

Projectnr.: 6176/1

Rapport: 003

**Project: Vernieuwbouw GroenvPrinsterer
Lyceum VL**

Onderdeel: Haalbaarheid zonnepanelen

Auteur: R. Broekhuizen, BSc

Datum: 01-09-2023

Revisie: 0

Status: Ter informatie

Opdrachtgever

Lentiz Onderwijsgroep
Schiedamsedijk 114
3134 KK Vlaardingen

Technisch Buro de Heer B.V.

Westhavenkade 87
3133AV Vlaardingen
Tel.: +31-10-8503940
e-mail: info@tbdeheer.nl

Verificatieblad

Project:	6176/1 Vernieuwbouw GroenvPrinsterer Lyceum VL	
Rapport:	003-0 Haalbaarheid zonnepanelen	
Auteur:	R. Broekhuizen, BSc	Paraaf: 
Verificatie:	Y. Verboom, BSc	Paraaf: 
Autorisatie:	Ing. A.W. van der Maarl	Paraaf: 
	Niveau: DSL1	Datum: 01-09-2023

Niveau van ontwerp- en berekeningssupervisie:

DSL3: Uitgebreide supervisie. DSL2 plus controle door derden (uitgevoerd door een andere organisatie).

DSL2: Normale supervisie. DSL1 plus controle door andere personen dan die oorspronkelijk verantwoordelijk waren en volgens de werkwijze van de organisatie.

DSL1: Normale supervisie. Controle door de persoon die het ontwerp en de berekening heeft gemaakt.

Commentaar opdrachtgever:

Naam contactpersoon opdrachtgever:	Datum:	Paraaf opdrachtgever:

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
1.1	Algemeen.....	4
1.2	Scope.....	4
1.3	Revisiebeheer	4
2	Algemeen.....	5
2.1	Toegepaste normen	5
2.2	Onderlagen	5
3	Aanpak.....	5
4	Uitgangspunten	6
4.1	Ontwerplevensduur	6
4.2	Gevolgklasse.....	6
4.3	Materiaaleigenschappen	6
5	Beschrijving constructie.....	7
5.1	Bouwdeel A,B en D	7
5.2	Bouwdeel C.....	8
6	Belastingen	9
6.1	Permanente belastingen	9
6.2	Veranderlijke belastingen	9
7	Belastingcombinaties en belastingfactoren.....	11
7.1	Ψ -factoren.....	11
7.2	Partiële factoren	11
7.3	Belastingcombinaties	11
8	Controle dakplaten bouwdeel A,B en D	12
9	Controle dakplaten bouwdeel C.....	13
10	Conditie	16
11	Conclusie.....	16

1 Inleiding

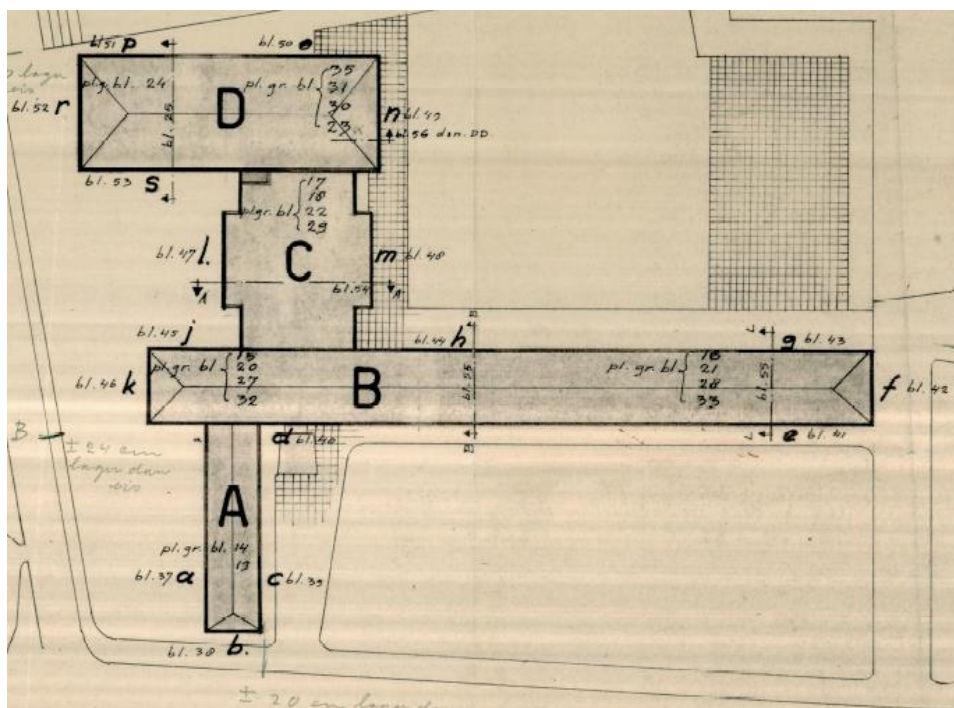
1.1 Algemeen

Het Groen van Prinsterer Lyceum te Vlaardingen naar ontwerp van architect C. Elffers is gebouwd in de periode 1952-1956. In de loop der jaren zijn diverse uitbreidingen gebouwd, zoals een gymzaal met kleedruimten in de periode 1961-1963. "Het Groen" is aangewezen als Rijksmoment in de top 100 van de wederopbouwarchitectuur.

Ten behoeve van het opmaken van het PvE voor de gewenste vernieuwbouw en verduurzaming van het Groen van Prinsterer Lyceum is de vraag gesteld of zonnepanelen op de huidige daken constructief mogelijk zijn. Aan de Technisch buro de Heer is opdracht verleend om de haalbaarheid te toetsen van dit vraagstuk.

1.2 Scope

Het lyceum bestaat uit 4 bouwdelen. Het dak van de bouwdelen A, B, en D is uitgevoerd met kanaalplaten van gewapend bimsbeton. Gebouwdeel C is uitgevoerd als een in-situ gewapend betonnen dak. Positie of aantallen van de pv-panelen zijn ten tijde van het opmaken van dit rapport nog niet bekend. De maatgevende dakplaten en -constructie worden beschouwd.



1.3 Revisiebeheer

Revisie	Beschrijving	Datum
0	Eerste revisie	01-09-2023

2 Algemeen

2.1 Toegepaste normen

NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991-1-1	Belastingen op constructies - Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
NEN-EN 1991-1-4	Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting
NEN-EN 1992-1-1	Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN 8700	Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen
NEN 8701	Beoordeling van de constructieve veiligheid een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren – Belastingen

Alle Eurocodes inclusief geldende wijzigingsbladen en nationale bijlagen die van toepassing zijn op het gekozen ontwerp.

2.2 Onderlagen

Berekeningen :

- [I] W.31 Berekening van Bimskanaalplaten, 11 maart 1955 Dipl. Ing. L. Kellermann
- [II] W.31 Statische berekeningen van het gewapend betonwerk van Deel B, 29 mei 1954, Dipl. Ing. L. Kellermann

Tekeningen :

- [A] Deel A Deel B Deel C – Overzicht en details bimskanaalplaten
- [B] Diverse constructie tekeningen uit archief Gemeente Vlaardingen

3 Aanpak

Voor deze haalbaarheidsstudie wordt gebruik gemaakt van de genoemde onderlagen uit het archief. Wapeningstekeningen ontbreken echter. De uiteindelijke toegepaste wapening is niet helemaal duidelijk en is niet te vergelijken met de tekeningen. Derhalve zijn er een aantal dakplaten gescand zodat in deze fase in ieder geval helder wordt hoeveel staven er zijn toegepast. De dakplaten van bouwdeel A en B zijn gescand. Er is nog geen destructief onderzoek uitgevoerd, de diameter is dus niet bevestigd.

Uit de scans blijkt dat er maar 3 staven zijn toegepast. Dat de leverancier toen de wapening vereenvoudigd heeft is aannemelijk. Veiligheidshalve wordt uitgegaan van 3 Ø8. Dit komt meest in de buurt van de staven en doorsnedeoppervlakte welke genoemd zijn in de berekening.

De kanaalplaten worden voor de deze haalbaarheidstoets gecontroleerd op sterkte. De duurzaamheid (scheurvorming) is pas efficiënt zodra de kwaliteit bekend is.

Op basis van een aantal aannames worden de platen beoordeeld. Aanvullend onderzoek is benodigd om de volgende berekening stap te kunnen zetten.

4 Uitgangspunten

4.1 Ontwerplevensduur

Uitgangspunt is een restlevensduur van 40 jaar. De reductie op de belastingen voor de periode van 40 jaar is in vergelijking met de in de norm gehanteerde 50 jaar minimaal. Voor de belastingen wordt daarom 50 jaar toegepast.

4.2 Gevolgklasse

NEN-EN1991-1-7, tabel NB.5 – A.1

Omschrijving bouwwerk

Onderwijsgebouw met 2 of meer bouwlagen

Gevolgklasse

CC2b (risicogroep hoog)

(NEN-EN1991-1-7, tabel NB.5 – A.1)

De ontwerp(rest)levensduur bedraagt 50 jaar.

4.3 Materiaaleigenschappen

Beton

Bimskanaalplaten : onbekend toelaatbare drukspanning 3 N/mm² (puimsteenbeton)
: gem. kubusdruksterkte 12 N/mm² $\gamma_{\text{totaal}} = 4,0$ (veiligheidsfactor)
: aangehouden wordt C8/10 $f_{\text{ck}} = 8$ N/mm²
: soortelijk gewicht ca. 750—1600 kg/m³

In-situ beton

: K200 $f_{\text{ck,cube}} = 20$ N/mm² → C16/20 $f_{\text{ck}} = 16$ N/mm²
: Soortelijk gewicht 2400 kg/m³

Betonstaal

Staalsoort	:	QR24	QR30
f_{yk}	:	240 N/mm ²	300 N/mm ²
f_{yd}	:	209 N/mm ²	240 N/mm ²
Notatie op tekening	:	A	B

Bimskanaalplaten

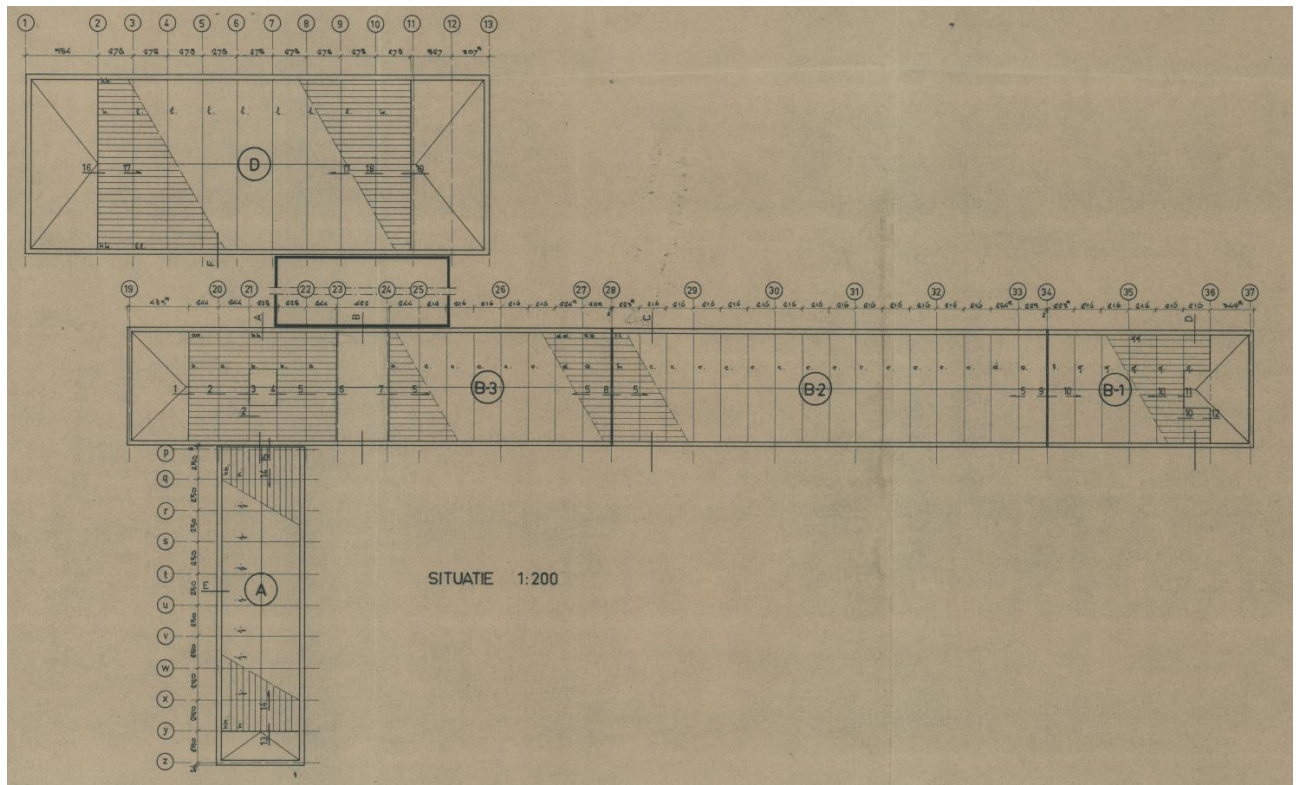
: toelaatbare spanning 1000kg/cm² = 100N/mm²
: gem. treksterkte 330 N/mm² $\gamma_{\text{totaal}} = 2,6$ (veiligheidsfactor)

Veiligheidshalve wordt ook in de bimsplaten gerekend met QR24. Advies is de staalkwaliteit te onderzoeken met destructief onderzoek/trekproef.

5 Beschrijving constructie

5.1 Bouwdeel A,B en D

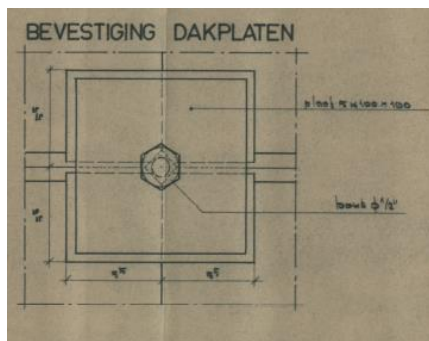
Deze drie bouwdelen zijn uitgevoerd met een vergelijkbaar constructieprincipe. De hoofdconstructie bestaat uit in het werk gestorte gewapende betononderdelen en de dakplaten zijn uitgevoerd als bimskanaalplaten. De platen liggen bevestigd op de betonnen dakspanten middels schroefhulzen en zijn uitgevoerd als een enkelvelds overspanning. Het dak is uitgevoerd als een zadeldak waardoor voldoende afschot gewaarborgd is. De randplaten liggen zowel op de spanten als op de gootbalken.



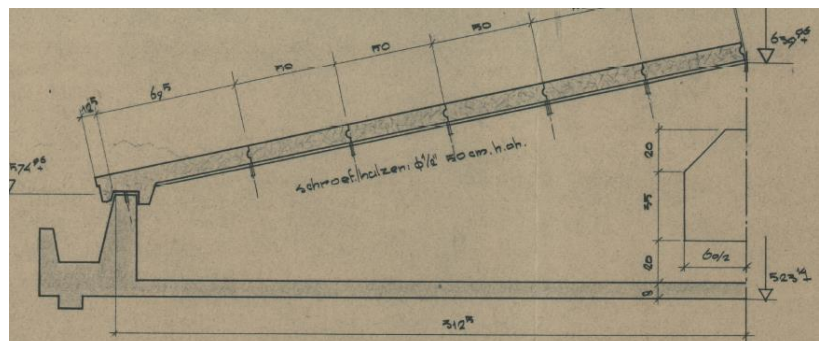
Overzicht dak van de bouwdelen met bimskanaalplaten

De platen zijn 500mm breed met een dikte van 8cm (B) en 9cm (A, D).

De bimsplaten zijn middels M12 (1/2") bouten en stalen platen op de spanten geklemd (dus niet mechanisch verankerd). Per plaat minimaal 4 verbindingen, deze zijn opgenomen ter plaatse van de voegen. Platen liggen 8cm (bouwdeel A en B) en 9cm (bouwdeel D) op de spanten en zijn daar anderszels met specie van 2cm dikte.



Principe bevestiging



Principe doorsnede spant met dakplaten

De overspanningen variëren per bouwdeel en per merk plaat:

Locatie	Merk kanaalplaat	Overspanning (mm)	Dikte (mm)
Bouwdeel A	j,h	2400	90
Bouwdeel B	a,b,c,d,e,f,g	2340 (a) , 2180 (b-g)	80
Bouwdeel D	k,l	2680	90

In de platen is aan de onderzijde wapening voorzien.

Volgens de berekening:

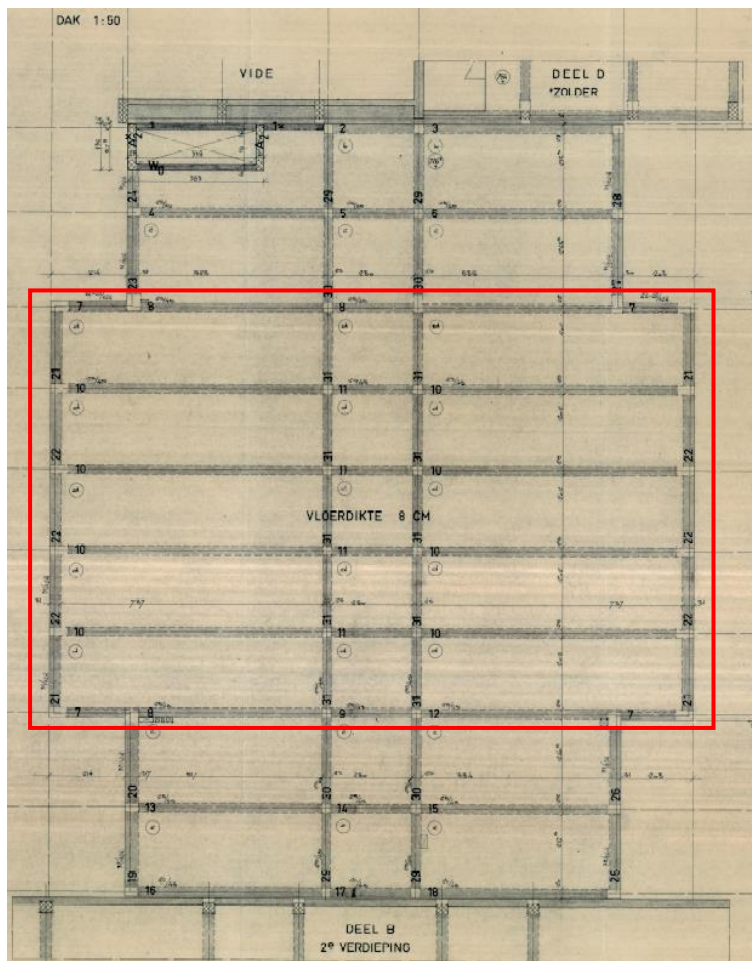
Platen a t/m j	2 $\emptyset 8$ + 2 $\emptyset 6$	158 mm ²
Platen k en l	4 $\emptyset 8$	201 mm ²

Volgens inspectie

Platen a t/m j	3 $\emptyset 8$	151 mm ²	(maatgevend)
----------------	-----------------	---------------------	--------------

5.2 Bouwdeel C

Dit bouwdeel is volledig uitgevoerd met in het werk gestort beton. Dus ook de dakplaten. De hoofddragconstructie van het dak bestaat uit een balkenstructuur en dakplaten van 8cm dikte. Het is een platdak met minimaal afschot richting de hoeken van het gebouw. De platen dragen in één richting af en zijn momentvast verbonden. De middenvelden zijn berekend als een ligger op meerdere steunpunten.



Hoofdwapening (QR24) bestaat uit:

Onderwapening	$\emptyset 8$ -160	314 mm ² /m
Bij steunpunt	$\emptyset 8$ -320 (opgebogen) + $\emptyset 8$ -320 (verankeringsstaaf)	314 mm ² /m

6 Belastingen

6.1 Permanente belastingen

6.1.1 Bouwdeel A,B en D

Dakopbouw bestaand

- Bimskanaalplaten incl. afwerking 1,10 kN/m²

Dakopbouw nieuw (bouwdeel A, B en D)

- Bimskanaalplaten 9cm incl. afwerking 1,20 kN/m²
- Isolatiemateriaal 220mm 300 kg/m³ 0,07 kN/m²
- PV-panelen (zonder ballast) 15 kg/m² 0,15 kN/m² +
1,32 kN/m²

6.1.2 Bouwdeel C

Dakopbouw bestaand

- In-stu vloer 8cm 1,90 N/m²
- Afwerking 0,40 kN/m² +
2,30 kN/m²

Dakopbouw nieuw (bouwdeel C)

- In-situ vloer 8cm 1,90 N/m²
- Afwerking 0,40 kN/m²
- Isolatiemateriaal 220mm 300 kg/m³ 0,07 kN/m²
- PV-panelen (met ballast) 25 kg/m² 0,25 kN/m² +
2,62 kN/m²

6.2 Veranderlijke belastingen

6.2.1 Gebruiksbelastingen

Gebruiksbelastingen op daken klasse H Niet-toegankelijke daken

Tabel NB.4 – 6.10 - Gebruiksbelastingen op daken van klasse H en daken van onder maaiveld gelegen ruimten

Klasse van belaste oppervlakte	Dakhelling α	q_k kN/m ²	Q_k ^b kN
H (niet toegankelijk) ^a	$0 \leq \alpha < 15^\circ$	1,0	1,5
	$15^\circ \leq \alpha < 20^\circ$	$4 - 0,2 \times \alpha$	
	$\alpha \geq 20^\circ$	0	
H (wel toegankelijk)	Zie tabel NB.1 - 6.2		
H (onder maaiveld gelegen ruimten, geen verkeersbelasting)		4	7
^a De belasting q_k werkt op een oppervlakte A van 10 m ² , binnen de grenzen van nul tot het hele dakoppervlak. ^b Werkend op een oppervlakte van 0,1 m × 0,1 m.			

Ondanks de dakhellingen wordt er aangehouden : $q_k = 1,0$ kN/m²

6.2.2 Wind

De aanwezigheid van PV-panelen heeft geen invloed op de globale windbelasting op de daken.

Voor de daken van bouwdeel A, B en D zal het plaatsen van zonnepanelen geen effect hebben op de winbelasting op het gebouw. Immers liggen de panelen plat op het schuine dak.

Voor bouwdeel C, waar zich een platdak bevindt, zullen de panelen onder hoek geplaatst moeten worden. Toename van de hoogte is gering en de wrijving zal nauwelijks toenemen. Dit heeft een te verwaarlozen effect op het totale gebouw.

Wel zal er aan wind gerekend moeten worden ten behoeve van de verankering van de panelen. Dit moet te zijner tijd uitgevoerd worden door de leverancier.

6.2.3 Sneeuw

Voor de daken van bouwdeel A,B en D zal sneeuwbelasting niet maatgevend zijn.

Voor dak bouwdeel C is dit wel mogelijk aangezien dit dakvlak grenst aan hogere gebouwen is er kans op sneeuwophoging. De PV-panelen kunnen bij bepaalde opstellingen "goten" ontstaan waar sneeuw zich in kan ophopen. Opstellingen zijn nu nog niet bekend. Er wordt dus in dit rapport uitgegaan van sneeuw op een plat dak. Toetsen van het dakvlak op de sneeuwophoping is geen onderdeel van dit rapport.

Wel wordt geadviseerd om langs de belendingen geen zonnepanelen aan te brengen.

6.2.4 Wateraccumulatie

De dakplaten van bouwdeel A,B en D liggen door de afgeschuinde spanten onder voldoende afschot zodat er geen risico bestaat op wateraccumulatie.

Het afschot van dakvlak gebouw C is naar inschatting minimaal. Hier bestaat wel de kans op accumulatie indien de velden te veel doorbuigen. In deze berekening wordt er niet gerekend aan wateraccumulatie maar is wel een aandachtspunt. Advies is eerst het dakvlak in te meten en het huidige afschot en afvoersysteem te kennen.

7 Belastingcombinaties en belastingfactoren

7.1 Ψ -factoren

NEN 8700:2011+A1:2020

Belasting	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie:			
Categorie H: daken	0	0	0
Sneeuw- en Windbelasting	0	0,2	0

7.2 Partiële factoren

Tabel A1.2(B) en (C) — Partiële belastingfactoren (γ) voor de uiterste grenstoestanden STR en GEO

Belastingscombinatie	Factoren bij verbouw		Overheersende veranderlijke belasting anders dan wind ^a	Veranderlijke wind maatgevende belasting ^a
	Blijvende belastingen			
	Ongunstig	Gunstig		
(Vgl. 6.10a)	$\gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,1}$
Gevolgklasse 1a/b	1,15	0,90	1,10	1,20
Gevolgklasse 2	1,30 (1,20)	0,90	1,30	1,40
Gevolgklasse 3	1,40 (1,20)	0,90	1,50	1,60 (1,50)
(Vgl. 6.10b)	$\xi \gamma_{Gj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}$	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,1}$
Gevolgklasse 1a/b	1,05	0,90	1,10	1,20
Gevolgklasse 2	1,15	0,90	1,30	1,40
Gevolgklasse 3	1,25 (1,20)	0,90	1,50	1,60 (1,50)

De waarden tussen haakjes mogen alleen zijn toegepast bij gebouwen waarvoor een omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend onder Bouwbesluit 2003 of daarvoor.

Het complex is in 1969 gebouwd aangenomen is dat de omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend voor het Bouwbesluit 2003; de waarden tussen haakjes worden toegepast.

7.3 Belastingcombinaties

Algemene belastingcombinaties:

Uiterste grenstoestand verbouw:

$$\begin{aligned}
 &\text{Blijvende belasting} && \text{Overheersende v.b.} && \text{V.b. gelijktijdig met de overheersende} \\
 \text{Vgl. 6.10a:} & 1,20 \ G_{k,j,sup} & + & 1,30^{1)} \ \psi_{0,1} \ Q_{k,1} & + & 1,30 \ \sum_{i>1} \psi_{0,i} \ Q_{k,i} \\
 \text{Vgl. 6.10b:} & 1,15 \ G_{k,j,sup} & + & 1,30^{1)} \ Q_{k,1} & + & 1,30 \ \sum_{i>1} \psi_{0,i} \ Q_{k,i} \\
 & 0,90 \ G_{k,j,sup} & + & 1,30^{1)} \ Q_{k,1} & + & 1,30 \ \sum_{i>1} \psi_{0,i} \ Q_{k,i}
 \end{aligned}$$

¹⁾ 1,40 indien wind overheersend is

Buitengewone belasting:

$$\text{Vgl. 6.11b} \quad \begin{array}{l} \text{Blijvende} \\ \text{belasting} \end{array} \quad 1,0 \quad G_{k,j,\text{sup}} \quad + \quad \begin{array}{l} \text{Overheersende} \\ \text{belasting} \end{array} \quad 1,0 \quad A_d \quad + \quad \begin{array}{l} \text{V.b. gelijktijdig met de overheersende} \\ \text{belasting} \end{array} \quad 1,0 \quad \psi_{1,1} Q_{k,1} \quad + \quad \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Bruikbaarheidsgrenstoestanden:

6.14b *Karakteristieke belastingcombinatie:* $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

6.15b *Frequente belastingcombinatie:* $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$

8 Controle dakplaten bouwdeel A,B en D

Drie maatgevende bimskanaalplaten worden gecontroleerd, aangezien per dikte de wapening voor de platen gelijk is evenals de belastingen.

Kanaalplaat (a)	overspanning l = 2,34m	dikte = 80 mm	$A_s = 158 \text{ mm}^2$
Kanaalplaat (j) en (h)	overspanning l = 2,40m	dikte = 90 mm	$A_s = 158 \text{ mm}^2$
Kanaalplaat (k) en (l)	overspanning l = 2,68m	dikte = 90 mm	$A_s = 201 \text{ mm}^2$

Plaatbreedte = 500 mm

Permanent; $g_k = 1,32 \text{ kN/m}^2$
 Veranderlijk; $q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$
 Puntlast; $Q_k = 1,5 \text{ kN}$ (op meest ongunstige positie)

Platen zijn uitgevoerd als ligger op twee steunpunten met een breedte van 500mm.

$$g_k = 0,5 \times 1,32 = 0,66 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 0,5 \times 1,00 = 0,5 \text{ kN/m}$$

Kanaalplaat (a)

Gelijk matig verdeeld: $M_{Ed} = 1/8 \times 1,15 \times 0,66 \times 2,34^2 + 1/8 \times 1,3 \times 0,5 \times 2,34^2 = 0,96 \text{ kNm}$

Geconcentreerd : $M_{Ed} = 1/8 \times 1,15 \times 0,66 \times 2,34^2 + 1/4 \times 1,3 \times 1,5 \times 2,34 = 1,66 \text{ kNm}$ (maatgevend)

De benodigde wapening in de nieuwe situatie: $A_{s,\text{req}} = M_{Ed} / f_{yd} \times 0,9d$
 $d = 80 - 15 - 4 = 61 \text{ mm}$ (gerekend met dekking van 15mm)

$$A_{s,\text{req}} = 1,66 \times 10^6 / 209 \times 0,9 \times 61 = 144 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\text{prov}} > A_{s,\text{req}} \quad 151 \text{ mm}^2 > 144 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Kanaalplaat (j)

Gelijk matig verdeeld: $M_{Ed} = 1/8 \times 1,15 \times 0,66 \times 2,40^2 + 1/8 \times 1,3 \times 0,5 \times 2,40^2 = 1,01 \text{ kNm}$

Geconcentreerd : $M_{Ed} = 1/8 \times 1,15 \times 0,66 \times 2,40^2 + 1/4 \times 1,3 \times 1,5 \times 2,40 = 1,72 \text{ kNm}$ (maatgevend)

De benodigde wapening in de nieuwe situatie: $A_{s,req} = M_{Ed} / f_{yd} \times 0,9d$
 $d = 90 - 15 - 4 = 71 \text{ mm}$ (gerekend met dekking van 15mm)

$$A_{s,req} = 1,66 \times 10^6 / 209 \times 0,9 \times 61 = 124 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} > A_{s,req} \quad 151 \text{ mm}^2 > 124 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Kanaalplaat (k)

Gelijk matig verdeeld: $M_{Ed} = 1/8 \times 1,15 \times 0,66 \times 2,68^2 + 1/8 \times 1,3 \times 0,5 \times 2,68^2 = 1,26 \text{ kNm}$

Geconcentreerd : $M_{Ed} = 1/8 \times 1,15 \times 0,66 \times 2,68^2 + 1/4 \times 1,3 \times 1,5 \times 2,69 = 1,99 \text{ kNm}$ (maatgevend)

De benodigde wapening in de nieuwe situatie: $A_{s,req} = M_{Ed} / f_{yd} \times 0,9d$
 $d = 90 - 15 - 4 = 71 \text{ mm}$ (gerekend met dekking van 15mm)

$$A_{s,req} = 1,99 \times 10^6 / 209 \times 0,9 \times 71 = 149 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} > A_{s,req} \quad 201 \text{ mm}^2 > 149 \text{ mm}^2 \quad \Rightarrow \text{Voldoet}$$

Dwarskracht controle

$$V_{Ed} = 1,3 \times 1,5 + 1/2 \times 1,5 \times 0,66 \times 2,34 = 3,1 \text{ kN}$$
$$v_{Ed} = 3100 / 500 \times 61 = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 1 + \sqrt{(200 / 61)} = 2,8 \quad \rightarrow k = 2,0$$
$$V_{Rd,c} = V_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \times 2^{3/2} \times \sqrt{8} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Geen dwarskrachtwapening benodigd wanneer; } V_{Ed} < V_{Rd,c} \quad 0,10 < 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Beton is in staat de dwarskracht op te nemen.

9 Controle dakplaten bouwdeel C

Dakvloer wordt beschouwd als een in één richting dragend vloer op 6 steunpunten.

Dikte : 80 mm

Overspanning : 2655 mm

Belastingen per strekkend m¹:

Permanent; $g_k = 2,62 \text{ kN/m}^1$

Veranderlijk; $q_k = 1,0 \text{ kN/m}^1$

Puntlast; $Q_k = 1,5 \text{ kN}$ (op meest ongunstige positie) (niet maatgevend)

$$q_{Ed} = 1,15 \times 2,62 + 1,3 \times 1 = 4,3 \text{ kN/m}$$

Eindveld wordt beschouwd, hier geldt :

$$M_{Ed} = 0,078 \times q_{Ed} \times l^2 \quad (\text{factor volgt uit krachtverdeling bij 6 steunpunten})$$

$$M_{Ed} = 0,078 \times 4,33 \times 2,655^2 = 2,36 \text{ kNm}$$

$$M_{freq} = 0,078 \times 2,62 + 1 \times 2,655^2 = 1,99 \text{ kNm}$$

Controle bestaande onderwapening:

Sterkteberekening incl. scheurwijdte controle volgens Eurocode 2 (t.g.v. zuivere buiging)

Momenten:

$$M_{Ed} = 2,36 \text{ kNm}$$

$$M_{F_{req}} = 1,99 \text{ kNm}$$

Eigenschappen:

$$\text{Betonkwaliteit} = \text{C16/20} \quad \gamma_C = 1.5 \quad f_{ctm} = 1.9 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = 10.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Staalkwaliteit} = \text{QR24} \quad \gamma_S = 1.15 \quad f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yd} = 209 \text{ N/mm}^2$$

$$E_S = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h.} = 160 \text{ mm}$$

$$A_{s,prov} = 314,2 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$c = 15 \text{ mm}$$

$$d = h - \emptyset - c = 80 - 15 - 8 / 2 = 61 \text{ mm}$$

$$\text{Staafafstand} = 150 \text{ mm, } \geq 15 + 8/2 = 95 \text{ mm Scheurafstand mogelijk vlgns (7.14)}$$

Berekening:

$$\alpha = 0,75 \quad \beta = 7/18 = 0.39$$

$$x_u = A_{s,prov} \cdot f_{yd} / (\alpha \cdot b \cdot f_{cd}) = 314,2 \cdot 209 / (0,75 \cdot 1000 \cdot 10,7) = 8 \text{ mm}$$

$$z = d - \beta \cdot x_u = 61 - 0,39 \cdot 8 = 58 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot 10^{-6} = 314,2 \cdot 209 \cdot 58 \cdot 10^{-6} = 3,8 \text{ kNm}$$

$$uc. = M_{Ed} / M_{Rd} = 2,36 / 3,8 = 0,62 \quad \text{OK}$$

$$\text{buiging} \quad k_c = 0.4 \quad f_{ct,eff} = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 0,65 \quad A_{ct} = 40 \cdot 1000 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 1,9 \cdot 1000 \cdot 61 / 240 = 125,6 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,req} = 2,36 \cdot 10^6 / (209 \cdot 0,9 \cdot 61) = 205,7 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$\sigma_s = 1,99 / 2,36 \cdot 205,7 / 314,2 \cdot 209 = 115,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_1 = 314,2 / (1000 \cdot 61) = 0,52 \%$$

$$k_1 = 0,8 \quad k_2 = 0,5 \quad k_3 = 3,4 \quad k_4 = 0,425$$

$$h_{c,eff} = 13 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = 1000 \cdot 13 = 13000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = 314,2 / 13000 = 2,417 \% \quad (\text{Zonder voorspanning}) \quad (7.10)$$

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 15 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 8 / 2,417 \cdot 10^{-2} = 107,3 \text{ mm} \quad (7.11)$$

type belasting: kortdurende

$$k_t = 0,6 \quad E_c = 6114 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha_e, \text{ zware dsn} = 200000 / 6114 = 32.7$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (115,4 - 0,6 \cdot 1,9 / 0,02417 \cdot (1 + 32,7 \cdot 0,02417)) / 200000 = 0,155 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} \geq 0,6 \cdot 115,4 / 200000 = 0,346 \text{ ‰} \quad \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,346 \text{ ‰} \quad (7.9)$$

$$w_k = 107,3 \cdot 0,346 \cdot 10^{-3} = 0,037 \text{ mm} \quad (7.8)$$

$$w_{toelaatbaar} = 0,30 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Voor het steunpuntsmoment geldt :

$$M_{Ed} = 0,105 \times q_{Ed} \times l^2 \text{ (factor volgt uit krachtverdeling bij 6 steunpunten)}$$

$$M_{Ed} = 0,105 \times 4,33 \times 2,655^2 = 3,2 \text{ kNm}$$

$$M_{freq} = 0,105 \times 2,62 + 1 \times 2,655^2 = 2,68 \text{ kNm}$$

Controle bestaande steunpuntswapening:

Sterkteberekening incl. scheurwijdte controle volgens Eurocode 2 (t.g.v. zuivere buiging)

Momenten:

$$M_{Ed} = 3,2 \text{ kNm}$$

$$M_{Freq} = 2,68 \text{ kNm}$$

Eigenschappen:

$$\text{Betonkwaliteit} = \text{C16/20} \quad \gamma_C = 1.5 \quad f_{ctm} = 1.9 \text{ N/mm}^2 \quad f_{cd} = 10.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Staaalkwaliteit} = \text{QR24} \quad \gamma_S = 1.15 \quad f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2 \quad f_{yd} = 209 \text{ N/mm}^2$$

$$E_S = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 80 \text{ mm}$$

$$\varnothing = 8 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h.} = 160 \text{ mm}$$

$$A_{s,prov} = 314,2 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$c = 15 \text{ mm}$$

$$d = h - \varnothing - c = 80 - 15 - 8 / 2 = 61 \text{ mm}$$

$$\text{Staaafstand} = 150 \text{ mm, } \geq 15 + 8/2 = 95 \text{ mm Scheurafstand mogelijk vlgns (7.14)}$$

Berekening:

$$\alpha = 0,75 \quad \beta = 7/18 = 0.39$$

$$x_u = A_{s,prov} \cdot f_{yd} / (\alpha \cdot b \cdot f_{cd}) = 314,2 \cdot 209 / (0,75 \cdot 1000 \cdot 10,7) = 8 \text{ mm}$$

$$z = d - \beta \cdot x_u = 61 - 0,39 \cdot 8 = 58 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z \cdot 10^{-6} = 314,2 \cdot 209 \cdot 58 \cdot 10^{-6} = 3,8 \text{ kNm}$$

$$uc. = M_{Ed} / M_{Rd} = 3,2 / 3,8 = 0,84 \quad \text{OK}$$

$$\text{buiging} \quad k_c = 0.4 \quad f_{ct,eff} = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 0,65 \quad A_{ct} = 40 \cdot 1000 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 1,9 \cdot 1000 \cdot 61 / 240 = 125,6 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$A_{s,req} = 3,2 \cdot 10^6 / (209 \cdot 0,9 \cdot 61) = 278,9 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$\sigma_s = 2,68 / 3,2 \cdot 278,9 / 314,2 \cdot 209 = 155,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_1 = 314,2 / (1000 \cdot 61) = 0,52 \%$$

$$k_1 = 0,8 \quad k_2 = 0,5 \quad k_3 = 3,4 \quad k_4 = 0,425$$

$$h_{c,eff} = 13 \text{ mm} \quad A_{c,eff} = 1000 \cdot 13 = 13000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{p,eff} = 314,2 / 13000 = 2,417 \% \quad \text{(Zonder voorspanning) (7.10)}$$

$$s_{r,max} = 3,4 \cdot 15 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 8 / 2,417 \cdot 10^{-2} = 107,3 \text{ mm} \quad \text{(7.11)}$$

type belasting: **kortdurende**

$$k_t = 0,6 \quad E_c = 6114 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha_e, \text{ zware dsn} = 200000 / 6114 = 32.7$$

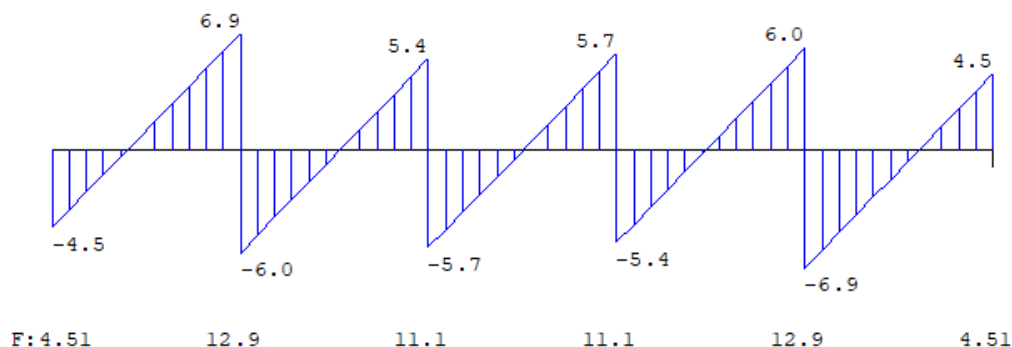
$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (155,4 - 0,6 \cdot 1,9 / 0,02417 \cdot (1 + 32,7 \cdot 0,02417)) / 200000 = 0,355 \%$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} \geq 0,6 \cdot 155,4 / 200000 = 0,466 \text{ ‰} \quad \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,466 \text{ ‰} \quad \text{(7.9)}$$

$$w_k = 107,3 \cdot 0,466 \cdot 10^{-3} = 0,05 \text{ mm} \quad \text{(7.8)}$$

$$w_{toelaatbaar} = 0,30 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Dwarskracht controle



$$V_{Ed} = 6,9 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = 6900 / 1000 \times 61 = 0,11 \text{ N/mm}^2$$

$$k = 1 + \sqrt{(200 / 61)} = 2,8 \rightarrow k = 2,0$$

$$v_{Rd,c} = v_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \times 2^{3/2} \times \sqrt{8} = 0,28 \text{ N/mm}^2$$

Geen dwarskrachtwapening benodigd wanneer; $v_{Ed} < v_{Rd,c}$ $0,11 < 0,28 \text{ N/mm}^2$

Beton is in staat de dwarskracht op te nemen.

10 Conditie

Een aantal platen zijn visueel geïnspecteerd en gescand. Dit is uitgevoerd voor de bouwdelen A en B. Er is gebleken dat de conditie in algemene zin in orde is. Er is scheurvorming aan de onderzijde van de platen geconstateerd. Verder is er op 1 specifieke locatie wapeningcorrosie aangetroffen, op deze locatie is dekking eraf gedrukt.

Om de algehele conditie in beeld te krijgen zal er aanvullend onderzoek gedaan moeten worden. Hierbij kan het gehele dak worden geïnspecteerd en destructief onderzoek worden gedaan naar de beton- en wapeningskwaliteit en sterkte daarvan. Tevens kunnen dan voor het complete dak de schadebeelden in kaart worden gebracht. Dit geldt voor bouwdeel A, B en D. Voor bouwdeel C geldt dat ook de overige velden geïnspecteerd moeten worden om degradaties uit te sluiten.

Na dit onderzoek kan er verfijnder gerekend worden aan de platen.

11 Conclusie

PV-panelen plaatsen op het bestaande dak lijkt haalbaar. Op sterkte kunnen de dakplaten (A,B en D) en plaatvelden (C) het extra gewicht dragen. De duurzaamheid/scheurvorming van de kanaalplaten is nog niet beoordeeld, dit is pas mogelijk na materiaalonderzoek. Deze conclusie is gebaseerd op een aantal aannames welke nog geverifieerd dienen te worden. De volgende zaken zijn benodigd:

- Materiaalonderzoek en beproeving (druk/trek)
- Diameter, staalkwaliteit en aantal wapeningsstaven van de platen/velden
- Uitgebreide inspectie van de dakplaten van alle bouwdelen, zodat de conditie bekend is