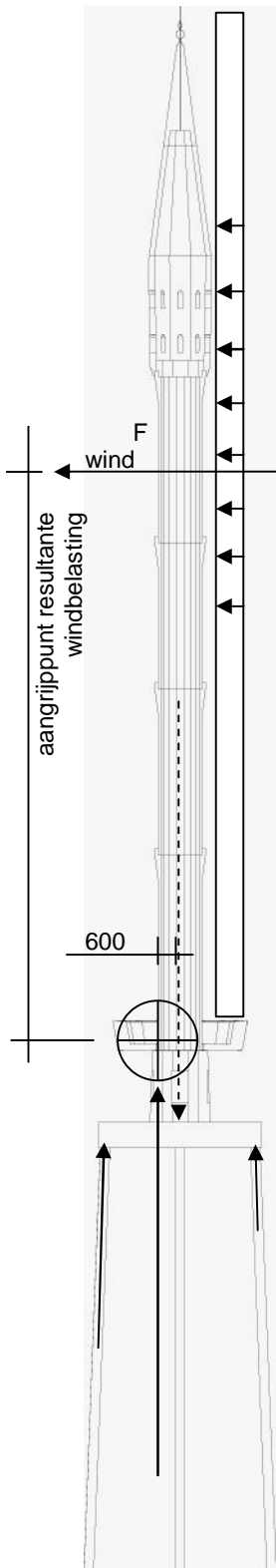


De hieronder volgende berekeningen zijn indicatief en hebben tot de globale ontwerpdimensies geleid. Uiteindelijk zullen ter goedkeuring van de bouwinspectie de definitieve constructieberekeningen worden voorgelegd.



Constructieve opzet minaret:

De minaret is samengesteld uit een gestapelde, holle prefab betonconstructie.

De keuze voor beton is op advies van de welstandscommissie gemaakt. Constructief is het nadeel van beton, te weten het relatieve hoge eigen gewicht, omgezet in een voordeel. Ondanks het eigen gewicht treedt er ten gevolge van wind, toch nog trekbelasting in de doorsnede op. Om reden is ervoor gekozen om met een naspankabel in het midden van de minaret, alle onderdelen op elkaar gedrukt te houden.

Belasting wind en eigen gewicht

De schacht van de minaret bestaat uit voorgespannen Arkel betonbuizen, met een binnendiameter van 1200 mm, een wanddikte van 87 mm en een betonkwaliteit van B65. Op de onderste schacht, nabij de aansluiting op het voetstuk, komt het totale gewicht van de bovenliggende delen te rusten, tezamen ongeveer 370 kN. Deze 370 kN wordt opgevangen door een enigszins energieabsorberend ringvormig oplegvlak van ongeveer 0,40 m². Dit leidt tot een constante drukspanning van 1,0 N/mm². De verticale veranderlijke belasting is verwaarloosbaar. De optredende belasting door wind (Reynoldsgetal 0,65 vormfactor 1,2 winddruk 1,0 kN/m², blootgesteld glad rond oppervlak 40 m²) veroorzaakt op een hoogte van 15 m een horizontale resultante van ongeveer 30 kN. Het rekenmoment van ongeveer 450 kNm wordt opgevangen door de trekkracht in de naspankabel, bij een excentriciteit van 600 mm ten opzichte van het zwaartepunt van de gedrukte doorsnede.

Strekte spankabel

Dat houdt in dat de trekkracht in de naspankabel ongeveer $730 - 370 = 360$ kN zal bedragen. Het verdient aanbeveling de constructie de mogelijkheid te geven bij extreme wind iets te vervormen, de kabel dient een voorspanning te krijgen van ongeveer 150 kN. Bij een hoogwaardige staalkabel en een gebruiksfactor van 2,5 leidt dat tot een diameter van ongeveer 28 mm (gegarandeerde breuksterkte 600 kN).

Sterkte betonnen buis

De resultante van de drukspanningen tgv wind zal vanzelfsprekend ook 730 kN moeten bedragen. Ongeveer een achtste van de totale betondoorsnede zal daadwerkelijk gedrukt worden, bij een excentriciteit van wederom ongeveer 600 mm. De maximaal optredende betonspanning bedraagt dan ongeveer 15 N/mm². Bij de voor Arkelbuizen toegepaste betonkwaliteit van B65 ($f'_b = 39$ N/mm²) levert dat geen overschrijdingen op. De schuifspanning bedraagt 0,07 N/mm² en is verwaarloosbaar. Resumerend kan gesteld worden dat de toegepaste constructie een factor 2,5 sterker is dan volgens de NEN normen noodzakelijk.

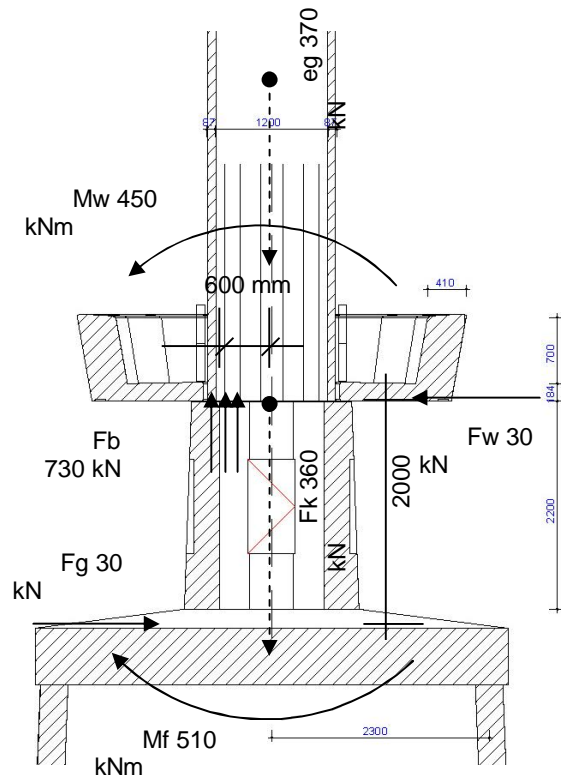
Vervorming minaret

Er van uitgaand dat de vervorming van de spankabel in vergelijking met die van beton verwaarloosbaar is, zal ten gevolge van de windbelasting de gedrukte betondoorsnede ($E = 38500$ N/mm²) over een totale hoogte van 30 meter gemiddeld $33000 \cdot 15 / (2 \cdot 38500) = 6,5$

mm gedrukt worden. Dit leidt tot een vervorming van ongeveer 100 mm aan de top, hetgeen voor een niet uit bouwlagen bestaand bouwwerk binnen de toegestane toleranties valt ($< \text{hoogte}/300$).

Evenwicht fundering:

We gaan uit van palen onder de hoekpunten van de poer. Het windmoment bedraagt ongeveer 510 kNm in het massamiddelpunt van de poer gemeten. De minaret zal om de diagonaal van de poer willen kantelen. De ene hoekpaal zal een



reactie van $510 / 3,25 \text{ m} = 160 \text{ kN}$ moeten kunnen leveren. Een paal van 220×220 , ingeheid op $13,5 \text{ m} - \text{NAP}$ levert een rekendraagkracht van ruim het dubbele. Om de fundering extra stijfheid tegen vervorming gegeven wordt de poer onderheid met 4 palen van $290 \times 290 \text{ mm}$. De palen worden iets uit het lood geheid ten einde verticale vervorming te compenseren met een gunstig werkende hoekverdraaiing. Zo treden er geen 2^o orde effecten op in de minaret.

Vandalisme

Gezien de aard van de locatie (vandalisme) en de omgeving (parkeerterrein) zijn er nog andere belastingen mogelijk. De betonbuizen zijn voorgespannen en hebben een wanddikte van 90 mm . Alleen met zwaar pneumatisch gereedschap kan de buis beschadigd raken. Pas indien meer dan een kwart van de diameter van de buis beschadigd is zal er voortschrijdende stuik in de betondoorsnede optreden. Om de zwakste plaats van de buis, namelijk bij de rand, tegen vandalisme extra bescherming te geven worden hier een twee voorgespannen moffen omheen aangebracht met een gezamenlijke hoogte van $2 \times 400 \text{ mm}$.

Brand

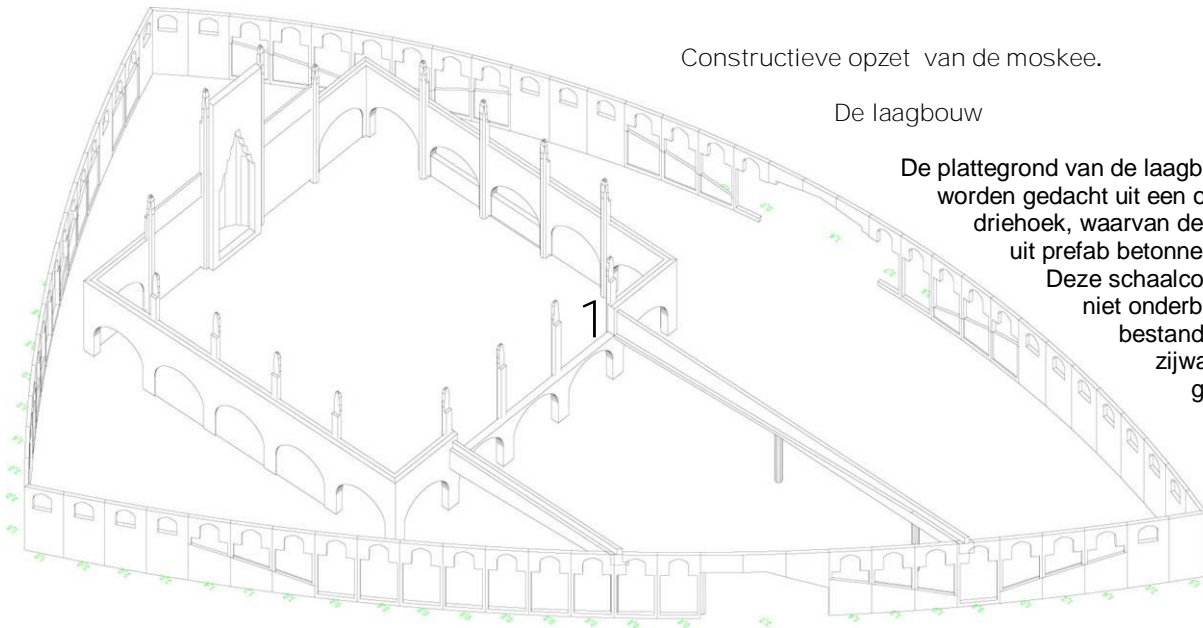
De spankabel is gevoelig voor hoge temperaturen. Hoewel het inspectiebaar dat vanuit het voetstuk toegang geeft tot de schacht van de minaret inbraakwerend is, is het voorstelbaar dat er een korte, felle brand wordt gesticht, bv door het uitgieten van benzine. Vanwege de 30 mm betondekking van het $300\text{-}400 \text{ mm}$ dikwandige betonnen voetstuk zal de temperatuur in de wapening hier niet kritiek zijn, bij het begin van de voorgespannen schacht is de vlamtemperatuur al aanzienlijk gedaald, maar de kabel zal alle mechanische eigenschappen verliezen en de spanning kwijtraken. Dit leidt niet tot onmiddellijk bezwijken, ook zonder kabel kan de minaret een windbelasting van ongeveer $0,6 \text{ kN/m}^2$ doorstaan, hetgeen nog altijd de maximale stuwdruk op een hoogte van 10 m is. Toch dient na brandstichting de naspankabel vervangen te worden. Om dezelfde reden mag de kabel ook niet als onderdeel van de bliksembeveiligingsinstallatie gebruikt worden.

Botsing

Op het parkeerterrein is het in theorie mogelijk dat een 40 tons vrachtwagen opzettelijk met een snelheid van 50 km/uur op de minaret afrijdt. Deze mag dan niet bezwijken. De beveiliging tegen aanrijden is vierledig. Ten eerste staan er op 50 cm uit de balkonrand drie zware, 1 meter hoge aanrijdpalen, die een waarschuwendende werking hebben en bij doorrijden enige energie opnemen. Ten tweede zal de vrachtwagen allereerst de balkonrand raken, zodat de opbouw van de vrachtwagen energie absorbeert. Ten derde staat de 20 ton zware voet van de minaret op een onderheid poer met een massa van ongeveer 40 ton , zodat (uit de wet van behoud van impuls volgt dat de snelheid van de vrachtwagen dan tot 20 km/uur is afgenomen) van de overgebleven kinetische energie nog eens 84% door vervormen van de vrachtwagen geabsorbeerd zal worden. Ten vierde bezit de minaret door toepassing van de spankabel en de los gestapelde elementen een energieabsorberend en vormherstellend vermogen, gelijkend op constructies die in aardshokgevoelige gebieden liggen. Volgens opgave van de fabrikant Betonson staat de mof-spie verbinding een hoekverdraaiing van 3 graden toe zonder dat dit tot stuik in de betondoorsnede leidt. Een door een ramkraak veroorzaakte plotselinge uitslag van 20 cm van het voetstuk wordt zonder voortschrijdend bezwijken opgevangen. Bij een dergelijke extreme aanrijding zullen de heipalen corrosiebevorderende scheuren vertonen. Door speciaal hiervoor aangebrachte sparringen zullen nieuwe heipalen moeten worden geplaatst, waarna de geometrie van de minaret zorgvuldig moet worden gecontroleerd, en de betonschacht ultrasoon moet worden doorgemeten. De conclusie kan luiden dat de minaret bestand is tegen vandalisme en ramkraken in het zwaarst denkbare scenario. Overigens zal bij de definitieve constructieberekeningen worden uitgegaan van een botsbelasting tgv een 40 tons voertuig bij een snelheid van 5 km per uur , dit conform de regelgeving.

Constructieve opzet van de moskee.

De laagbouw

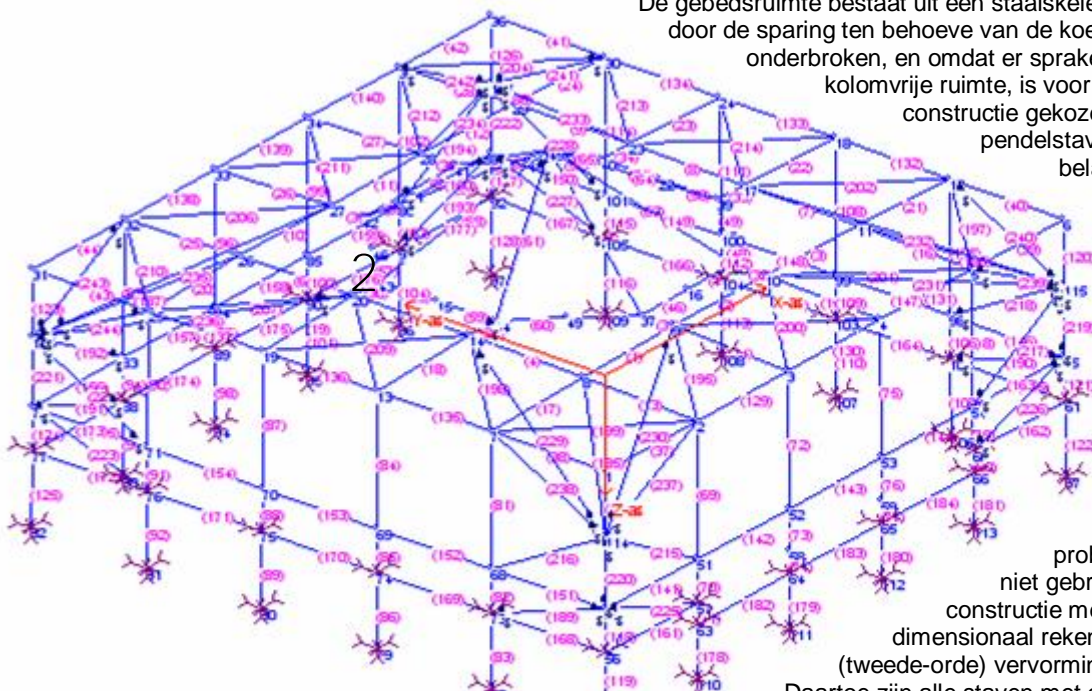


De plattegrond van de laagbouw kan worden gedacht uit een opgebolde driehoek, waarvan de zijden bestaan uit prefab betonnen schalen. Deze schaalconstructie wordt niet onderbroken, zodat ze bestand is tegen zijwaartse druk ten gevolge van het grondtalud. Op de gevels rust een dak bestaande uit

kanaalplaten. Door het toepassen van een druklaag van 60 mm en een schuifvaste verbinding met de gevels is er sprake van een stabiel en torsiestijf vlak, dat alle horizontale belasting, ook dat van de gebedsruimte, kan opnemen.

De hoge middenbouw

De gebedsruimte bestaat uit een staalskelet. Omdat het dakvalk door de sparing ten behoeve van de koepel wordt onderbroken, en omdat er sprake moest zijn van een kolomvrije ruimte, is voor een ongebruikelijke constructie gekozen waarbij pendelstaven de verticale



belasting in de vorm van spatkrachten naar de hoeken van de constructie voeren. Een trekband boven de doorgaande kozijn strook houdt de pendelvoeten bij elkaar.

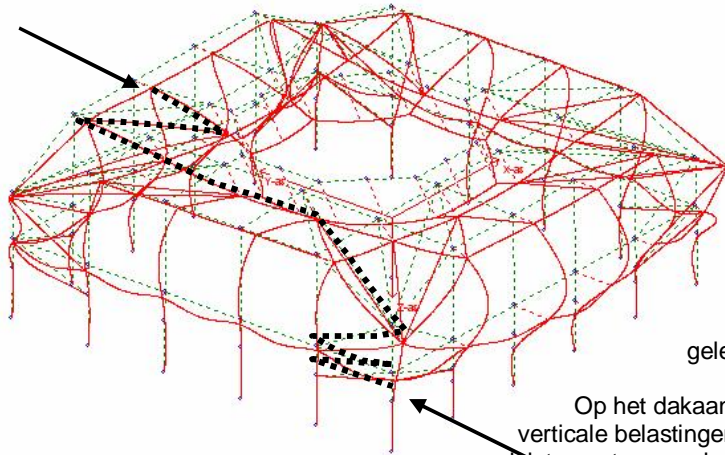
Sterkte Berekeningen op sterkte vormen geen probleem, maar gezien de niet gebruikelijke opzet is de constructie met een driedimensionaal rekenprogramma ook op (tweede-orde) vervormingen doorgerekend.

Daartoe zijn alle staven met de werkelijke ontwerpdimensies ingevoerd, inclusief alle daaruit voortvloeiende statische eigenschappen. Verder zijn alle belastingen ingevoerd en op de maatgevende belastingcombinaties doorgerekend. Hieruit bleek dat indien de pendels gedurende de opbouw van de gebedsruimte ongeveer 15 mm kunnen worden opgeschroefd, de verticale vervorming ter plaatse van de koepel ten gevolge van eigen gewicht van de constructie geheel kan worden gecompenseerd.

De constructie blijkt, indien voor standaard windverbanden zou worden gekozen, vooral gevoelig voor vervormingen ten gevolge van horizontale belasting. Met name horizontale belasting op de niet-doorgaande liggers zijn een probleem. Uiteindelijk zijn alle profielen vooral op vervorming bepaald, qua sterkte worden, met uitzondering van in de diagonalen, nergens spanningen hoger dan 60-70 N/mm² bereikt.

Vervorming tgv optredende belastingen

In figuur 3, 4 en 5 worden resultante vervormingsdiagrammen gegeven van alle belastingen die op de opbouw van de gebedsruimte kunnen werken. Te weten het eigen gewicht van de staalconstructie (wordt automatisch gegenereerd), dat



van de secundaire constructie, de veranderlijke belasting en de windbelasting. Verder is aan de zijde van het verdiepte dakvalk op 4 punten een horizontale puntlast aangenomen van elk 10 kN ter bevestiging van tentkabels.

In het diagram is ingestippeld hoe via de kolommen naar het dakvlak gevoerde horizontale puntlasten ten gevolge van wind om de koepelsparing worden geleid. De toch al zware hoofdliggers kunnen zonder veel vervorming de normaalkrachten via de overliggende pendelstaven en twee zware diagonalen naar het 9 meter lager gelegen schuifstijve dakvlak afvoeren.

Op het dakaanzicht hiernaast zijn de vervormingen ingetekend tgv verticale belastingen. Uit berekeningen blijkt, dat de voeten van de pendelstaven ten gevolge van niet-veranderlijke belasting slechts 2 mm

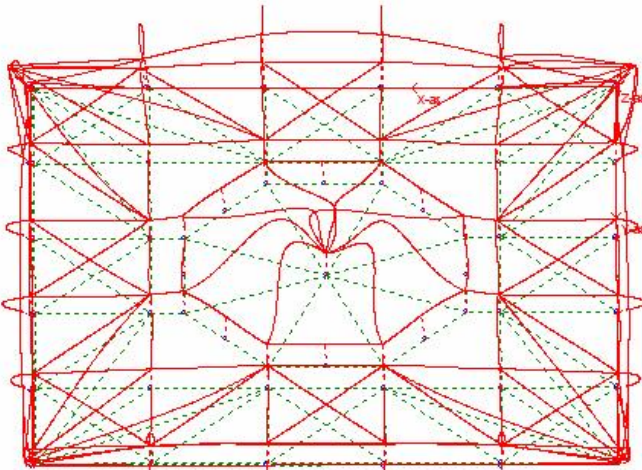
uitspatten. Overigens zijn hier alle staven weergegeven. De grote koepel wordt dmv een hulpconstructie op een rondgaande ligger afgesteund

In figuur 5 wordt een indicatie te geven om wat voor orde van grootte vervormingen het gaat.

De optredende zakking van de koepelopleggingen bedraagt 26 mm. Door, zoals eerder aangegeven, de pendels 15 mm op te schroeven, kan de zakking in gebruikstoestand volledig gecompenseerd worden. De horizontale vervorming van de dakrand bedraagt 9 mm, de grootste vervormingen treden op bij de middelste gevelkolommen ter plaatse van het verdiepte deel, namelijk 26 mm in het midden van de overspanning. De eis ten aanzien van vervorming bedraagt $1/300^e$ van de overspanning wat neerkomt op 30 mm. In geval van twijfel kan hier een HE 180 B ipv A worden toegepast.

Dakliggers

De pendelstaven in combinatie met de trekband maken het mogelijk met een lichte dakconstructie te volstaan. Alle dakliggers (HE180A) zijn praktisch gedimensioneerd in verband met de benodigde oplegbreedtes.



Bezijken bij brand

Alle kolommen, wellicht met uitzondering van de twee eerder genoemde gevelkolommen kunnen eveneens in HE180A worden uitgevoerd, zodat de 150 mm kalkzandsteen goed tussen de flens te verwerken is. Op deze wijze wordt de constructie bij brand 30 minuten vrij van bezijken gehouden. De pendelstaven worden in gelamineerd hout uitgevoerd, en moeten op knik gedimensioneerd worden. Direct onder de middelste van elk groepje van drie pendels komt een trekstang ten behoeve van de entresol. Deze trekstang is alleen nodig om vervormingen binnen de eisen te houden, en heeft geen bijdrage aan het bezwijkgedrag bij brand. Dat wordt in het geval van de entresol geheel uit de rondgaande overstekconstructie gehaald, die geheel brandwerend is bekleed. Aangezien de entresol onderdeel is van een vluchtweg, moet de gehele constructie 30 minuten lang bestand zijn tegen bezijken bij brand. Het meest denkbare rampscenario bestaat uit een in de laagbouw ontstane brand, die vervolgens via de 'schoorsteen' van de gebedsruimte zich uitbreidt. Door de overstekende entresol zal de vrijkomende hitte in eerste instantie niet langs de muren lekken, maar via de koepel een weg naar buiten vinden. Aangezien de hoofdliggers om praktische redenen (oplegging celbetonplaten) zwaar zijn overgedimensioneerd (maximaal optredende drukspanning inclusief veiligheidsfactoren $< 60 \text{ N/mm}^2$) wordt de kritieke temperatuur niet binnen 30 minuten bereikt. Een aanvullende berekening zal dat moeten uitwijzen.

van een vluchtweg, moet de gehele constructie 30 minuten lang bestand zijn tegen bezijken bij brand. Het meest denkbare rampscenario bestaat uit een in de laagbouw ontstane brand, die vervolgens via de 'schoorsteen' van de gebedsruimte zich uitbreidt.

