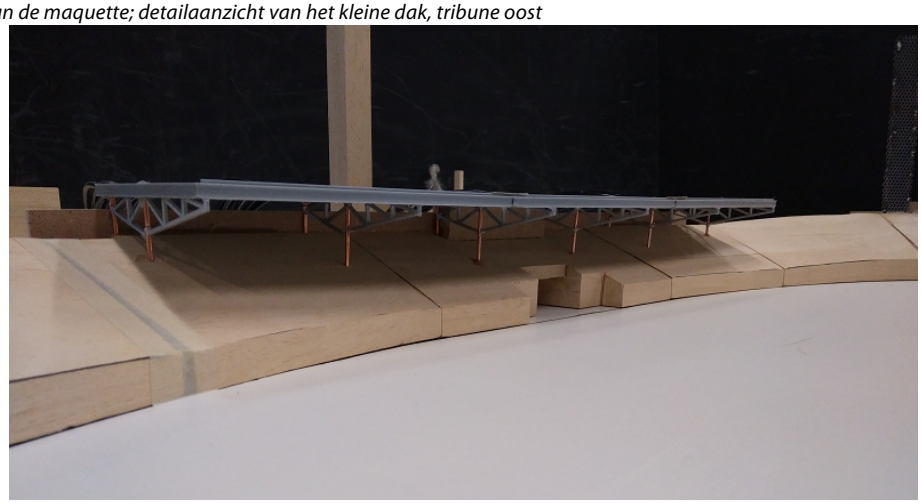
Het onderhavige project bevindt zich in Amsterdam. Gezien de aanwezigheid van bebouwde gebieden bij de van de de voor de windbelasting van belang zijnde windrichtingen, is er voor het windprofiel uitgegaan van een bebouwde situatie. De Eurocode hanteert voor deze ligging een ruwheid van ca. 1,0 m op volle schaal, wat als een representatieve lengte gezien wordt. Gezien de schaal van de maquette is daarom gekozen voor een voorland van 50 mm blokjes, waarmee de geschatte ruwheid van de omgeving zo goed mogelijk wordt verschaald. Bij deze ruwheid, is de hoogte van de grenslaag in de tunnel 117 cm. De metingen aan de nieuwbouw zijn uitgevoerd bij een referentiesnelheid van 5.6 m/s in de tunnel op dakrandhoogte van het hoogste tribunedak (8,8 cm op modelschaal). Deze referentiesnelheden zijn bepaald uit het gemeten snelheidsprofiel aan de rand bovenstrooms van de maquetteschijf, waarbij er geen gebouwen op de schijf staan. Voor de verschaling van de gemeten drukken, krachten en momenten in de windtunnel naar de resultaten op volle schaal, wordt als referentiewaarde in de windtunnel de uit het snelheidsprofiel en turbulentieprofiel bepaalde piekstuwdruk op dakrandhoogte gebruikt. Door de uit de profielmetingen bepaalde waarde van de piekstuwdruk op dakrandhoogte in de windtunnel te gebruiken, worden onnauwkeurigheden door omrekenen van deze waarde referentiehoogte naar de dakrandhoogte (de gebruikte referentiehoogte in de dataverwerking) voorkomen.

De daken, zoals zichtbaar in onderstaande figuren zijn geprint middels verfijnde 3D printtechnieken, waarbij de drukkanaaltjes intern zijn aangebracht. Er zijn in totaal op ca. 60 plaatsen in de maquette drukverschilmetingen verricht aan onder- en bovenzijde met behulp van micromanometers, zie paragraaf 2.4.1. Middels slangetjes zijn de geprinte drukkanaaltjes aangesloten op de manometers. De locatie van deze drukmeetpunten wordt aangegeven in bijlage 1 van dit rapport. In figuren 2.3 t/m 2.5 is een aantal maquette foto's weergegeven. De metingen zijn verricht in 1 meetserie. Naast de nieuwe bebouwing aan het IJsbaanpad is in de relevante windrichtingen ook geplande nieuwbouw aan de ringweg A10 gemodelleerd in de windtunnel. Door de verdere ligging van deze bebouwing is deze niet op de schijf te modelleren. Door de relevantie ervan voor dit onderzoek is besloten deze in de tunnel op het voorlandschap te modelleren. Deze bebouwing is zichtbaar achter de nieuwe grijze bebouwing aan het IJsbaanpad op de voorpagina van dit rapport en in figuur 2.3. De variant met alleen Kavel 1 en verder huidige bebouwing is ook toegevoegd.

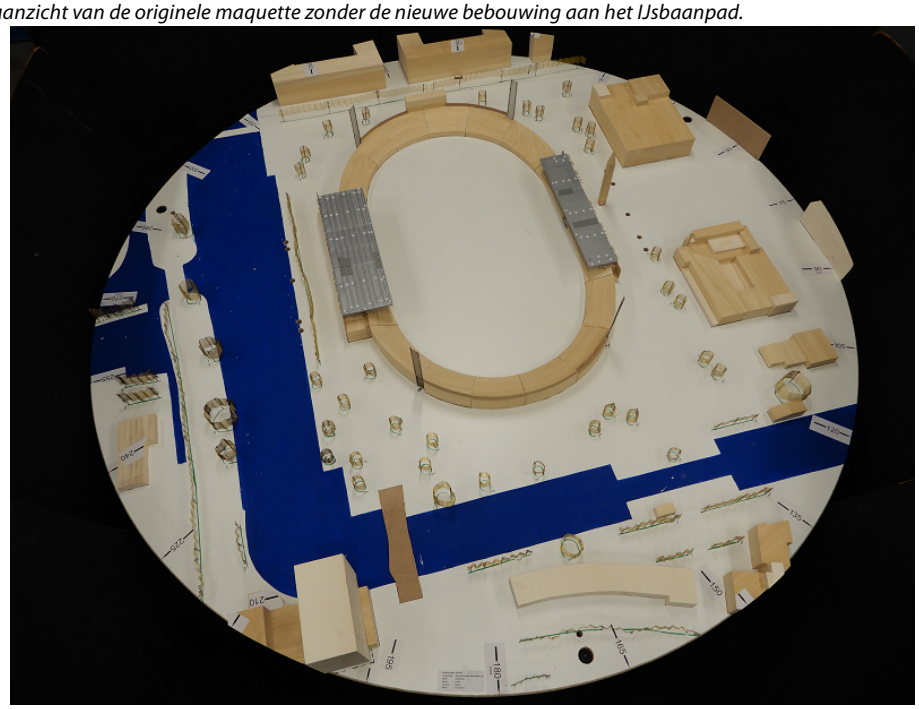
f2.3 Foto van de maquette in de windtunnel .



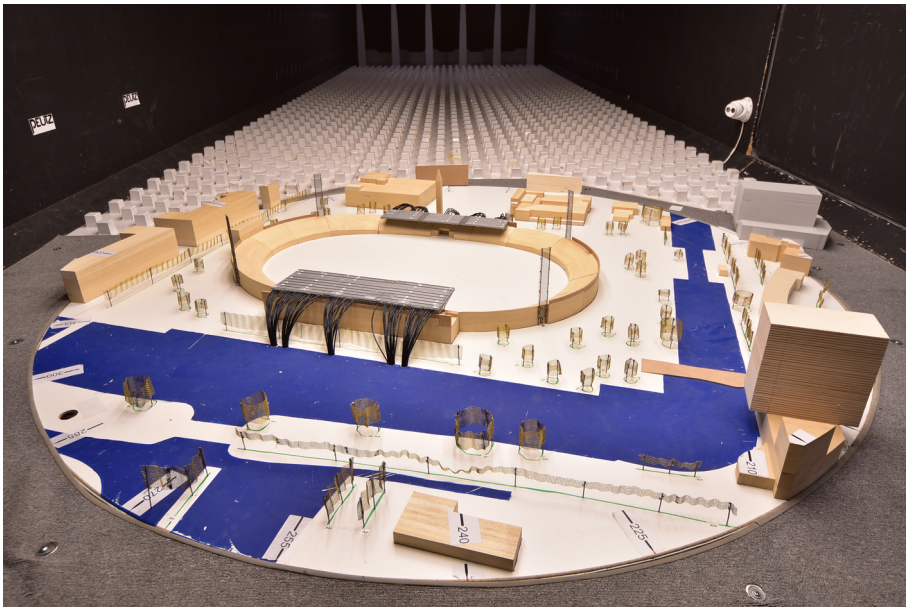
f2.4 Foto van de maquette; detailaanzicht van het kleine dak, tribune oost



f2.5 Bovenaanzicht van de originele maquette zonder de nieuwe bebouwing aan het IJsbaanpad.



f2.6 Maquette met alleen Kavel 1 voor PEAK in 2022



2.4 Meetinstrumenten

2.4.1 Drukmeetsysteem lokale drukken

De drukken op de maquette van het gebouw worden gemeten met behulp van een dynamisch drukmeetsysteem gebaseerd op druksensoren van SensorTechnics, type HCLA12X5TEB. Deze sensoren worden simultaan uitgelezen met behulp van data-acquisitiekaarten van National Instruments met een samplefrequentie van 400 Hz.

De micromanometers staan in verbinding met de meetpunten door middel van speciale slangetjes welke in de maquette ingewerkt zijn. Er wordt digitaal gecorrigeerd voor de verstrooiing van de amplitude en fase in de slangetjes, welke bepaald is door het vergelijken van een aantal metingen aan een druksensor direct in de gevel en een druksensor die aangesloten is op een slangetje.

2.5 Extreme-waardenanalyse

2.5.1 Lokale drukken

Voor elk van de meetpunten is per windrichting gedurende 180 s (verdeeld in 48 submetingen) het verloop van de dynamische druk gemeten. Dit is uitgevoerd voor 24 windrichtingen. Met de gebruikte geometrische verschaling en verschaling van de snelheid, is de lengte van de submetingen ruim voldoende om te voldoen aan de in de CUR Aanbeveling gestelde eisen.

De dynamische metingen zijn uitgevoerd met een bemonsteringsfrequentie van 400 Hz. De drukmeetpunten zijn simultaan gemeten. Dit levert lokale windvormfactoren op die zijn te gebruiken voor de bepaling van de belasting op de daken en gevels van het project.

De blokkering van de meetsectie in de windtunnel bedraagt ca. 2,5%. Hiervoor wordt per windrichting en per meetpunt een correctie op de gemeten drukken uitgevoerd, rekening houdend met de door de blokkering toegenomen stuwdruk en drukval over de maquette, welke per windrichting gemeten worden. Dit wordt gedaan aan de hand van de formules van Melbourne[MELB].

De gemeten drukken worden gerelateerd aan de windsnelheidsdruk op dakrandhoogte in het aangeboden windprofiel ter plaatse van de maquette schijf waardoor een dimensieloze drukcoëfficiënt ontstaat. De aldus bepaalde drukcoëfficiënt noemen we C_p, welke als volgt is gedefinieerd:

$$C_p = \frac{P_{WT}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{ref}^2}$$

waarin P_{WT} de bepaalde representatieve minimale of maximale externe winddruk op de gevel en op de daken in de windtunnel is, ρ de dichtheid van lucht (= 1,25 kg·m^{-3}) en V_{ref} de piek referentiesnelheid in de windtunnel op dakrandhoogte. De representatieve minimale en maximale winddrukken op volle schaal P bij een bepaalde windrichting, kunnen nu bepaald worden uit:

$$P = C_p \cdot p_{w;h_{ref}}$$

waarin $p_{w;href}$ de piek stuwdruk op dakrandhoogte voor de desbetreffende windrichting is, die in de CUR Aanbeveling 103 wordt voorgeschreven. Uiteindelijk zijn de bij de verschillende windrichting hoogste en laagste druk die op een bepaald punt voorkomen de representatieve maximale en minimale winddruk.

2.5.2 Drukverschillen

De uit de windtunnelmetingen verkregen externe winddrukken op de panelen kunnen door de fabrikant van de lichtplafonds gebruikt worden om de maximale belasting van de panelen te bepalen. De meetpunten zijn gepositioneerd over de panelen met zoals weergegeven in de figuur in bijlage 1. In deze bijlage zijn bovenaanzichten van de daken weergegeven. Hierbij zijn telkens één meetpunt aan de bovenzijde en één meetpunt hier direct onder geplaatst. De stuwdruk op de panelen is herleid uit de drukverschillen tussen beide meetpunten per meetpunt-duo. Hierbij zijn de oneven meetpuntnummers telkens direct onder hun opvolgende even meetpuntnummers geplaatst. Dus 1 is geplaatst onder 2, 3 is geplaatst onder 4, etc. De te hanteren representatieve stuwdruk per windrichting is in de tabellen met gemeten extreme winddrukken per meetpunt-duo weergegeven. Positieve waarden geven een opwaartse kracht, dus lift, aan.

3 Resultaten

3.1 Lokale drukverschillen

De resultaten voor de representatieve lokale externe winddrukken worden per meetpunt gepresenteerd in de vorm van totale maximale en minimale winddrukcoëfficiënten. De locaties van de drukmeetpunten worden aangegeven in de tabellen 2.1 in bijlage 2 van dit rapport. Van alle drukmeetpunt-duo's zijn de representatieve winddrukken met de windrichting waarbij ze optreden, weergegeven in de tabellen van bijlage 2, voor een afsnijfrequentie van 200 Hz (op model schaal). In bijlage 3 staan de winddrukken voor de meting met allen Kavel 1 en verder huidige bebouwing weergegeven.

In de tabel staan achtereenvolgens de meetpuntnummers van het meetpunt-duo, de C_p behorend bij de maximaal optredende drukken, de stuwdruk in het vrije veld op dakrandhoogte waarbij de maximale winddruk optreedt, de windrichting waarbij de maximale winddruk optreedt, de berekende maximale winddruk op het meetpunt, de modus U voor de Gumbel verdeling voor het betreffende maximum en tenslotte de spreiding a van de Gumbel verdeling. Hierbij is 0° wind uit het noorden, 90° wind uit het oosten, etc. Daarna volgen dezelfde parameters voor de minimale winddrukken. Negatieve coëfficiënten en winddrukken geven onderdruk (=windzuiging) aan, positieve waarden winddruk op de constructies.

Bij alle meetresultaten gepresenteerd in de tabellen en figuren dient een foutmarge in acht te worden genomen die door ons geraamd wordt op plus of min 10 tot 15% [COOK], [GEURTS]. Deze foutmarge mag als onderdeel van de belastingsfactoren beschouwd worden, daar de belastingsfactoren mede rekening houden met een foutmarge van deze orde van grootte.

3.2 Krachten en momenten per dak

Naast de lokale drukverschillen voor de meetpunt-duo's, zijn uit de meetresultaten ook per tribunedak de maximale krachten en momenten berekend. Deze resultaten voor de opwaartse momenten, bepaald ten opzichte van de achterrand van de tribunedaken, staan weergegeven in de grafiek op de volgende pagina.
Voor het grote dak zijn hierbij maximale belastingen gevonden van 1 MN opwaartse kracht en -0,3 MN neerwaartse kracht. Momenten gevonden voor het grote dak zijn maximaal 18 MNm (dak naar boven/buiten roterend is positief) en minimaal -5 MNm.
Voor het kleine dak bedragen deze waarden 1,3 Mn, -0,3 Mn, 13,8 MNm en -2,2 MNm respectievelijk.

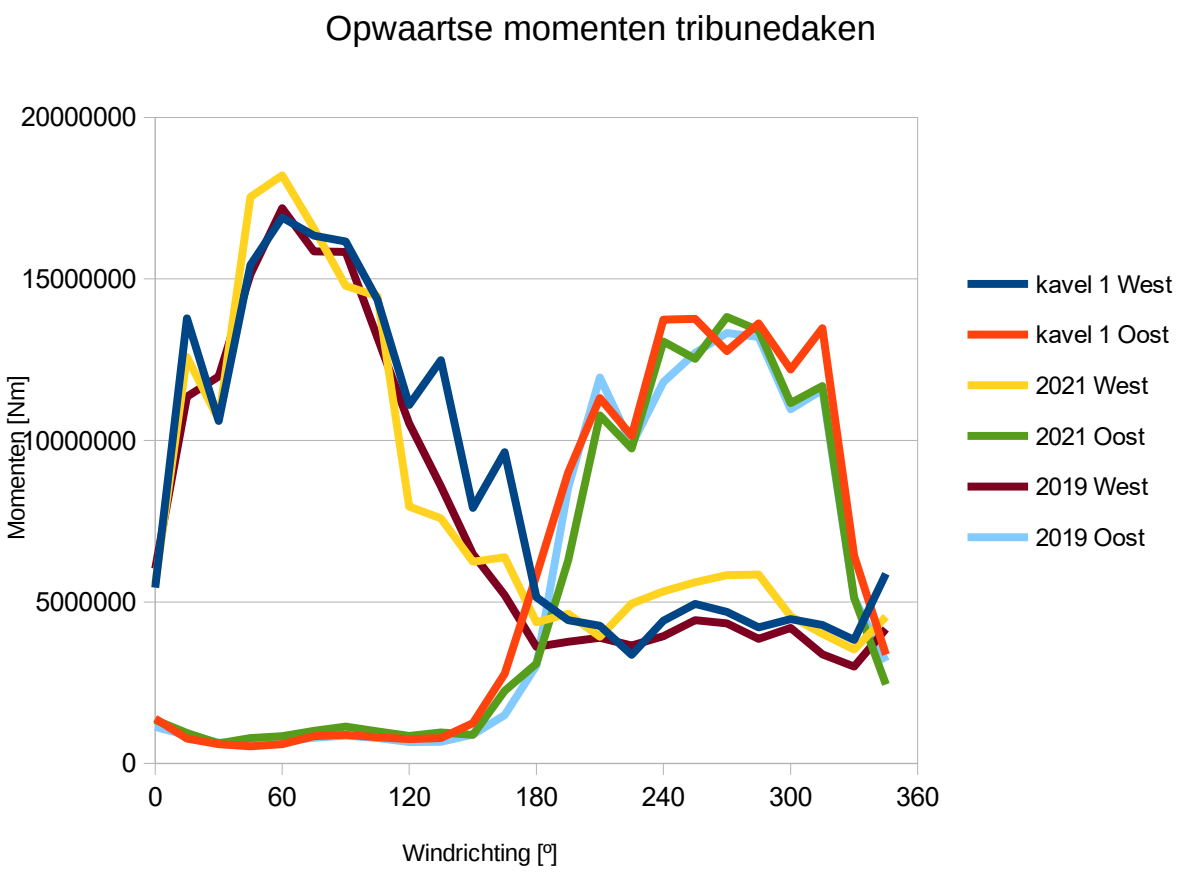
3.3 Vergelijking met eerdere metingen

De metingen zijn een herhaling van de metingen uit 2019 met daarin toegevoegde bebouwing. Daarom worden berekende momenten op de achterzijde van de tribunedaken

vergeleken met die berekend in 2019. Hierin is te zien dat de maximaal voorkomende momenten op de westelijke grote tot ca. 6% toenemen en de oostelijke tot 3%. In de meetresultaten van beide tribunedaken zijn effecten van veranderde turbulentie, maar ook afscherming zichtbaar.
Opvallend is dat met alleen Kavel 1 weliswaar de maatgevende maxima niet toenemen, maar dat bij wind uit het zuidoosten, 120 tot 180°, er wel een duidelijk effect op het grote westelijke tribunedak te zien is.

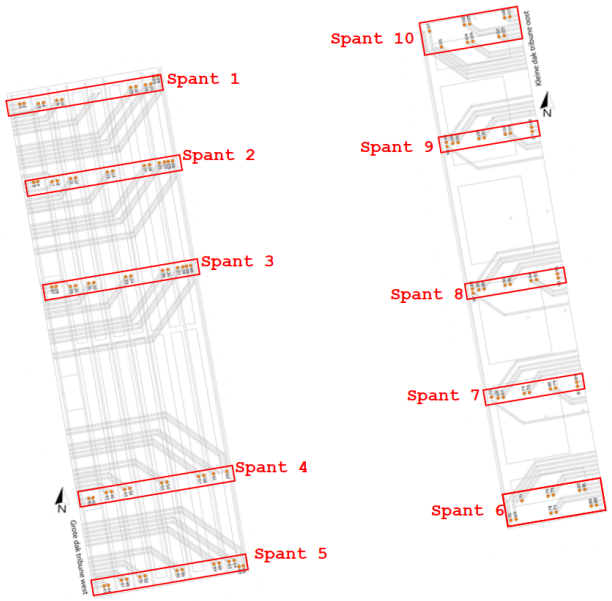
Doordat het dak in langsrichting geplaatst is ten opzichte van de aanstromende wind vanaf de nieuwe bebouwing, lijken de grootste effecten van de nieuwe bebouwing echter al met al sterk gereduceerd te zijn.

f3.1 Maximale opwaartse momenten ten opzichte achterrand tribunedaken



3.4 Interne momenten en reactiekrachten

Aanvullend is door de opdrachtgever, in samenspraak met de constructeur gevraagd om maximaal optredende reactiekrachten en momenten ter plekke van de meetspanten te bepalen. De nummering van deze meetspanten is weergegeven in de noord-geörienteerde bovenaanzichten van de beide daken in figuur 3.2.



f3.2 Spantnummering

De gevraagde belastingen zijn door van Rossum raadgevende ingenieurs opgegeven als functie van de gemeten belastingen op de meetpuntduo's zoals eerder gebruikt. Deze belastingen zijn gedefinieerd in bijlage 4. Middels de extreme waarde analyse zoals deze ook is toegepast voor eerdere belastingen, is voor deze gevraagde belastingen een extreme waarde met een terugkeerperiode van 50 jaar per strekkende meter spant berekend. Opgemerkt wordt dat constructieve spanten namelijk niet altijd samenvallen met de gemeten spanten. Daarom is de spantbreedte voor de belastingen genormaliseerd. De belasting voor een constructief spant dient door de constructeur berekend te worden door de gevonden belastingen te vermenigvuldigen met de breedte van het dakdeel dat door de constructieve spant ondersteund wordt.

De resultaten zijn digitaal verstrekt bij dit rapport in xls-format. In tabellen 3.1 t/m 3.3 zijn de resultaten samengevat voor alle windrichtingen per spant voor de metingen uit 2019, 2021 (Kavel 2-4 langs IJsbaanpad) en 2022 (alleen Kavel 1).

t3.1 Momenten Mq (per strekkende meter spant)

Spant	Max moment Mq 2019 [Nm]	Max moment Mq 2021 [Nm]	Max moment Mq Kavel 1 2022 [Nm]	Min moment Mq 2019 [Nm]	Min moment Mq 2021 [Nm]	Min moment Mq Kavel 1 2022 [Nm]
1	95136	89535	86477	-89342	-77290	-87522
2	36164	37853	24966	-105124	-101045	-66108
3	31966	31728	30387	-117339	-107634	-95535
4	43289	28619	41044	-98399	-103818	-85145
5	95493	93807	101711	-93116	-81396	-85819
6	18836	13314	24104	-70580	-48564	-104374
7	20031	15355	30469	-73358	-90911	-100811
8	32925	22226	29622	-82856	-74419	-94981
9	29072	35854	33554	-93225	-67892	-98689
10	32983	26970	30835	-59838	-50052	-58194

t3.2 Reactiekracht Rp (per strekkende meter spant)

Spant	Max kracht Rp 2019 [N]	Max kracht Rp 2021 [N]	Max kracht Rp Kavel 1 2022 [N]	Min kracht Rp 2019 [N]	Min kracht Rp 2021[N]	Min kracht Rp Kavel 1 2022 [N]
1	6918	7636	7409	-6974	-6260	-7569
2	4080	4012	3874	-8135	-8055	-4830
3	4718	4793	4309	-8885	-8854	-7214
4	5682	4567	6105	-7856	-8077	-6628
5	7206	7371	9393	-7184	-6473	-6402
6	4307	3248	5132	-9247	-5601	-13523
7	4112	3453	5393	-8819	-10565	-12669
8	6258	4166	5165	-11178	-8930	-12235
9	4517	5996	5407	-12317	-6744	-12454
10	4922	4830	5163	-6552	-5728	-6313

t3.3 Reactiekracht Rq (per strekkende meter spant)

Spant	Max kracht Rq 2019 [N]	Max kracht Rq 2021 [N]	Max kracht Rq Kavel 1 2022 [N]	Min kracht Rq 2019 [N]	Min kracht Rq 2021 [N]	Min kracht Rq Kavel 1 2022 [N]
1	20406	21673	20898	-20725	-15606	-21786
2	8571	8666	6385	-22419	-21789	-14663
3	7490	6856	8352	-24483	-21630	-20310
4	9367	7401	7743	-19736	-20943	-17201
5	24226	19725	24199	-19690	-16483	-20592
6	6085	5612	8023	-23331	-17988	-34924
7	6655	5096	8513	-26172	-32915	-33627
8	9261	7080	8562	-28818	-26836	-32342
9	8816	9812	9668	-31219	-24780	-32626
10	10513	8743	10216	-22307	-19099	-21383

4 Conclusies

In opdracht van Gemeente Amsterdam en in 2022 aanvullend van PEAK uit Amsterdam is een windtunnelonderzoek uitgevoerd voor de bepaling van de te verwachten extreme fluctuerende winddrukken en hieruit voortvloeiende belastingen op de daken van de tribunes van het Olympisch stadion te Amsterdam. Dit gebeurt in het kader van de voorziene ontwikkeling van nieuwe hoogbouw op het IJsbaanpad ten zuiden van het stadion. Het onderzoek moet uitwijzen of deze nieuwbouw invloed heeft op de windbelastingen op de tribunedaken van het stadion. Door de gebouwturbulentie zou de maximale windbelasting op de daken kunnen toenemen.
In 2019 en 2020 zijn soortgelijke windtunnelmetingen uitgevoerd ten behoeve van de plaatsing van zonnepanelen op de daken. Omdat de belastbaarheid van de daken nogal kritisch is gebleken volgens berekeningen voortvloeiend uit die metingen, is de toevoeging van de nieuwbouw, die kan zorgen voor toegevoegde windbelasting, een reden om het windtunnelonderzoek te herhalen met de nieuwe geplande bebouwing. In 2022 is een aanvullende meting met alleen Kavel 1 gedaan.

Ten aanzien van de metingen aan lokale drukken is het volgende te concluderen voor de tribunedaken:

- Drukverschillen zijn gemeten en middels een extreme-waarden analyse herleid tot extreme drukverschillen. De resultaten voor de representatieve lokale externe winddrukken worden per meetpunt-duo gepresenteerd in de vorm van totale maximale, opwaarts werkende, en minimale winddrukcoëfficiënten. Deze zijn weergegeven in de bijlagen van dit rapport.
- Maximale lokale waarden voor drukverschillen zijn op het kleine tribunedak veelal hoger vanwege de oriëntatie op het westen en door turbulentie veroorzaakt door de grote tribune.
- Met de nieuwbouw van Kavels 1 tot en met 4 neemt het hoogste, opwaarts werkende, drukverschil ca. 2,5 % toe. Met alleen Kavel 1 is dit op het maatgevende meetpunt zelfs 8 %. Beide op het kleine tribunedak.
- Maximale krachten en momenten zijn berekend voor beide tribunedaken ten opzichte van de achterkant. In een vergelijking met eerdere meetresultaten zonder de nieuwbouw is te zien dat de maximaal voorkomende momenten tot ca. 6% toenemen op het grote tribunedak, alleen in de situatie met Kavels 1 tot en met 4, en ca. 3 % op het kleine, ook met alleen Kavel 1. in de meetresultaten van beide tribunedaken zijn effecten van veranderde turbulentie, maar ook afscherming zichtbaar. Doordat het dak in langsrichting geplaatst is ten opzichte van de aanstromende wind vanaf de nieuwe bebouwing, lijken de grootste effecten van de nieuwe bebouwing sterk gereduceerd te zijn.
- Middels de extreme waarde analyse zoals deze ook is toegepast voor eerdere belastingen, is voor gevraagde interne reactiekrachten een extreme waarde met een terugkeerperiode van 50 jaar per strekkende meter spant berekend. Opgemerkt wordt dat constructieve spanten namelijk niet altijd samenvallen met de gemeten spanten. Daarom is de spantbreedte voor de belastingen genormaliseerd. De belasting voor een constructief spant dient door de constructeur berekend te worden door de gevonden belastingen te

vermenigvuldigen met de breedte van het dakdeel dat door de constructieve spant ondersteund wordt.
- De resultaten voor interne reactie-krachten zijn per meetspant digitaal verstrekt bij dit rapport in xls-format.

Opgemerkt wordt dat berekende krachten duidelijk lager zijn dan bij gebruik van de in de NEN-EN 1991 genoemde globale krachtcoëfficiënt van C_f = -1,4. Aangenomen wordt dat dit komt door de oriëntatie en plaatsing van de daken. Bij maatgevende (westelijke) windrichtingen schermt het grote westelijke dak het kleinere oostelijke dak grotendeels af.

De uit windtunnelmetingen verkregen belastingen op de tribunedaken kunnen door de constructeur worden beoordeeld teneinde de weerstand van de daken tegen deze belastingen te evalueren.

Bij alle meetresultaten gepresenteerd in de tabellen en figuren dient een foutmarge in acht te worden genomen die door ons geraamd wordt op plus of min 10 tot 15%. Deze foutmarge mag als onderdeel van de belastingsfactoren beschouwd worden, daar de belastingsfactoren mede rekening houden met een foutmarge van deze orde van grootte.

Mook,

Dit rapport bevat 20 pagina's en 4 bijlagen



GJ 3001-2-RA-006 (C09DA4B7) MARCEL

Literatuurlijst

CUR: Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, CUR-Aanbeveling 103: Windtunnelonderzoek voor de bepaling van ontwerp-windbelastingen op (hoge) gebouwen en onderdelen ervan, 2005

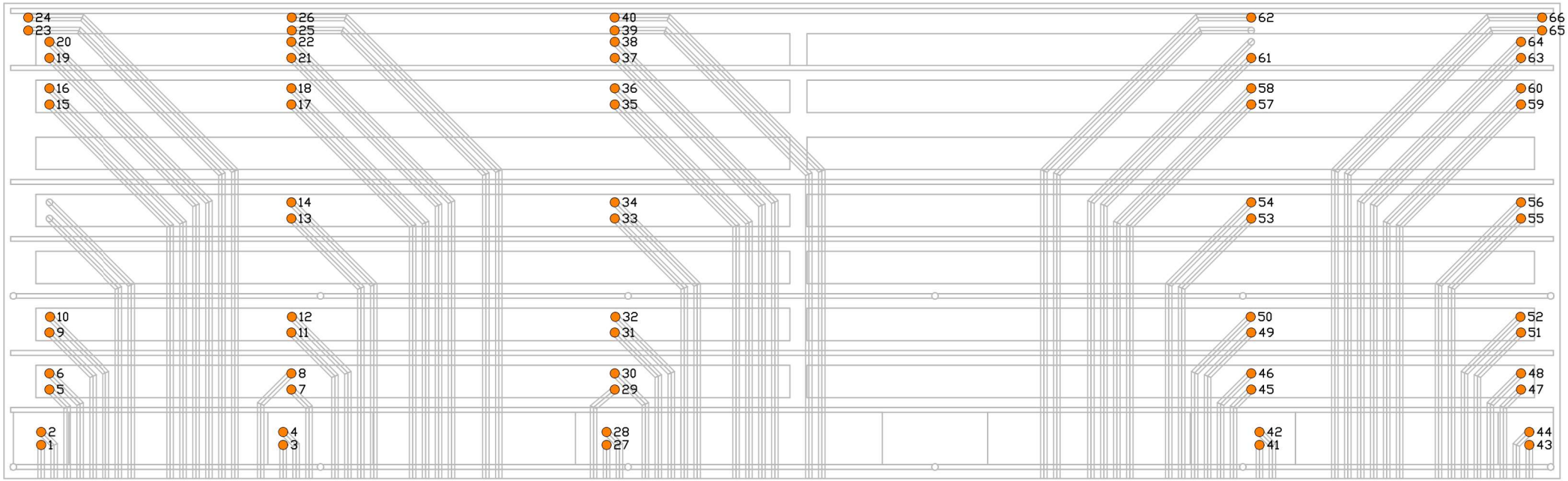
EUROCODE1: NEN-EN 1991-1-4, Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting, 2005

NEN 6700: NEN 6700, Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Algemene eisen, 1990

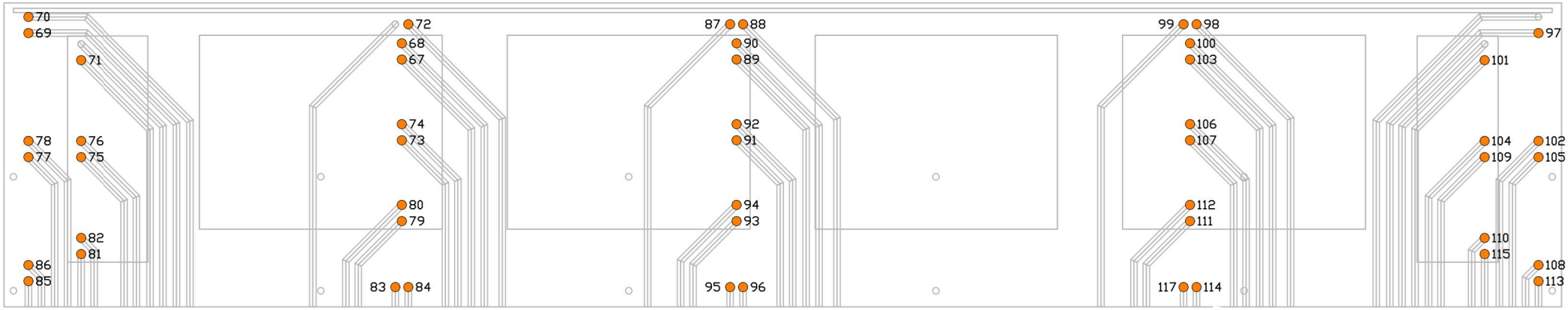
COOK: N.J. Cook, The designer's guide to wind loading of building structures, 1990

MELB: W.H. Melbourne, Wind tunnel blockage effects and corrections, 1981

GEURTS: C.P.W. Geurts, Wind-induced pressure fluctuations on building facades, 1997



Grote dak tribune west



Kleine dak tribune oost

Bijlage 2 Lokale maxima en minima verschildrukken

Tabel 2.1: Maximale en minimale verschil drukken (MP1 - MP2) huidige situatie

MP1	MP2	$C_{pe;loc;max}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
2	1	1.16	647	315	753	2.34	0.38	-1.19	762	300	-903	-2.86	-0.22
4	3	0.32	762	300	241	0.74	0.07	-0.34	762	300	-262	-0.74	-0.10
6	5	0.24	762	300	182	0.49	0.07	-0.79	807	285	-637	-1.81	-0.18
7	8	1.35	369	60	497	3.15	0.29	-0.48	762	300	-368	-1.12	-0.11
10	9	1.10	762	300	839	2.47	0.27	-1.16	807	285	-939	-2.52	-0.32
12	11	1.35	369	60	497	3.15	0.29	-0.48	762	300	-368	-1.12	-0.11
14	13	1.34	369	60	494	3.17	0.27	-0.33	762	300	-251	-0.69	-0.10
16	15	0.67	762	300	511	1.51	0.17	-0.70	807	285	-567	-1.59	-0.17
18	17	1.95	369	60	719	4.67	0.38	-0.38	762	300	-287	-0.90	-0.07
20	19	0.39	747	225	293	0.95	0.07	-0.62	762	300	-475	-1.49	-0.12
22	21	2.22	369	60	819	5.45	0.39	-0.86	349	30	-301	-1.55	-0.35
24	23	3.74	359	75	1341	8.86	0.77	-0.98	854	270	-834	-2.15	-0.26
26	25	2.22	369	60	818	5.42	0.40	-0.57	762	300	-435	-1.32	-0.13
28	27	0.99	823	240	811	2.17	0.26	-0.21	823	240	-170	-0.34	-0.09
30	29	0.66	807	285	535	1.47	0.17	-0.28	854	270	-242	-0.51	-0.11
32	31	0.66	807	285	535	1.47	0.17	-0.28	854	270	-242	-0.51	-0.11
34	33	1.50	369	60	553	3.61	0.29	-0.45	747	225	-335	-0.93	-0.14
36	35	2.00	359	45	718	4.63	0.45	-0.76	319	135	-241	-1.47	-0.26
38	37	2.46	369	60	907	6.01	0.44	-0.87	319	135	-278	-1.83	-0.26
40	39	2.35	369	60	867	5.76	0.41	-0.33	838	255	-280	-0.71	-0.10
42	41	0.81	854	270	691	1.99	0.14	-0.39	689	210	-271	-0.76	-0.14
44	43	1.13	689	210	780	2.50	0.29	-1.02	689	210	-703	-2.20	-0.29
45	46	0.55	854	270	472	1.22	0.15	-0.42	747	225	-314	-0.89	-0.12
48	47	1.05	689	210	721	2.54	0.19	-1.33	747	225	-994	-2.89	-0.37
50	49	0.55	854	270	472	1.22	0.15	-0.42	747	225	-314	-0.89	-0.12
52	51	0.18	747	225	138	0.39	0.05	-0.21	689	210	-143	-0.44	-0.06

54	53	1.18	359	45	425	2.73	0.27	-0.42	747	225	-316	-0.97	-0.10
56	55	0.88	689	210	608	2.02	0.21	-0.89	823	240	-736	-1.98	-0.23
58	57	2.03	349	90	708	4.84	0.41	-0.45	349	30	-158	-0.92	-0.15
60	59	0.75	689	210	515	1.66	0.19	-0.67	823	240	-555	-1.55	-0.16
62	61	2.32	349	90	808	5.51	0.47	-0.30	838	255	-253	-0.68	-0.07
64	63	1.91	369	60	707	4.45	0.42	-0.54	747	225	-400	-1.08	-0.18
66	65	3.39	359	75	1218	7.48	0.89	-1.05	823	240	-866	-2.56	-0.19
68	67	2.16	807	285	1742	4.55	0.64	-0.71	838	255	-595	-1.32	-0.27
70	69	2.16	689	210	1485	4.82	0.54	-0.62	689	210	-428	-1.11	-0.25
72	71	2.16	689	210	1485	4.82	0.54	-0.62	689	210	-428	-1.11	-0.25
74	73	1.50	807	285	1212	3.19	0.44	-0.30	854	270	-256	-0.42	-0.16
76	75	1.19	823	240	976	2.62	0.31	-0.64	469	180	-299	-1.32	-0.20
78	77	1.50	823	240	1237	3.24	0.42	-1.19	469	180	-557	-2.64	-0.30
80	79	1.31	807	285	1061	2.93	0.33	-0.37	747	225	-279	-0.68	-0.15
82	81	1.01	807	285	819	2.23	0.27	-0.64	469	180	-299	-1.36	-0.19

$C_{pe;loc;max}$	= maximale representatieve lokale drukcoëfficiënt	**$C_{pe;loc;min}$**	= minimale representatieve lokale drukcoëfficiënt
$p_{w;href}$ [Pa]	= maximale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos	**$p_{w;href}$ [Pa]**	= minimale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos
Oriëntatie max [°]	= windrichting in graden waarbij maximale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)	**Oriëntatie min [°]**	= windrichting in graden waarbij minimale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)
P_{max} [Pa]	= maximum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)	**P_{min} [Pa]**	= minimum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)
U_{max}	= modus van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**U_{min}**	= modus van de Gumbel verdeling voor dit minimum
a_{max}	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**a_{min}**	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit minimum

Tabel 2.1 vervolg: Maximale en minimale verschil drukken (buiten - binnen)

MP1	MP2	$C_{pe;loc;max}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
84	83	1.31	807	285	1061	2.93	0.33	-0.37	747	225	-279	-0.68	-0.15
86	85	1.09	807	285	881	2.42	0.28	-1.04	469	180	-486	-2.12	-0.33
88	87	1.08	823	240	889	2.57	0.22	-0.49	823	240	-405	-0.89	-0.20
90	89	1.87	854	270	1594	4.07	0.51	-0.71	854	270	-603	-1.36	-0.25
92	91	1.38	823	240	1138	3.11	0.34	-0.73	854	270	-620	-1.32	-0.29
94	93	1.20	823	240	983	2.62	0.32	-0.48	469	180	-223	-1.00	-0.14
96	93	1.38	807	285	1113	3.06	0.35	-0.64	823	240	-530	-1.23	-0.24
98	99	2.06	854	270	1755	4.63	0.51	-0.88	807	285	-710	-1.62	-0.34
100	103	0.56	854	270	478	1.04	0.21	-0.88	823	240	-725	-1.93	-0.23
102	105	1.74	762	300	1328	4.02	0.40	-0.98	554	330	-540	-1.93	-0.33
104	109	0.99	854	270	844	2.21	0.25	-0.52	554	330	-291	-0.96	-0.21
106	107	1.26	854	270	1080	2.74	0.35	-0.30	838	255	-255	-0.52	-0.13
108	113	1.45	762	300	1102	3.53	0.26	-0.56	554	330	-310	-1.06	-0.21
110	115	0.93	854	270	792	2.16	0.20	-0.53	359	45	-190	-1.24	-0.11
112	111	1.22	854	270	1042	2.72	0.31	-0.21	807	285	-173	-0.31	-0.11
117	114	1.22	854	270	1042	2.72	0.31	-0.21	807	285	-173	-0.31	-0.11

$C_{pe;loc;max}$	= maximale representatieve lokale drukcoëfficiënt	**$C_{pe;loc;min}$**	= minimale representatieve lokale drukcoëfficiënt
$p_{w;href}$ [Pa]	= maximale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos	**$p_{w;href}$ [Pa]**	= minimale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos
Oriëntatie max [°]	= windrichting in graden waarbij maximale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)	**Oriëntatie min [°]**	= windrichting in graden waarbij minimale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)
P_{max} [Pa]	= maximum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)	**P_{min} [Pa]**	= minimum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)
U_{max}	= modus van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**U_{min}**	= modus van de Gumbel verdeling voor dit minimum
a_{max}	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**a_{min}**	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit minimum

Bijlage 3 Lokale maxima en minima verschildrukken Kavel 1 2022

Tabel 3.1.: Maximale en minimale verschil drukken (MP1 - MP2) huidige met nieuwbouw

MP1	MP2	$C_{pe;loc;max}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
2	1	1.17	554	330	646	2.65	0.28	-1.20	762	300	-914	-2.83	-0.25
4	3	0.78	823	240	643	1.85	0.16	-0.34	689	210	-232	-0.69	-0.11
6	5	1.24	762	300	947	2.61	0.37	-1.37	807	285	-1106	-3.11	-0.33
8	7	0.50	823	240	409	1.10	0.13	-0.56	647	315	-359	-1.21	-0.15
10	9	1.12	762	300	852	2.59	0.25	-1.05	807	285	-849	-2.39	-0.25
12	11	0.50	823	240	409	1.10	0.13	-0.56	647	315	-359	-1.21	-0.15
14	13	1.16	369	60	426	2.83	0.21	-0.37	823	240	-306	-0.80	-0.10
16	15	0.80	762	300	611	1.74	0.22	-0.72	854	270	-617	-1.64	-0.17
18	17	0.54	369	60	199	1.23	0.13	-0.21	762	300	-162	-0.48	-0.05
20	19	1.94	359	75	697	4.74	0.35	-0.59	762	300	-447	-1.29	-0.15
22	21	1.82	369	60	673	4.48	0.32	-0.32	762	300	-244	-0.71	-0.08
24	23	3.09	369	60	1141	7.40	0.61	-1.03	807	285	-833	-2.29	-0.27
26	25	1.93	369	60	713	4.92	0.28	-0.51	762	300	-389	-1.22	-0.10
28	31	1.04	854	270	886	2.45	0.22	-0.31	838	255	-263	-0.53	-0.14
30	29	0.55	854	270	466	1.33	0.10	-0.43	823	240	-357	-0.94	-0.12
32	31	0.55	854	270	466	1.33	0.10	-0.43	823	240	-357	-0.94	-0.12
34	33	1.38	359	75	495	3.39	0.24	-0.33	854	270	-280	-0.62	-0.12
36	35	1.72	359	75	618	4.24	0.30	-0.30	854	270	-253	-0.69	-0.06
38	37	2.31	369	60	852	5.81	0.36	-0.81	309	120	-250	-1.44	-0.33
40	39	2.17	369	60	802	5.40	0.36	-0.41	854	270	-350	-0.91	-0.10
42	41	1.02	854	270	870	2.39	0.22	-0.36	807	285	-288	-0.64	-0.14
44	43	1.20	689	210	826	2.84	0.25	-1.02	580	195	-591	-2.34	-0.23
46	45	0.58	854	270	499	1.26	0.16	-0.38	838	255	-315	-0.80	-0.11
48	47	1.08	689	210	746	2.60	0.21	-1.20	747	225	-894	-2.78	-0.27
50	49	0.58	854	270	499	1.26	0.16	-0.38	838	255	-315	-0.80	-0.11
52	51	1.26	580	195	731	2.93	0.28	-0.93	823	240	-767	-2.09	-0.23
54	53	0.46	349	90	160	0.95	0.14	-0.39	838	255	-326	-0.91	-0.08

56	55	0.93	689	210	640	2.11	0.22	-1.72	469	180	-808	-3.60	-0.52
58	57	1.78	359	75	640	4.11	0.41	-0.31	823	240	-251	-0.70	-0.07
60	59	1.65	359	75	590	3.48	0.48	-1.03	747	225	-766	-2.01	-0.36
62	61	2.24	359	75	803	5.21	0.49	-0.40	838	255	-337	-0.86	-0.12
64	63	2.04	349	90	712	4.73	0.46	-0.78	747	225	-582	-1.44	-0.30
66	65	2.98	369	60	1100	6.93	0.66	-1.13	823	240	-931	-2.60	-0.26
68	67	2.15	807	285	1733	4.81	0.54	-0.67	838	255	-564	-1.27	-0.25
70	69	2.14	823	240	1762	4.44	0.66	-0.82	689	210	-564	-1.50	-0.32
72	71	2.14	823	240	1762	4.44	0.66	-0.82	689	210	-564	-1.50	-0.32
74	73	1.49	807	285	1205	3.34	0.38	-0.34	854	270	-292	-0.49	-0.18
76	75	1.29	823	240	1063	2.80	0.36	-0.53	469	180	-250	-1.10	-0.17
78	77	1.76	823	240	1447	3.65	0.54	-1.11	469	180	-520	-2.30	-0.34
80	79	1.29	823	240	1058	2.86	0.33	-0.37	469	180	-172	-0.72	-0.13
82	81	1.22	823	240	1006	2.66	0.33	-0.58	469	180	-272	-1.19	-0.18

$C_{pe;loc;max}$	= maximale representatieve lokale drukcoëfficiënt	**$C_{pe;loc;min}$**	= minimale representatieve lokale drukcoëfficiënt
$p_{w;href}$ [Pa]	= maximale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos	**$p_{w;href}$ [Pa]**	= minimale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos
Oriëntatie max [°]	= windrichting in graden waarbij maximale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)	**Oriëntatie min [°]**	= windrichting in graden waarbij minimale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)
P_{max} [Pa]	= maximum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)	**P_{min} [Pa]**	= minimum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)
U_{max}	= modus van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**U_{min}**	= modus van de Gumbel verdeling voor dit minimum
a_{max}	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**a_{min}**	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit minimum

Tabel 3.1 vervolg: Maximale en minimale verschil drukken (buiten - binnen)

MP1	MP2	$C_{pe;loc;max}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	$p_{w;href}$ [Pa]	Oriëntatie min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
80	79	1.29	823	240	1058	2.86	0.33	-0.37	469	180	-172	-0.72	-0.13
86	85	1.55	747	225	1157	3.82	0.27	-0.88	469	180	-413	-1.68	-0.32
88	87	2.12	838	255	1776	4.85	0.49	-0.76	838	255	-636	-1.38	-0.30
90	89	1.91	823	240	1570	4.29	0.47	-0.67	854	270	-576	-1.30	-0.24
92	91	1.81	647	315	1171	4.22	0.40	-0.39	747	225	-291	-0.74	-0.15
94	93	1.19	838	255	994	2.71	0.28	-0.26	747	225	-195	-0.46	-0.11
96	93	1.16	823	240	957	2.77	0.23	-0.22	747	225	-163	-0.39	-0.09
98	99	2.20	854	270	1879	4.95	0.54	-0.84	854	270	-717	-1.50	-0.34
100	103	1.89	854	270	1616	4.12	0.51	-0.75	854	270	-640	-1.43	-0.27
102	105	1.75	762	300	1333	4.01	0.41	-0.94	647	315	-608	-1.61	-0.40
104	109	1.07	747	225	799	2.30	0.30	-0.60	554	330	-333	-1.21	-0.20
106	107	1.86	647	315	1202	4.19	0.46	-0.41	807	285	-330	-0.76	-0.16
108	113	1.32	807	285	1068	2.97	0.33	-0.91	469	345	-428	-1.61	-0.38
110	115	1.10	762	300	835	2.66	0.20	-0.45	554	330	-250	-0.92	-0.14
112	111	1.46	647	315	943	3.30	0.35	-0.29	689	210	-201	-0.39	-0.16
114	117	1.46	647	315	943	3.30	0.35	-0.29	689	210	-201	-0.39	-0.16

$C_{pe;loc;max}$	= maximale representatieve lokale drukcoëfficiënt	**$C_{pe;loc;min}$**	= minimale representatieve lokale drukcoëfficiënt
$p_{w;href}$ [Pa]	= maximale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos	**$p_{w;href}$ [Pa]**	= minimale stuwdruk op dakrandhoogte in Pascal voor de betreffende windrichting (N/m²), met verdiscontering van windroos
Oriëntatie max [°]	= windrichting in graden waarbij maximale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)	**Oriëntatie min [°]**	= windrichting in graden waarbij minimale druk optreedt (0° = Noord, 90° = Oost)
P_{max} [Pa]	= maximum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)	**P_{min} [Pa]**	= minimum (MP1 - MP2) in Pascal (N/m²)
U_{max}	= modus van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**U_{min}**	= modus van de Gumbel verdeling voor dit minimum
a_{max}	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit maximum	**a_{min}**	= spreiding van de Gumbel verdeling voor dit minimum

Bijlage 4 Gevraagde reactiekrachten

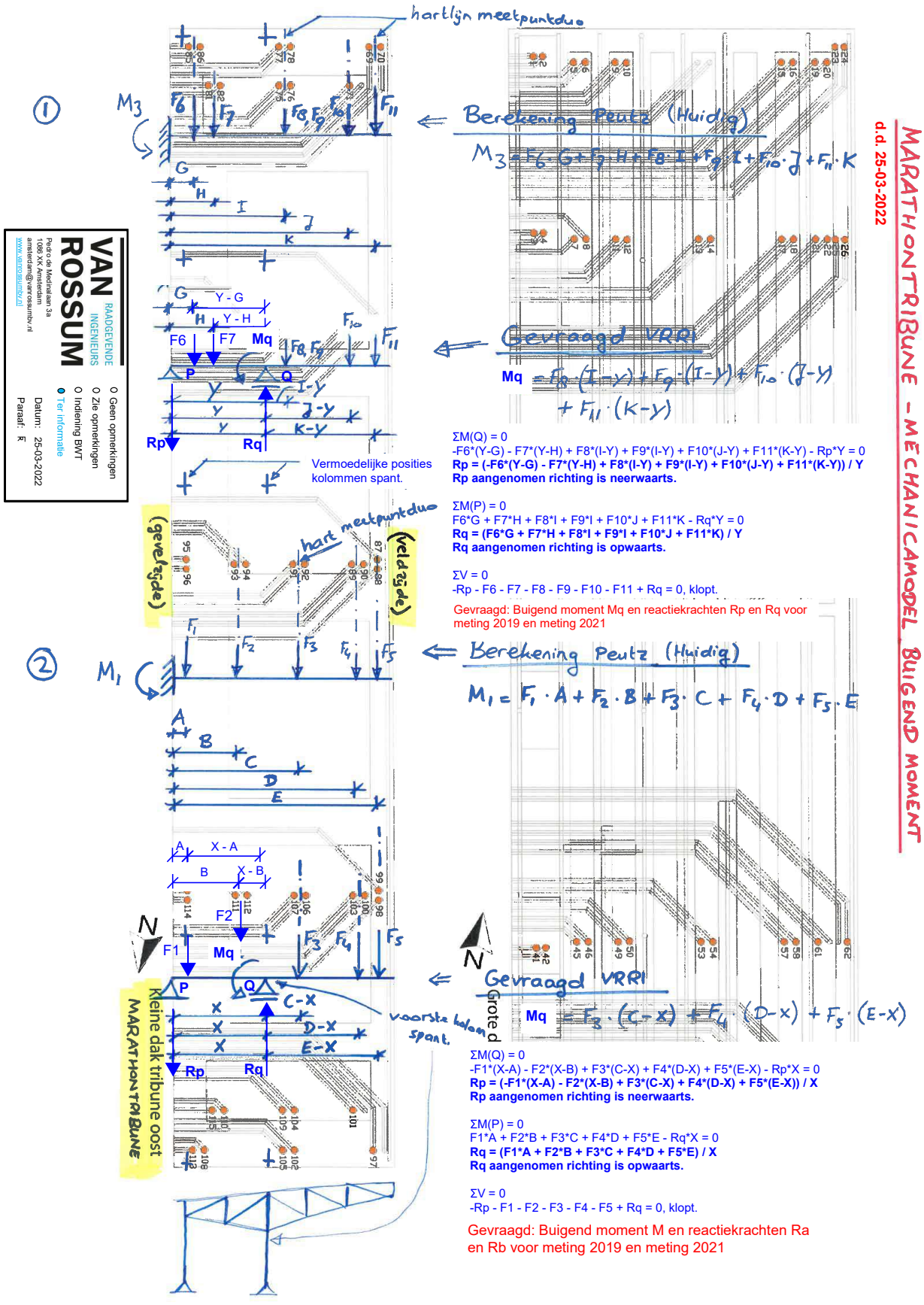
Resultaten:
Mq positief getal --> Moment draait rechtsom
Mq negatief getal --> Moment draait linksom
Rp uitkomst positief getal --> Reactiekracht werkt neerwaarts
Rp uitkomst negatief getal --> Reactiekracht werkt opwaarts
Rq uitkomst positief getal --> Reactiekracht werkt opwaarts
Rq uitkomst negatief getal --> Reactiekracht werkt neerwaarts

VAN ROSSUM RAADGEVENDE INGENIEURS
Pedro de Medinalaan 3a
1086 XK Amsterdam
amsterdam@vanrossumbv.nl
www.vanrossumbv.nl

O Geen opmerkingen
O Zie opmerkingen
O Indiening BWT
Ter informatie

Datum: 25-03-2022
Paraaf: R

MARATHON TRIBUNE - MECHANICAMODEL BUIGEND MOMENT
d.d. 25-03-2022



ΣM(Q) = 0
-F6*(Y-G) - F7*(Y-H) + F8*(I-Y) + F9*(I-Y) + F10*(J-Y) + F11*(K-Y) - Rp*Y = 0
Rp = (-F6*(Y-G) - F7*(Y-H) + F8*(I-Y) + F9*(I-Y) + F10*(J-Y) + F11*(K-Y)) / Y
Rp aangenomen richting is neerwaarts.

ΣM(P) = 0
F6*G + F7*H + F8*I + F9*I + F10*J + F11*K - Rq*Y = 0
Rq = (F6*G + F7*H + F8*I + F9*I + F10*J + F11*K) / Y
Rq aangenomen richting is opwaarts.

ΣV = 0
-Rp - F6 - F7 - F8 - F9 - F10 - F11 + Rq = 0, klopt.

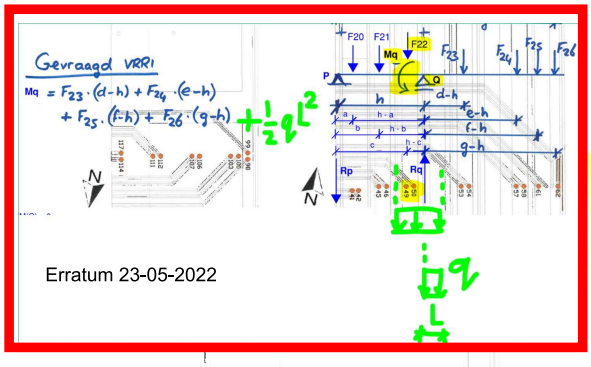
Gevraagd: Buigend moment Mq en reactiekrachten Rp en Rq voor meting 2019 en meting 2021

ΣM(Q) = 0
-F1*(X-A) - F2*(X-B) + F3*(C-X) + F4*(D-X) + F5*(E-X) - Rp*X = 0
Rp = (-F1*(X-A) - F2*(X-B) + F3*(C-X) + F4*(D-X) + F5*(E-X)) / X
Rp aangenomen richting is neerwaarts.

ΣM(P) = 0
F1*A + F2*B + F3*C + F4*D + F5*E - Rq*X = 0
Rq = (F1*A + F2*B + F3*C + F4*D + F5*E) / X
Rq aangenomen richting is opwaarts.

ΣV = 0
-Rp - F1 - F2 - F3 - F4 - F5 + Rq = 0, klopt.

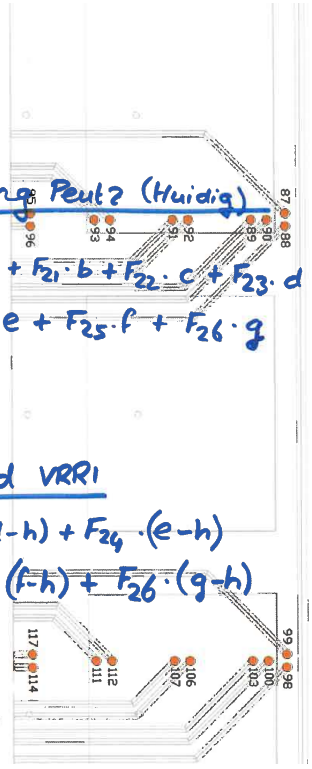
Gevraagd: Buigend moment M en reactiekrachten Ra en Rb voor meting 2019 en meting 2021



Grote dak tribune west
ERETRIBUNE

Vermoedelijke posities kolommen spant

Resultaten:
Mq positief getal --> Moment draait rechtsom
Mq negatief getal --> Moment draait linksom
Rp uitkomst positief getal --> Reactiekracht werkt neerwaarts
Rp uitkomst negatief getal --> Reactiekracht werkt opwaarts
Rq uitkomst positief getal --> Reactiekracht werkt opwaarts
Rq uitkomst negatief getal --> Reactiekracht werkt neerwaarts



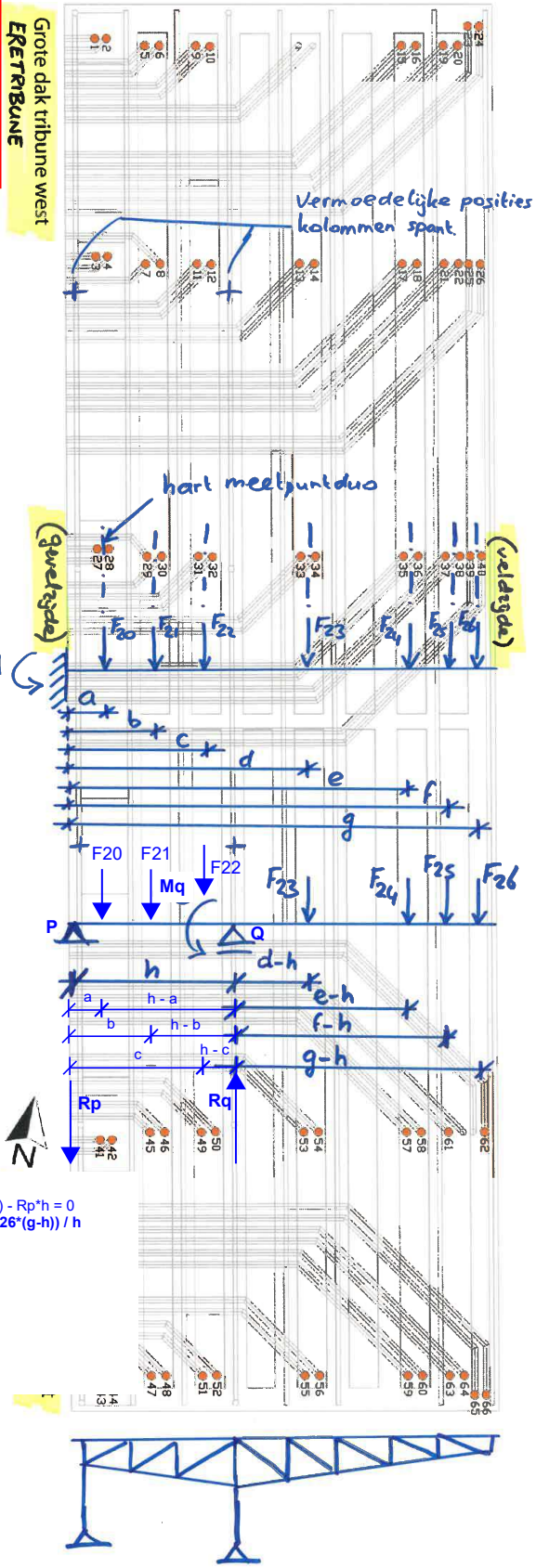
3

Berekening Peutz (Huidig)

$M_A = F_{20}\cdot a + F_{21}\cdot b + F_{22}\cdot c + F_{23}\cdot d + F_{24}\cdot e + F_{25}\cdot f + F_{26}\cdot g$

Gevraagd VRRI

$Mq = F_{23}\cdot(d-h) + F_{24}\cdot(e-h) + F_{25}\cdot(f-h) + F_{26}\cdot(g-h)$



ERETRIBUNE - MECHANICAMODEL BUIGEND MOMENT

ΣM(Q) = 0
-F20*(h-a) - F21*(h-b) - F22*(h-c) + F23*(d-h) + F24*(e-h) + F25*(f-h) + F26*(g-h) - Rp*h = 0
Rp = (-F20*(h-a) - F21*(h-b) - F22*(h-c) + F23*(d-h) + F24*(e-h) + F25*(f-h) + F26*(g-h)) / h
Rp aangenomen richting is neerwaarts.

ΣM(P) = 0
F20*a + F21*b + F22*c + F23*d + F24*e + F25*f + F26*g - Rq*h = 0
Rq = (F20*a + F21*b + F22*c + F23*d + F24*e + F25*f + F26*g) / h
Rq aangenomen richting is opwaarts.

ΣV = 0
-Rp - F20 - F21 - F22 - F23 - F24 - F25 - F26 + Rq = 0, klopt.

Gevraagd: Buigend moment M en reactiekrachten Ra en Rb voor meting 2019 en meting 2021