

2020 • 2021

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

## Masterthesis

Onderzoek naar de bestaande bevestigingstechnieken van  
geprefabriceerde betonnen gevelpanelen

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Herve DEGEE

PROMOTOR :

ir. Brian TORFS

Simon Cos

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



2020 • 2021

Faculteit Industriële Ingenieurswetenschappen  
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

## Masterthesis

Onderzoek naar de bestaande bevestigingstechnieken van  
geprefabriceerde betonnen gevelpanelen

**PROMOTOR :**

Prof. dr. ir. Herve DEGEE

**PROMOTOR :**

ir. Brian TORFS

**Simon Cos**

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde



**KU LEUVEN**



## Woord vooraf

De masterproef 'Onderzoek naar de bestaande bevestigingstechnieken van geprefabriceerde betonnen gevelpanelen' vormt het sluitstuk van mijn opleiding tot master in de industriële ingenieurswetenschappen bouwkunde. Dit is een gemeenschappelijke opleiding georganiseerd door UHasselt en KU Leuven.

Dit masterproefonderwerp werd aangebracht door de Belgische aannemer Democo. Bij aanvang van dit onderzoek was mijn kennis over dit onderwerp beperkt. Gaandeweg heb ik me kunnen verdiepen in deze materie en ben ik trots op het eindproduct in de vorm van deze thesis. Hierbij wil ik mijn externe promotor ir. Brian Torfs bedanken voor de opportuniteit om mijn onderzoek in dit domein te kunnen uitvoeren. Daarnaast ben ik mijn interne promotor prof. dr. ir. Herve Degée dankbaar voor de begeleiding doorheen het onderzoek van mijn masterproef. Overigens gaat mijn dank uit naar volgende bedrijven voor het delen van hun kennis en ervaring tijdens de bedrijfs- en werfbezoeken die hebben bijgedragen tot het verwezenlijken van de masterproef:

- Democo,
- Halfen,
- Fixinox,
- Architon,
- Verheyen beton,
- Artem,
- DCA,
- Hooyberghe,
- ESA BVBA,
- Fischer.

Tot slot wil ik een dankwoord richten tot mijn familie en vrienden voor de steun gedurende mijn masterproef en de opleiding. Hierbij vermeld ik in het bijzonder mijn ouders aangezien zij mij de kans hebben gegeven om mijn studies tot master in de industriële ingenieurswetenschappen af te ronden.



## Inhoudsopgave

Woord vooraf .....	1
Inhoudsopgave .....	3
Lijst van tabellen .....	7
Lijst van figuren .....	9
Verklarende woordenlijst .....	11
Abstract .....	13
Abstract in English .....	15
1 Inleiding .....	17
1.1 Situering .....	17
1.2 Scope en doelstellingen .....	17
1.3 Opbouw thesis .....	18
2 Onderzoek naar bestaande bevestigingstechnieken PBGP .....	19
2.1 Indeling en afmetingen PBGP .....	19
2.2 Aangrijpende krachten .....	20
2.3 Draagstructuur .....	24
2.4 Materiaal bevestigingstechnieken .....	26
2.5 Bevestiging in draagstructuur en PBGP .....	26
2.5.1 Ankerrail .....	26
2.5.2 Mechanisch anker .....	27
2.5.3 Chemisch anker .....	27
2.6 Overdracht verticale krachten .....	28
2.6.1 Gestapelde PBGP .....	28
2.6.2 Opgehangen PBGP .....	28
2.6.3 Toepassing gestapelde en opgehangen PBGP .....	35
2.7 Overdracht horizontale krachten .....	36
2.7.1 Afstoter .....	37
2.7.2 Windanker met klemplaat of -beugel .....	38
2.7.3 Windanker met hamerkopplaat .....	39
2.7.4 Dubbel ankerrail met twee hamerkopbouten en koppelverbinding .....	39
2.7.5 L-profiel .....	40
2.7.6 Z-profiel .....	41
2.7.7 Verstifting .....	42
3 Vergelijkingen bevestigingstechnieken .....	45
3.1 Vergelijking Fixinox vs. Halfen .....	45
3.1.1 Vergelijking gevelplaatankers .....	45
3.1.2 Besluit vergelijking gevelplaatankers .....	48
3.2 Beschrijving casestudy: project Melsbroek .....	49
3.3 Methode vergelijkingen en bepalen verankeringsmiddelen .....	52

3.4	Vergelijkingen verschillende bevestigingstechnieken .....	52
3.4.1	Vergelijking 1: gestapeld vs. opgehangen PBGP (L>H).....	56
3.4.2	Vergelijking 2: gestapeld vs. opgehangen PBGP (L<H).....	59
3.4.3	Vergelijking 3: bovenliggend vs. naastliggend gestapelde PBGP .....	62
3.4.4	Vergelijking 4: gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L>H) .....	65
3.4.5	Vergelijking 5: gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L<H) .....	68
3.4.6	Vergelijking 6: 2 PBGP met gevelplaatankers vs. 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers.....	72
3.4.7	Vergelijking 7: opgehangen klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP .....	77
3.4.8	Vergelijking 8: gestapeld klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP .....	82
3.5	Discussie vergelijkingen verschillende bevestigingstechnieken .....	85
3.5.1	Vergelijking 1 en 2: gestapeld vs. opgehangen PBGP (L>H en L<H) .....	85
3.5.2	Vergelijking 3: bovenliggend vs. naastliggend gestapelde PBGP .....	85
3.5.3	Vergelijking 4 en 5: gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L>H en L<H)	85
3.5.4	Vergelijking 6: 2 PBGP met gevelplaatankers vs. 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers.....	86
3.5.5	Vergelijking 7: opgehangen klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP .....	86
3.5.6	Vergelijking 8: gestapeld klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP .....	87
4	Determineerkaart .....	89
4.1	Opbouw determineerkaart .....	89
4.2	Determineerkaart horizontale krachten .....	89
4.3	Determineerkaart verticale krachten .....	90
5	Keuzematrix .....	91
5.1	Opbouw keuzematrix .....	91
5.2	Selectie numerieke beoordelingscriteria .....	98
5.2.1	Horizontale krachten .....	98
5.2.2	Verticale krachten .....	102
5.3	Selectie niet-numerieke beoordelingscriteria .....	104
5.3.1	Horizontale krachten .....	104
5.3.2	Verticale krachten .....	105
5.4	Voorbeelden keuzematrix .....	106
5.4.1	Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 1 .....	106
5.4.2	Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 2 .....	110
5.4.3	Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 1 .....	114
5.4.4	Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 2 .....	118
6	Besluit .....	123
6.1	Kostprijsvergelijkingen .....	123
6.2	Determineerkaarten en keuzematrices .....	124

Referentielijst .....	125
Bijlagen.....	127
Bijlage A: Berekeningen kostprijs keuzematrix horizontale krachten .....	127
Bijlage B: Berekeningen kostprijs keuzematrix verticale krachten .....	128





## Lijst van tabellen

Tabel 1: Eigenschappen van chemisch anker FIS V met FIS A M10 in verschillende ondergronden .....	24
Tabel 2: Kostprijsvergelijking gevelplaatankers – verticaal oppervlak.....	46
Tabel 3: Kostprijsvergelijking gevelplaatankers – horizontaal oppervlak .....	47
Tabel 4: Kostprijsvergelijking gevelplaatankers – dubbele ophanging aan verticaal oppervlak .....	47
Tabel 5: Gegevens en aannames project Melsbroek .....	53
Tabel 6: Kostprijs productie PBGP.....	53
Tabel 7: Kostprijs levering PBGP.....	54
Tabel 8: Kostprijs montage werkuren PBGP .....	54
Tabel 9: Kostprijs werfinrichting .....	54
Tabel 10: Kostprijs kantelen werkuren PBGP.....	55
Tabel 11: Kostprijs kantelen werfinrichting PBGP.....	55
Tabel 12: Verankeringsmiddelen gestapeld vs. opgehangen – PBGP 620x200 cm .....	57
Tabel 13: Vergelijking gestapeld vs. opgehangen – PBGP 620x200 cm .....	58
Tabel 14: Verankeringsmiddelen gestapeld vs. opgehangen – PBGP 200x480 cm .....	60
Tabel 15: Vergelijking gestapeld vs. opgehangen – PBGP 200x480 cm .....	61
Tabel 16: Verankeringsmiddelen bovenliggend vs. naastliggend gestapeld – PBGP 215x550 cm .....	63
Tabel 17: Vergelijking bovenliggend vs. naastliggend gestapeld .....	64
Tabel 18: Verankeringsmiddelen gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 400x315 cm.....	67
Tabel 19: Vergelijking gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 400x315 cm .....	67
Tabel 20: Verankeringsmiddelen gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 200x325 cm.....	70
Tabel 21: Vergelijking gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 200x325 cm .....	71
Tabel 22: Verankeringsmiddelen gevelplaatanker case 1 - PBGP 313x330 cm .....	74
Tabel 23: Verankeringsmiddelen PBGP met FPA en PBGP met BRA case 2 – variërende afmetingen PBGP.....	75
Tabel 24: Vergelijking PBGP voor case 1 en case 2 – afmetingen zone 625x330 cm.....	76
Tabel 25: Verankeringsmiddelen opgehangen gevelplaatanker case 1 – PBGP 635x215 cm.....	79
Tabel 26: Verankeringsmiddelen opgehangen gevelplaatanker case 2 – PBGP 423x215 cm.....	80
Tabel 27: Vergelijking opgehangen PBGP voor case 1 en case 2 – afmetingen zone 1270x215 cm.....	81
Tabel 28: Verankeringsmiddelen gestapeld case 1 – PBGP 580x235 cm.....	83
Tabel 29: Verankeringsmiddelen gestapeld case 2 – PBGP 387x235 cm.....	84
Tabel 30: Vergelijking gestapelde PBGP voor case 1 en case 2 – afmetingen zone 1160x235 cm.....	84
Tabel 31: Kwantificering score opneembare druk- en trekkrachten .....	99
Tabel 32: Kwantificering score toleranties in hoogte- en lengterichting .....	99
Tabel 33: Kwantificering score toleranties in diepterichting .....	100
Tabel 34: Kwantificering score variatie spouwbreedtes .....	100
Tabel 35: Kwantificering score uithardingstijd bereiken 50%-sterktecapaciteit .....	101
Tabel 36: Kwantificering score plaatsingssnelheid .....	101
Tabel 37: Kwantificering score toepasbaarheid bij materiaal achterliggende structuur .	102
Tabel 38: Kwantificering score toleranties hoogte- en diepterichting .....	102
Tabel 39: Kwantificering score toleranties lengterichting.....	103
Tabel 40: Kwantificering score uithardingstijd bereiken 50% sterktecapaciteit.....	103
Tabel 41: Kwantificering score toepasbaarheid bij materiaal achterliggende structuur .	103



## Lijst van figuren

Figuur 1: Aangrijpende krachten bij duwende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts).....	21
Figuur 2: Aangrijpende krachten bij zuigende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts).....	21
Figuur 3: Reactiekrachten bij duwende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts) .....	22
Figuur 4: Reactiekrachten bij zuigende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts) .....	22
Figuur 5: Toepassing van goniometrische formule .....	23
Figuur 6: Voorbeeld van gemetste wand als draagstructuur met betonelementen .....	25
Figuur 7: Hamerkopbout in vertande ankerrail [13] .....	26
Figuur 8: Expressanker [14] .....	27
Figuur 9: Gevelplaatanker voor verticaal oppervlak (links) en gevelplaatanker voor horizontaal oppervlak (rechts) [19].....	29
Figuur 10: Ontdubbeld gevelplaatanker (bovenaan foto: draagstructuur – onderaan foto: PBGP) .....	29
Figuur 11: Principetekening van aansluiting gevelplaatanker .....	30
Figuur 12: Borstweringsanker 3D-weergave [22].....	31
Figuur 13: Borstweringsanker doorsnede [19] .....	31
Figuur 14: Schematische weergave van omgekeerd L-profiel met UPN-profiel .....	32
Figuur 15: Schematische weergave van dubbel L-profiel.....	32
Figuur 16: Schematische weergave van PBGP steunend op L-console [23].....	33
Figuur 17: JUB-systeem [24] .....	34
Figuur 18: Aangestorte console met verstijving [18] .....	34
Figuur 19: Gevelpanelenplan met aanduidingen van afstoters/windankers (blauwe bol), geplaatste panelen (groen kruis) en nog te plaatsen paneel (paars kruis) .....	37
Figuur 20: Afstoter met schroefhuls (links) en afstoter met plastieken huls zonder schroefdraad (rechts) [18].....	37
Figuur 21: Windanker met afstoter, ankerrail en klemplaat (links) of U-beugel (rechts) [18].....	38
Figuur 22: Windanker aan PBGP tijdens montage .....	39
Figuur 23: Windanker met hamerkopplaat en vertand sleufgat [19] .....	39
Figuur 24: Dubbel ankerrail met hamerkopbouten en koppelmoer [18] .....	40
Figuur 25: Ankerrail in uitsparing voor L-profiel.....	40
Figuur 26: Schematische weergave van rechtopstaand L-profiel als verankering bij gestapeld PBGP .....	41
Figuur 27: Z-profiel met verticale ankerrail in PBGP .....	41
Figuur 28: Verstijving bij gevelkolommen (links: stiften onderaan kolom – rechts: ingestorte ovale hulzen bovenaan kolom) .....	42
Figuur 29: Gevelpanelenplan met uitsparing in paneel met plaatsingsvolgorde rechts-links .....	43
Figuur 30: Inbouwdeel gevelplaatanker Fixinox [26] .....	45
Figuur 31: Gevelplaatanker Halfen – verticaal oppervlak [27] .....	46
Figuur 32: Gevelplaatanker Halfen – horizontaal oppervlak [27].....	46
Figuur 33: Gevelplaatanker Halfen – verticaal oppervlak met ontdubbelde ophanging [27] .....	47
Figuur 34: Gevelplaatanker Halfen – horizontaal oppervlak met dubbele ophanging [27] .....	48
Figuur 35: Aanduiding PBGP in 3D-weergave (noord- en oostgevel).....	49
Figuur 36: Aanduiding PBGP in 3D-weergave (zuid- en westgevel) .....	49
Figuur 37: Noordgevel .....	50
Figuur 38: Oostgevel .....	50

Figuur 39: Zuidgevel.....	51
Figuur 40: Westgevel.....	51
Figuur 41: PBGP voor vergelijking gestapelde en opgehangen uitvoering (L>H) .....	56
Figuur 42: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 620x200x12 cm .....	57
Figuur 43: PBGP voor vergelijking gestapelde en opgehangen uitvoering (L<H) .....	59
Figuur 44: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 200x480 cm met FPA-A-anker .....	60
Figuur 45: PBGP bovenliggend gestapeld uitgevoerd .....	62
Figuur 46: PBGP naastliggend gestapeld uitgevoerd.....	63
Figuur 47: PBGP voor vergelijking gevelplaatanker en borstweringsanker (L>H).....	65
Figuur 48: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 400x315 cm met FPA-A-anker .....	66
Figuur 49: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 400x315 cm met borstweringsanker .....	66
Figuur 50: PBGP voor vergelijking gevelplaatankers en borstweringsankers (L<H).....	68
Figuur 51: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 200x325 cm met FPA-A-anker .....	69
Figuur 52: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 200x325 cm met borstweringsanker .....	69
Figuur 53: 2 PBGP met gevelplaatankers .....	72
Figuur 54: 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers.....	73
Figuur 55: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 313x330 cm met gevelplaatankers – case 1 .....	73
Figuur 56: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 625x210 cm met gevelplaatankers – case 2.....	74
Figuur 57: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 625x210 cm met borstweringsankers – case 2 .....	75
Figuur 58: Opdeling in 2 relatief grote opgehangen PBGP – case 1 .....	77
Figuur 59: Opdeling in 3 relatief kleine opgehangen PBGP – case 2.....	78
Figuur 60: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 635x215 cm met gevelplaatankers – case 1 .....	78
Figuur 61: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 423x215 cm met gevelplaatankers – case 2.....	79
Figuur 62: Opdeling in 2 relatief grote gestapelde PBGP – case 1 .....	82
Figuur 63: Opdeling in 3 relatief kleine gestapelde PBGP – case 2.....	83
Figuur 64: Determineerkaart voor horizontale krachtsoverdracht.....	89
Figuur 65: Determineerkaart voor verticale krachtsoverdracht .....	90
Figuur 66: Inputveld horizontale verankeringen – blanco.....	92
Figuur 67: Inputveld verticale verankeringen – blanco .....	92
Figuur 68: Keuzematrix horizontale krachten met score op 10 – elk gewicht 5 .....	93
Figuur 69: Keuzematrix verticale krachten met score op 10 – elk gewicht 5.....	94
Figuur 70: Keuzematrix horizontale krachten met score/kostprijs-verhouding – elk gewicht 5 .....	96
Figuur 71: Keuzematrix verticale krachten met score/kostprijs-verhouding – elk gewicht 5.....	97
Figuur 72: Inputveld horizontale krachten – voorbeeld 1 .....	106
Figuur 73: Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 1 .....	107
Figuur 74: Score/kostprijs-verhouding horizontale krachten – voorbeeld 1 .....	109
Figuur 75: Inputveld horizontale krachten – voorbeeld 2 .....	110
Figuur 76: Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 2.....	111
Figuur 77: Score/kostprijs-verhouding horizontale krachten – voorbeeld 2 .....	113
Figuur 78: Inputveld verticale krachten – voorbeeld 1.....	114
Figuur 79: Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 1.....	115
Figuur 80: Score/kostprijs-verhouding verticale krachten – voorbeeld 1 .....	117
Figuur 81: Inputveld verticale krachten – voorbeeld 2.....	118
Figuur 82: Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 2.....	119
Figuur 83: Score/kostprijs-verhouding verticale krachten – voorbeeld 2.....	121

## Verklarende woordenlijst

PBGP	Prefab betonnen gevelpanelen
RVS	Roestvrij staal
BS	Behandeld staal
TVS	Thermisch verzinkt staal
GPA	Gevelplaatanker
BWA	Borstweringsanker
L	Lengte
H	Hoogte
GB	Gestorte beton
K	Kalkzandsteen
BB	Betonblok
S	Steen uit gebakken aarde



## Abstract

Op de Belgische markt zijn verschillende bevestigingstechnieken beschikbaar om enkelschalige geprefabriceerde betonnen gevelpanelen (PBG) te monteren op de werf, variërend van ontwikkelde systemen met speciale ingestorte voorzieningen in de PBGP tot combinaties van verschillende stalen profielen. Deze thesis bestudeert welke bevestigingstechnieken en uitvoeringsmethodes toegepast worden en onderzoekt de verschillen in kostprijs en technische eigenschappen.

Op basis van een referentieproject te Melsbroek worden verschillende kostprijsvergelijkingen van de bevestigingstechnieken opgesteld. Het opdelen van gevels in meerdere zones van het project Melsbroek maakt het mogelijk om voor een bepaalde zone de kostprijs van een bevestigingstechniek te berekenen en deze te vergelijken met andere technieken. Daarnaast worden een keuzematrix en een determineerkaart opgesteld voor zowel het overbrengen van de horizontale als de verticale krachten naar de draagstructuur aan de hand van de technische eigenschappen van de bevestigingstechnieken.

Dit onderzoek toont aan dat enkele bevestigingstechnieken niet of minder toepasbaar zijn binnen bepaalde randvoorwaarden. Bij andere en projectafhankelijke randvoorwaarden kunnen echter meerdere verankeringsmethodes toegepast worden. Hierbij kunnen de ontwikkelde determineerkaarten en keuzematrices een oplossing bieden om een verantwoorde keuze te maken.





## Abstract in English

On the Belgian market, different fastening techniques are available to mount single-shell precast concrete facade panels (PCFP) on site, varying from developed systems with special embedded provisions in the PCFP to combinations of different steel profiles. This thesis studies which fixing techniques and execution methods are applied and investigates the differences in cost price and technical properties.

Based on a reference project in Melsbroek, cost price comparisons of the fastening techniques are made. Dividing facades into several zones of the Melsbroek project makes it possible to calculate the cost price of a fixing technique for a certain zone and to compare it with other techniques. In addition, based on the technical properties of the fixing techniques, a decision matrix and a determination chart are drawn up for the transfer of both horizontal and vertical forces to the supporting structure.

This research shows that some anchoring techniques are not or less applicable within certain boundary conditions. In the case of other and project-dependent preconditions, however, several anchoring methods can be used. The determination charts and decision matrices that have been developed can offer a solution for making a responsible choice.



# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

De gevelafwerking van een gebouw heeft een aanzienlijke invloed op het karakter en de uitstraling van het gebouw. De meeste nieuwbouwprojecten worden voorzien van een traditionele gevelopbouw, namelijk een dragende wand met isolatie en gevelstenen aan de buitenkant. De laatste jaren stijgt echter het aantal nieuwbouwprojecten met een gevelafwerking in de vorm van prefab betonnen gevelpanelen (PBG) aanzienlijk. De afwerking in gevelstenen wordt dan vervangen door een afwerking met PBG.

PBG kunnen onderverdeeld worden in twee hoofdgroepen, namelijk sandwichelementen en enkelschalige elementen. Een sandwichelement is een geprefabriceerd geheel van twee betonnen schalen met tussenin isolatie. Het bestaat uit een dragende betonnen schaal aan de binnenzijde en een niet-dragende betonnen schaal aan de buitenzijde. Het sandwichelement wordt in zijn geheel geleverd en geplaatst op de werf. Daarentegen bestaat een enkelschalig element uit slechts een geprefabriceerd betonnen paneel met de nodige ingestorte voorzieningen om het element op de werf te bevestigen aan de draagstructuur. Enkelschalige PBG kunnen verder onderverdeeld worden in twee subgroepen, namelijk opgehangen en gestapelde panelen [1]. In tegenstelling tot enkelschalige elementen worden sandwichelementen in deze paper niet verder in detail bestudeerd.

## 1.2 Scope en doelstellingen

Deze thesis onderzoekt de verschillende bevestigingstechnieken van PBG en hun eigenschappen. Dit gebeurt door het verzamelen van informatie uit technische documentatie van Belgische fabrikanten van verankeringen voor PBG alsook het bestuderen van gerealiseerde projecten en projecten in uitvoering. Bevestigingstechnieken voor een toepassing bij houten en stalen constructieonderdelen worden niet bestudeerd.

Het hoofddoel van deze thesis is om aan de hand van een te realiseren project de verschillende bevestigingstechnieken met elkaar te vergelijken. Deze vergelijking focust zich op een project te Melsbroek en behandelt voornamelijk de invloed van een verankeringsmethode op de kostprijs per paneel. Daarnaast is het doel van deze thesis om een overzicht te maken van de beschikbare bevestigingstechnieken in België in de vorm van een determineerkaart en keuzematrix. Deze overzichten kunnen gebruikt worden door aannemers of andere bouwbedrijven als leidraad om te bepalen met welke verankeringsmethode PBG bevestigd kunnen worden op de werf.

### 1.3 Opbouw thesis

De thesis begint met een onderzoek naar de bestaande bevestigingstechnieken van PBGP. Hierbij worden de indeling en afmetingen van PBGP en aangrijpende krachten behandeld. Daarnaast worden de ondergrond, ankers en verschillende bevestigingstechnieken besproken waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen verankeringsmiddelen voor het opnemen van verticale en horizontale krachten.

In het volgende hoofdstuk wordt eerst een vergelijking gemaakt van gelijkaardige verankeringsmiddelen tussen Halfen en Fixinox. Beide bedrijven zijn gespecialiseerd in verankeringsmiddelen van PBGP. Daarnaast bevat dit hoofdstuk enerzijds een beschrijving van het project Melsbroek en anderzijds kostprijsvergelijkingen van verschillende bevestigingstechnieken voor PBGP. Deze vergelijkingen beschouwen het proces vanaf de productie t.e.m. de montage van de PBGP. Volgende vergelijkingen werden in detail bestudeerd:

1. gestapeld vs. opgehangen (L>H);
2. gestapeld vs. opgehangen (L<H);
3. bovenliggend vs. naastliggend gestapeld;
4. gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L>H);
5. gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L<H);
6. twee PBGP met gevelplaatankers vs. een PBGP met gevelplaatankers en een PBGP met borstweringsankers;
7. opgehangen: klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP;
8. gestapeld: klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP.

Vervolgens bespreekt hoofdstuk 4 de determineerkaarten die werden opgesteld op basis van de verzamelde informatie uit het onderzoek naar de bestaande bevestigingstechnieken. De verschillende systemen werden verwerkt in dit overzicht in de vorm van twee determineerkaarten.

Hoofdstuk 5 behandelt de keuzematrices voor horizontale en verticale krachten met de bijhorende uitleg over de verschillende beoordelingscriteria, het toekennen van scores en gewichten per criterium. Deze keuzematrices zijn opgebouwd in de vorm van een dynamisch Excel-bestand waarbij de gewichten per criterium aangepast kunnen worden in het inputveld. De keuzematrices geven als uitkomst een score op 10 en een score/kostprijs-verhouding per bevestigingstechniek waaraan een kleurencode gekoppeld is om op een eenvoudige manier de meest gunstige bevestigingstechniek te kunnen onderscheiden.

Tot slot bevat hoofdstuk 6 enkele conclusies met een vooruitblik voor aanvullend onderzoek bij deze thesis.

## 2 Onderzoek naar bestaande bevestigingstechnieken PBGP

### 2.1 Indeling en afmetingen PBGP

In de meeste gevallen wordt een grote betonnen gevelafwerking opgedeeld in kleinere gevelpanelen. Het opsplitsen in kleinere enkelschalige gevelpanelen zorgt ervoor dat in totaliteit meer verankeringen en verbindingsmiddelen nodig zijn. De plaatsingswijze van enkelschalige PBGP kan ingedeeld worden in twee subgroepen, namelijk gestapelde en opgehangen [2]. Deze twee subgroepen worden hoofdzakelijk van elkaar onderscheiden via de manier waarop hun verticale krachtscomponent wordt overgedragen. Het verschil tussen gestapelde en opgehangen PBGP wordt in deze paper verder toegelicht. Bij zowel gestapelde als opgehangen betonnen panelen worden eerst de onderste elementen geplaatst en wordt verder naar boven toe gewerkt [3], [4]. De plaatsingsvolgorde links-rechts of rechts-links is van ondergeschikt belang. Deze volgorde wordt per project bekeken om de plaatsing te vereenvoudigen.

Voor enkelschalige PBGP wordt een minimum dikte van 80 mm aangeraden ongeacht de lengte van het paneel [5]. Indien panelen geproduceerd worden met een dikte kleiner dan 80 mm verhoogt de kans op blijvende scheuren en vervormingen. Deze schade kan zowel tijdens als na de montage optreden. In de praktijk blijkt dat PBGP van 80 mm zelden toegepast worden, meestal worden PBGP geproduceerd met een dikte van 100 mm of groter [1], [4], [6]. Om PBGP eenvoudig te vervoeren naar de werf, is het aangeraden om een van de 2 hoofdafmetingen te beperken tot 3,6 m [1]. Panelen met hoofdafmetingen groter dan laatst genoemde afmeting vragen speciaal transport in de vorm van vergunningen of extra begeleiding. De bouwkraan op de werf beperkt in vele gevallen het gewicht en de afmetingen van de PBGP.

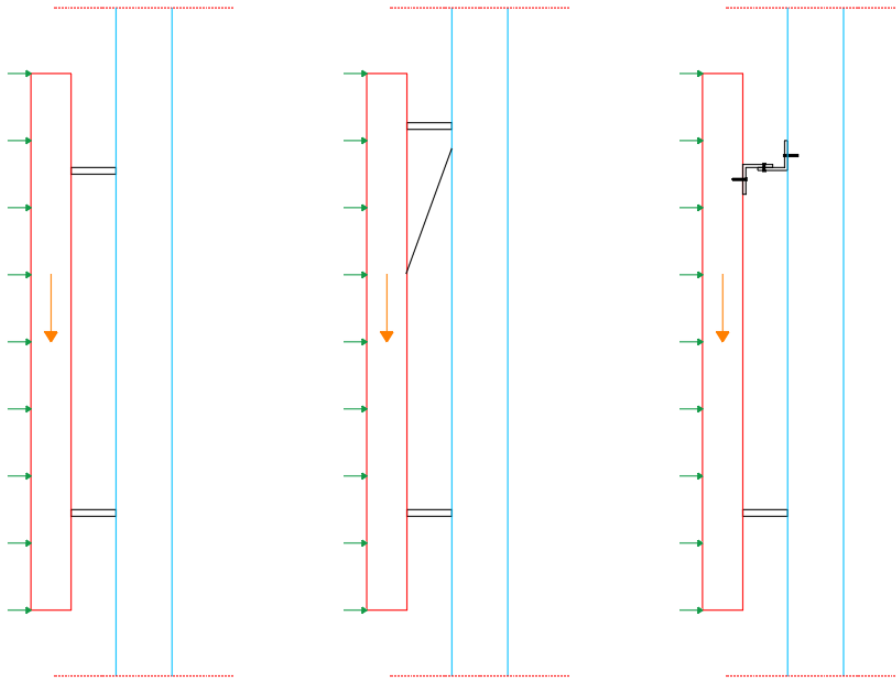
## 2.2 Aangrijpende krachten

Bij het dimensioneren van de verankeringen van PBGP en het dimensioneren van het paneel zelf zijn verschillende soorten krachten die een invloed hebben op de verankering. Een kracht die steeds aanwezig is, is het eigengewicht van het paneel. Wegens de zwaarteveldsterkte genereert het eigengewicht een verticale kracht. Deze kracht moet correct worden opgenomen zodat de gevelafwerking in de gewenste positie blijft. Bovendien moet het paneel zelf sterk genoeg zijn zodat geen bezwijkvormen zoals scheurvorming of buiging kunnen optreden onder invloed van het eigengewicht of externe krachten.

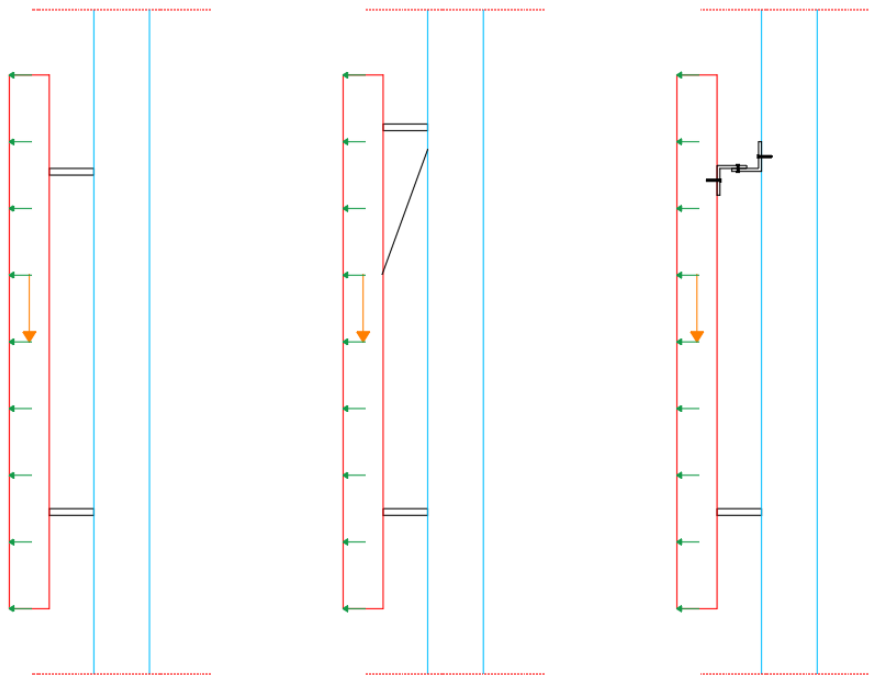
Hiernaast dienen externe krachten – onder invloed van variërende weersinvloeden en accidentele belastingen – correct opgenomen te worden om de stabiliteit van de gevelafwerking te garanderen. Ondanks dat deze krachten niet altijd aanwezig zijn, zijn deze van belang bij het ontwerpen van de BPGP en de verankeringen. Zowel trek- als drukkrachten kunnen gegenereerd worden door wind. De ligging, oriëntatie en hoogte van het gebouw zijn belangrijke aspecten en hebben een invloed op het dimensioneren van de verankeringen [7]. Hoe hoger het gebouw is, hoe groter de windbelasting op het gebouw kan zijn. In deze thesis wordt duwende wind gedefinieerd als wind die het gevelpaneel naar de draagstructuur toe wil duwen en druk optreedt in de horizontale verankeringen, terwijl zuigende wind gedefinieerd wordt als wind die het gevelpaneel wil wegtrekken van de gevel en trekkrachten genereert in de horizontale verankeringen.

Een extra horizontale krachtscomponent kan evenzeer veroorzaakt worden door een excentrische oplegging van het paneel. Deze horizontale krachten ten gevolge van de excentriciteit kunnen volledig overgedragen worden naar de achterliggende structuur door middel van horizontale verankeringen. Mogelijke horizontale verankeringen worden in deze paper besproken.

Op Figuur 1 en 2 zijn de aangrijpende krachten door eigengewicht en wind geïllustreerd. De oranje en groene pijlen zijn respectievelijk de krachten ten gevolge van het eigengewicht en de windbelasting.



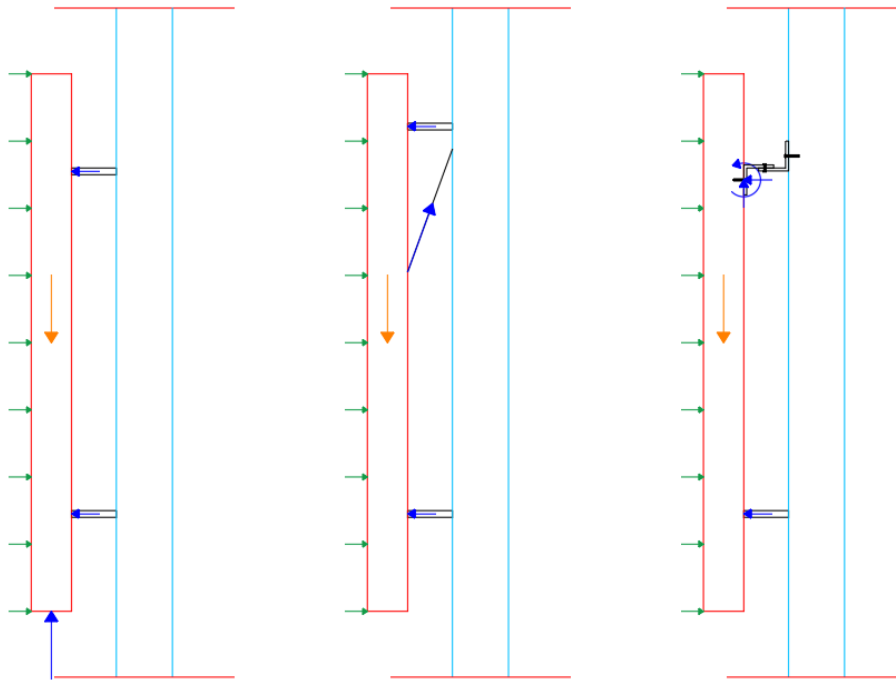
*Figuur 1: Aangrijpende krachten bij duwende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts)*



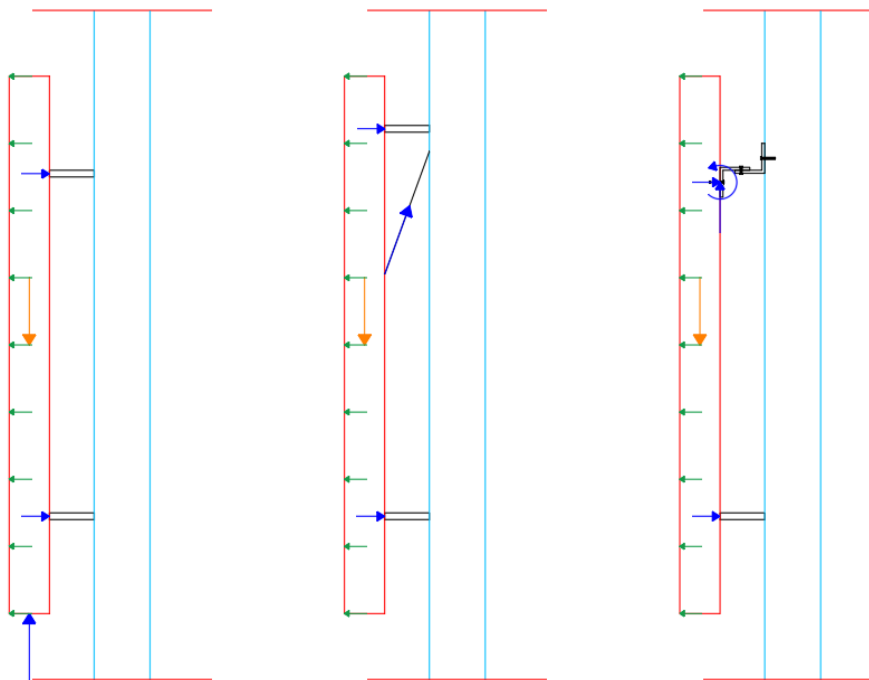
*Figuur 2: Aangrijpende krachten bij zuigende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts)*



De aangrijpende krachten dienen overgebracht te worden naar de achterliggende draagstructuur door middel van verbindingsmiddelen tussen het PBGP en de draagstructuur. Hierbij ontstaan reactiekrachten op de verbindingsmiddelen. Figuur 3 en 4 geven de reactiekrachten schematisch weer met blauwe pijlen bij gestapelde en opgehangen PBGP.



Figuur 3: Reactiekrachten bij duwende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts)



Figuur 4: Reactiekrachten bij zuigende wind bij gestapelde (links) en opgehangen PBGP (midden en rechts)

De reactiekrachten kunnen bepaald worden door het toepassen van vergelijking 1 tot en met 3.

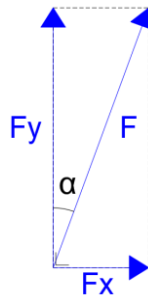
$$\Sigma F, hor = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F, vert = 0 \quad (2)$$

$$\Sigma M = 0 \quad (3)$$

In sommige gevallen zijn deze formules niet toereikend genoeg. Bij gevelplaatankers – het middelste schema op de bovenstaande figuren – is een bijkomende vergelijking noodzakelijk. Vergelijking 4 geeft deze bijkomende goniometrische vergelijking weer. Hierbij wordt de schuine component ontbonden in een kracht in de x- en een kracht in de y-richting. De hoek alfa tussen beide krachten bedraagt meestal  $20^\circ$  [7]. De krachten  $F_x$  en  $F_y$  zijn weergegeven op Figuur 5.

$$\tan \alpha = \frac{F_x}{F_y} \quad (4)$$



*Figuur 5: Toepassing van goniometrische formule*

In het geval dat een PBGP opgehangen wordt aan de draagstructuur met een ophangpunt – dat een moment kan opnemen – en aan het andere uiteinde van het PBGP een horizontale verankering voorzien is, is het een hyperstatisch systeem. Met kan dit systeem oplossen door middel van het toepassen van een toegevoegd isostatisch stelsel of door gebruik te maken van rekensoftware.

## 2.3 Draagstructuur

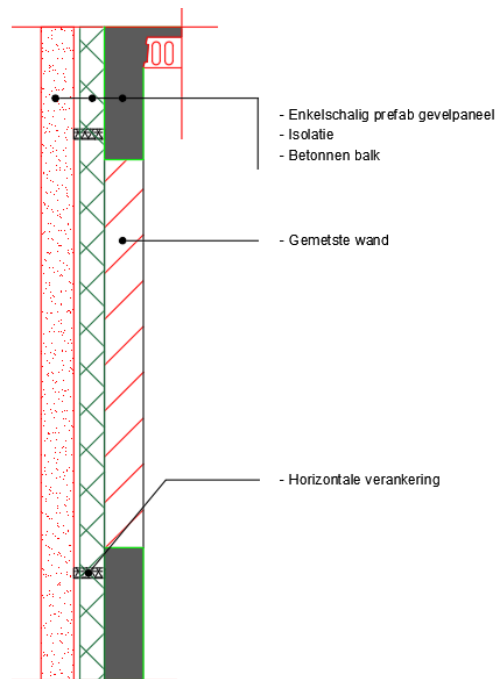
Bij een afwerking met enkelschalige betonnen gevelpanelen dient altijd een draagstructuur voorzien te worden. Door de mogelijke aanwezigheid van grote krachten tot enkele 10-tallen kN in verticale richting per gevelpaneel is het noodzakelijk om een correct gedimensioneerde draagstructuur toe te passen. De draagstructuur moet voldoende sterk en stabiel zijn om deze krachten op te nemen en bezwijken van de gevel te voorkomen.

Tabel 1 geeft de eigenschappen in verschillende ondergronden weer voor het chemisch anker FIS V, getest door Fischer [8]. Deze tabel toont aan dat gestorte beton aan grotere belastingen blootgesteld kan worden dan wanden opgebouwd uit blokken. Daarnaast toont kalkzandsteen een aanzienlijk verschil op vlak van trek- en afschuifsterkte in vergelijking met holle betonblokken en stenen uit gebakken aarde. De trek- en afschuifsterkte van kalkzandsteen is nagenoeg drie maal groter dan voor de andere geteste blokken.

Tabel 1: Eigenschappen van chemisch anker FIS V met FIS A M10 in verschillende ondergronden

Omschrijving	Type/ afmetingen materiaal	Hef [mm]	Druksterkte materiaal [N/mm <sup>2</sup> ]	Toegestane trekbelasting [kN]	Toegestane afschuifbelasting [kN]
Gestorte beton	C20/25 (min 120 mm dik)	70	20	13,8	8,6
Kalkzandsteen	250x240x240	85	20	2,57	1,86
Holle betonblok	360x240x240	85	8	0,86	0,57
Steen uit gebakken aarde	500x200x300	130	8	0,71	0,34

Een draagstructuur met verticale openingen - zoals stenen uit gebakken aarde en holle betonblokken - kunnen enkel toegepast worden wanneer de draagstructuur slechts krachten van zeer beperkte grootte moet opnemen [9]. Bij de meeste projecten blijken verankeringen in een draagstructuur met verticale openingen onvoldoende sterk te zijn en moet overgeschakeld worden naar een andere ondergrond om in te verankeren. Verankeringen in stenen uit gebakken aarde en betonblokken worden in mindere mate toegepast. Een andere oplossing kan zijn om bijvoorbeeld in de wand - met minder gunstige eigenschappen op vlak van verankeringen van PBGP - betonnen structurelementen te integreren waar vervolgens in verankerd wordt. Figuur 6 geeft de laatst beschreven configuratie weer. In dergelijke gevallen is het interessant om een rendements- en kostprijsvergelijking te maken tussen een volledig betonnen wand en een combinatie van gemetste wand en betonnen constructieonderdelen.



*Figuur 6: Voorbeeld van gemetsede wand als draagstructuur met betonelementen*

Betonnen massieve wanden – al dan niet ter plaatse gestort of geprefabriceerd – tonen aanzienlijk betere eigenschappen om PBGP in te verankeren [1], [6], [8]. Naast het toepassen van gestapelde PBGP is het toepassen van opgehangen PBGP mogelijk bij een betonnen massieve draagstructuur. Zowel chemische als mechanische ankers kunnen toegepast worden in massieve betonnen wanden. Voor verankeringen in wanden met blokken zijn chemische ankers in de meeste gevallen mogelijk, terwijl voor mechanische ankers bijkomende proeven noodzakelijk kunnen zijn [10].

Naast het materiaaltype is ook de dikte van de draagstructuur van belang. In bepaalde gevallen is het nodig om chemische of mechanische ankers te voorzien in de draagstructuur voor het opvangen van grote krachten. Deze ankers hebben een bepaalde diepte waardoor voldoende dekking gegarandeerd moet worden. Bevestigingen in andere ondergronden dan beton zijn evenzeer mogelijk maar vragen extra aandacht bij het ontwerp. Montagebedrijven van gevelpanelen geven de voorkeur aan volledig massieve betonnen structuurelementen als ondergrond om de verankeringen te bevestigen [4].

De verankeringspunten op de draagstructuur laten uitzetten door een landmeter en nadien de gaten boren is theoretisch de meest efficiënte manier. Op deze manier zal de plaatsing van de opgehangen PBGP het snelst gaan. Deze werkwijze blijkt in de praktijk niet altijd haalbaar aangezien de fabrikanten van de PBGP een tolerantie hebben op de ingestorte delen. Bij geprefabriceerde architectonische elementen bedraagt de tolerantie op instortvoorzieningen 8 mm [11]. In de praktijk wordt meestal voor gekozen om het paneel in de kraan te hangen en voor de draagstructuur te houden. Vervolgens worden de gaten geboord en gereinigd om nadien het verbindingsmiddel aan te brengen in het geboorde gat. Indien een verankering met een mechanisch anker mogelijk is, wordt meestal gekozen voor een mechanisch anker aangezien dit type anker geen droogtijd heeft in tegenstelling tot een chemisch anker [4], [12].

## 2.4 Materiaal bevestigingstechnieken

De bevestigingstechnieken voor PBGP kunnen geproduceerd worden in twee uitvoeringen, namelijk roestvrij staal (RVS) en behandeld staal (BS) staal. RVS – ook wel inox genaamd – bezit materiaaleigenschappen waardoor het niet kan roesten. Bij BS kan bovenop het staalproduct een zinklaag aangebracht worden zodat een product in thermisch verzinkt staal (TVS) bekomen wordt. Deze zinklaag zal het onderliggende materiaal beschermen tegen corrosie zolang de aangebrachte zinklaag intact is.

Verankeringsmiddelen van geprefabriceerde gevelpanelen – zoals gevelplaatankers en windankers – worden altijd in RVS voorzien. Ankerrails, schroefhulzen, hamerkopbouten en -platen zijn enkele producten die voorzien kunnen worden in TVS en RVS [6]. Gemiddeld gezien is de kostprijs van een verbindingsmiddel of verankering in RVS twee tot vier keer hoger dan hetzelfde product in een thermisch verzinkte uitvoering [7].

## 2.5 Bevestiging in draagstructuur en PBGP

Om een correcte krachtsoverdracht te realiseren is het noodzakelijk om het PBGP te verbinden met de draagstructuur door middel van verankeringen. De meest toegepaste verankeringen in de ondergrond zijn een ankerrail, een mechanisch anker of een chemisch anker.

### 2.5.1 Ankerrail

Een ankerrail wordt ingestort in het PBGP, in het structurelement of in beide elementen. De aangebrachte bescherming in de rail kan na plaatsing op de werf verwijderd worden. In deze rail kan een hamerkopbout aangebracht worden zoals Figuur 7 weergeeft. Montage gebeurt door de verdikte kop van de hamerkopbout 90° te roteren in de ankerrail. Vervolgens kan een moer bevestigd worden aan de hamerkopbout om rotatie van de bout te voorkomen.



*Figuur 7: Hamerkopbout in vertande ankerrail [13]*

Een ankerrail is in verschillende lengtes beschikbaar met een variërende opneembare tolerantie als gevolg. De opneembare tolerantie met een ankerrail is enkel mogelijk in de lengterichting van de rail. Wanneer 2 ankerrails – een in de draagstructuur en een in het PBGP – worden toegepast kunnen toleranties zowel in de hoogte- als lengterichting opgenomen worden. Afhankelijk van de afmetingen van de loodrecht op elkaar gepositioneerde ankerrails kan in het laatste geval in een rechthoekige of vierkante zone het verbindingsmiddel geplaatst worden.

### 2.5.2 Mechanisch anker

Wanneer een mechanisch anker toegepast wordt, zal eerst een gat geboord worden en nadien het anker in dit gat aangebracht worden. Verschillende mechanische ankers zijn beschikbaar variërend van expressankers tot betonschroeven [8]. Figuur 8 geeft een expressanker weer. Nadat het gat geboord en gereinigd is, wordt vervolgens de moer aangedraaid. Door de conische vorm aan het uiteinde van de bout zal het expressanker gefixeerd worden in het geboorde gat. De conische vorm aan het uiteinde is onderaan op Figuur 8 zichtbaar. Onmiddellijk na het monteren kan een mechanisch anker belast worden.



*Figuur 8: Expressanker [14]*

### 2.5.3 Chemisch anker

Een chemisch anker werkt op basis van een twee-componenten mortel [15]. Hierbij wordt een gat geboord dat groter is dan de diameter van het aan te brengen anker. De exacte boordiameter is afhankelijk van de ankerdiameter en is terug te vinden op de technische fiches van de producenten.

Het toepassen van een chemisch anker is enkel mogelijk binnen bepaalde omstandigheden om een goede uitharding van de twee-componenten mortel te garanderen. Naarmate de temperatuur 0°C dichterbij komt maar positief is, neemt de uithardingstijd toe. De exacte uithardingstijd in bepaalde omstandigheden is terug te vinden op de technische fiches van de fabrikanten. Voor chemische ankers is de rekenwaarde van de treksterkte en de afschuifsterkte aanzienlijk hoger dan voor mechanische ankers met eenzelfde diameter van de metrische draad [12].

## 2.6 Overdracht verticale krachten

### 2.6.1 Gestapelde PBGP

Bij gestapelde PBGP wordt het eigengewicht rechtstreeks overgedragen naar het onderliggende paneel [2], [4]. Het onderliggende paneel dient de totale kracht van de bovenliggende panelen te kunnen opnemen. Indien de PBGP gestapeld worden, wordt onder het onderste paneel een bijkomende fundering voorzien. Zo kunnen de verticale krachten van de bovenste elementen doorgegeven worden naar de fundering via de tussenliggende panelen. Deze methode is enkel mogelijk indien het onderliggende paneel voldoende sterk en stabiel is om de aanwezige verticale krachten op te vangen. Wanneer de hoogte van een paneel en het aantal bouwlagen toeneemt, neemt de nodige dikte van het paneel evenzeer toe om bezwijkmechanismen zoals uitknikken te vermijden [6]. Afhankelijk van de dikte van het onderste gestapelde gevelpaneel worden de afmetingen van het dragend constructie-element bepaald. Meestal is dit constructie-element een funderingsstrook of een betonnen wand.

Het bovenliggende paneel steunt op het onderliggende paneel bij gestapelde PBGP. Om een gelijke voeg te creëren over de volledige lengte van de gevel en om het paneel in de gewenste positie te krijgen, worden stelblokjes geplaatst tussen de panelen [4], [6]. Deze stelblokjes zijn beschikbaar in verschillende afmetingen om de nodige voegdikte te kunnen uitvoeren.

### 2.6.2 Opgehangen PBGP

Bij opgehangen PBGP zullen de verticale krachten opgenomen worden door de achterliggende draagstructuur [2]. In tegenstelling tot gestapelde PBGP wordt deze verticale kracht enkel veroorzaakt door het op te hangen paneel en niet door de bovenliggende panelen. In de meeste gevallen worden twee ophangpunten voorzien aan de PBGP zodat de verticale kracht correct kan opgenomen worden door de draagstructuur [1], [7], [9], [16]. Bij beduidend lange panelen zijn meer dan twee ophangpunten mogelijk. Leveranciers van betonverbindingen raden echter aan om het aantal ophangpunten te beperken tot twee stuks [7]. Hierdoor zal elk ophangpunt dezelfde belasting dragen. In de volgende paragrafen worden de verschillende bevestigingstechnieken voor het opnemen van verticale krachten toegelicht.

### 2.6.2.1 Gevelplaatanker

Gevelplaatankers zijn schuine verankeringselementen met een grote regelbaarheid van de ankerlengte [17], [18]. Het kenmerk van dergelijke verankeringspunt is dat het verankeringspunt aan de draagstructuur hoger ligt dan het verankeringspunt aan het PBGP. Deze verankeringspunten zijn in staat om trekkrachten op te nemen. Wanneer de verankeringspunt aan de draagstructuur zich boven de bovenzijde van het PBGP bevindt, is de plaatsing op de werf eenvoudiger.

Een gevelplaatanker kan aangebracht worden op zowel een verticaal als horizontaal oppervlak [17], [18]. Zoals Figuur 9 illustreert, bevindt het gat van het gevelplaatanker voor horizontale oppervlakken zich op enkele centimeters van de hoek in het profiel. Dit is om afbrokkelen en afspringen van beton aan de rand te voorkomen. In technische fiches van fabrikanten is de nodige randafstand van het anker terug te vinden.



*Figuur 9: Gevelplaatanker voor verticaal oppervlak (links) en gevelplaatanker voor horizontaal oppervlak (rechts) [19]*

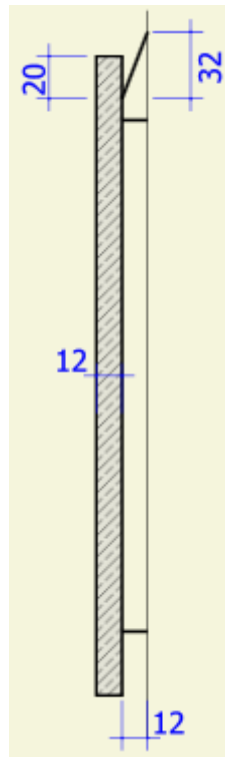
Wanneer een verankeringspunt aan de draagstructuur tot falen van de verbinding kan leiden, kan dit opgelost worden met een ontdubbelde bevestigingsplaat [1], [18], [20]. Hierbij wordt een gevelplaatanker voorzien via een aangepaste verbinding aan de draagstructuur. Door het toepassen van twee ophangingspunten per gevelplaatanker zullen twee bouten de krachten kunnen overdragen naar de draagstructuur. Figuur 10 geeft een ontdubbeld gevelplaatanker weer.



*Figuur 10: Ontdubbeld gevelplaatanker (bovenaan foto: draagstructuur – onderaan foto: PBGP)*



Figuur 11 geeft weer hoe de ophanging bij een gevelplaatanker gebeurt bij een PBGP. Een gevelplaatanker wordt toegepast in combinatie met een verbindingsmiddel dat ofwel enkel druk kan opnemen ofwel trek en druk kan opnemen. Onderaan het PBGP wordt een extra verbindingsmiddel per zijde toegepast om het PBGP in evenwicht te houden. Verbindingsmiddelen die horizontale krachten kunnen opnemen worden verder toegelicht in deze thesis.



*Figuur 11: Principetekening van aansluiting gevelplaatanker*

#### 2.6.2.2 Borstweringsanker

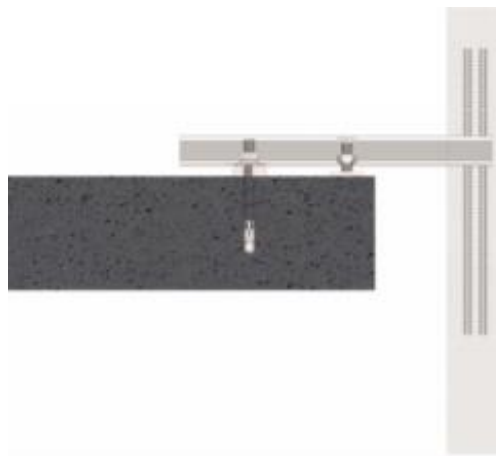
Het toepassen van een borstweringsanker is mogelijk wanneer op een horizontaal oppervlak verankerd kan worden [18], [21]. In het PBGP wordt het borstweringsanker met de nodige wapening ingestort zoals Figuur 12 weergeeft. In de meeste gevallen zijn geen bijkomende afstoters of windankers nodig wanneer een borstweringsanker toegepast wordt [7]. Afstoters en windankers zijn verbindingselementen die horizontale krachten kunnen opnemen. Wanneer een PBGP met borstweringsanker voorzien wordt als leuning kan onderaan het PBGP een afstoter voorzien worden om trillingen en doorbuiging van het PBGP te reduceren.

Een borstweringsanker wordt gekenmerkt door een omega-profiel om de buigstijfheid te vergroten. De hoogte van een borstweringsanker varieert tussen 44 mm en 85 mm, terwijl de lengte van het omega profiel beschikbaar is vanaf 400 mm [18], [21]. In vergelijking met een gevelplaatanker vergt een borstweringsanker een hoger materiaalgebruik [6]. Door een uitsparing te maken in de vloerplaat kan dit type anker geïntegreerd worden in de dragende vloer. Op deze manier kan het nadeel van de relatief grote hoogte van dit profiel gereduceerd worden zodat de bovenliggende lagen van de vloerbouw bovenop dit anker uitgevoerd kunnen worden.



*Figuur 12: Borstweringsanker 3D-weergave [22]*

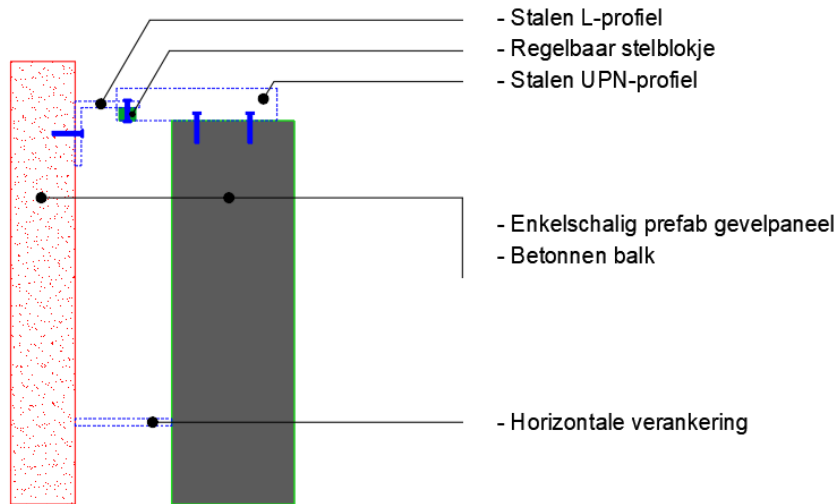
Achteraan wordt het profiel vastgezet met een hamerkopbout in de ankerrail of met een chemisch of mechanisch anker zoals Figuur 13 weergeeft. Vooraan het omega-profiel kan een verstelbare drukker voorzien worden. Deze drukker kan 1 tot 2 cm in hoogte worden versteld waardoor de verticale stand van het PBGP in beperkte mate aangepast kan worden [7]. Als alternatief voor de verstelbare drukker kunnen stelblokjes gebruikt worden om de hoogte te regelen.



*Figuur 13: Borstweringsanker doorsnede [19]*

### *2.6.2.3 Omgekeerd L-profiel*

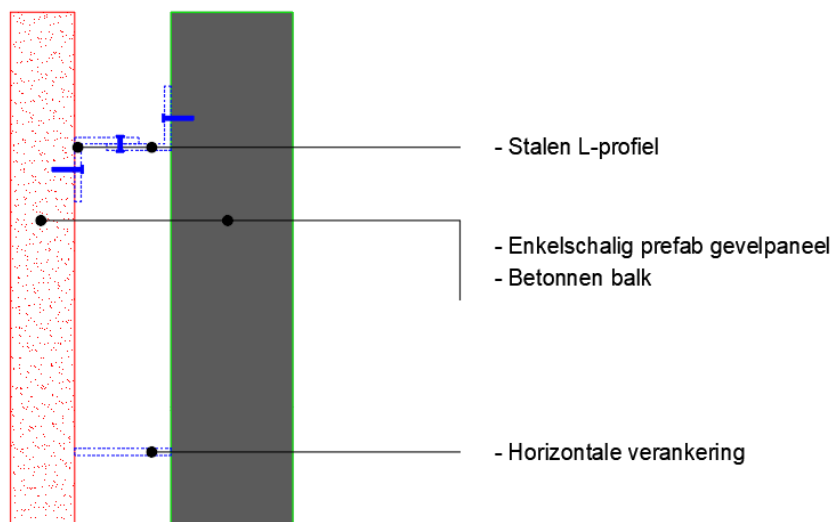
Een L-profiel kan omgekeerd toegepast worden om een PBGP op te hangen. Bij dit systeem wordt het L-profiel aan de achterzijde van het paneel en bovenop een horizontaal oppervlak van de dragende structuur verankerd. Indien de flenzen van het L-profiel niet voldoende lang zijn, is het mogelijk om op het horizontaal oppervlak van de draagstructuur een stalen profiel – bijvoorbeeld een UPN-profiel – te voorzien [3] zoals op Figuur 14 is weergegeven. Het UPN-profiel kan verankerd worden aan de draagstructuur met mechanische of chemische ankers. Tussen beide stalen profielen kan een boutverbinding toegepast worden.



*Figuur 14: Schematische weergave van omgekeerd L-profiel met UPN-profiel*

#### 2.6.2.4 Dubbel L- of T-profiel

Het systeem van een dubbel L- of T-profiel is gelijkaardig aan het systeem van een omgekeerd profiel. Het verschil zit in het verankeren op een verticaal of horizontaal vlak van de draagstructuur. Bij het dubbel L- of T-profiel wordt achteraan het PBGP een stalen profiel bevestigd [4]. Figuur 15 illustreert deze uitvoeringswijze met een L-profiel. Dit profiel zal steunen op een L- of T-profiel dat aan de draagstructuur bevestigd is. De profielen onderling worden evenzeer verankerd.



*Figuur 15: Schematische weergave van dubbel L-profiel*

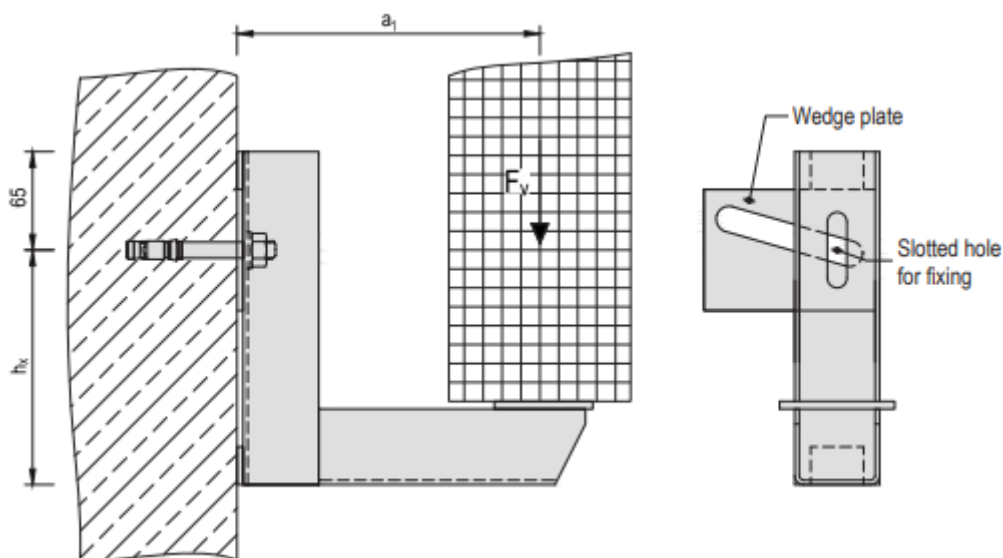
#### 2.6.2.5 Wapeningsstaven

In een PBGP kunnen wapeningsstaven ingestort worden die uitsteken aan de achterzijde van het paneel [6]. Een uitsparing in de draagvloer kan voorzien worden. Wanneer het PBGP op de juiste positie geplaatst wordt, kan het dragende betonnen

constructieonderdeel aangestort worden zodat de wapeningsstaven verankerd zijn in het betonnen geheel. Een opmerking bij dit systeem is dat ondersteuning en schoring noodzakelijk is zolang de aangestorte beton niet voldoende verhard is. Onderaan het PBGP kunnen bijkomende verankeringen geplaatst worden die de horizontale krachten kunnen opvangen.

#### 2.6.2.6 L-console of L-profiel

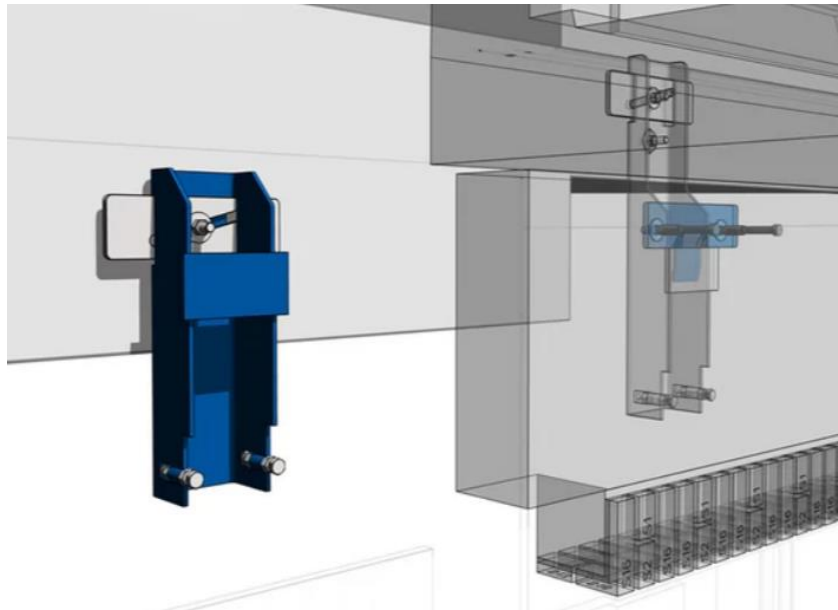
Gelijkaardig aan de werking van een metselwerkconsole kan een PBGP steunen op een L-console dat opgebouwd is uit meerdere U- en kokervormige profielen [23] zoals Figuur 16 weergeeft. De L-console wordt aan de draagstructuur bevestigd en kan in hoogte- en lengterichting afgesteld worden met het schuine sleufgat. Daarna kan het gevelpaneel op deze L-console geplaatst worden zodat de L-console het eigengewicht volledig zal overdragen naar de draagstructuur. Voor relatief kleine PBGP kan de L-console vervangen worden door een L-profiel.



Figuur 16: Schematische weergave van PBGP steunend op L-console [23]

#### 2.6.2.7 U-profiel console met opgelaste plaat

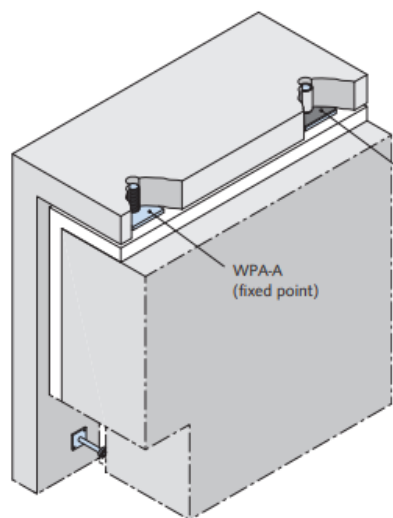
Het systeem op Figuur 17 illustreert een systeem bestaande uit twee delen. Aan de draagstructuur wordt een console bevestigd voorzien van een U-profiel [24]. Deze console kan met chemische, mechanische ankers of ankerrails bevestigd worden aan de draagstructuur. Op Figuur 17 is een plaat gelast aan de voorzijde van het U-profiel. Door middel van een haakplaat aan het PBGP kan het paneel opgehangen worden aan de U-vormige console. Ingestorte ankerrails in het PBGP maken het mogelijk om het paneel fijner af te stellen bij plaatsing.



*Figuur 17: JUB-systeem [24]*

#### *2.6.2.8 Prefab betonnen console met verstifting*

Figuur 18 geeft een schematische weergave van een PBGP met een aangestorte console weer. Het horizontale betonnen deel – bovenaan deze figuur – wordt door de fabrikant van het betonnen paneel in een geheel gestort en nadien geleverd op de werf. Op de draagstructuur zijn enkele verticale verstiftingen voorzien, terwijl in het horizontale deel van het PBGP enkele ronde uitsparingen voorzien zijn. Op de werf wordt het PBGP geplaatst zodat de verstiftingen zich in de openingen van het PBGP situeren. Nadien kunnen de openingen met een krimpvrrije mortel opgegoten worden. De verdeelplaat op halve hoogte van de verstiftingen ondersteunt het PBGP, hierdoor kan de isolatielaag doorlopen onder het PBGP. Op deze manier worden de koudebruggen beperkt tot enkele punten nabij de verstiftingen.



*Figuur 18: Aangestorte console met verstifting [18]*

### 2.6.3 Toepassing gestapelde en opgehangen PBGP

In de praktijk wordt een combinatie van beide systemen – gestapeld en opgehangen – op grote schaal toegepast [1], [3], [4], [16]. Concreet kan bijvoorbeeld gekozen worden om onderaan de gevel enkele PBGP op elkaar te stapelen, om daarboven te kiezen voor opgehangen elementen. Vanaf een grotere stapelhoogte dan 12 m – of 3 à 4 bouwlagen – worden gestapelde panelen aanzienlijk minder toegepast [4], [6]. De nood aan een grotere paneeldikte wordt veroorzaakt door de verhoging van het aantal bouwlagen. Uit de praktijk blijkt dat de dikte van de gestapelde PBGP dermate toeneemt dat een gestapelde uitvoering niet meer rendabel is [6], [9]. Een combinatie van onderaan opgehangen gevelpanelen met daarboven enkele lagen gestapelde panelen wordt nagenoeg nooit toegepast.

De plaatsingssnelheid van gestapelde en opgehangen PBGP is verschillend aangezien de uitlijning en het verankeren van gestapelde PBGP minder tijd in beslag neemt. Bij een gestapelde uitvoering wordt de hoogte van de PBGP en de voegdikte gecorrigeerd door stelblokjes te plaatsen in de voegen. Bij opgehangen PBGP bestaat de ophanging meestal uit een groot aantal verbindingsstukken waardoor de hoogteregeling minder eenvoudig is. De plaatsingssnelheid van gestapelde en opgehangen PBGP bedragen respectievelijk 8 à 10 en 4 à 6 stuks per 8 werkuren [4], [20]. Het aantal te plaatsen panelen per dag is een gemiddelde en is afhankelijk van de complexiteit van de gevelafwerking en de kennis van de arbeiders die de PBGP plaatsen. Daarnaast hebben de afmetingen van PBGP een aanzienlijke invloed op de plaatsingssnelheid op de werf. Panelen met een relatief grote oppervlakte zijn moeilijker te monteren onder invloed van de wind dan panelen met een kleine oppervlakte.

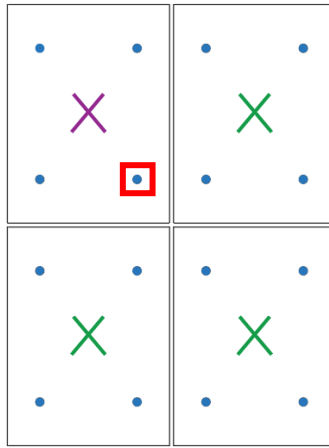
## 2.7 Overdracht horizontale krachten

Per gestapeld gevelpaneel worden meestal vier horizontale verankeringen voorzien, namelijk twee bovenaan en twee onderaan [1], [4], [6], [7]. Het aantal verankeringen voor opgehangen PBGP varieert per bevestigingstechniek. Wanneer een ophanging wordt gekozen die naast verticale krachten ook trek- en drukkrachten kan opnemen volstaan meestal vier verankeringen. Bij PBGP die opgehangen worden met een gevelplaatanker of een gelijkaardig systeem – waarbij de ophanging geen druk kan opnemen – zijn zes verankeringen noodzakelijk. Bij panelen met een aanzienlijke lengte kan het aantal verankeringen verhoogd worden.

De horizontale verankeringen zijn noodzakelijk om het paneel zowel bovenaan als onderaan op gelijke afstand van de draagstructuur en spouwisolatie te houden. Hierbij dient de afweging gemaakt te worden tussen de theoretisch beste positie en praktische haalbaarheid om deze verankeringen te monteren. Een meer centrale positie van de horizontale verankeringen is gunstiger om doorbuiging en scheuren te beperken. Een toegepaste vuistregel is om deze verankeringen op een afstand gelijk aan een vijfde van de paneellengte van de randen te plaatsen [1], [6], [7].

De toegankelijkheid van de verankeringspunten is een aandachtspunt [4], [6]. Een goede toegankelijkheid impliceert een eenvoudige plaatsing op de werf. Vanuit esthetisch oogpunt zijn de verankeringen zelden zichtbaar aan de voorzijde van het PBGP. Een ontoegankelijk verankeringspunt kan veroorzaakt worden wanneer rondom de afstoter of het windanker de naastliggende PBGP reeds geplaatst zijn of andere constructiedelen een vlotte plaatsing verhinderen.

Figuur 19 geeft een gevelplan met afstoters en een rode kader weer. De plaatsingsvolgorde van de elementen op Figuur 19 is onder-boven en rechts-links. Dit is een situatie waarbij de horizontale verankering met het rode kader op Figuur 19 niet geplaatst of moeilijk fijn afgesteld kan worden. Om dit anker te plaatsen zal het PBGP meermaals opnieuw gepositioneerd moeten worden of is een opening in het PBGP noodzakelijk. In dergelijke gevallen moet een bevestigingsmethode van de horizontale verankeringen gekozen worden waarbij geen afstelling achter het paneel nodig is. Een goede oplossing voor dergelijke situaties is het toepassen van een verstifting. De werking van een verstifting als verbinding wordt toegelicht in paragraaf 2.7.7.



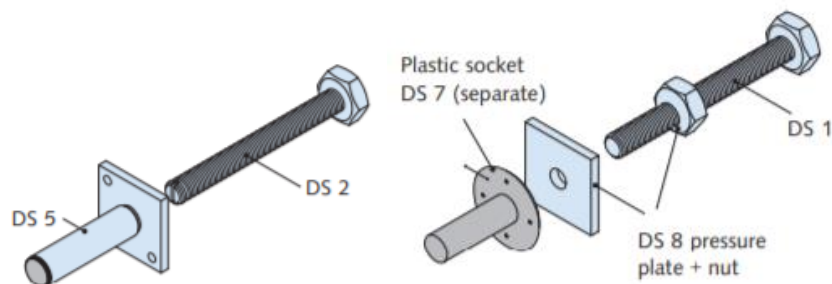
Figuur 19: Gevelpanelenplan met aanduidingen van afstoters/windankers (blauwe bol), geplaatste panelen (groen kruis) en nog te plaatsen paneel (paars kruis)

Indien windkrachten op het paneel kunnen inwerken, is het noodzakelijk om naast de drukkrachten ook trekkrachten te kunnen opvangen. Deze trekkracht zal het paneel willen wegtrekken van de draagstructuur. Het opvangen van trek- en drukkrachten kan op verschillende manieren gebeuren en wordt in de volgende paragrafen toegelicht.

### 2.7.1 Afstoter

Wanneer enkel drukkrachten optreden op de horizontale verankeringen kunnen afstoters geplaatst worden. Deze bouten worden gekenmerkt door een verdikte kop waardoor de drukkrachten van het PBGP beter gespreid worden over de draagstructuur [1], [4], [6], [18], [19]. Afspringen van beton kan vermeden worden door deze verdikking.

Een afstoter kan geplaatst worden door een schroefhuls of vemo te voorzien in het PBGP zoals Figuur 20 weergeeft. De bout met verdikte kop wordt gedeeltelijk in de schroefhuls gedraaid. Nadat het PBGP gepositioneerd is, kan de afstelling fijner geregeld worden door de bout wijzer- of tegenwijzerzin te draaien. Een andere uitvoeringswijze is door een plasticen huls zonder schroefdraad in het PBGP voorzien. Op de bout wordt een moer gedraaid die contact zal maken met de verdeelplaat die tegen het PBGP is aangebracht. In de huls is geen schroefdraad voorzien waardoor de fijnregeling kan gebeuren door aan de moer te draaien.



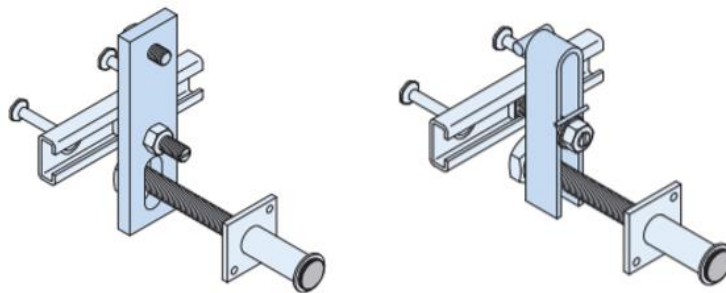
Figuur 20: Afstoter met schroefhuls (links) en afstoter met plasticen huls zonder schroefdraad (rechts) [18]



## 2.7.2 Windanker met klemplaat of -beugel

Het toepassen van een anker dat trek- en drukkrachten kan opnemen, is noodzakelijk wanneer een resulterende kracht kan inwerken op het PBGP die zowel naar de draagstructuur als van de draagstructuur weg georiënteerd kan zijn. Een voorbeeld van een dergelijk verbindingsmiddel is een windanker. Figuur 21 geeft een windanker weer bestaande uit een afstoter, een verankering naar de draagstructuur en een klemplaat of -beugel tussen de afstoter en de verankering aan de draagstructuur [1], [4], [6], [18], [19]. Een hamerkopbout met bijhorende moer zal de klemplaat of -beugel naar de draagstructuur toe trekken. Ingestorte ankerrails in de draagstructuur zijn enkel toepasbaar wanneer een gestorte betonnen draagstructuur toegepast wordt. In andere gevallen zal de ankerrail vervangen worden door een mechanisch of chemisch anker.

Het voordeel van het toepassen van een systeem zoals op Figuur 21 is dat het PBGP eenvoudig in de drie hoofdrichtingen afgesteld kan worden. Het ankerrail laat een afstelling in de lengterichting toe. De fijnregeling in de diepterichting kan gebeuren door de afstoter wijzer- of tegenwijzerzin te draaien. De opening in de klemplaat of -beugel staat toe om toleranties in de hoogterichting op te nemen.



*Figuur 21: Windanker met afstoter, ankerrail en klemplaat (links) of U-beugel (rechts) [18]*

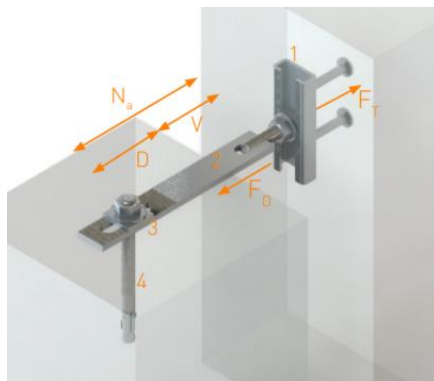
Bij niet-geprefabriceerde betonnen draagstructuren zijn mechanische en chemische ankers de aangeraden bevestigingen om het bindingselement naar de draagstructuur toe te trekken. Het chemisch of mechanisch anker vervangt de hamerkopbout en de bijhorende ankerrail. Figuur 22 geeft weer hoe een windanker met een platte plaat toegepast wordt. Door de verticale opening in de plaat en de mogelijkheid om de platte plaat te roteren om de afstoter kan het mechanisch anker in een ruime zone van enkele centimeters breed geplaatst worden. Deze zone is het gebied tussen twee concentrische cirkels.



Figuur 22: Windanker aan PBGP tijdens montage

### 2.7.3 Windanker met hamerkopplaat

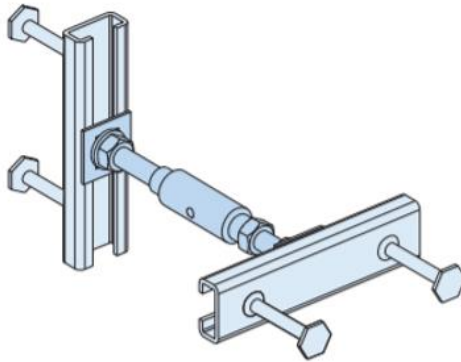
Wanneer het enkel mogelijk is om te verankeren aan een oppervlak dat niet evenwijdig is met de achterkant van het PBGP, kan een windanker met hamerkopplaat voorzien worden [4], [18], [19]. Dit anker wordt voornamelijk toegepast bij raamopeningen. Een uitsparing in de draagstructuur kan voorzien worden zodat de volledige verbinding ingewerkt is in de draagstructuur. Het instorten van een ankerrail in het PBGP, een langwerpig vertand sleufgat in het verlengde van de hamerkopplaat en de verankering met een mechanisch anker zorgen ervoor dat het opnemen van toleranties in de 3 richtingen mogelijk is. Figuur 23 illustreert de laatstgenoemde eigenschappen. Als alternatief voor een gelaste smalle plaat aan de hamerkopverbinding kan een U-vormig profiel gekozen worden om de buigstijfheid te verhogen.



Figuur 23: Windanker met hamerkopplaat en vertand sleufgat [19]

### 2.7.4 Dubbel ankerrail met twee hamerkopbouten en kopperverbinding

Zowel in de geprefabriceerde betonnen draagstructuur als in het PBGP kan een ankerrail ingestort worden. Wanneer deze loodrecht op elkaar staan, kunnen toleranties in beide richtingen opgenomen worden zoals Figuur 24 illustreert. In beide ankerrails wordt een hamerkopbout met aangepaste kop gemonteerd [18]. De hamerkopbouten met aangepaste kop worden verbonden met een koppelmoer. De positionering van het paneel kan afgesteld worden door de bouten wijzer- of tegenwijzerzin te draaien. Door middel van de koppelmoer kan deze verbinding zowel trek- als drukkrachten opnemen.



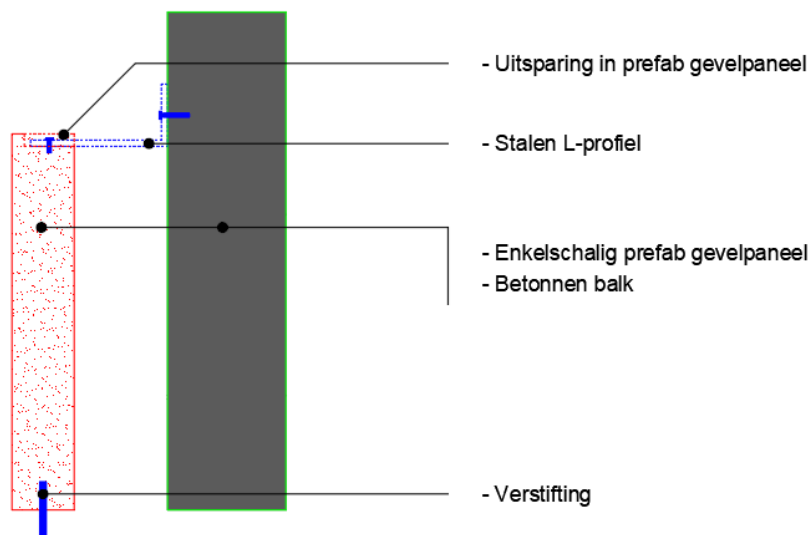
*Figuur 24: Dubbel ankerrail met hamerkopbouten en koppelmoer [18]*

### 2.7.5 L-profiel

Bovenaan het PBGP kan een uitsparing aan de bovenzijde van het PBGP voorzien worden zoals Figuur 25 en 26 weergeven. Deze uitsparing maakt het mogelijk om een L-profiel te bevestigen aan de ingestorte voorzieningen in het PBGP, bijvoorbeeld een ankerrail [25]. Vervolgens kan de andere flens met mechanische of chemische ankers bevestigd worden aan de draagstructuur. Bovenaan het PBGP is het niet nodig om bijkomende afstoters of windankers te voorzien die trek- en drukkrachten kunnen opnemen indien een L-profiel bovenaan wordt toegepast. Onderaan het PBGP zijn bijkomende verankeringen voor horizontale krachten wel noodzakelijk.



*Figuur 25: Ankerrail in uitsparing voor L-profiel*



*Figuur 26: Schematische weergave van rechtopstaand L-profiel als verankering bij gestapeld PBGP*

### 2.7.6 Z-profiel

Trek- en drukkrachten bovenaan het PBGP kunnen opgenomen worden door middel van een Z-profiel [16]. Het Z-profiel kan bevestigd worden met een hamerkopbout aan de ingestorte ankerrail in het PBGP. De verticale ankerrail in het PBGP maakt het mogelijk om het Z-profiel in hoogte te verstellen. Op deze manier is de plaatsing van de bouten in de draagstructuur eenvoudiger. Het profiel wordt gemonteerd zodat de verankeringsgaten in de flens aan de draagstructuur hoger bevestigd worden dan aan de zijde van het PBGP zoals op Figuur 27 geïllustreerd is. Indien het Z-profiel omgekeerd gepositioneerd wordt, is de plaatsing van de bouten moeilijker aangezien de bouten zich dan aan de onderzijde van het tussenstuk van het Z-profiel bevinden.



*Figuur 27: Z-profiel met verticale ankerrail in PBGP*

### 2.7.7 Verstifting

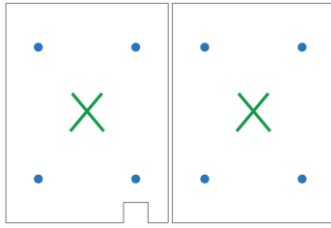
Een rechtstreekse horizontale krachtoverdracht naar het onderliggende paneel of fundering is mogelijk indien gekozen wordt voor een verstifting. Hierbij zal de metalen en gladde staaf, die gedeeltelijk aanwezig is in beide PBGP, zorgen voor de krachtoverdracht [2], [4]. Deze metalen staaf wordt ook wel stift genoemd. Onderaan in het bovenliggende PBGP is een ronde huls voorzien. De huls heeft een conische vorm of heeft bovenaan een ribbel op 1 cm van het horizontaal bovenzvlak van de huls [4]. Bovenaan in het onderliggende paneel is een ruimere sparing of ovale huls voorzien om toleranties op te kunnen nemen. De stift wordt in het bovenste element geplaatst om daarna krimpvrije mortel te voorzien in de ovale huls in het onderste element. Vervolgens worden de 2 PBGP op elkaar geplaatst. Figuur 28 geeft weer hoe stiften en hulzen voorzien worden in betonnen gevelelementen. Hetzelfde principe wordt toegepast bij enkelschalige gevelpanelen. Door de ruime uitsparing in het onderliggende paneel is het opnemen van toleranties mogelijk. Deze toleranties zijn echter beperkt tot enkele centimeters.



*Figuur 28: Verstifting bij gevelkolommen (links: stiften onderaan kolom – rechts: ingestorte ovale hulzen bovenaan kolom)*

De voorziene conische vorm of ribbel in de ingestorte huls is van groot belang. Bij opwarming en afkoeling kunnen de PBGP uitzetten en krimpen met vervorming van het PBGP met enkele millimeters tot gevolg. De speciale vorm van de huls en het gladde oppervlak van de stift zorgen ervoor dat de stift dieper in de huls kan geduwd worden en het beton niet zal scheuren door verhoogde betonspanningen [4].

Een verstifting onderaan het onderste paneel is niet altijd mogelijk. Een verstifting kan een waterkerende laag perforeren waardoor andere problemen kunnen optreden. In dergelijke gevallen kan geopteerd worden om onderaan een uitsparing te voorzien ter hoogte van de hoeken [6]. Via deze uitsparing kan de monteur de verankeringen monteren en de correcte regeling uitvoeren. Op Figuur 29 is de uitsparing voorzien in het linkerpaneel. Eerst zal het rechterpaneel geplaatst worden en nadien het linkerpaneel. Deze manier moet goedgekeurd worden door de betrokken partijen. Wanneer deze uitsparingen zich onder het maaiveld bevinden, is deze oplossing meestal toegestaan.



*Figuur 29: Gevelpanelenplan met uitsparing in paneel met plaatsingsvolgorde rechts-links*



## 3 Vergelijkingen bevestigingstechnieken

### 3.1 Vergelijking Fixinox vs. Halfen

Fixinox en Halfen zijn bedrijven gespecialiseerd in het ontwikkelen van verankeringsmiddelen voor PBGP. Deze Belgische fabrikanten bieden beiden verschillende bevestigingstechnieken aan zoals gevelplaatankers, borstweringsankers, windankers en verstijfingen om PBGP te verankeren aan de draagstructuur. In de volgende paragrafen worden verschillende gelijkaardige bevestigingstechnieken van de twee fabrikanten met elkaar vergeleken, meer bepaald verankeringen met gevelplaatankers. Andere bevestigingstechnieken – zoals borstweringsankers, windankers etc. – worden niet vergeleken aangezien de eenheidsprijzen van deze verankeringen niet beschikbaar worden gesteld door Fixinox.

#### 3.1.1 Vergelijking gevelplaatankers

Fixinox heeft per gewichtscategorie van de gevelplaatankers slechts een type anker in aanbod. In het inbouwdeel van Fixinox is in het PBGP een cilindervormige staaf voorzien die ervoor zorgt dat de hoek tussen achterkant van het PBGP en de schuine trekanker in het montagedeel kan variëren door het trekanker te verlengen of te verkorten. Voor verschillende spouwbreedtes wordt eenzelfde gevelplaatanker gebruikt. Dit systeem wordt weergegeven op Figuur 30.

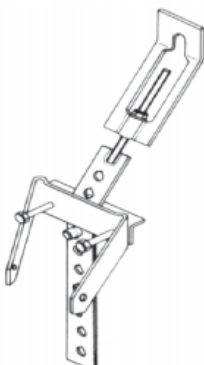


*Figuur 30: Inbouwdeel gevelplaatanker Fixinox [26]*

Het systeem van Halfen verschilt van dat van Fixinox door het inbouwdeel in het PBGP. De eerste lengteregeling bij Halfen kan gebeuren door middel van het verplaatsen van de deugel in een ander gat zoals Figuur 31 op een schematische wijze weergeeft. Om oplossingen aan te bieden met gevelplaatankers voor zowel relatief kleine als grote



spouwopeningen heeft Halfen drie subcategorieën ontwikkeld voor verschillende spouwbreedtes. In onderstaande prijsvergelijkingen is de middelste subcategorie van de gevelplaatankers van Halfen beschouwd.



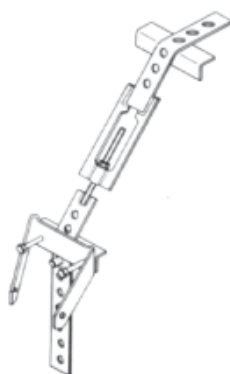
*Figuur 31: Gevelplaatanker Halfen – verticaal oppervlak [27]*

Onderstaande tabellen geven de kostprijsvergelijkingen weer tussen de verschillende varianten van gevelplaatankers van Fixinox en Halfen. Tabel 2 behandelt de vergelijking voor gevelplaatankers met een verbinding aan de draagstructuur voorzien aan een verticaal oppervlak. Enkele gewichtscategorieën worden beschouwd en vergeleken tussen Fixinox en Halfen.

*Tabel 2: Kostprijsvergelijking gevelplaatankers – verticaal oppervlak*

Gewichtscategorie [kN]	Fixinox [€/st]	Halfen [€/st]	Absoluut verschil [€/st]	Relatief verschil
11,5	89,89	72,83	-17,06	-19%
22	116,72	114,54	-2,18	-1,9%
34	161,25	185,69	24,44	15,2%

Figuur 32 geeft een gevelplaatanker met verankering aan een horizontaal oppervlak aan de draagstructuur weer.



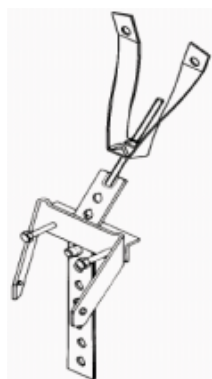
*Figuur 32: Gevelplaatanker Halfen – horizontaal oppervlak [27]*

De prijsvergelijking tussen Fixinox en Halfen voor gevelplaatankers die aan een horizontaal oppervlak worden bevestigd is weergegeven in Tabel 3.

*Tabel 3: Kostprijsvergelijking gevelplaatankers – horizontaal oppervlak*

Gewichtscategorie [kN]	Fixinox [€/st]	Halfen [€/st]	Absoluut verschil [€/st]	Relatief verschil
11,5	103,71	94,38	-9,33	-9%
22	139,08	142,09	3,01	2,2%
34	209,69	230,31	20,62	9,8%

Wanneer een draagstructuur onvoldoende sterk is, kan een gevelplaatanker voorzien worden van twee ophangpunten aan de draagstructuur zoals Figuur 33 weergeeft. Met dit type anker wordt een gevelplaatanker met twee ankers bevestigd aan de draagstructuur.



*Figuur 33: Gevelplaatanker Halfen – verticaal oppervlak met ontubbelde ophanging [27]*

Tabel 4 behandelt de vergelijking voor gevelplaatankers met een dubbele verbinding aan de draagstructuur voorzien aan een verticaal oppervlak.

*Tabel 4: Kostprijsvergelijking gevelplaatankers – dubbele ophanging aan verticaal oppervlak*

Gewichtscategorie [kN]	Fixinox [€/st]	Halfen [€/st]	Absoluut verschil [€/st]	Relatief verschil
11,5	134,32	96,18	-38,14	-28,4%
22	169,25	122,71	-46,54	-27,5%
34	227,12	190,73	-36,39	-16%

Figuur 34 geeft een gevelplaatanker weer waarbij een dubbele ophanging is voorzien aan een horizontaal oppervlak. Deze prijsvergelijking tussen Fixinox en Halfen wordt niet gemaakt aangezien dit type gevelplaatanker enkel aangeboden wordt door Halfen en niet door Fixinox.



*Figuur 34: Gevelplaatanker Halfen – horizontaal oppervlak met dubbele ophanging [27]*

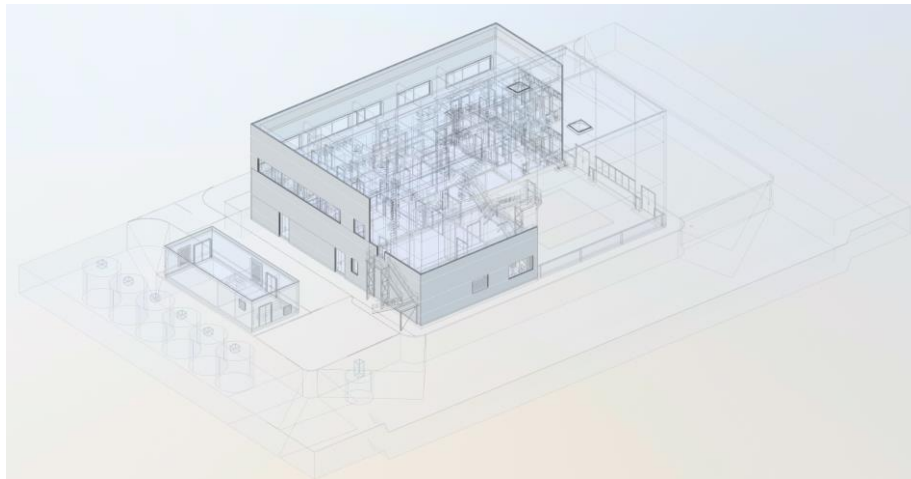
### 3.1.2 Besluit vergelijking gevelplaatankers

Na het vergelijken van Tabel 2 t.e.m. 4 constateren we dat voor zowel Fixinox als Halfen de kostprijs voor een gevelplaatanker toeneemt naarmate de gewichtscategorie toeneemt. Daarnaast zijn de gevelplaatankers van Halfen in 'gewichtscategorie 11,5 kN' aanzienlijk goedkoper voor de drie gemaakte vergelijkingen dan gelijkaardige ankers van Fixinox. De extra kost voor de verankeringen van Fixinox varieert van 9 tot 28%. Wanneer de gewichtscategorie toeneemt blijkt de voordeligheid op vlak van kostprijs van Halfen af te nemen. In de gewichtscategorie van 34 kN is Fixinox voordeliger dan Halfen voor de gevelplaatankers met enkele verbinding aan de draagstructuur. Deze prijsvergelijkingen zijn gebaseerd op de middelste subcategorie van de aangeboden producten van Halfen en de gevelplaatankers van Fixinox die toegepast kunnen worden bij een grote variatie aan spouwbreedtes.

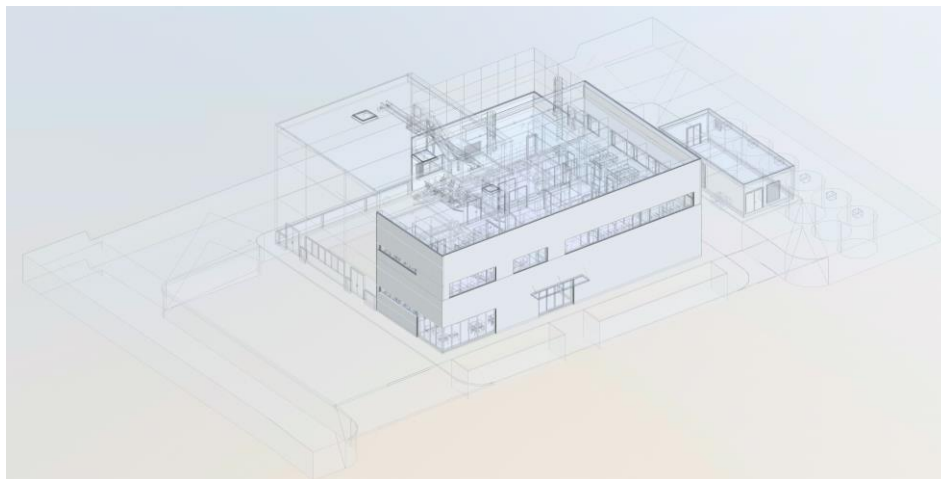
In de kostprijsvergelijkingen in paragraaf 3.4 worden verschillende bevestigingstechnieken – zoals gevelplaatankers en borstweringsankers – met elkaar vergeleken voor bepaalde PBGP. Hierbij worden de kostprijzen van de gevelplaatankers en borstweringsankers geleverd door Halfen toegepast.

### 3.2 Beschrijving casestudy: project Melsbroek

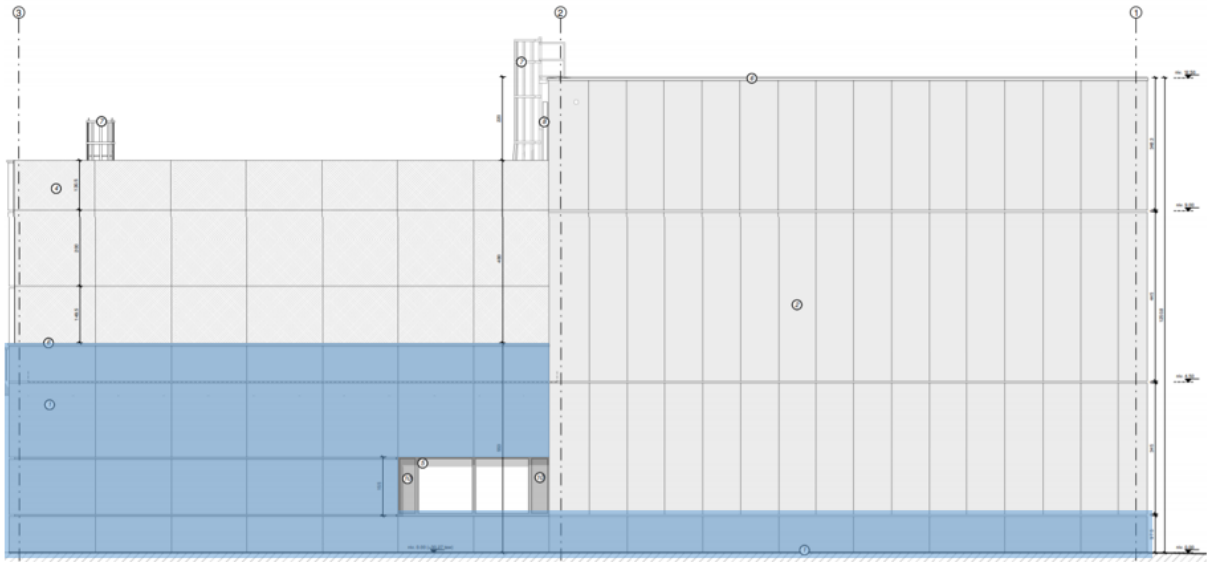
Deze paragraaf focust op de kostprijsvergelijking tussen verschillende bevestigingstechnieken. Het ontwerp en de plannen van het project Melsbroek dienen als basis voor deze vergelijkingen. Het project te Melsbroek zal hoofdzakelijk gebruikt worden als kantoorgebouw. De gevels van de kantoorruimtes hebben een gevelafwerking met PBGP. Op onderstaande figuren is aangeduid waar de gevelpanelen zich bevinden. De andere gevelafwerkingen zijn geen PBGP en worden niet verder beschouwd. Figuur 35 t.e.m. 40 geven weer waar de PBGP zich situeren rondom het gebouw. De blauwe zones op Figuur 37 t.e.m. 40 duiden de PBGP aan.



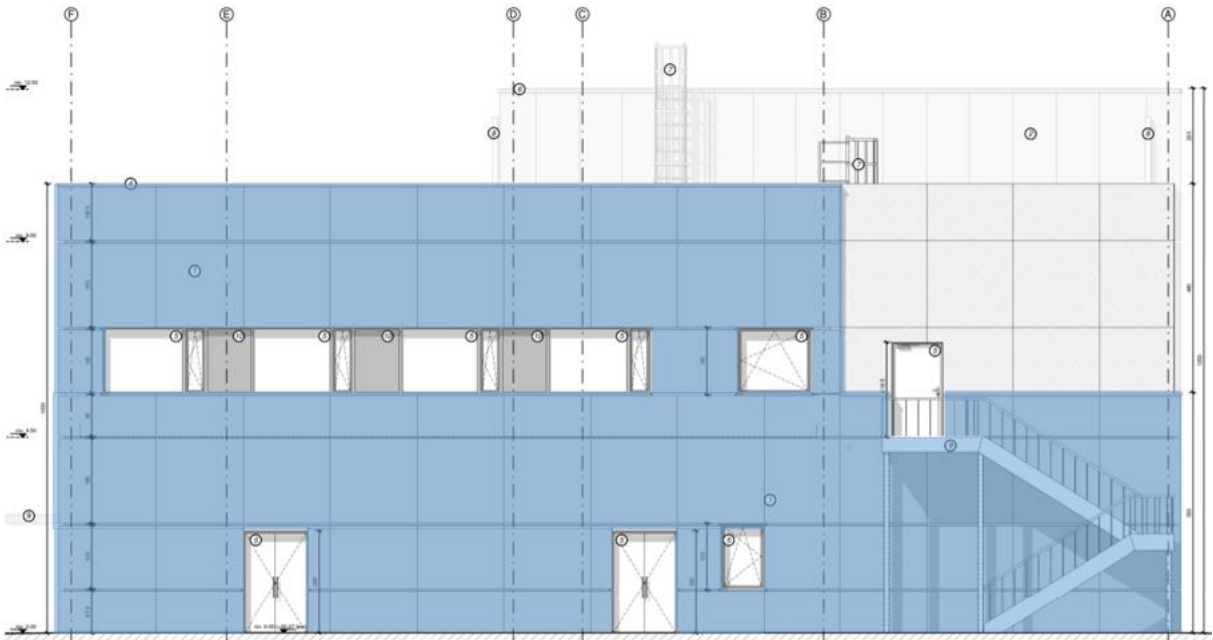
*Figuur 35: Aanduiding PBGP in 3D-weergave (noord- en oostgevel)*



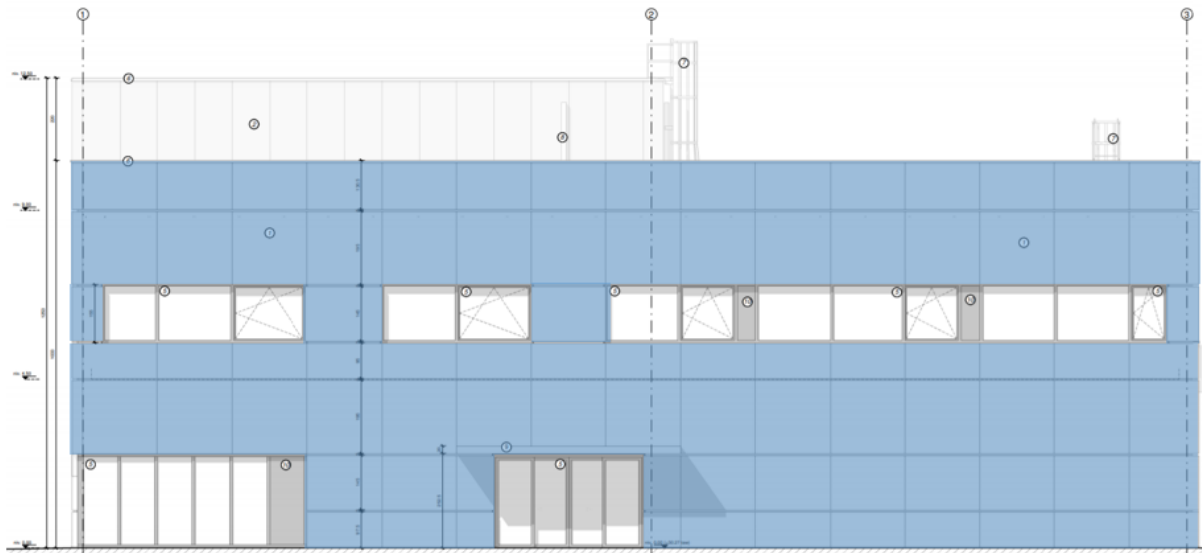
*Figuur 36: Aanduiding PBGP in 3D-weergave (zuid- en westgevel)*



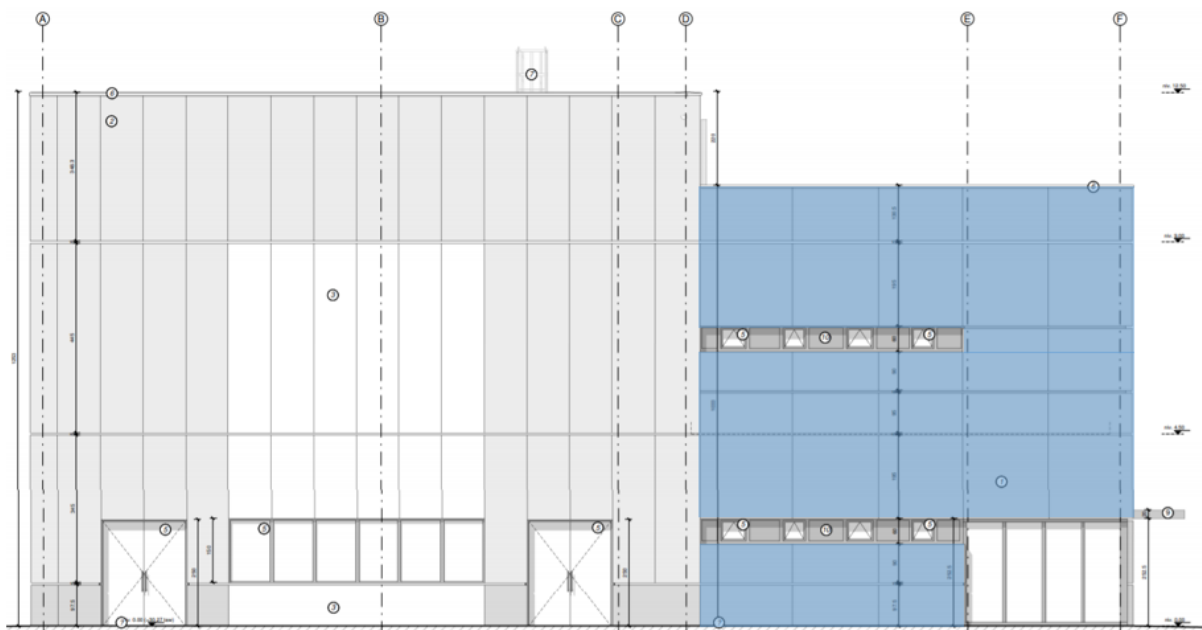
*Figuur 37: Noordgevel*



*Figuur 38: Oostgevel*



Figuur 39: Zuidgevel



Figuur 40: Westgevel

### 3.3 Methode vergelijkingen en bepalen verankeringsmiddelen

Voor elke prijsvergelijking op basis van het project Melsbroek is een kleine zone van een bepaalde gevel beschouwd. Verschillende bevestigingstechnieken van de PBGP worden voor deze zone met elkaar vergeleken op vlak van kosten voor productie en levering van PBGP, werfinrichting en werkuren voor montage en verankeringsmiddelen van de PBGP. Deze vergelijkingen worden weergegeven en toegelicht in de volgende paragrafen.

Enkele beschouwde bevestigingstechnieken zijn uitvoeringen met gevelplaatankers en borstweringsankers. De categorieën en lengte van deze ankers en de bijhorende horizontale verankeringen worden bepaald met de software van Halfen. De gebruikte berekeningsprogramma's heten respectievelijk 'Gevelplaatanker FPA' en 'Borstweringsanker BRA'. Aan de hand van de uitkomst van deze software en de beschikbaar gestelde prijslijsten van Halfen worden de kostprijzen per verankeringsmiddel bepaald.

### 3.4 Vergelijkingen verschillende bevestigingstechnieken

In de verschillende prijsvergelijkingen wordt gerekend met de waarden die tabel 5 weergeeft. Hierbij worden verschillende aannames gemaakt. De windbelasting op de verschillende gevels wordt namelijk gelijk genomen voor het hele project. Normen NBN-EN-1990-ANB en NBN-EN-1991-1-4 worden gebruikt om de verschillende windcoëfficiënten en -belastingen te bepalen voor het project te Melsbroek.

Tabel 5: Gegevens en aannames project Melsbroek

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
<b>Afmetingen constructie</b>			
Dikte PBGP	12	cm	
Afstand tussen PBGP en draagstructuur	12	cm	
<b>Arbeid</b>			
Arbeider	3	st	
Kraanman	1	st	
Loon arbeider	35	€/uur	
Loon kraanman	40	€/uur	
Werkuren per dag	8	uur	
<b>Plaatsing PBGP</b>			
Gestapeld	8 à 10	st/dag	Gemiddeld 9 st/dag
Opgehangen	4 à 6	st/dag	Gemiddeld 5 st/dag
<b>Wind</b>			
Windrichtingsfactor $c_{dir}$	1		Zuidwesten
Seizoensfactor $c_{season}$	1		November
$\psi$ -factor wind $\psi_0$	0,6		
Uitwendige drukcoëfficiënt $c_{pe10}$	0,8		
Uitwendige drukcoëfficiënt $c_{pe10}$	-0,7		
Inwendige drukcoëfficiënt $c_{pi}$	0,3		
Maximale coëfficiënt loefzijde	1,1		
Maximale coëfficiënt lijzijde	-1		
Extreme stuwdruk $q_p$	919	N/m <sup>2</sup>	Tabel 4.8 ANB (gebouwhoogte is 10 m)
Maximale windbelasting loefzijde	1011	N/m <sup>2</sup>	
Maximale windbelasting lijzijde	-919	N/m <sup>2</sup>	

Uit navraag bij meerdere fabrikanten van PBGP blijkt dat de kostprijs per m<sup>2</sup> aanzienlijk hoger is voor relatief kleine panelen in vergelijking met grote panelen [1], [6]. Daarnaast zorgt een gevelafwerking met een groot aantal dezelfde PBGP voor een hergebruik van bekisting en lagere kost voor de studieafdeling met een lagere kostprijs per PBGP tot gevolg. In onderstaande prijsvergelijkingen zijn de voordelige prijzen ten gevolge van bovenstaande uitleg van hergebruik niet beschouwd. Tabel 6 geeft de toegepaste eenheidsprijzen voor de prijsvergelijkingen weer. In deze eenheidsprijzen zijn de kostprijs voor beton, wapening en bekisting inbegrepen alsook de werkuren voor productie.

Tabel 6: Kostprijs productie PBGP

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
<b>Kostprijs productie paneel (&lt;10 m<sup>2</sup>)</b>	<b>230</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>	Zonder verankering
<b>Kostprijs productie paneel (10-12 m<sup>2</sup>)</b>	<b>220</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>	Zonder verankering
<b>Kostprijs productie paneel (&gt;10 m<sup>2</sup>)</b>	<b>210</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>	Zonder verankering

Tabel 7 geeft de kostprijs voor het transporteren van enkelschalige PBGP naar de werf weer. Standaardladers die PBGP vervoeren van de producent naar de werf hebben voldoende draagcapaciteit om 20 à 25 ton aan lading te vervoeren. Bij een schildikte van PBGP van 12 cm komt dit overeen met een totale oppervlakte van 65 à 82 m<sup>2</sup> per transport. Door de afmetingen en het verlies bij schikking van de PBGP op de lader wordt in deze thesis 65 m<sup>2</sup> aan oppervlakte van PBGP per transport aangenomen. Diepladers



met de mogelijkheid tot het vervoeren van grote panelen – met grotere afmetingen dan 3,6 m als kleinste afmeting in hoogte- of lengterichting – worden niet beschouwd.

Tabel 7: Kostprijs levering PBGP

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Maximale oppervlakte PBGP op 1 transport	65	m <sup>2</sup> /transport	
Kost 1 transport	250	€/transport	
<b>Kostprijs transport</b>	<b>3,8</b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>	

De kostprijs aan werkuren per PBGP is weergegeven in tabel 8. Het onderzoek naar bevestigingstechnieken toonde aan dat de plaatsingssnelheid van gestapelde PBGP aanzienlijk hoger ligt dan voor opgehangen PBGP (zie paragraaf 2.6.3). De plaatsingskost per paneel is berekend op basis van het gemiddeld aantal te plaatsen panelen per werkdag [4], [20]. Een werkdag telt 8 werkuren.

Tabel 8: Kostprijs montage werkuren PBGP

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Kost arbeid (arbeiders en kraanman)	145	€/uur	
<b>Kost arbeid – gestapelde PBGP</b>	<b>129</b>	<b>€/paneel</b>	Gemiddeld 9 st/dag
<b>Kost arbeid – opgehangen PBGP</b>	<b>232</b>	<b>€/paneel</b>	Gemiddeld 5 st/dag

Tabel 9 geeft de kostprijs van de werfinrichting weer, uitgedrukt per uur. De inplanting van de torenkraan op de werf zorgt ervoor dat de maximale afstand gemeten vanaf de mast van de torenkraan tot de uiterste ligging van een PBGP aan de draagstructuur 40 m bedraagt. Op deze afstand is de draagcapaciteit 4 ton. Dit stemt overeen met de oppervlakte van een PBGP van 13 m<sup>2</sup> met een paneeldikte van 12 cm.

Tabel 9: Kostprijs werfinrichting

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Elektrische schaarlift	325	€/week	Breedte werkplatform 175 cm [28]
Huurprijs torenkraan	3400	€/maand	4 ton capaciteit op 40 m van de mast
Werkdagen per week	5	dag/week	
Werkdagen per maand	18	dag/maand	
Werkuren per dag	8	uur/dag	
<b>Kost werfinrichting</b>	<b>31,8</b>	<b>€/uur</b>	
<b>Kost werfinrichting – gestapeld PBGP</b>	<b>28,2</b>	<b>€/uur</b>	Gemiddeld 9 st/dag
<b>Kost werfinrichting – opgehangen PBGP</b>	<b>50,8</b>	<b>€/uur</b>	Gemiddeld 5 st/dag

Een van de prijsvergelijkingen in volgende paragrafen behandelt het verschil tussen gestapelde PBGP met de grootste afmeting in de lengterichting tegenover gestapelde PBGP met de grootste afmeting in de hoogterichting. Indien de hoogte van het laatst genoemde paneel groter is dan 3,6 m dienen extra handelingen uitgevoerd te worden in de vorm van kantelen op de werf. In deze thesis wordt aangenomen dat de torenkraan de kantelbeweging uitvoert op de werf. Hierdoor kan de torenkraan niet gelijktijdig de plaatsing van andere PBGP uitvoeren waardoor een herberekening nodig is van de

kostprijzen weergegeven in Tabel 9. Wegens de beperkte duur van het kantelen wordt in deze thesis echter geen herberekening van deze kostprijzen gemaakt. Tabel 10 geeft de kostprijs aan werkuren per paneel weer indien panelen gekanteld moeten worden op de werf.

*Tabel 10: Kostprijs kantelen werkuren PBGP*

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Arbeider	2	st	
Kraanman	1	st	
Kantelen paneel	20	min	
Kost werkuren	75	€/uur	
<b>Kost werkuren</b>	<b>36,7</b>	<b>€/paneel</b>	<b>Gelijk voor gestapeld en opgehangen PBGP</b>

Het kantelen van de PBGP impliceert dat bijkomende voorzieningen nodig zijn om de PBGP te kantelen op de werf. In deze thesis zijn kantelframes verondersteld met een bijhorende kostprijs van €250/dag. Tabel 11 maakt een onderscheid tussen de kostprijs voor het kantelen van gestapelde en opgehangen PBGP. De kostprijzen per paneel weergegeven in onderstaande tabel zijn geldig indien minstens 9 gestapelde of 5 opgehangen PBGP gekanteld worden op de werf.

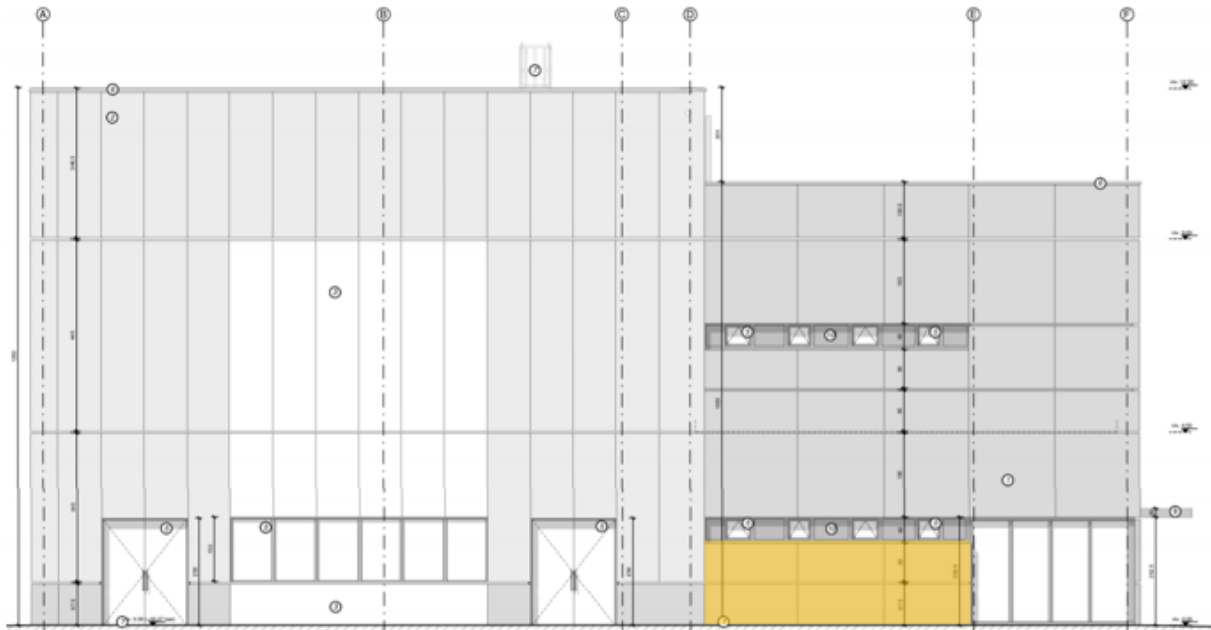
*Tabel 11: Kostprijs kantelen werfinrichting PBGP*

Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid	Opmerking
Huurprijs kantelframe	250	€/dag	
Te plaatsen gestapelde PBGP	9	st/dag	
Te plaatsen opgehangen PBGP	5	st/dag	
<b>Kost werfinrichting - gestapeld</b>	<b>27,8</b>	<b>€/paneel</b>	Gemiddeld 9 st/dag
<b>Kost werfinrichting - opgehangen</b>	<b>50</b>	<b>€/paneel</b>	Gemiddeld 5 st/dag

De gebruikte kostprijzen in onderstaande kostprijsvergelijkingen zijn marktconforme prijzen uit 2021 tenzij anders aangegeven.

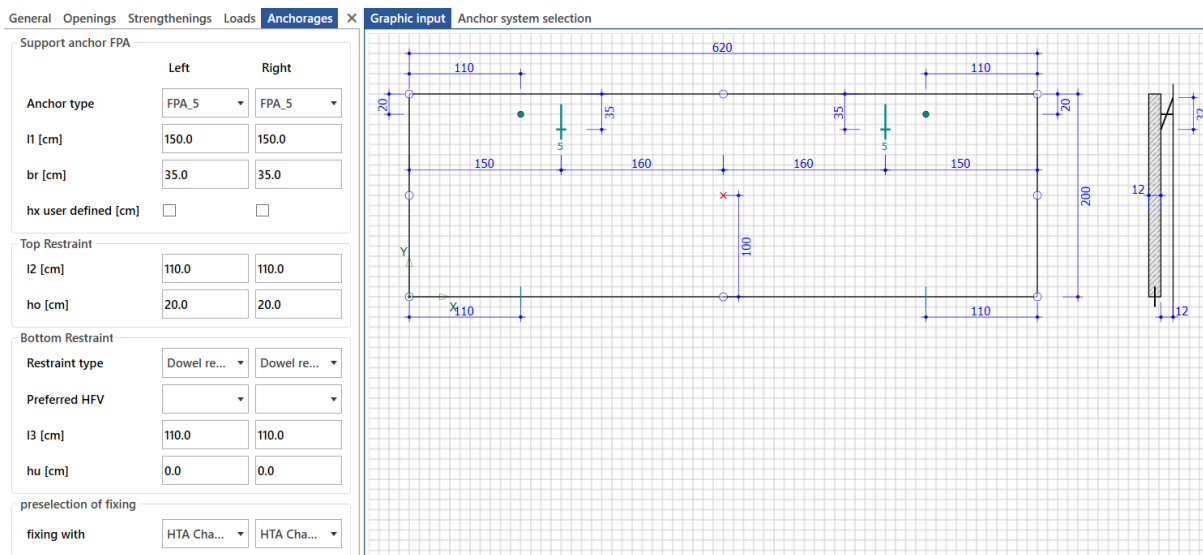
### 3.4.1 Vergelijking 1: gestapeld vs. opgehangen PBGP (L>H)

De gele zone op Figuur 41 stelt het beschouwde PBGP voor. Voor dit paneel is een vergelijking gemaakt tussen een gestapelde en opgehangen uitvoering. Het opgehangen PBGP is een uitvoering met gevelplaatankers bevestigd aan een verticaal oppervlak. De prijsvergelijking beschouwt de kostprijs voor een PBGP met 620x200x12 cm als afmetingen. De lengte van het PBGP is groter dan de hoogte. De grijze lijnen in deze gele zone worden beschouwd als schijnvoegen.



*Figuur 41: PBGP voor vergelijking gestapelde en opgehangen uitvoering (L>H)*

Figuur 42 toont de ingevulde gegevens in de software 'Gevelplaatanker FPA' van Halfen.



Figuur 42: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 620x200x12 cm

Tabel 12 geeft de prijsvergelijking tussen de bevestigingstechnieken van gestapelde PBGP en opgehangen PBGP met gevelplaatankers weer.

Tabel 12: Verankeringsmiddelen gestapeld vs. opgehangen – PBGP 620x200 cm

Omschrijving	Gestapeld	Opgehangen (gevelplaat- anker)	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>				
Kostprijs verankering onderaan	13,2	13,2	€/st	Verstifting HFV-5 – 5 kN
Aantal verankeringen	2	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	64	21,9	€/st	Gestapeld met windanker LD-A- 6-16 Opgehangen met afstoter DS13- M12x152
Aantal verankeringen	2	2	st	
<b>Verticale verankeringen</b>				
Kostprijs ophanging	-	131,6	€/st	Opgehangen: FPA-5-G-22-120
Aantal verankeringen	-	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>154,4</b>	<b>333,4</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	179	€	T.o.v. gestapeld
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>116</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gestapeld</b>

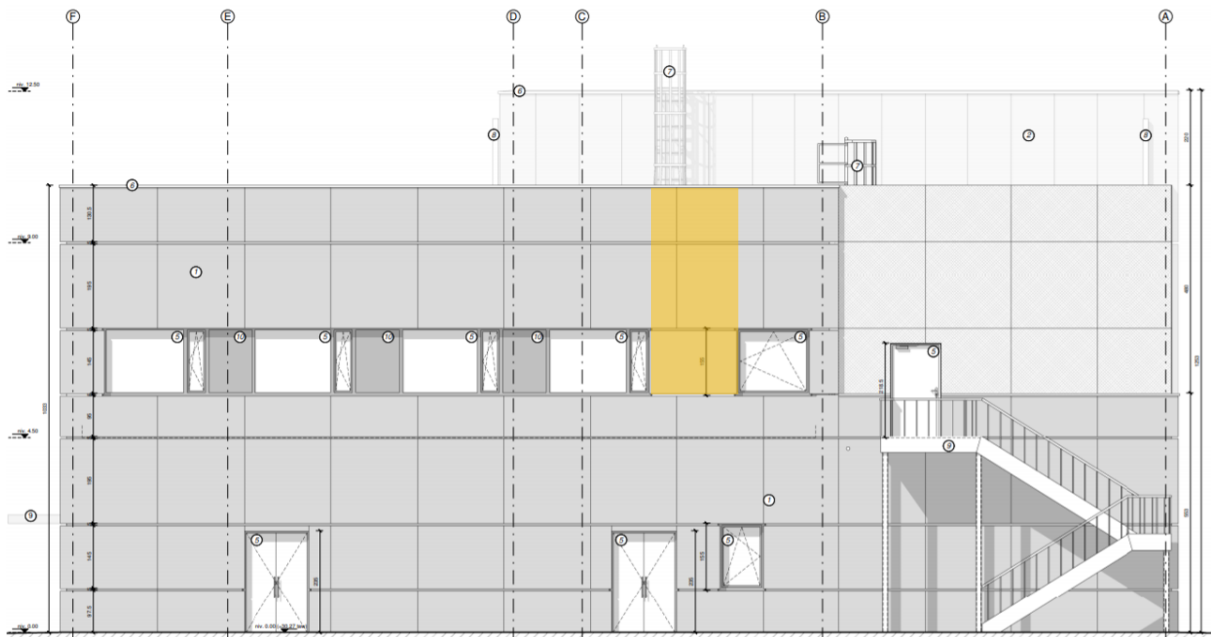
Tabel 13 geeft een overzicht van de totale kostprijs vanaf productie t.e.m. montage van het PBGP weer.

Tabel 13: Vergelijking gestapeld vs. opgehangen – PBGP 620x200 cm

Omschrijving	Gestapeld	Opgehangen (gevelplaat- anker)	Eenheid	Opmerking
Productie PBGP				
Eenheidsprijs	210	210	€/m <sup>2</sup>	
<b>Totaal</b>	<b><u>2604</u></b>	<b><u>2604</u></b>	<b>€</b>	
Levering PBGP				
Eenheidsprijs	47,4	47,4	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>47,4</u></b>	<b><u>47,4</u></b>	<b>€</b>	
Montage werkuren				
Eenheidsprijs	128,9	232	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>128,9</u></b>	<b><u>232</u></b>	<b>€</b>	
Montage werfinrichting				
Eenheidsprijs	28,2	50,8	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>28,2</u></b>	<b><u>50,8</u></b>	<b>€</b>	
Verankeringsmiddelen				
Eenheidsprijs	154,4	333,4	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>154,4</u></b>	<b><u>333,4</u></b>	<b>€</b>	
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>2962,9</b>	<b>3267,6</b>	<b>€</b>	
Verschil (absoluut)	-	304,7	€	T.o.v. gestapeld
<b>Verschil (percentage)</b>	-	<b>10,3</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gestapeld</b>

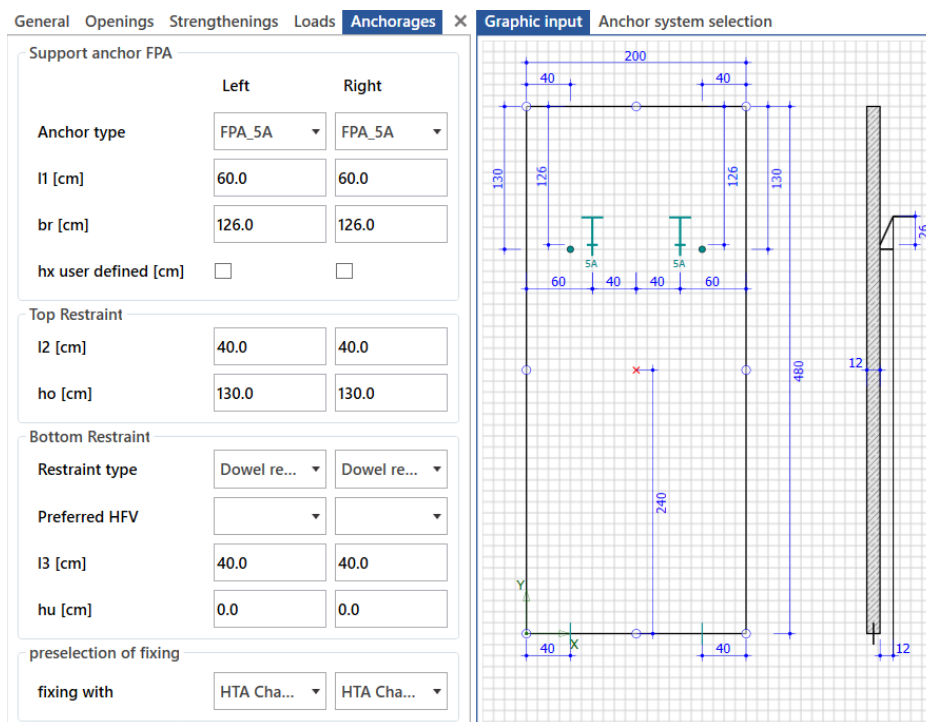
### 3.4.2 Vergelijking 2: gestapeld vs. opgehangen PBGP (L<H)

Figuur 43 geeft de gele zone weer voor vergelijking 2. Hierbij wordt aangenomen dat de verticale fysieke voeg – die zich op Figuur 43 binnen de gele zone situeert – in werkelijkheid gelijklopend is met de linkerrand van de gele zone. Voor dit paneel wordt bekeken wat het verschil is tussen een gestapelde en opgehangen uitvoering met gvelplaatankers wanneer de lengte kleiner is dan de hoogte van het PBGP. De totale oppervlakte van dit PBGP is 2,8 m<sup>2</sup> kleiner dan het beschouwde PBGP uit vergelijking 1.



*Figuur 43: PBGP voor vergelijking gestapelde en opgehangen uitvoering (L<H)*

Het PBGP wordt in deze vergelijking bij de opgehangen uitvoering beschouwd met een bevestiging aan het horizontaal oppervlak van de betonnen draagvloer. In de rekensoftware van Halfen is laatst genoemde bevestiging gedefinieerd als FPA-A-ophanging zoals op Figuur 44 is weergegeven.



Figuur 44: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 200x480 cm met FPA-A-anker

Tabel 14 geeft de prijsvergelijking weer tussen de bevestigingstechnieken van gestapelde PBGP en opgehangen PBGP.

Tabel 14: Verankeringsmiddelen gestapeld vs. opgehangen – PBGP 200x480 cm

Omschrijving	Gestapeld	Opgehangen (gevelplaat- anker)	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>				
Kostprijs verankering onderaan	13,2	13,2	€/st	Verstijfing HFV-5 – 5 kN
Aantal verankeringen	2	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	45,4	21,9	€/st	Gestapeld met windanker LD-A-3,5-12 Opgehangen met afstoter DS13-M12x152
Aantal verankeringen	2	2	st	
<b>Verticale verankeringen</b>				
Kostprijs ophanging	-	139,9	€/st	Opgehangen met FPA-5-G-16-120
Aantal verankeringen	-	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>117,2</b>	<b>350</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	232,8	€	T.o.v. gestapeld
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>198,6</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gestapeld</b>

Tabel 15 geeft een overzicht van de totale kostprijs vanaf productie t.e.m. montage van het beschouwde PBGP weer. De hoogte van het beschouwde PBGP bedraagt 4,8 m en is

groter dan 3,6 m voor normaal transport waardoor het PBGP gekanteld moet worden op de werf.

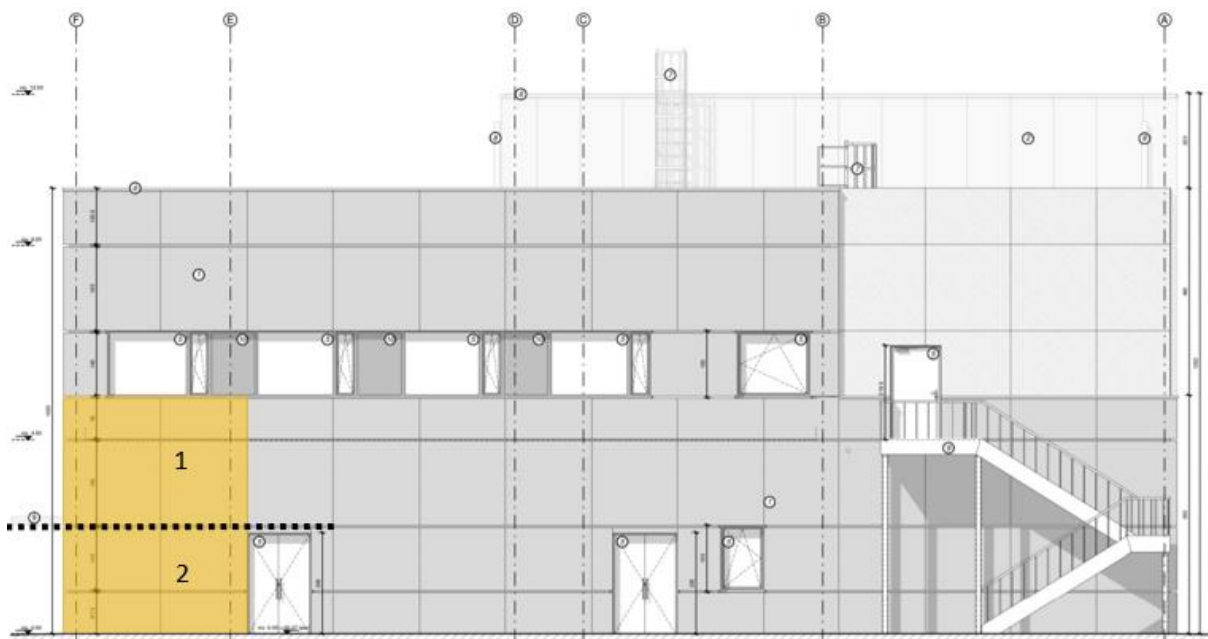
Tabel 15: Vergelijking gestapeld vs. opgehangen – PBGP 200x480 cm

Omschrijving	Gestapeld	Opgehangen (gevelplaat- anker)	Eenheid	Opmerking
Productie PBGP				
Eenheidsprijs	230	230	€/m <sup>2</sup>	
<b>Totaal</b>	<b><u>2208</u></b>	<b><u>2208</u></b>	<b>€</b>	
Levering PBGP				
Eenheidsprijs	36,7	36,7	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>36,7</u></b>	<b><u>36,7</u></b>	<b>€</b>	
Montage werkuren				
Eenheidsprijs	128,9	232	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>128,9</u></b>	<b><u>232</u></b>	<b>€</b>	
Montage werfinrichting				
Eenheidsprijs	28,2	50,8	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>28,2</u></b>	<b><u>50,8</u></b>	<b>€</b>	
Verankeringsmiddelen				
Eenheidsprijs	117,2	350	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>117,2</u></b>	<b><u>350</u></b>	<b>€</b>	
Kantelen werkuren				
Eenheidsprijs	36,7	36,7	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>36,7</u></b>	<b><u>36,7</u></b>	<b>€</b>	
Kantelen werfinrichting				
Eenheidsprijs	27,8	50	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>27,8</u></b>	<b><u>50</u></b>	<b>€</b>	
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>2583,5</b>	<b>2964,2</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	380,7	€	T.o.v. gestapeld
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>14,7</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gestapeld</b>



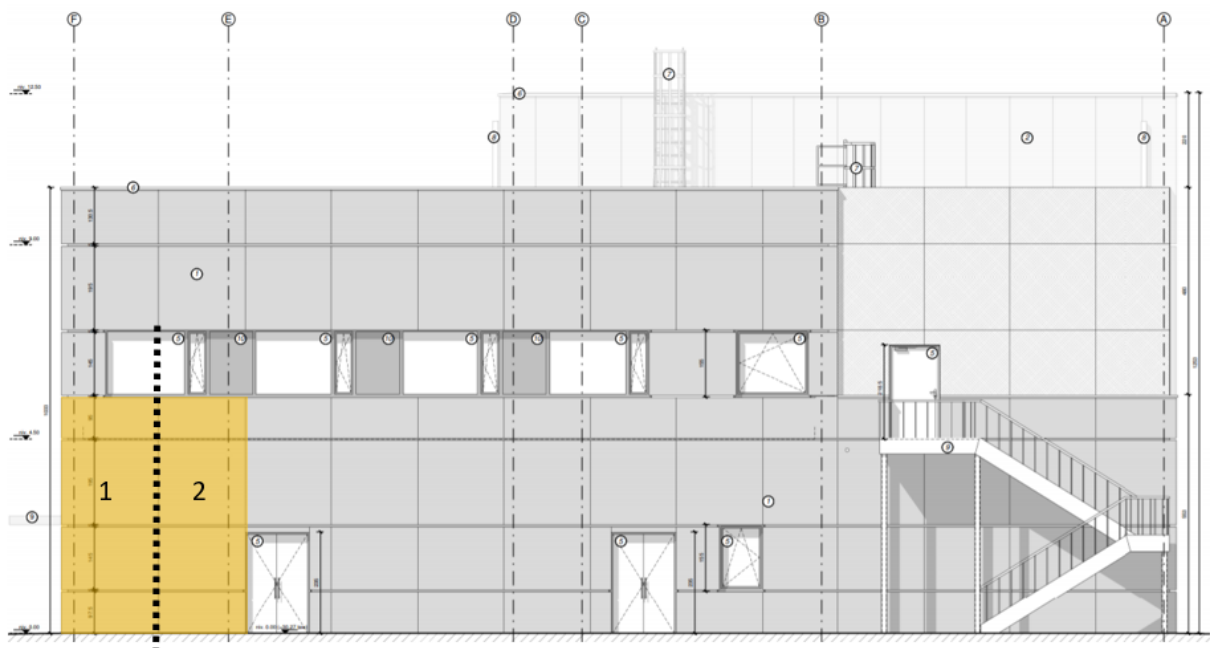
### 3.4.3 Vergelijking 3: bovenliggend vs. naastliggend gestapelde PBGP

Figuur 45 toont de uitvoering waarbij de PBGP op elkaar gestapeld worden op de werf. Deze uitvoering wordt in de thesis omschreven als bovenliggende gestapelde PBGP. De zwarte stippellijn geeft weer waar de fysieke voeg zich situeert tussen de PBGP. De grijze lijnen in deze gele zone worden beschouwd als schijnvoegen. De lengte van beide PBGP bedraagt 4,25 m. Aangezien de hoogte van het onderste en het bovenste aangeduide paneel respectievelijk 2,35 en 3,15 m bedragen, kunnen de panelen op dezelfde manier geplaatst worden als de manier waarop ze getransporteerd worden naar de werf. Op deze manier is het niet noodzakelijk om een extra handeling in de vorm van kantelen uit te voeren op de werf.



*Figuur 45: PBGP bovenliggend gestapeld uitgevoerd*

Figuur 46 geeft een gestapelde uitvoering weer waarbij de PBGP naast elkaar gestapeld worden op de werf met een verticale voeg tussen beide PBGP. Deze uitvoering wordt in deze thesis benoemd als naastliggende gestapelde PBGP. De kleinste afmetingen in de lengterichting van de panelen bedragen 2,25 m en 2 m. De grootste afmeting is in de hoogterichting van de panelen, namelijk 5,50 m en overschrijdt de 3,6 m voor normaal transport. Dit betekent dat de PBGP gekanteld moeten worden op de werf in vergelijking met de manier van transporteren naar de werf. De aanname van de schijnvoegen bij Figuur 45 is analoog voor Figuur 46.



Figuur 46: PBGP naastliggend gestapeld uitgevoerd

Tabel 16 geeft de prijsvergelijking weer voor de verankeringsmiddelen bij bovenliggend en naastliggend gestapelde uitvoeringen.

Tabel 16: Verankeringsmiddelen bovenliggend vs. naastliggend gestapeld – PBGP 215x550 cm

Omschrijving	Bovenliggend	Naastliggend	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>				
Kostprijs verankering onderaan	13,2	13,2	€/st	Verstifting HFV 5 – 5kN
Aantal verankeringen	2	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	64	64	€/st	Windanker LD-A-6-16 (incl. chemische ankers)
Aantal verankeringen	2	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>154,4</b>	<b>154,4</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	0	€	T.o.v. bovenliggend
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>0</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. bovenliggend</b>

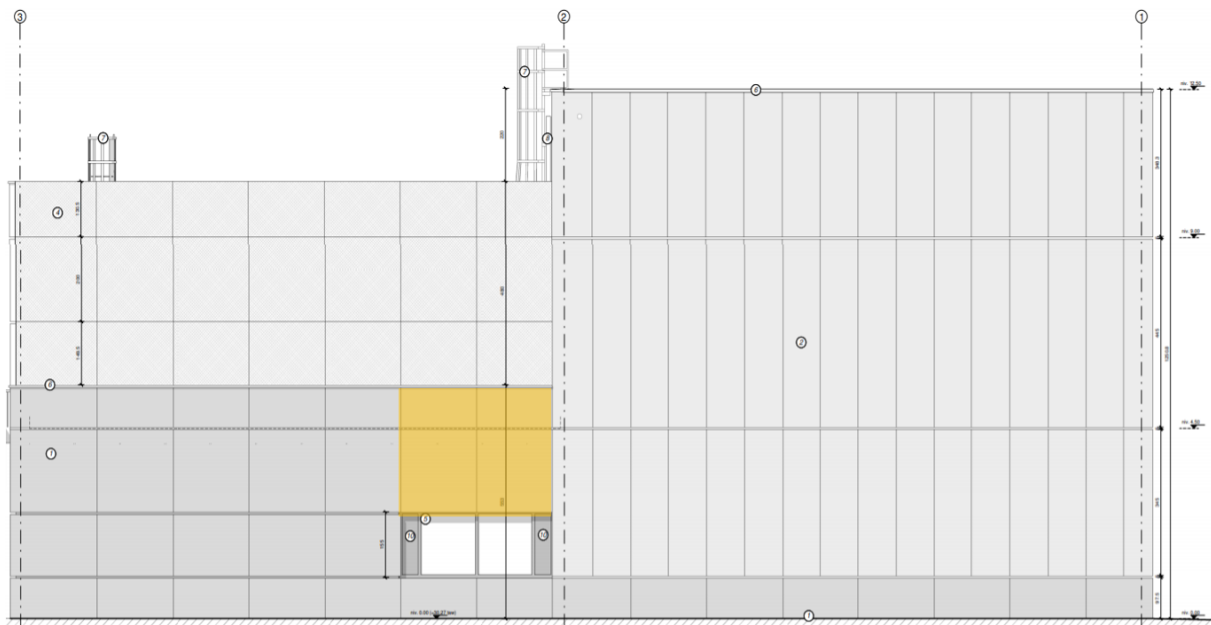
De totale kostprijs voor de vergelijking tussen bovenliggend en naastliggend gestapelde PBGP is weergegeven in Tabel 17. De kostprijs voor de subtotalen en het totaal is berekend door de som te nemen van beide PBGP.

Tabel 17: Vergelijking bovenliggend vs. naastliggend gestapeld

Omschrijving	Boven- liggend	Naast- liggend	Eenheid	Opmerking
<b>Productie PBGP</b>				
Eenheidsprijs	220	220	€/m <sup>2</sup>	Gem opp: 11,7 m <sup>2</sup>
Aantal panelen	2	2	st	
<b>Totaal</b>	<b><u>5143</u></b>	<b><u>5143</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Levering PBGP</b>				
Eenheidsprijs	44,7	44,7	€/paneel	
Aantal panelen	2	2	st	
<b>Totaal</b>	<b><u>89,4</u></b>	<b><u>89,4</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Montage werkuren</b>				
Eenheidsprijs	128,9	128,9	€/paneel	
Aantal panelen	2	2	st	
<b>Totaal</b>	<b><u>257,8</u></b>	<b><u>257,8</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Montage werfinrichting</b>				
Eenheidsprijs	28,2	28,2	€/paneel	
Aantal panelen	2	2	st	
<b>Totaal</b>	<b><u>56,4</u></b>	<b><u>56,4</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Verankeringsmiddelen</b>				
Eenheidsprijs	154,4	154,4	€/paneel	
Aantal panelen	2	2	st	
<b>Totaal</b>	<b><u>308,8</u></b>	<b><u>308,8</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Kantelen werkuren</b>				
Eenheidsprijs	-	36,7	€/paneel	
Aantal panelen	-	2	st	
<b>Totaal</b>	<b>-</b>	<b><u>73,3</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Kantelen werfinrichting</b>				
Eenheidsprijs	-	27,8	€/paneel	
Aantal panelen	-	2	st	
<b>Totaal</b>	<b>-</b>	<b><u>55,6</u></b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>5854,8</b>	<b>5983,7</b>	<b>€</b>	Voor de 2 PBGP
Verschil (absoluut)	-	128,9	€	T.o.v. bovenliggend
<b>Verschil (percentage)</b>	<b>-</b>	<b>2,2</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. bovenliggend</b>

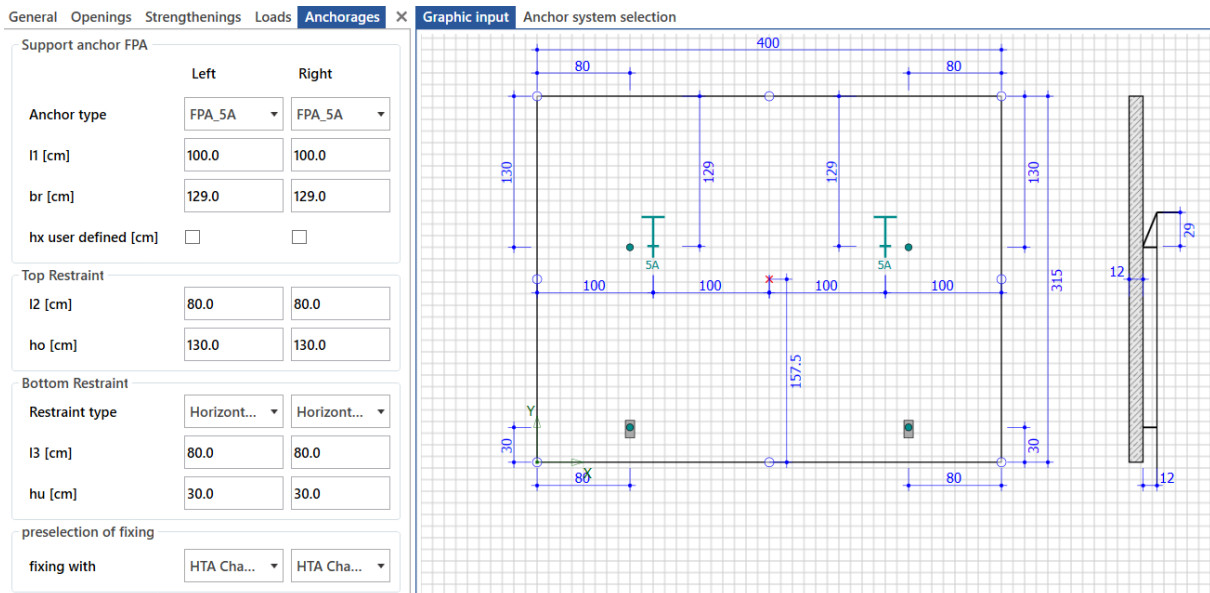
### 3.4.4 Vergelijking 4: gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L>H)

Het gele PBGP op Figuur 47 situeert zich boven een raamopening en kan niet gestapeld worden. De lengte en hoogte van het PBGP bedragen respectievelijk 4 m en 3,15 m waardoor kantelen op de werf niet noodzakelijk is. De vergelijking voor dit PBGP is een vergelijking tussen een opgehangen PBGP met gevelplaatankers en PBGP met borstweringsankers. De bovenkant van dit PBGP vormt de dakrand voor het platte dak dat zich achter dit PBGP bevindt. De verankeringen van zowel het gevelplaatanker als het borstweringsanker worden voorzien op de bovenkant van de betonnen plaat van het platte dak. Daarnaast worden de grijze voegen in het gele PBGP op Figuur 47 beschouwd als schijnvoegen in deze vergelijking.



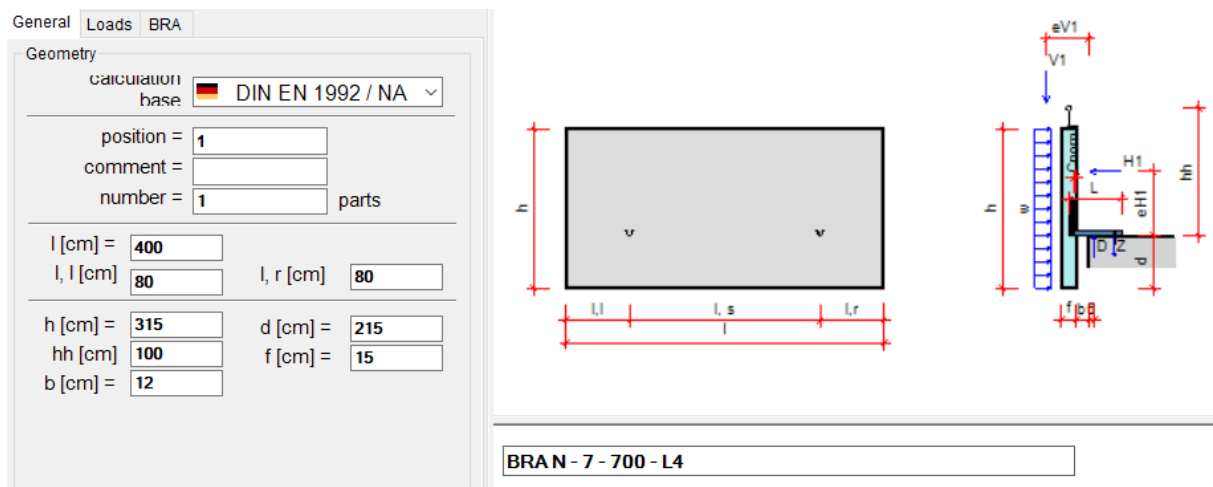
*Figuur 47: PBGP voor vergelijking gevelplaatanker en borstweringsanker (L>H)*

Figuur 48 geeft de ingevulde gegevens weer in de software 'Gevelplaatanker FPA' van Halfen. De selectie FPA\_5A bij 'Anchor type' duidt op de verankering op een horizontaal oppervlak.



Figuur 48: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 400x315 cm met FPA-A-anker

De ingevulde gegevens in software 'Borstweringsanker BRA' zijn weergegeven op Figuur 49. De hoogte  $d$  duidt op de afstand tussen de bovenkant van de vloerplaat tot de onderkant van het PBGP. De dakopstand wordt weergegeven door de hoogte  $hh$  en wordt in dit project aangenomen op 100 cm ten opzichte van de bovenkant van de betonnen dakplaat.



Figuur 49: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 400x315 cm met borstweringsanker

Tabel 18 illustreert het overzicht van de kostprijs van de verankeringsmiddelen voor de PBGP met gevelplaatankers en borstweringsankers.

Tabel 18: Verankeringsmiddelen gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 400x315 cm

Omschrijving	Gevelplaat-anker	Borstwerings-anker	Eenheid	Opmerking
Kostprijs verankering onderaan	45,4	-	€/st	Windanker LD-A-3,5-12 (incl. chemische ankers)
Aantal verankeringen	2	-	st	
Kostprijs verankering bovenaan	28,9	-	€/st	Afstoter DS13-M16x155
Aantal verankeringen	2	-	st	
Verticale verankeringen				
Kostprijs ophanging	160	501,1	€/st	Gevelplaatanker FPA-5A-G-22-120 Borstweringsanker BRA-7-700-L4 (beide incl. chemische ankers)
Aantal verankeringen	2	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>468,7</b>	<b>1002,2</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	533,5	€	T.o.v. gevelplaatanker
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>113,8</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gevelplaatanker</b>

Tabel 19 geeft een overzicht van de totale kostprijs vanaf productie t.e.m. montage van het beschouwde PBGP voor een uitvoering met gevelplaatankers en borstweringsankers.

Tabel 19: Vergelijking gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 400x315 cm

Omschrijving	Gevelplaat-anker	Borstwerings-anker	Eenheid	Opmerking
Productie PBGP				
Eenheidsprijs	210	210	€/m <sup>2</sup>	
<u>Totaal</u>	<u>2646</u>	<u>2646</u>	€	
Levering PBGP				
Eenheidsprijs	48,2	48,2	€/paneel	
<u>Totaal</u>	<u>48,2</u>	<u>48,2</u>	€	
Montage werkuren				
Eenheidsprijs	232	232	€/paneel	
<u>Totaal</u>	<u>232</u>	<u>232</u>	€	
Montage werfinrichting				
Eenheidsprijs	50,8	50,8	€/paneel	
<u>Totaal</u>	<u>50,8</u>	<u>50,8</u>	€	
Verankeringsmiddelen				
Eenheidsprijs	468,7	1002,2	€/paneel	
<u>Totaal</u>	<u>468,7</u>	<u>1002,2</u>	€	
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>3445,6</b>	<b>3979,1</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	533,5	€	T.o.v. gevelplaatanker
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>15,5</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gevelplaatanker</b>

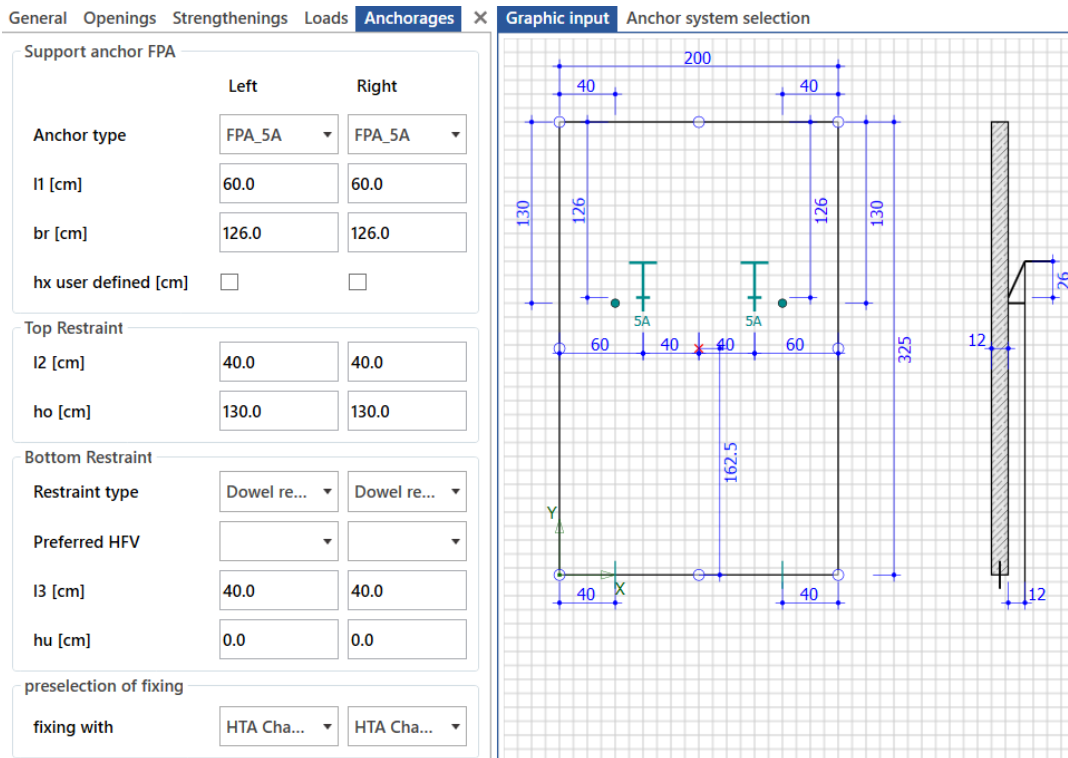
### 3.4.5 Vergelijking 5: gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L<H)

In de rekensoftware 'Borstweringsanker BRA' is het enkel mogelijk om paneelhoogtes in te vullen kleiner dan of gelijk aan 4 m. Vergelijking 5 beschouwt een PBGP met dezelfde locatie en lengte als vergelijking 2, echter is de hoogte beperkt tot 3,25 m bij vergelijking 5. Het beschouwde PBGP is weergegeven op Figuur 50. Bij deze vergelijking wordt aangenomen dat het PBGP uit een geheel bestaat met een horizontale schijnvoeg zoals aangeduid op onderstaande figuur in de gele zone. Daarentegen wordt de verticale voeg – die op de onderstaande figuur door het gele paneel loopt – verschoven naar de linkerrand van het beschouwde PBGP. De oppervlakte van het beschouwde PBGP van vergelijking 5 is 6,1 m<sup>2</sup> kleiner dan het PBGP van vergelijking 4.



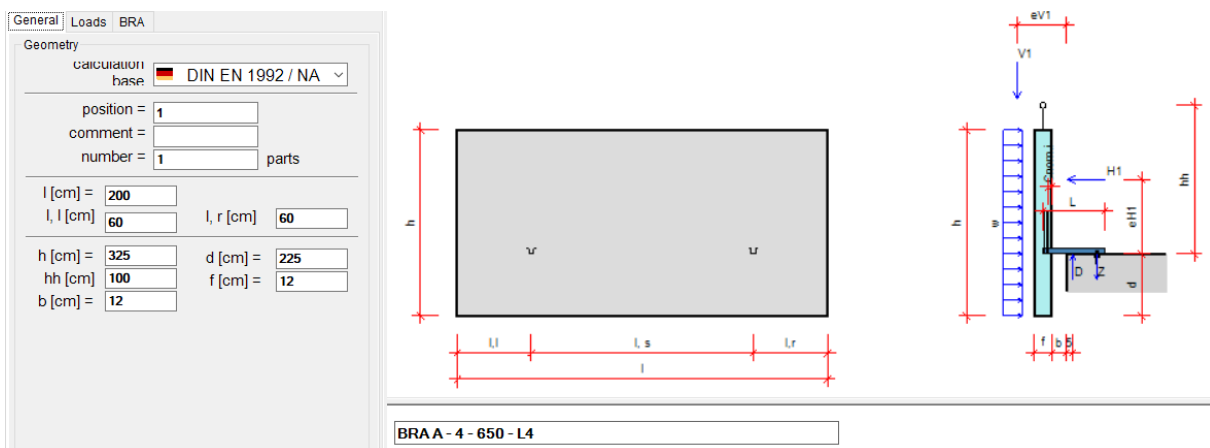
*Figuur 50: PBGP voor vergelijking gevelplaatankers en borstweringsankers (L<H)*

Figuur 51 toont de ingevulde gegevens in de software 'Gevelplaatanker FPA' van Halfen. Het geselecteerde gevelplaatanker is een anker met een horizontale bevestiging aan de betonnen plaat van het plat dak.



Figuur 51: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 200x325 cm met FPA-A-anker

Figuur 52 toont de ingevulde gegevens in de software 'Borstweringsanker BRA' van Halfen. Zoals eerder vermeld in voorgaande paragrafen wordt aangenomen dat de bovenkant het PBGP zich op 100 cm van de bovenzijde van de betonnen draagvloer bevindt.



Figuur 52: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 200x325 cm met borstweringsanker

Tabel 20 geeft de prijsvergelijking voor de verankeringsmiddelen weer voor PBGP opgehangen met gevelplaatankers en borstweringsankers.



Tabel 20: Verankeringsmiddelen gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 200x325 cm

Omschrijving	Gevelplaat- anker	Borst- werings- anker	Eenheid	Opmerking
Horizontale verankeringen				
Kostprijs verankering onderaan	11	-	€/st	Verstifting HFV 5 – 2,5 kN
Aantal verankeringen	2	-	st	
Kostprijs verankering bovenaan	21,9	-	€/st	Afstoter DS13-12x152
Aantal verankeringen	2	-	st	
Verticale verankeringen				
Kostprijs ophanging	103,4	257,9	€/st	Gevelplaatanker met FPA-5A-G-11,5-120 Borstweringsanker met BRA-4-650-L4 (beide incl. chemische ankers)
Aantal verankeringen	2	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>272,7</b>	<b>515,8</b>	<b>€</b>	
Verschil (absoluut)	-	243,1	€	T.o.v. gevelplaatanker
<b>Verschil (percentage)</b>	-	<b>89,1</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gevelplaatanker</b>

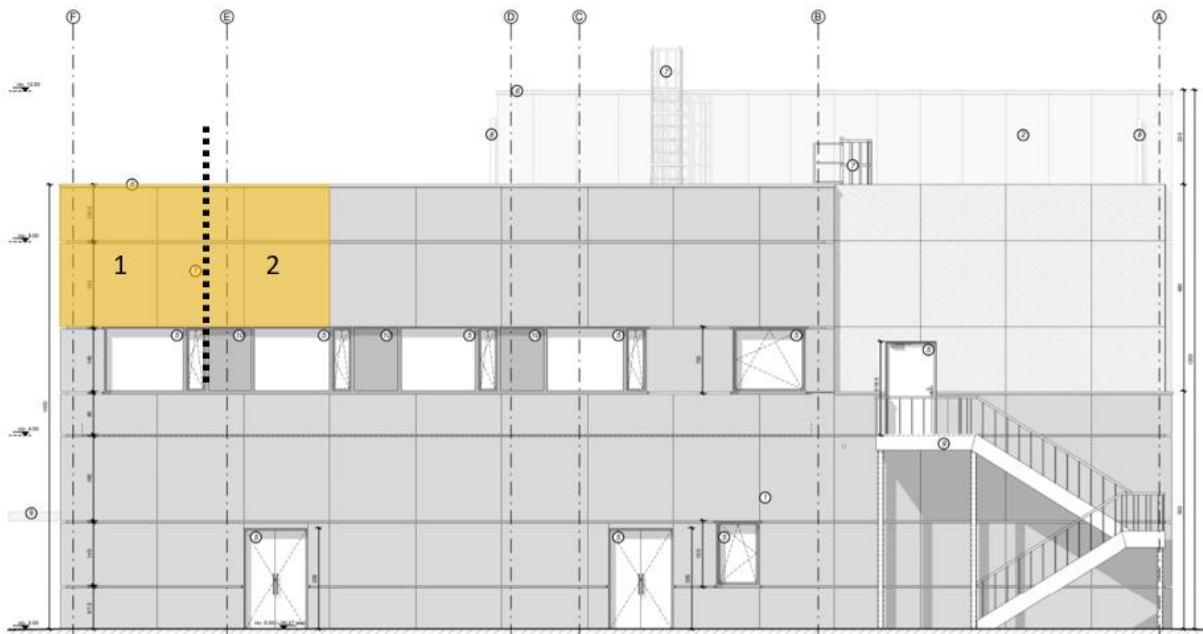
Voor het beschouwde PBGP wordt de totale kostprijsvergelijking voor de beschouwde opgehangen uitvoering met gevelplaatankers en borstweringsankers weergegeven in Tabel 21.

Tabel 21: Vergelijking gevelplaatanker vs. borstweringsanker – PBGP 200x325 cm

Omschrijving	Gevelplaat- anker	Borst- werings- anker	Eenheid	Opmerking
Productie PBGP				
Eenheidsprijs	230	230	€/m <sup>2</sup>	
<b>Totaal</b>	<b><u>1495</u></b>	<b><u>1495</u></b>	<b>€</b>	
Levering PBGP				
Eenheidsprijs	24,8	24,8	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>24,8</u></b>	<b><u>24,8</u></b>	<b>€</b>	
Montage werkuren				
Eenheidsprijs	232	232	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>232</u></b>	<b><u>232</u></b>	<b>€</b>	
Montage werfinrichting				
Eenheidsprijs	50,8	50,8	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>50,8</u></b>	<b><u>50,8</u></b>	<b>€</b>	
Verankeringsmiddelen				
Eenheidsprijs	272,7	515,8	€/paneel	
<b>Totaal</b>	<b><u>272,7</u></b>	<b><u>515,8</u></b>	<b>€</b>	
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>2075,3</b>	<b>2318,4</b>	<b>€</b>	
Verschil (absoluut)	-	243,1	€	T.o.v. gevel- plaatanker
<b>Verschil (percentage)</b>	-	<b>11,7</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. gevel- plaatanker</b>

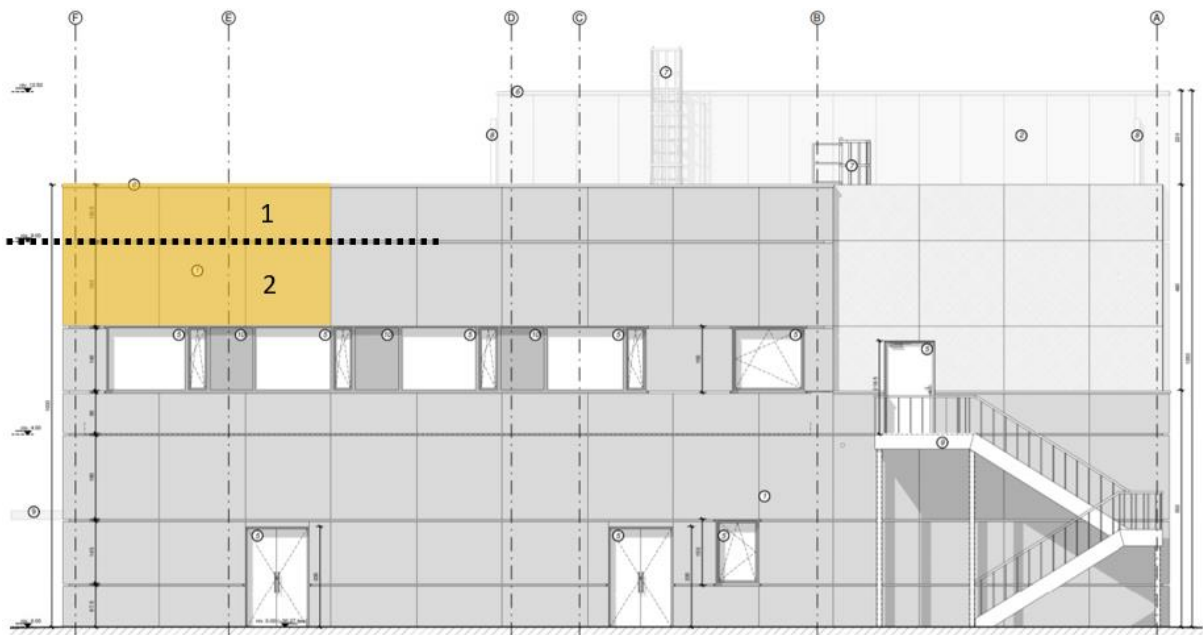
### 3.4.6 Vergelijking 6: 2 PBGP met gevelplaatankers vs. 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers

Vergelijking 4 en 5 beschouwen vergelijkingen waarbij de afmetingen van de PBGP met gevelplaatankers gelijk zijn aan de afmetingen voor PBGP met borstweringsankers. Bij vergelijking 6 wordt een grotere zone van PBGP beschouwd zodat deze zone opgedeeld kan worden op verschillende manieren. Case 1 – zoals Figuur 53 weergeeft – verdeelt de gele zone in twee PBGP door middel van een verticale fysieke voeg tussen de panelen. Deze voeg situeert zich in het midden van de overspanning van de gele PBGP. De voegverdeling binnen deze gele zone – in grijze lijnen aangeduid – wordt verwaarloosd.



*Figuur 53: 2 PBGP met gevelplaatankers*

Bij case 2 – zoals Figuur 54 weergeeft – wordt de initiële voegverdeling van de architect wel gerespecteerd. Hierbij loopt de horizontale voeg op 135 cm van de bovenkant van het bovenste PBGP. Deze horizontale voeg is de scheidingslijn tussen de twee PBGP.



Figuur 54: 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers

### Case 1: 2 PBGP met gevelplaatankers

Zoals eerder vermeld wordt bij case 1 de gele zone opgedeeld in twee PBGP die beide opgehangen worden met gevelplaatankers. De verticale voeg situeert zich in het midden van de zone zodat twee even grote PBGP bekomen worden. Figuur 55 toont de ingevulde gegevens in de rekensoftware 'Gevelplaatanker FPA' voor een PBGP dat opgehangen wordt aan het horizontaal oppervlak van de dragende plaat.

General Openings Strengthenings Loads **Anchorage** x Graphic input Anchor system selection

Support anchor FPA

	Left	Right
Anchor type	FPA_5A	FPA_5A
l1 [cm]	65.0	65.0
br [cm]	126.0	126.0
hx user defined [cm]	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Top Restraint

l2 [cm]	45.0	45.0
ho [cm]	130.0	130.0

Bottom Restraint

Restraint type	Left	Right
Restraint type	Horizont...	Horizont...
l3 [cm]	45.0	45.0
hu [cm]	30.0	30.0

preselection of fixing

fixing with	HTA Cha...	HTA Cha...
-------------	------------	------------

Figuur 55: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 313x330 cm met gevelplaatankers – case 1

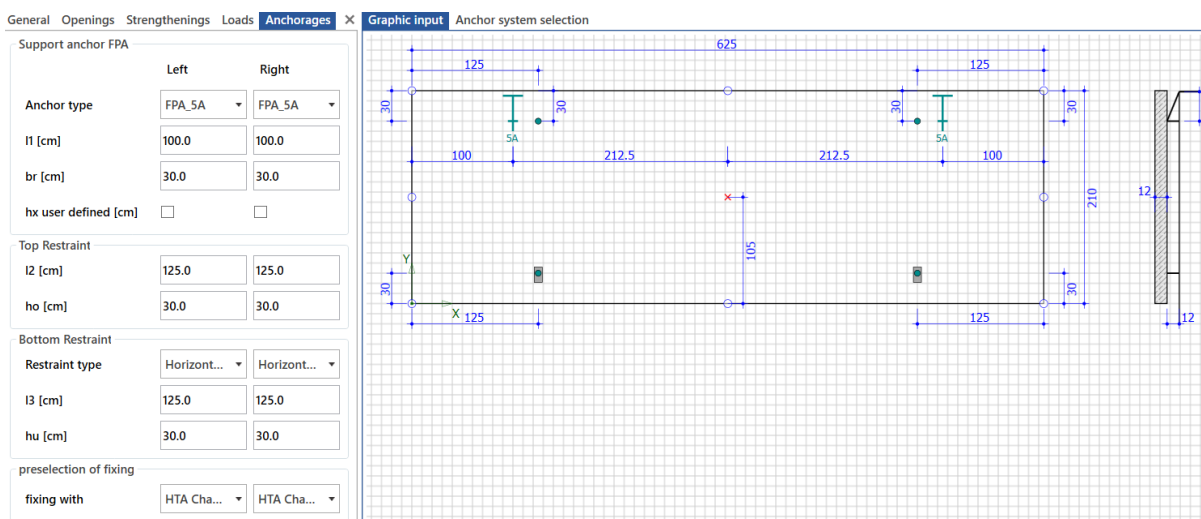
De kostprijs voor de verankeringsmiddelen van een PBGP van 313x330x12 cm wordt weergegeven in tabel 22.

Tabel 22: Verankeringsmiddelen gevelplaatanker case 1 - PBGP 313x330 cm

Omschrijving	Gevelplaat- anker	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>			
Kostprijs verankering onderaan	45,4	€/st	FPA met windanker LD-A-3,5-12
Aantal verankeringen	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	28,9	€/st	FPA met afstoter DS13-M16x155
Aantal verankeringen	2	st	
<b>Verticale verankeringen</b>			
Kostprijs ophanging	139,9	€/st	FPA-5A-G-16-120
Aantal verankeringen	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>428,7</b>	<b>€</b>	<b>Voor 1 PBGP</b>

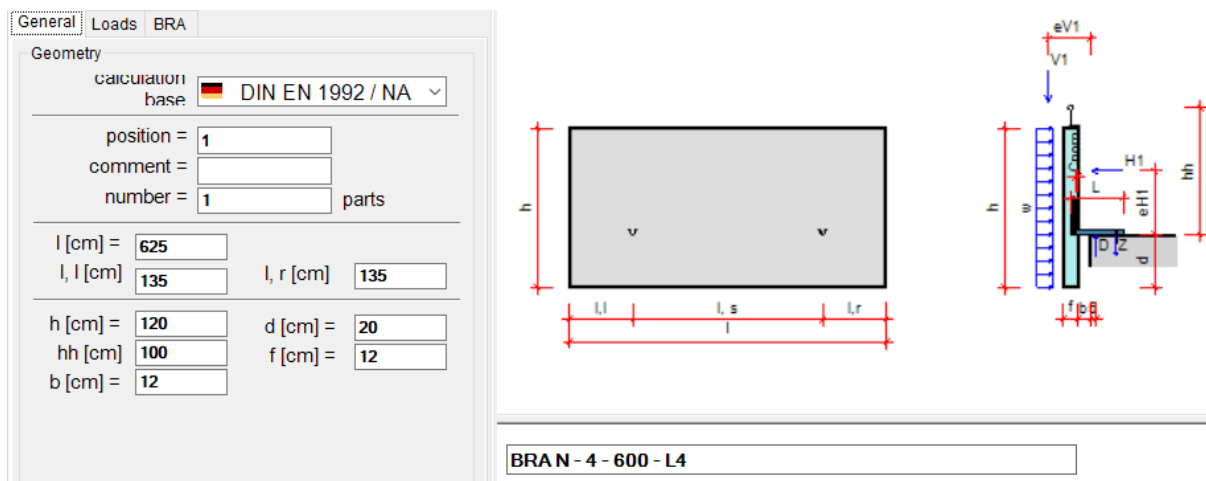
### Case 2: 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers

Case 2 beschouwt een indeling van de gele zone waarbij het onderste en bovenste PBGP een lengte hebben van 625 cm. Het onderste PBGP wordt opgehangen aan het horizontaal oppervlak van de betonnen plaat met gevelplaatankers, terwijl het bovenste PBGP bevestigd wordt met borstweringsankers. De ingevulde gegevens voor het PBGP met gevelplaatankers zijn weergegeven in Figuur 56.



Figuur 56: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 625x210 cm met gevelplaatankers – case 2

Figuur 57 geeft de ingevulde gegevens weer voor de uitvoering van het bovenste PBGP met borstweringsankers.



Figuur 57: Ingevlude data voor opgehangen PBGP 625x210 cm met borstweringsankers – case 2

Tabel 23 geeft een overzicht van de kostprijs van de PBGP met gevelplaat- en borstweringsankers van case 2.

Tabel 23: Verankeringsmiddelen PBGP met FPA en PBGP met BRA case 2 – variërende afmetingen PBGP

Omschrijving	Gevel- plaatanker	Borst- weringsanker	Eenheid	Opmerking
Horizontale verankeringen				
Kostprijs verankering onderaan	45,4	-	€/st	FPA met windanker LD-A-3,5-12
Aantal verankeringen	2	-	st	
Kostprijs verankering bovenaan	28,9	-	€/st	FPA met afstoter DS13-M16x155
Aantal verankeringen	2	-	st	
Verticale verankeringen				
Kostprijs ophanging	159,9	257,9	€/st	Gevelplaatanker met FPA-5A-G-22-120 Borstweringsanker met BRA-7-700-L4 (beide incl. chemische ankers)
Aantal verankeringen	2	2	st	NVT
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>469</b>	<b>515,8</b>	<b>€</b>	

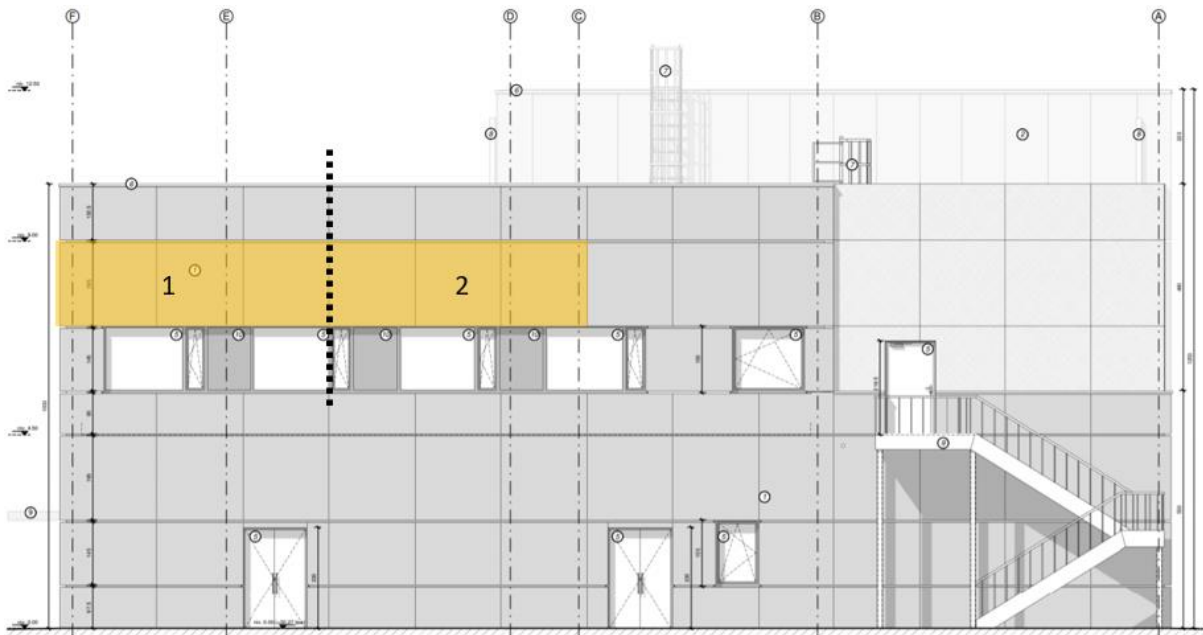
Tabel 24 geeft een overzicht van de totale kostprijs vanaf productie t.e.m. montage voor de beschouwde zone. Case 1 beschouwt enkel de ophanging van de PBGP met gevelplaatankers, terwijl case 2 een combinatie van gevelplaatankers en borstweringsankers beschouwt. In deze prijsvergelijking wordt aangenomen dat de eenheidsprijzen voor paneel 1 en 2 bij zowel case 1 als 2 gelijk is aan €220/m<sup>2</sup>. Deze aanname wordt gemaakt aangezien in beide cases het aantal PBGP en de totale oppervlakte voor de gele zone gelijk is.

Tabel 24: Vergelijking PBGP voor case 1 en case 2 – afmetingen zone 625x330 cm

Omschrijving	Case 1 (enkel gevelplaat-ankers)	Case 2 (gevelplaatankers en borstweringsankers)	Eenheid	Opmerking
<b>Productie PBGP</b>				
Eenheidsprijs	220 220	220 220	€/m <sup>2</sup>	Paneel 1 Paneel 2
<b>Totaal</b>	<b><u>4537,5</u></b>	<b><u>4537,5</u></b>	€	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Levering PBGP</b>				
Eenheidsprijs	39,4 39,4	50,5 28,7	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2
<b>Totaal</b>	<b><u>78,8</u></b>	<b><u>78,8</u></b>	€	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Montage werkuren</b>				
Eenheidsprijs	232 232	232 232	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2
<b>Totaal</b>	<b><u>464</u></b>	<b><u>464</u></b>	€	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Montage werfinrichting</b>				
Eenheidsprijs	50,8 50,8	50,8 50,8	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2
<b>Totaal</b>	<b><u>101,6</u></b>	<b><u>101,6</u></b>	€	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Verankeringsmiddelen</b>				
Eenheidsprijs	428,7 428,7	469 515,8	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2
<b>Totaal</b>	<b><u>857,3</u></b>	<b><u>984,8</u></b>	€	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>6039,2</b>	<b>6166,7</b>	€	
Verschil (absoluut)	-	127,5	€	T.o.v. case 1
<b>Verschil (percentage)</b>	-	<b>2,1</b>	%	<b>T.o.v. case 1</b>

### 3.4.7 Vergelijking 7: opgehangen klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP

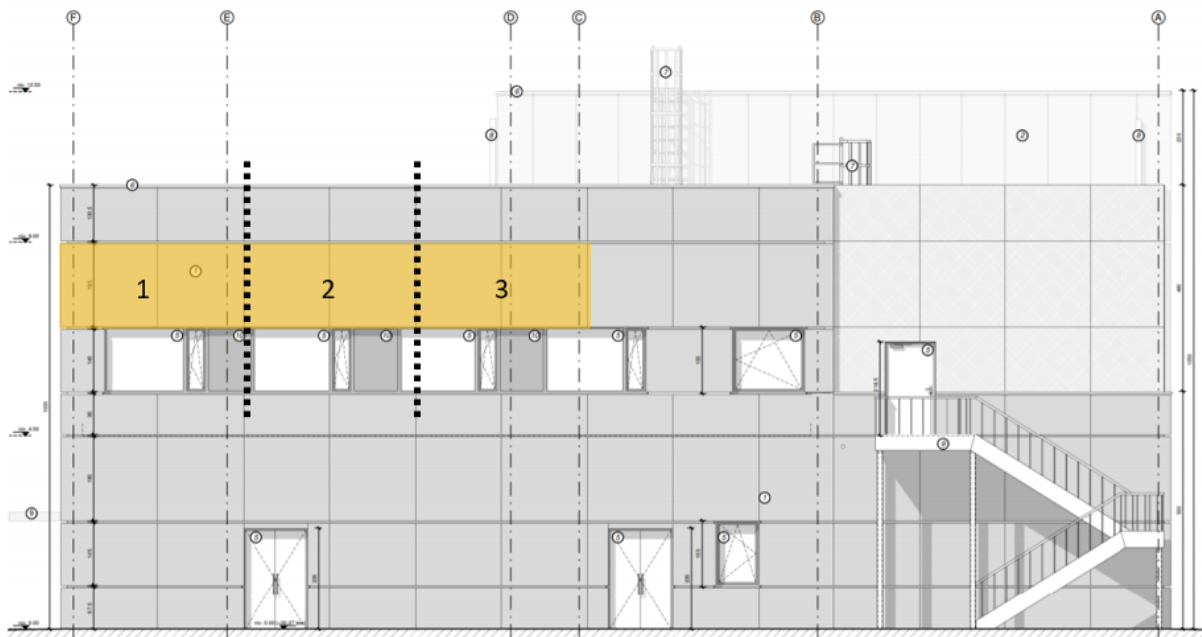
Naast de keuze voor de bevestigingstechnieken is de opdeling van een zone in meerdere PBGP van belang. In deze vergelijking wordt een zone beschouwd waarbij de PBGP opgehangen worden met gevelplaatankers. Hierbij wordt de beschouwde zone in verschillende groottes van oppervlakte opgedeeld. Figuur 58 beschouwt een opdeling waarbij de zone slechts uit twee PBGP bestaat (case 1). Voor case 1 worden twee PBGP met dezelfde afmetingen beschouwd. Deze PBGP hebben relatief grote afmetingen.



*Figuur 58: Opdeling in 2 relatief grote opgehangen PBGP – case 1*

Figuur 59 beschouwt een opdeling van de gele zone in drie relatief kleine PBGP (case 2). De opdeling van de gele zone in verschillende PBGP gebeurt op zulke wijze dat drie even grote PBGP bekomen worden.

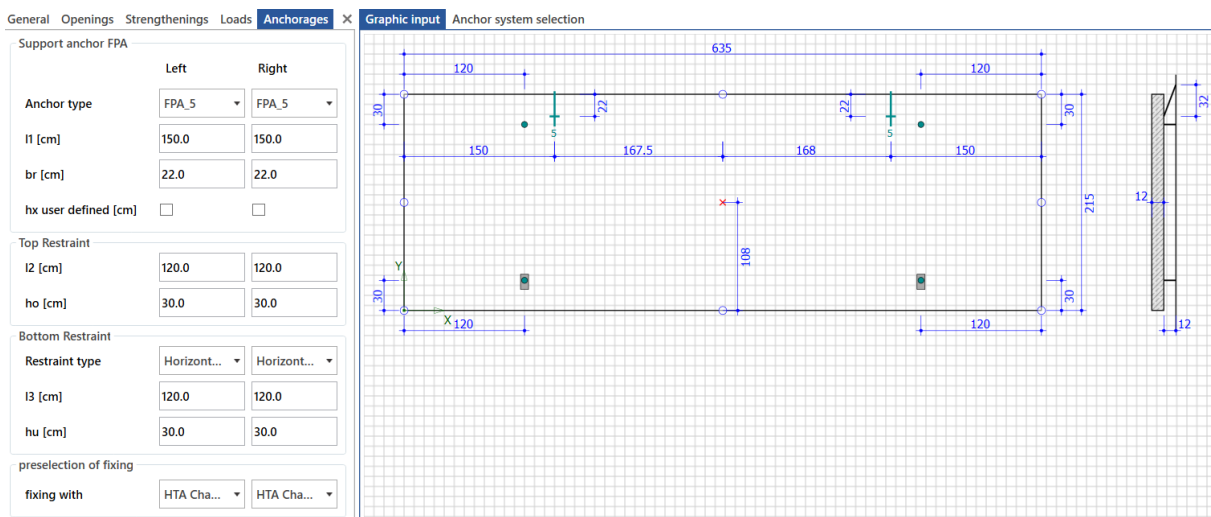




Figuur 59: Opdeling in 3 relatief kleine opgehangen PBGP – case 2

### Case 1: 2 opgehangen PBGP met gevelplaatankers

Case 1 behandelt een opdeling van de zone in twee PBGP. Het bepalen van de gevelplaatankers wordt bepaald met de rekensoftware van Halfen zoals weergegeven wordt op Figuur 60.



Figuur 60: Ingevulde data voor opgehangen PBGP 635x215 cm met gevelplaatankers – case 1

In tabel 25 wordt de kostprijs voor de verankeringsmiddelen per PBGP weergegeven.

Tabel 25: Verankeringsmiddelen opgehangen gevelplaatanker case 1 – PBGP 635x215 cm

Omschrijving	Case 1	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankerungen</b>			
Kostprijs verankering onderaan	45,4	€/st	FPA met windanker LD-A-3,5-12
Aantal verankerungen	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	28,9	€/st	FPA met afstoter DS13-M16x155
Aantal verankerungen	2	st	
<b>Verticale verankerungen</b>			
Kostprijs ophanging	131,6	€/st	FPA-5-G-22-120
Aantal verankerungen	2	st	
<b>Totale kostprijs verankerungen</b>	<b>411,9</b>	<b>€</b>	<b>Voor 1 PBGP</b>

### Case 2: 3 PBGP met gevelplaatankers

Op Figuur 61 zijn de inputgegevens voor case 2 weergegeven. Case 2 bestudeert de kostprijs van drie relatief kleine PBGP.

The screenshot shows a software interface for anchor system selection. The left panel contains the following input fields:

- Support anchor FPA:**
  - Anchor type: FPA\_5 (Left), FPA\_5 (Right)
  - l1 [cm]: 100.0 (Left), 100.0 (Right)
  - br [cm]: 18.0 (Left), 18.0 (Right)
  - hx user defined [cm]:  (Left),  (Right)
- Top Restraint:**
  - l2 [cm]: 75.0 (Left), 75.0 (Right)
  - ho [cm]: 30.0 (Left), 30.0 (Right)
- Bottom Restraint:**
  - Restraint type: Horizont... (Left), Horizont... (Right)
  - l3 [cm]: 75.0 (Left), 75.0 (Right)
  - hu [cm]: 30.0 (Left), 30.0 (Right)
- preselection of fixing:**
  - fixing with: HTA Cha... (Left), HTA Cha... (Right)

The right panel shows a 'Graphic input' diagram of a rectangular anchor system. The main diagram is a grid with dimensions: total width 423 cm, total height 215 cm. Horizontal dimensions include 75 cm, 100 cm, 112 cm, 111.5 cm, and 100 cm. Vertical dimensions include 30 cm, 108 cm, and 30 cm. A cross-section view on the right shows a vertical plate with a width of 28 cm and a height of 12 cm.

Figuur 61: Inge vulde data voor opgehangen PBGP 423x215 cm met gevelplaatankers – case 2

Tabel 26 geeft de kostprijs weer voor de relatief kleine PBGP. Zoals bij case 1 het geval is, worden deze PBGP met gevelplaatankers opgehangen.

Tabel 26: Verankeringsmiddelen opgehangen gevelplaatanker case 2 – PBGP 423x215 cm

Omschrijving	Case 2	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>			
Kostprijs verankering onderaan	45,4	€/st	FPA met windanker LD-A-3,5-12
Aantal verankeringen	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	21,9	€/st	FPA met afstoter DS13-M12x155
Aantal verankeringen	2	st	
<b>Verticale verankeringen</b>			
Kostprijs ophanging	114	€/st	FPA-5-G-16-120
Aantal verankeringen	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>362,8</b>	<b>€</b>	<b>Voor 1 PBGP</b>

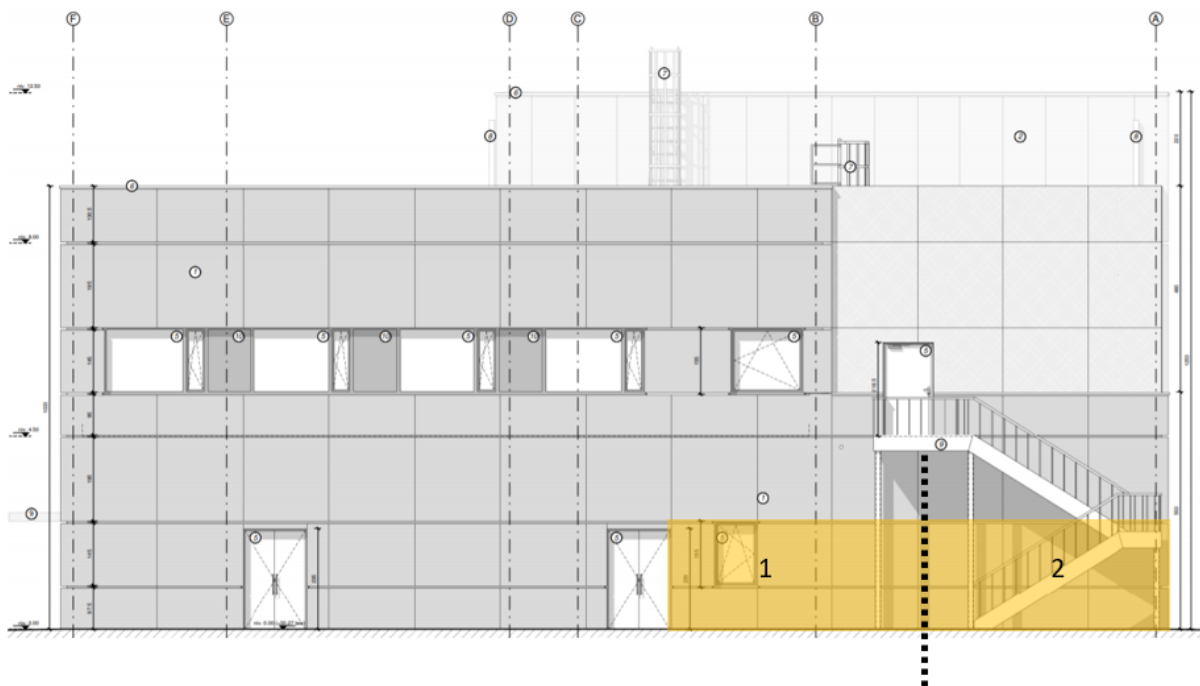
Tabel 27 vergelijkt de hiervoor beschreven gevallen. Dit is een overzicht van de kostprijs vanaf productie PBGP t.e.m. montage waarbij de beschouwde PBGP worden opgehangen met gevelplaatankers.

Tabel 27: Vergelijking opgehangen PBGP voor case 1 en case 2 – afmetingen zone 1270x215 cm

Omschrijving	Case 1 (2 PBGP van 635x215 cm)	Case 2 (3 PBGP van 423x215 cm)	Eenheid	Opmerking
<b>Productie PBGP</b>				
Eenheidsprijs	210 210 -	230 230 230	€/m <sup>2</sup>	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>5734,1</u></b>	<b><u>6280,1</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor hele zone opgeteld
<b>Levering PBGP</b>				
Eenheidsprijs	52,2 52,2 -	34,8 34,8 34,8	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>104,4</u></b>	<b><u>104,4</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Montage werkuren</b>				
Eenheidsprijs	232 232 -	232 232 232	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>464</u></b>	<b><u>696</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Montage werfinrichting</b>				
Eenheidsprijs	50,8 50,8 -	50,8 50,8 50,8	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>101,6</u></b>	<b><u>152,3</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Verankeringsmiddelen</b>				
Eenheidsprijs	411,9 411,9 -	362,8 362,8 362,8	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>823,9</u></b>	<b><u>1088,5</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor 2 PBGP opgeteld
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>7227,9</b>	<b>8321,3</b>	<b>€</b>	
Verschil (absoluut)	-	1093,4	€	T.o.v. case 1
<b>Verschil (percentage)</b>	<b>-</b>	<b>15,1</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. case 1</b>

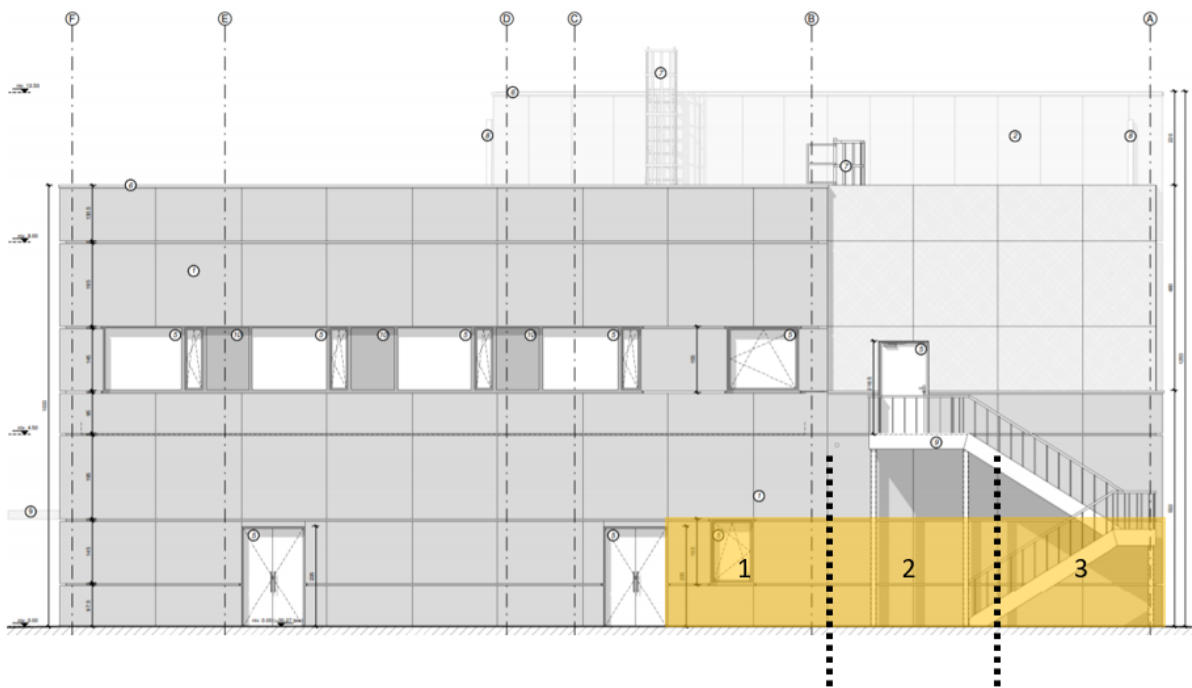
### 3.4.8 Vergelijking 8: gestapeld klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP

Vergelijking 8 is gelijkaardig aan vergelijking 7. De hiervoor gemaakte vergelijking beschouwt een zone van opgehangen PBGP. Daarentegen maakt vergelijking 8 de vergelijking tussen een klein aantal grote PBGP en een groot aantal kleine PBGP waarbij alle PBGP gestapeld worden. De afmetingen van de panelen zijn zo gekozen dat de panelen niet gekanteld moeten worden op de werf. Figuur 62 toont de opdeling van de gele zone weer in twee PBGP. Op onderstaande figuur is een raamopening weergegeven in het PBGP met nummer 1. Deze opening wordt niet in rekening gebracht en het PBGP met nummer 1 wordt als een volledig massieve PBGP zonder openingen beschouwd.



*Figuur 62: Opdeling in 2 relatief grote gestapelde PBGP – case 1*

Figuur 63 geeft de opdeling in drie relatief kleine PBGP weer. De opening in PBGP met nummer 1 wordt niet beschouwd zoals aangehaald bij de uitleg bij Figuur 62.



Figuur 63: Opdeling in 3 relatief kleine gestapelde PBGP – case 2

### Case 1: 2 gestapelde PBGP

Tabel 28 geeft de kostprijs van de verankersmiddelen weer voor een relatief groot PBGP. Verticale verankeringen zijn niet nodig aangezien het PBGP gestapeld wordt.

Tabel 28: Verankersmiddelen gestapeld case 1 – PBGP 580x235 cm

Omschrijving	Case 1	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>			
Kostprijs verankering onderaan	13,2	€/st	Verstifting HFV-5 – 5 kN
Aantal verankeringen	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	64	€/st	Gestapeld met windanker LD-A-6-16
Aantal verankeringen	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>154,4</b>	<b>€</b>	<b>Voor 1 PBGP</b>

### Case 1: 2 gestapelde PBGP

In Tabel 29 wordt de kostprijs van de verankersmiddelen weergegeven voor een relatief klein PBGP.

Tabel 29: Verankeringsmiddelen gestapeld case 2 – PBGP 387x235 cm

Omschrijving	Case 2	Eenheid	Opmerking
<b>Horizontale verankeringen</b>			
Kostprijs verankering onderaan	13,2	€/st	Verstifting HFV-5 – 5 kN
Aantal verankeringen	2	st	
Kostprijs verankering bovenaan	45,4	€/st	Gestapeld met windanker LD-A-3,5-12
Aantal verankeringen	2	st	
<b>Totale kostprijs verankeringen</b>	<b>117,2</b>	<b>€</b>	<b>Voor 1 PBGP</b>

In Tabel 30 wordt een overzicht gegeven voor de kostprijsvergelijking tussen case 1 en case 2 waarbij voor beide gevallen gestapelde PBGP worden beschouwd.

Tabel 30: Vergelijking gestapelde PBGP voor case 1 en case 2 – afmetingen zone 1160x235 cm

Omschrijving	Case 1 (2 PBGP van 580x235 cm)	Case 2 (3 PBGP van 387x235 cm)	Eenheid	Opmerking
<b>Productie PBGP</b>				
Eenheidsprijs	210 210 -	230 230 230	€/m <sup>2</sup>	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>5724,6</u></b>	<b><u>6269,7</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor hele zone opgeteld
<b>Levering PBGP</b>				
Eenheidsprijs	52,1 52,1 -	34,7 34,7 34,7	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>104,2</u></b>	<b><u>104,2</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor hele zone opgeteld
<b>Montage werkuren</b>				
Eenheidsprijs	129 129 -	129 129 129	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>258</u></b>	<b><u>387</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor hele zone opgeteld
<b>Montage werfinrichting</b>				
Eenheidsprijs	28,2 28,2 -	28,2 28,2 28,2	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>56,4</u></b>	<b><u>84,6</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor hele zone opgeteld
<b>Verankeringsmiddelen</b>				
Eenheidsprijs	154,4 154,4 -	117,2 117,2 117,2	€/paneel	Paneel 1 Paneel 2 Paneel 3
<b>Totaal</b>	<b><u>308,7</u></b>	<b><u>351,7</u></b>	<b>€</b>	Prijs voor hele zone opgeteld
<b>Totaal kostprijs</b>	<b>6451,7</b>	<b>7197</b>	<b>€</b>	
Vershil (absoluut)	-	745,2	€	T.o.v. case 1
<b>Vershil (percentage)</b>	-	<b>11,6</b>	<b>%</b>	<b>T.o.v. case 1</b>

### 3.5 Discussie vergelijkingen verschillende bevestigingstechnieken

#### 3.5.1 Vergelijking 1 en 2: gestapeld vs. opgehangen PBGP (L>H en L<H)

De vergelijkingen tussen gestapelde en opgehangen PBGP tonen aan dat de kostprijs van opgehangen PBGP met gevelplaatankers aanzienlijk hoger is dan voor dezelfde PBGP met een gestapelde uitvoering. De kostprijs voor de verankeringen van de beschouwde opgehangen PBGP zijn respectievelijk 116% en 199% hoger dan voor dezelfde gestapelde PBGP. Wanneer deze percentages uitgedrukt worden in een absoluut verschil zijn deze respectievelijk €179 en €234.

Daarnaast is de totale kostprijs voor deze opgehangen PBGP hoger dan voor gestapelde PBGP. Het duurt namelijk minder lang om PBGP te stapelen dan dezelfde PBGP op te hangen. Voor vergelijking 1 resulteert de hogere kostprijs van de verankeringen en lagere plaatsingssnelheid voor opgehangen PBGP in een absoluut verschil van €305 of 10% in vergelijking met gestapelde PBGP. Bij vergelijking 2 resulteert een opgehangen uitvoering in een totale kostprijs die 15% hoger is dan voor een gestapelde uitvoering of €381.

Bij beide prijsvergelijkingen zijn de prijsverschillen te wijten aan de bijkomende verankeringen die nodig zijn om het PBGP op te hangen aan de achterliggende draagstructuur. Daarnaast ligt de plaatsingssnelheid voor opgehangen PBGP aanzienlijk lager dan voor gestapelde PBGP met een hogere kostprijs voor werkuren en werfinrichting tot gevolg.

#### 3.5.2 Vergelijking 3: bovenliggend vs. naastliggend gestapelde PBGP

De volgende vergelijking focust op twee uitvoeringen waarbij de PBGP gestapeld worden. Het verschil in deze vergelijking is de keuze tussen de PBGP naast elkaar of boven elkaar te stapelen. Hieruit blijkt dat de kostprijs voor het verankeren van de PBGP voor bovenliggende en naastliggende gestapelde PBGP hetzelfde is. De totaalcost voor de naastliggende uitvoering is 2% hoger dan voor de bovenliggende uitvoering of €129 in absolute waarde. Dit prijsverschil is te wijten aan het kantelen van de PBGP op de werf aangezien de hoogte voor de gekozen zone groter is dan 3,6 m waardoor deze niet getransporteerd kunnen worden naar de werf zoals ze geplaatst worden.

#### 3.5.3 Vergelijking 4 en 5: gevelplaatanker vs. borstweringsanker (L>H en L<H)

Vergelijking 4 en 5 maken de kostprijsvergelijkingen tussen opgehangen PBGP met gevelplaatankers en PBGP met borstweringsankers. Vergelijking 4 behandelt een PBGP waarbij de lengte en hoogte respectievelijk 4 m en 3,15 m bedragen. Uit deze vergelijking constateren we dat de kostprijs voor de verankeringsmiddelen voor het PBGP met borstweringsankers 114% hoger is dan voor de gevelplaatankeruitvoering. Dit resulteert in een totale kostprijs die 16% hoger is voor de uitvoering met borstweringsankers. Dezelfde algemene tendens bekomen we bij vergelijking 5 waarbij een opgehangen PBGP van 6,5 m<sup>2</sup> wordt beschouwd. De kostprijs voor de



verankeringsmiddelen en totale kostprijs voor de PBGP met borstweringsankers bedragen respectievelijk 68% en 10% meer dan voor de PBGP met gevelplaatankers.

Wanneer we de inputgegevens van de borstweringsankers op Figuur 49 bekijken van vergelijking 4 stellen we vast dat de dikte van het PBGP 15 cm bedraagt. Aanvankelijk werd een paneeldikte van 12 cm ingevuld. De rekensoftware 'Borstweringsanker BRA' berekende dat een paneeldikte van 12 cm ontoereikend is en de dikte verhoogd moet worden. De noodzaak aan een grotere paneeldikte is te wijten aan de grote oppervlakte van het beschouwde PBGP bij vergelijking 4. De grote paneelafmetingen impliceren een hogere categorie van borstweringsankers met dikkere ingestorte wapeningstaven in het PBGP – die bevestigd zijn aan het omega-profiel – tot gevolg. De paneeldikte moet verhoogd worden om de nodige tussenafstand en betondekking rond deze dikke staven te voorzien. De gemaakte aannames in paragraaf 3.3 zijn gebaseerd op een paneeldikte van 12 cm. Om een meer correcte prijsvergelijking te bekomen moeten de eenheidsprijzen opnieuw berekend worden voor een paneeldikte van 15 cm. De herberekening van de aannames is in deze thesis echter niet gemaakt. Het verhogen van de paneeldikte zal de eenheidsprijzen en de totale kostprijs van het PBGP met borstweringsankers in negatieve zin beïnvloeden in vergelijking met het PBGP met gevelplaatankers.

#### 3.5.4 Vergelijking 6: 2 PBGP met gevelplaatankers vs. 1 PBGP met gevelplaatankers en 1 PBGP met borstweringsankers

De volgende vergelijking focust op een zone waarbij verschillende combinaties van verankeringen mogelijk zijn. Enerzijds wordt gekeken naar een uitvoering van twee even grote en opgehangen PBGP met gevelplaatankers (case 1), anderzijds wordt een combinatie gevelplaatankers en borstweringsankers beschouwd (case 2). Na vergelijking van beide cases constateren we dat case 2 in beperkte mate duurder is dan case 1. De totale kostprijs van de verankeringsmiddelen van case 2 is 15% duurder dan case 1. Daarnaast is de totale kostprijs voor case 2 vanaf productie t.e.m. montage van de PBGP 2% hoger dan voor de uitvoering enkel met gevelplaatankers (case 1).

#### 3.5.5 Vergelijking 7: opgehangen klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP

Vergelijking 7 beschouwt een zone die op verschillende manieren opgedeeld wordt. Enerzijds worden twee PBGP met een gemiddelde oppervlakte van 13,4 m<sup>2</sup> bestudeerd (case 1), anderzijds worden drie relatief kleine PBGP met een gemiddelde oppervlakte van 9,1 m<sup>2</sup> beschouwd (case 2). Deze vergelijking toont aan dat de totale kostprijs voor de verankeringen van case 2 €267 hoger is dan voor case 1. Uitgedrukt in een percentage komt dit laatst genoemde getal neer op 32%. Door drie PBGP te voorzien zijn meer verankeringen nodig dan voor twee PBGP met een aanzienlijk hogere kostprijs tot gevolg. Daarnaast is de totale kostprijs vanaf de productie van de PBGP t.e.m. montage van de PBGP aanzienlijk hoger voor case 2 dan voor case 1. Het absolute verschil bedraagt namelijk €1093 of 15%. De reden voor dit grote verschil is enerzijds te wijten aan het extra aantal verankeringen en anderzijds aan de bijkomende handelingen om een extra PBGP op te hangen.

### 3.5.6 Vergelijking 8: gestapeld klein aantal grote PBGP vs. groot aantal kleine PBGP

Vergelijking 8 focust op hetzelfde concept als vergelijking 7. In vergelijking 8 worden een klein aantal relatief grote gestapelde PBGP (case 1) vergeleken met een groter aantal kleine gestapelde PBGP (case 2). De relatief grote PBGP bij case 1 resulteren in een kleiner aantal verankeringen. Deze verankeringen worden echter zwaarder belast waardoor ze grotere afmetingen hebben. Vergelijking 8 toont aan dat de kostprijs voor de verankeringen van case 2 €43 meer bedraagt dan voor case 1. Wanneer we de totale kostprijzen vergelijken is de kostprijs van case 2 12% hoger dan voor case 1. In absolute waarde stemt dit percentage overeen met een bedrag van €745. De redenering van extra verankeringsmiddelen en bijkomende handelingen op de werf – zoals beschreven in 3.5.5 – is analoog voor vergelijking 8.



## 4 Determineerkaart

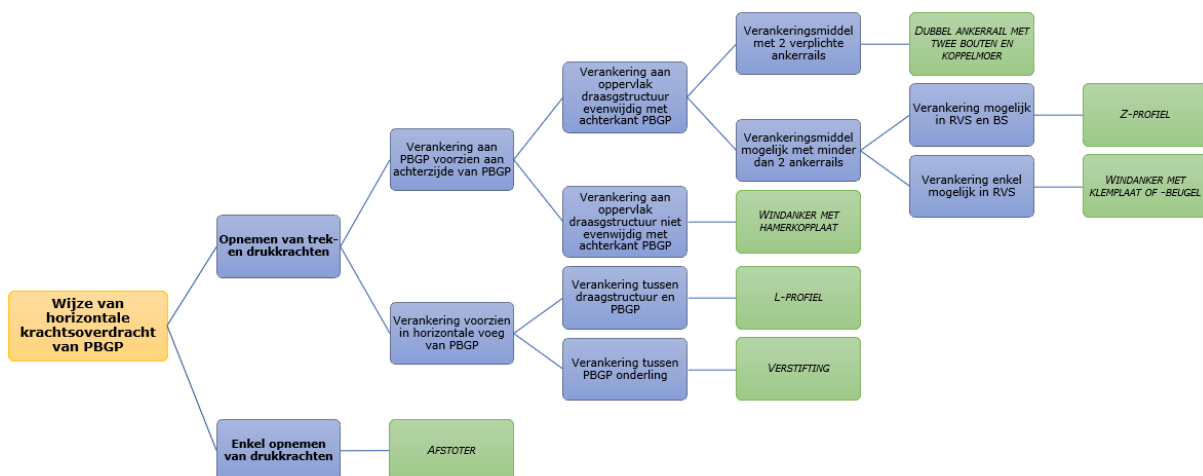
### 4.1 Opbouw determineerkaart

Op basis van de verzamelde gegevens uit het hoofdstuk 2 'Onderzoek naar bestaande bevestigingstechnieken PBGP' worden twee determineerkaarten opgesteld, namelijk voor het opnemen van horizontale krachten en voor het opnemen van verticale krachten. Deze determineerkaarten maken het mogelijk om voor een project te bekijken welke verankeringsmiddelen mogelijk zijn aan de hand van de randvoorwaarden van de draagstructuur en de gestelde eisen van het project.

De determineerkaarten zijn van links naar rechts opgebouwd. Bij het volgen van de determineerkaart is de gele kader het vertrekpunt. Daarna moeten de twee volgende, aangrenzende blauwe vakken bestudeerd worden. Daarin staat telkens een stelling die van toepassing kan zijn voor het beschouwde PBGP. Hieruit dient een optie gekozen te worden om op deze manier de volgende stellingen – grenzend aan het gekozen blauwe vak – te bestuderen. Dit proces wordt herhaald tot aan een groene kader. In de groene kader staat de benaming van het verankeringsmiddel dat toegepast moet worden voor het PBGP. In sommige gevallen is het mogelijk dat de draagstructuur en de gestelde eisen aan het project verschillende bevestigingstechnieken toelaten.

### 4.2 Determineerkaart horizontale krachten

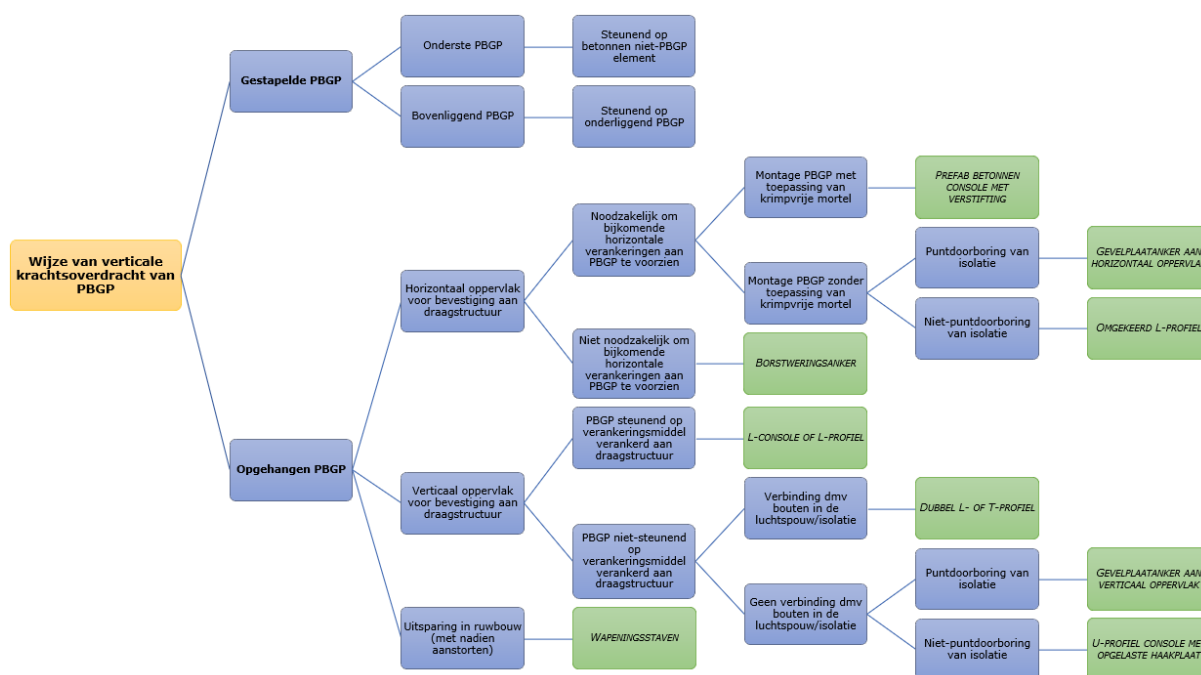
De determineerkaart die op Figuur 64 wordt weergegeven dient gebruikt te worden zoals in de vorige paragraaf besproken wordt. De zeven besproken systemen van paragraaf 2.7 zijn opgenomen in deze determineerkaart. Wanneer onderaan het PBGP andere resulterende krachten mogelijk zijn dan bovenaan moet de determineerkaart twee keer gebruikt worden om te bepalen welk verankeringsmiddel onderaan en welk verankeringsmiddel bovenaan toegepast moeten worden. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer onderaan het PBGP geen afschuiving – die van de draagstructuur weg georiënteerd is – mogelijk is door een aangevulde grondlaag naast het PBGP.



Figuur 64: Determineerkaart voor horizontale krachtsoverdracht

### 4.3 Determineerkaart verticale krachten

Figuur 65 geeft de determineerkaart weer voor de verticale krachtsoverdracht van PBGP. Het gebruik van de determineerkaart wordt in paragraaf 4.1 beschreven. De kaart is opgedeeld in twee grote subgroepen, namelijk gestapelde en opgehangen PBGP. De stelling 'Puntdoorboring van isolatie' kan beoordeeld worden door een snede te maken in de isolatielaag die evenwijdig is met de achterkant van het PBGP. Het uitsnijden en aanwerken van de isolatie vergt namelijk extra handelingen op de werf, met een hogere kostprijs voor het PBGP tot gevolg. De gevolgen voor de EPB-eisen worden niet verder beschouwd in deze thesis. Wanneer we de determineerkaart gedetailleerd bekijken, constateren we dat een gevelplaatanker zowel toegepast kan worden aan een horizontaal als aan een verticaal oppervlak.



Figuur 65: Determineerkaart voor verticale krachtsoverdracht

## 5 Keuzematrix

Door de keuzematrix te programmeren in een Excel-bestand is dit een gebruiksvriendelijk hulpmiddel waarbij verschillende criteria de uitkomst van de keuzematrix bepalen. Om een correcte keuzematrix te bekomen, moeten eerst de beoordelingscriteria opgesomd en duidelijk afgelijnd worden. Deze beoordelingscriteria worden opgesteld voor de bevestigingstechnieken om horizontale krachten op te nemen alsook voor de bevestigingstechnieken die verticale krachten opnemen.

Voor de keuzematrices van de horizontale en verticale krachten wordt een onderscheid gemaakt tussen de numerieke en niet-numerieke beoordelingscriteria. De numerieke beoordelingscriteria geven een score van 0 tot en met 10 en kunnen eenvoudig herleid worden naar numerieke gegevens van de verschillende bevestigingstechnieken. Het gewicht van elk criterium dient handmatig ingevuld te worden naar persoonlijke inschatting van de gebruiker van de keuzematrix. Daarnaast zijn enkele niet-numerieke beoordelingscriteria gedefinieerd. Deze criteria zijn niet cijfermatig maar geven op een beschrijvende manier informatie over de verankeringsmiddelen. Met behulp van gestelde randvoorwaarden die geldig zijn voor een bepaald project voor het plaatsen van de PBGP kunnen enkele bevestigingstechnieken weerhouden worden op basis van deze niet-numerieke beoordelingscriteria.

### 5.1 Opbouw keuzematrix

Elke keuzematrix bestaat uit volgende drie onderdelen:

- Inputveld (eerste tabblad in Excel-bestand)
- Keuzematrix met score op 10
- Keuzematrix met score/kostprijs-verhouding

Figuur 66 geeft het inputveld weer voor de keuzematrix van de horizontale krachten. Dit inputveld moet ingevuld worden om aan te geven welke criteria mee in rekening gebracht worden en om de gewichten per criterium te bepalen. Het aanduiden of een criterium van belang is, gebeurt door middel van een drop-down list met de keuze tussen 'Ja' en Nee'. De matrix is zo geprogrammeerd dat wanneer aangeduid wordt dat het criterium niet van belang is, dit criterium niet meegeteld wordt in de eindscore aangezien bij dit geval een nulrij in de keuzematrix wordt gevormd voor dit criterium. Een gelijkaardig inputveld dient ingevuld te worden voor de matrix van de verticale krachten zoals Figuur 67 weergeeft. In de volgende paragrafen wordt verder uitgelegd welke gegevens in dit inputveld nodig zijn.

Invullen belangrijkheid criteria - horizontale krachten			
	Criterium van belang voor berkening score	Toegekend gewicht criterium	
Belang van het opnemen van drukkrachten?	Ja		op 10
Belang van het opnemen van trekkrachten?	Ja		op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de lengterichting?	Ja		op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de hoogterichting?	Ja		op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de diepterichting?	Ja		op 10
Belang van de toepasbaarheid voor de spouwbreedtes?	Ja		op 10
Belang van de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit?	Ja		op 10
Belang van de van de plaatsingssnelheid van de verankering?	Ja		op 10
Belang van toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur?	Ja		op 10

Figuur 66: Inputveld horizontale verankeringen – blanco

Figuur 67 geeft het inputveld voor de verticale krachten weer. Het aanduiden van het belang van het criterium en het toekennen van het gewicht is analoog zoals beschreven bij Figuur 66.

Invullen belangrijkheid criteria - verticale krachten			
	Criterium van belang voor berkening score	Toegekend gewicht criterium	
Belang van het opnemen van toleranties in de lengterichting?	Ja		op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de hoogterichting?	Ja		op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de diepterichting?	Ja		op 10
Belang van de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit?	Ja		op 10
Belang van toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur?	Ja		op 10
Oriëntatie van verankeringsoppervlak van draagstructuur?	-		

Figuur 67: Inputveld verticale verankeringen – blanco

Figuur 68 geeft de keuzematrix weer voor de horizontale krachten. Bovenaan in de matrix zijn de eerste 9 criteria de numerieke criteria, terwijl criteria 10 t.e.m. 14 de niet-numerieke criteria voorstellen. Indien het inputveld op Figuur 66 op de correcte manier wordt ingevuld wordt een totaalscore op 10 bekomen per bevestigingstechniek zoals Figuur 68 illustreert. Kleurcodes zijn toegekend voor zowel de scores per criterium als de totaalscores (op 10) per systeem. Een groene kleurcode duidt op een hoge score, terwijl rood een lage score betekent. De kleurschakeringen tussen groen en rood – zoals geel en oranje – duiden op meer gematigde scores. Zoals te zien is op Figuur 68 is de kostprijs voor de verschillende bevestigingstechnieken nog niet in rekening gebracht in deze keuzematrix.

Ter indicatie wordt voor het inputveld van de horizontale krachten aan elk criterium een gewicht van 5 toegekend zodat de keuzematrix op Figuur 68 bekomen wordt. Dezelfde gewichten worden toegekend per criterium voor het inputveld voor de matrix van de verticale krachten, wat resulteert in de keuzematrix zoals weergegeven wordt op Figuur 69. Op Figuur 68 merken we op dat bij de afstoter geen totaalscore op 10 weergegeven wordt. Dit wordt veroorzaakt doordat de keuze van het criterium van de trekkrachten van belang is en bij dit criterium in het inputveld 'Ja' wordt aangeduid. Een afstoter kan geen trekkrachten opnemen en dit resulteert in een ongeldige finale score op 10 voor de afstoter.

Omschrijving	BEVESTIGINGSTECHNIKEN VOOR HORIZONTALE KRACHTEN												Gewicht (max 10)																
	Afstoter			Windanker met klemplaat of -beugel			Windanker met hamerkopplaat			Dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoe				L-profiel			Z-profiel			Verstifting									
	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB		BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	
Manier van verankeren in draagstructuur																													
1) Opnemen drukkrachten	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3
2) Opnemen trekkrachten	0	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3
3) Opnemen toleranties in hoofdrichting	10	6	10	6	10	10	6	10	10	10	10	6	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4
4) Opnemen toleranties in lengterichting	10	4	10	4	10	10	4	10	10	10	10	4	10	10	10	10	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4
5) Opnemen toleranties in dieptedichtheid	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	5
6) Toepasbaarheid bij spouwbreedtes	10	10	10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5
7) Verstreken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit bij 20°C	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5
8) Plaatsingsnelheid verankering	8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5
9) Toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur	6	2	6	2	6	6	2	6	6	6	6	2	6	6	6	6	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	
10) Verankering tussen PBGP onderling	Nee			Nee			Nee				Nee					Nee						Nee							
11) Verankering tussen PBGP en achterliggende draastructuur	Ja			Ja			Ja				Ja					Ja						Ja							
12) Verankering aan draagstructuur evenwijdig met achterkant PBGP	NVT			Ja			Nee				Ja					Ja						Ja							
13) Materiaal van verankeringsmiddel	RVS			RVS			RVS/BS				RVS/BS					RVS/BS						RVS/BS							
14) Vorm doorboring spouwisolatie	Punt			Punt			Punt				Punt					Punt						Lijn							
<b>Totaalscore</b>	-	300	370	350	290	360	340	270	290	350	330	285	350	330	240	285	350	330	240	285	350	330	285	350	330	240	285	350	450
<b>Totaalscore (op 10)</b>	-	6,7	8,2	7,8	6,4	8,0	7,6	6,0	6,4	7,8	7,3	6,3	7,8	7,3	6,3	6,3	7,8	7,3	6,3	6,3	7,8	7,3	6,3	7,8	7,3	6,3	7,8	5,3	10

Figuur 68: Keuzematrix horizontale krachten met score op 10 – elk gewicht 5



Omschrijving	BEVESTIGINGSTECHNIEN VOOR VERTICALE KRACHTEN												Gewicht (max 10)															
	Gevelplaatanker aan verticaal oppervlak			Gevelplaatanker aan horizontaal oppervlak			Borstveringsanker			Omgekeerd L-profiel				Dubbel L- of T-profiel			Wapeningsstaven			L-consolle (of L-profiel)			U-profiel consolle met opgelaste haakplaat			Prefab betonnen consolle met verstijving		
	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	
Manier van verankering in draagstructuur	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1) Opnemen toleranties in hoogte	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2) Opnemen toleranties in lengte	6	10	10	6	10	10	6	10	10	10	10	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3) Opnemen toleranties in displering	10	10	10	2	4	4	6	6	6	6	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4) Verstrekken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit bij 20°C	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10
5) Toepassing systeem bij materiaal achterliggende structuur	5	8	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6) Oriëntatie verankeringsoppervlak aan draagstructuur	GB	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB
7) Bijkomende horizontale verankering nodig ter hoogte van ophangpunt	Verticaal	Ja	Ja	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal
8) Materiaal van verankermiddel	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS
9) Vorm doorboring spouwisolatie	Punt	Punt	Punt	Grillige vorm	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn
<b>Totaalscore</b>	195	230	220	155	185	175	145	175	165	145	175	165	145	175	165	145	175	165	145	175	165	145	175	165	145	175	165	145
<b>Totaalscore (op 10)</b>	7,8	9,2	8,8	6,2	7,4	7,0	5,8	7,0	6,6	5,8	6,4	6,6	5,8	6,4	6,6	5,8	6,4	6,6	5,8	6,4	6,6	5,8	6,4	6,6	5,8	6,4	6,6	5,8
<b>Max score</b>	85	250	250	85	150	150	85	150	150	85	150	150	85	150	150	85	150	150	85	150	150	85	150	150	85	150	150	85
<b>Max score (op 10)</b>	3,4	10	10	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4	6,0	6,0	3,4

Figuur 69: Keuzematrix verticale krachten met score op 10 – elk gewicht 5

Op Figuur 70 is de keuzematrix voor horizontale krachten via de score/kostprijs-verhouding weergegeven. In de rij 'Kostprijs [€]' op Figuur 70 dient de kostprijs voor elk verankeringsmiddel handmatig ingevuld te worden. Deze kostprijs dient berekend te worden door te bestuderen hoeveel een verankering kost voor het opnemen van bepaalde horizontale krachten. Op Figuur 70 zijn de kostprijzen weergegeven voor verankeringen die zowel 3 kN aan trek- als drukkrachten kunnen opnemen waarbij elke verankering voorzien is in RVS-uitvoering. Als voorbeeld worden dezelfde gewichten toegekend als weergegeven op Figuur 68. Het bepalen van de kostprijzen voor de score/kostprijs-verhouding wordt in de voorbeelden bij paragraaf 5.4 toegelicht. Bijlage A geeft de berekeningen weer die als voorbeeld gelden voor de keuzematrix van de horizontale krachten.

De weergegeven totaalscore (op 10) op Figuur 70 verschilt van de totaalscore (op 10) van Figuur 68. Voor de matrix op Figuur 70 moet handmatig bekeken worden hoeveel een verankering kost om bepaalde krachten op te nemen. Op deze manier heeft de gebruiker van de keuzematrix zelfstandig op een alternatieve manier de eerste twee criteria beoordeeld. De keuzematrix – zoals op Figuur 70 geïllustreerd – neemt de scores en gewichten op de eerste 2 criteria niet meer in rekening. De geprogrammeerde formules in het Excel-bestand bepalen vervolgens een verhouding waarbij de nieuwe score gedeeld wordt door de kostprijs van het verankeringsmiddel.

Een relatief hoge ratio voor de score/kostprijs-verhouding impliceert dat het verankeringsmiddel gunstig scoort per bestede euro. Daarentegen duidt een relatief lage ratio op een minder gunstige verankering. Deze ratio wordt beïnvloed door de ingevulde gewichten per criterium in het inputveld. Voor de keuzematrix van de verticale krachten geldt een analoge werkwijze. Deze worden aangetoond met enkele voorbeelden in de paragraaf 5.4.

Omschrijving	Afstoter	Windanker met klemplaat of -beugel	Windanker met hamerkopplaat	Dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoer	L-profiel (RVS)	Z-profiel (RVS)	Verstijving
Manier van verankeren in draagstructuur	-						-
Totaalscore [op 10]	8,9	6,6	8,0	5,7	6,0	5,9	6,0
Kostprijs [€]	-	46,55	31,28	67,42	53,78	58,78	13,37
Verhouding (score/kostprijs)	-	0,14	0,26	0,08	0,11	0,10	0,45
		0,20	0,26	0,08	0,15	0,14	0,13
		0,19	0,26	0,08	0,15	0,14	0,13
		8,0	8,0	7,4	7,7	7,1	7,1
		Chemisch anker	Chemisch anker	Chemisch anker	Mechanisch anker	Chemisch anker	Chemisch anker
		Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker
		Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail

Figuur 70: Keuzematrix horizontale krachten met score/kostprijs-verhouding – elk gewicht 5

Omschrijving	Geveplaatanker aan verticaal oppervlak	Geveplaatanker aan horizontaal oppervlak	Borstweringsanker	Omgekeerd L-profiel	Dubbel L- of T-profiel	Wapeningsstaven	L-console (of L-profiel)	U-profiel console met opgelaste haakplaat	Prefab betonnen console met verstijving
Manier van verankeren in draagstructuur	Chemisch anker	Chemisch anker	Chemisch anker	Chemisch anker	Chemisch anker	-	Chemisch anker	Chemisch anker	-
	Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker	Mechanisch anker	-	Mechanisch anker	Mechanisch anker	-
	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	-	Ankerrail	Ankerrail	-
Totaal score [op 10]	7,8	6,2	5,8	5,0	4,6	5,2	5,0	5,8	3,4
Kostprijs [€/paaseel]	9,2	7,4	7,0	6,6	6,4	800,00	6,8	6,4	400
Verhouding (score x10/kostprijs)	474,04	530,80	860,68	310,86	260,86	0,07	755,15	1030,86	0,06
	0,20	0,12	0,07	0,16	0,18	0,26	0,09	0,06	0,09
	0,20	0,14	0,08	0,22	0,27	0,07	0,08	0,06	0,06

Figuur 71: Keuzematrix verticale krachten met score/kostprijs-verhouding – elk gewicht 5

## 5.2 Selectie numerieke beoordelingscriteria

De numerieke beoordelingscriteria zijn in de keuzematrix te herkennen aan de getallen in de bijhorende rijen bij de verschillende bevestigingstechnieken. Elk getal binnen de matrices gerelateerd aan een criterium situeert zich tussen 0 en 10. Een ongunstige eigenschap voor een criterium resulteert in een 0, terwijl een gunstige eigenschap resulteert in een 10. Voor elk criterium zijn scores tussen 0 en 10 mogelijk met een stapgrootte die varieert per criterium, deze worden toegelicht in de volgende paragrafen.

Daarnaast wordt aan elk criterium een gewicht toegekend met een maximum gewicht van 10 punten. Dit gewicht dient ingevuld te worden in het inputveld zoals weergegeven op Figuur 66 en 67. Het gewicht van elk criterium is vrij te kiezen door de gebruiker van de keuzematrix. De belangrijkheid van een criterium neemt toe naarmate het toegekende gewicht van het criterium toeneemt en beïnvloedt op deze manier de uitkomst van de matrix. Vergelijkingen 5 t.e.m. 7 geven weer welke formules geprogrammeerd zijn om per verankeringmiddel een score op 10 te bekomen op basis van de numerieke beoordelingscriteria (criterium 1 t.e.m. 9).

$$\textit{subtotaal} = \textit{score} * \textit{gewicht} \quad (5)$$

$$\textit{totaalscore} = \Sigma \textit{subtotaal} \quad (6)$$

$$\textit{score (op 10)} = \frac{\textit{totaalscore}}{\textit{maximum score}} * 10 \quad (7)$$

### 5.2.1 Horizontale krachten

In het tabblad 'Input' worden negen vragen gesteld met betrekking tot het belang van de optredende krachten, opneembare toleranties, toepasbaarheid bij spouwbreedtes, tijd tot het bereiken van 50%-sterktecapaciteit, plaatsingssnelheid en achterliggende draagstructuur. Bij elke vraag dient aangeduid te worden of het criterium van belang is of niet, gevolgd door een inputwaarde tussen 0 en 10 in de grijs gekleurde cel. In het geval 'Ja' wordt aangeduid voor het belang van het criterium heeft het toegekende gewicht een invloed op de totaalscore. Indien 'Nee' geselecteerd wordt voor een criterium worden alle toegekende scores per verankeringmiddel gelijkgesteld aan 0. Hierdoor zal het criterium niet meegerekend worden voor het bepalen van de totaalscore (op 10).

#### 5.2.1.1 Opnemen druk- en trekkrachten

De voornaamste functie van horizontale verankeringen is het opnemen en overbrengen van de horizontale krachten die inwerken op het PBGP. Het toepassen van een voldoende sterke verankering zorgt ervoor dat de uitlijning van het PBGP behouden blijft wanneer krachten inwerken op de gevelafwerking. Tabel 31 geeft de relatie weer tussen een toegekende score en de opneembare druk- en trekkrachten – uitgedrukt in kN – van een verankeringmiddel. In de keuzematrix is een apart criterium opgesteld voor de druk- en de trekkrachten. Bij wijze van voorbeeld toont Tabel 31 aan dat het verankeringmiddel 'type x' – dat zowel 9 kN druk- als trekkrachten kan opnemen – een score van 4 behaalt op beide criteria.

Tabel 31: Kwantificering score opneembare druk- en trekkrachten

Score	Opneembare druk-/trekkracht [kN]
0	0 – 2
1	2 – 4
2	4 – 6
3	6 – 8
4	8 – 10
5	10 – 12
6	12 – 14
7	14 – 16
8	16 – 18
9	18 – 20
10	20+

#### 5.2.1.2 Opnemen toleranties in hoogte- en lengterichting

Voor het opnemen van de toleranties in hoogte- en lengterichting bij plaatsing op de werf geldt de kwantificering die wordt weergegeven in Tabel 32. Een meer flexibel systeem behaalt een hogere score dan een niet-flexibel systeem. Figuur 68 toont aan dat de scores voor de toleranties in hoogterichting en toleranties in lengterichting niet altijd identiek zijn. Bij de toepassing van ankerrails bij windankers bedragen de scores voor de hoogte- en lengterichting respectievelijk 6 en 4 op 10. Hier is de aanname gemaakt dat het ankerrail verticaal wordt ingestort in de draagstructuur waardoor in de hoogterichting meer toleranties kunnen opgenomen worden dan in de lengterichting. Indien het ankerrail horizontaal ingestort wordt kunnen de scores van de betrokken criteria omgewisseld worden.

Tabel 32: Kwantificering score toleranties in hoogte- en lengterichting

Score	Opneembare tolerantie [in cm]
0	0 – 2
2	2 – 4
4	4 – 6
6	6 – 8
8	8 – 10
10	10+

#### 5.2.1.3 Opnemen toleranties in diepterichting

Voor het opnemen van toleranties in de diepterichting geldt een analoge redenering als beschreven wordt in 5.2.1.3. De stapgrootte uitgedrukt in cm tussen twee scores is echter kleiner aangezien de positie van de draagstructuur van groot belang is voor de stabiliteit van de constructie. Hierdoor zijn de afwijkingen van de draagstructuur beperkt. Tabel 33 geeft de relatie tussen de score en de opneembare toleranties weer.

Tabel 33: Kwantificering score toleranties in dieptherichting

Score	Opneembare tolerantie [in cm]
0	0 – 1
2	1 – 2
4	2 – 3
6	3 – 4
8	4 – 5
10	5+

#### 5.2.1.4 Toepasbaarheid spouwbreedtes

Bepaalde systemen – zoals het systeem ‘dubbel ankerrail met twee hamerkopbouten en koppelmoer’ – nemen een relatief grote ruimte van de spouwbreedte in waardoor ze niet toegepast kunnen worden bij relatief kleine spouwbreedtes. Daarnaast is de lengte van dit systeem beperkt verkrijgbaar. Hierdoor scoort het hiervoor genoemde systeem het minst goed op het criterium ‘toepasbaarheid bij spouwbreedtes’. Andere horizontale verankeringen zijn verkrijgbaar in zeer variërende dimensies waardoor ze toegepast kunnen worden bij zowel relatief kleine spouwbreedtes als bij grote spouwbreedtes. Flexibele verankeringen op vlak van toepasbaarheid bij de variatie van de spouwbreedtes behalen een relatief hoge score. Tabel 34 geeft de scores op dit criterium weer.

Tabel 34: Kwantificering score variatie spouwbreedtes

Score	Variatie [in cm] voor toepassing spouwbreedtes
0	0 – 5
2	5 – 10
4	10 – 15
6	15 – 20
8	20 – 25
10	25+

#### 5.2.1.5 Verstreken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit

Tabel 35 geeft de score weer voor de uithardingstijd van een verankeringsmiddel. Het verband tussen de score en uithardingstijd is niet lineair. Verankeringen die direct belastbaar zijn na het aanbrengen van de verankering aan de draagstructuur behalen een score van 10. Dit type verankering heeft namelijk geen uithardingstijd nodig. Voor verankeringen met toepassing van chemische ankers en krimpvrije mortel moet de droogtijd die opgegeven wordt in de technische fiches van de fabrikant gerespecteerd worden.

Tabel 35: Kwantificering score uithardingstijd bereiken 50%-sterktecapaciteit

Score	Uithardingstijd tot bereiken 50%-sterktecapaciteit bij 20°C
0	24+ uur
2	8 uur – 24 uur
4	2 uur – 8 uur
6	1 uur – 2 uur
8	1 min – 1 uur
10	0 min

#### 5.2.1.6 Plaatsingssnelheid verankering

Een ander criterium is de plaatsingssnelheid van een verankering. Met de plaatsingssnelheid wordt de tijd bedoeld die een arbeider nodig heeft om de verankering aan te brengen tijdens montage. De uithardingstijd van de verankering is niet van belang in dit criterium en wordt besproken in het hiervoor beschreven criterium. Verankeringen met chemische ankers scoren het minst gunstig. Het boren van een gat, het aanbrengen van de twee-componentenmortel en de ankerstang in het gat vergen aanzienlijk meer tijd en precisie dan andere verankeringen. Daarentegen behaalt een verstifting de beste score aangezien bij deze verankering montagehandelingen nodig zijn die minder lang duren.

Tabel 36: Kwantificering score plaatsingssnelheid

Score	Plaatsingssnelheid (kwalitatief)
0	Zeer traag
2	Traag
4	Matig
6	Gemiddeld
8	Snel
10	Zeer snel

#### 5.2.1.7 Toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur

Het volgend criterium focust op het materiaal van de achterliggende structuur. Dit criterium gaat na in welke mate het verankeringsmiddel toegepast kan worden bij de ondergrond van de draagstructuur. Het toepassen van een ankerrail is enkel toepasbaar wanneer de draagstructuur uit massieve beton bestaat. Hierdoor behaalt deze verankeringswijze een score van 2. Het toepassen van een verstifting is onafhankelijk van de keuze van de draagstructuur. De verstifting behaalt een score van 10.

Tabel 1 toonde aan dat gestorte betonnen structurelementen aanzienlijk betere eigenschappen hebben op vlak van weerstand tegen trekbelasting en afschuiving. Wanden opgebouwd uit blokken vragen extra controle wanneer verankeringen toegepast worden met chemische of mechanische ankers. Hierbij dienen de technische fiches van de fabrikanten geraadpleegd te worden en in sommige gevallen bijkomende proeven uitgevoerd te worden om na te gaan of een bepaalde verankering mogelijk is. Het symbool 'o' duidt op bijkomende controles op vlak van uittrek- en schuifsterkte van de verbinding met de draagstructuur.



Tabel 37: Kwantificering score toepasbaarheid bij materiaal achterliggende structuur

Score	Materiaal achterliggende structuur
2	GB
6	GB/K°/BB°/S°
10	Onafhankelijk

## 5.2.2 Verticale krachten

De keuzematrix voor verticale krachten is enkel van toepassing voor opgehangen PBGP. Gelijkaardig aan de input bij de keuzematrix van de horizontale krachten dient het inputveld van de matrix voor verticale krachten ingevuld te worden. Hier worden zes vragen gesteld die correct beantwoord moeten worden. Deze vragen hebben betrekking tot het opnemen van de toleranties, de tijd tot het bereiken van de 50%-sterktecapaciteit, de achterliggende draagstructuur en de oriëntatie van het verankeringsoppervlak. Zoals Figuur 67 weergeeft, dienen vijf numerieke criteria ingevuld te worden met het bijhorende gewicht per criterium. Voor het criterium met betrekking tot de oriëntatie van het verankeringsoppervlak dient de keuze gemaakt te worden tussen 'Horizontaal' en 'Verticaal'.

### 5.2.2.1 Opnemen toleranties in hoogte- en diepterichting

Tabel 38 geeft de relatie weer tussen de toegekende score en de opneembare toleranties in hoogte- en diepterichting. Een meer flexibel systeem behaalt een hogere score dan een niet-flexibel systeem.

Tabel 38: Kwantificering score toleranties hoogte- en diepterichting

Score	Opneembare tolerantie (in cm)
0	0 – 0,5
2	0,5 – 1
4	1 – 2
6	2 – 3
8	3 – 4
10	4+

### 5.2.2.2 Opnemen toleranties in lengterichting

Tabel 39 toont de relatie aan tussen de toegekende score en de opneembare toleranties in lengterichting. Voor Tabel 39 geldt een analoge redenering als voor Tabel 38. De stapgrootte voor de toleranties tussen twee scores is echter groter bij Tabel 39.

Tabel 39: Kwantificering score toleranties lengterichting

Score	Opneembare tolerantie (in cm)
0	0 – 0,5
2	0,5 – 2
4	2 – 4
6	4 – 6
8	6 – 8
10	8+

#### 5.2.2.3 Verstreken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit

Voor de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit bij de matrix voor verticale krachten geldt dezelfde puntenverdeling als voor de matrix voor de horizontale krachten. Tabel 32 geeft de zelfde relatie weer tussen de score en de uithardingstijd als Tabel 29. Een verankeringmiddel dat direct belastbaar is na het aanbrengen aan de draagstructuur behaalt een maximale score van 10.

Tabel 40: Kwantificering score uithardingstijd bereiken 50% sterktecapaciteit

Score	Uithardingstijd (50% sterktecapaciteit)
0	24+ uur
2	8 uur – 24 uur
4	2 uur – 8 uur
6	1 uur – 2 uur
8	1 min – 1 uur
10	0 min

#### 5.2.2.4 Toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur

Sommige bevestigingstechnieken kunnen enkel toegepast worden bij bepaalde ondergronden van de draagstructuur. Tabel 41 geeft de relatie weer tussen de score en de ondergrond die noodzakelijk is of een bepaald verankeringmiddel toelaat. Bij elk materiaal van de achterliggende draagstructuur dient gecontroleerd te worden of de draagstructuur voldoende sterk is om de aangrijpende krachten op te nemen. De bevestigingstechniek met uitstekende wapeningsstaven scoort het laagst op dit criterium met een score van 2. Bij plaatsing op de werf worden de wapeningsstaven aangebracht in de uitsparing om vervolgens aangestort te worden. Om deze reden wordt de uitvoering beschreven als ter plaatse gestorte beton (GB). Verankeringen met chemische en mechanische ankers behalen de hoogste score, namelijk een 8. De laatst genoemde verankeringen zijn in meerdere ondergronden van de draagstructuur mogelijk.

Tabel 41: Kwantificering score toepasbaarheid bij materiaal achterliggende structuur

Score	Materiaal achterliggende structuur
2	Ter plaatse GB
5	GB (ter plaatse en/of prefab)
8	GB/K°/BB°/S°

## 5.3 Selectie niet-numerieke beoordelingscriteria

In tegenstelling tot de numerieke criteria hebben de niet-numerieke criteria geen invloed op de totaalscore (op 10) per bevestigingstechniek. Om deze reden moeten de niet-numerieke beoordelingscriteria een voor een bekeken worden door de gebruiker van de matrix. Op basis van deze criteria kunnen enkele bevestigingstechnieken weerhouden worden. Deze criteria kunnen niet herleid worden naar numerieke gegevens van de verschillende bevestigingstechnieken.

### 5.3.1 Horizontale krachten

#### 5.3.1.1 *Verankering tussen PBGP onderling of tussen PBGP en achterliggende draagstructuur*

De plaatsingsvolgorde en andere randvoorwaarden bij een project kunnen impliceren dat horizontale krachten niet kunnen overgedragen worden naar de achterliggende draagstructuur. Enkel bij de bevestigingstechniek door middel van een verstifting is een onderlinge verbinding tussen PBGP mogelijk.

#### 5.3.1.2 *Verankering aan draagstructuur evenwijdig met achterkant PBGP*

Verankeringen met rechte hamerkopplaten kunnen enkel verankerd worden aan een oppervlak dat niet evenwijdig is met de achterkant van het PBGP. Hierdoor kunnen ze verankerd worden aan dagkanten van openingen of aan het uiteinde van de dragende elementen. Aangezien een verstifting en een afstoter niet vastgezet worden in de draagstructuur wordt bij deze bevestigingstechnieken 'NVT' vermeld. 'NVT' betekent 'niet van toepassing'.

#### 5.3.1.3 *Materiaal van verankeringsmiddel*

Bij dit criterium wordt het begrip 'verankeringsmiddel' beschouwd als: de onderdelen die niet rechtstreeks verankerd zijn in de draagstructuur of in het PBGP. Elk verbindingsmiddel is verkrijgbaar in roestvrij staal (RVS). Daarnaast zijn sommige verbindingsmiddelen ook verkrijgbaar in een uitvoering in behandeld staal (BS). Uitvoeringen zoals thermisch verzinken en galvaniseren vallen onder het begrip 'behandeld staal'. Zoals eerder vermeld in paragraaf 2.4 zijn verankeringen in BS aanzienlijk goedkoper dan verankeringen in RVS. Bij sommige te realiseren projecten wordt niet expliciet vermeld in het lastenboek dat de verankeringen voorzien moeten worden in RVS. In dit geval kan het voor de aannemer interessant zijn om in de keuzematrix te kijken naar de systemen die uitgevoerd kunnen worden in BS.

#### 5.3.1.4 *Vorm doorboring spouwisolatie*

Het doorboren van de isolatielaag vraagt bijkomende handelingen op de werf. Vooraf moet de isolatie uitgesneden worden en nadien moeten de openingen bijgewerkt worden. Bij alle systemen wordt de isolatielaag doorboord, op uitzondering van de verstifting. Bij

het laatst genoemde systeem bevindt de verbinding zich in de horizontale voeg tussen de PBGP. Het doorboren van de isolatielaag heeft betrekking op de gestelde EPB-eisen voor een gebouw. De invloed van de doorboring van de isolatielaag wordt niet verder in detail bestudeerd in deze thesis.

### 5.3.2 Verticale krachten

#### 5.3.2.1 Oriëntatie verankeringsoppervlak van draagstructuur

De zesde vraag bij het inputveld op Figuur 67 behandelt de oriëntatie van het verankeringsoppervlak van de draagstructuur. Sommige verankeringen zoals een borstweringsankers kunnen enkel toegepast en verankerd worden op een horizontaal oppervlak. Wanneer in het inputveld de keuze wordt gemaakt tussen 'Horizontaal' en 'Verticaal' worden enkel de scores (op 10) weergegeven van de bevestigingstechnieken die toegepast kunnen worden op een verankeringsoppervlak met de geselecteerde oriëntatie. Bij de bevestigingstechniek met uitstekende wapeningsstaven wordt een uitsparing voorzien in het structuurelement, hierdoor wordt bij zowel 'Horizontaal' als 'Verticaal' een score toegekend aan dit systeem. Indien een verankering aan zowel een horizontaal als een verticaal oppervlak mogelijk is, moet door de gebruiker '-' geselecteerd worden. Deze selectiekeuze zorgt ervoor dat voor alle bevestigingstechnieken een totaalscore (op 10) wordt weergegeven in de keuzematrix.

#### 5.3.2.2 Bijkomende horizontale verankering nodig ter hoogte van ophangpunt

Gevelplaatankers zijn schuine verankeringselementen die op trek belast worden. Om de nodige spouwbreedte te behouden is het nodig om bij gevelplaatankers een verankering te voorzien die drukkrachten kan opnemen, meestal wordt een afstoter voorzien. Deze bijkomende verankering is noodzakelijk en verhoogt de totale kostprijs voor de verankeringen van het PBGP. Andere bevestigingstechnieken hebben geen bijkomende horizontale verankeringen nodig ter hoogte van het ophangpunt.

#### 5.3.2.3 Materiaal van verankeringsmiddel

Voor dit criterium geldt dezelfde beschrijving die wordt toegelicht in paragraaf 5.3.1.3.

#### 5.3.2.4 Vorm doorboring spouwisolatie

Voor dit criterium geldt dezelfde beschrijving die wordt toegelicht in paragraaf 5.3.1.4.

## 5.4 Voorbeelden keuzematrix

Het toekennen van het gewicht per criterium moet door de gebruiker van de keuzematrix uitgevoerd worden. Zoals eerder vermeld wordt, heeft het gewicht per criterium een invloed op het bekomen resultaat van de keuzematrix aan de hand van de geprogrammeerde formules. Dit wordt aangetoond met enkele voorbeelden.

### 5.4.1 Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 1

Figuur 72 geeft de inputgegevens weer van het eerste simulatievoorbeeld van de keuzematrix. Dit inputveld bevindt zich in het eerste tabblad van het Excel-bestand. Bij dit voorbeeld worden de criteria van het opnemen van druk- en trekkrachten als de meest belangrijke beschouwd.

Invullen belangrijkheid criteria - horizontale krachten			
	Criterium van belang voor berkening score	Toegekend gewicht criterium	
Belang van het opnemen van drukkrachten?	Ja	10	op 10
Belang van het opnemen van trekkrachten?	Ja	10	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de lengterichting?	Ja	5	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de hoogterichting?	Ja	5	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de diepterichting?	Ja	2	op 10
Belang van de toepasbaarheid voor de spouwbreedtes?	Ja	2	op 10
Belang van de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit?	Ja	8	op 10
Belang van de van de plaatsingssnelheid van de verankering?	Ja	8	op 10
Belang van toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur?	Ja	5	op 10

*Figuur 72: Inputveld horizontale krachten – voorbeeld 1*

Figuur 73 geeft het resultaat weer dat bekomen wordt met de ingevulde gewichten per criterium van Figuur 72. De grote keuzematrix – zoals weergegeven wordt op Figuur 73 – is terug te vinden in het tweede tabblad van het Excel-bestand. We constateren dat aan de hand van de ingevulde scores en gewichten de bevestigingstechnieken met mechanische ankers donkergroen gekleurd zijn in de rij 'Totaalscore (op 10)'. Deze verankeringen scoren het hoogst, terwijl een verstifting beduidend lager scoort. De rode kleur geeft de laagste score aan. De kostprijs per verankeringsmiddel is in deze grote keuzematrix nog niet in rekening genomen.

Omschrijving	BEVESTIGINGSTECHNIKEN VOOR HORIZONTALE KRACHTEN														Gewicht (max 10)					
	Afstoter	Windanker met klemplaat of -beugel			Windanker met hamerkopplaat			Dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoe			L-profiel			Z-profiel			Verstijfing			
	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	Verstijfing		
Manier van verankeren in draagstructuur																				
1) Opnemen drukkrachten	10	10	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3	10
2) Opnemen trekkrachten	0	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	3	10
3) Opnemen toleranties in hoedrichting	10	6	10	10	6	10	6	10	10	6	10	6	10	10	6	10	10	10	4	5
4) Opnemen toleranties in lengterichting	10	4	10	10	4	10	4	10	10	4	10	4	10	10	4	10	10	10	4	5
5) Opnemen toleranties in dieptedichting	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	4	4	4	4	4	4	4	2	2
6) Toepasbaarheid bij spouwbreedtes	10	10	10	10	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	10	2
7) Verstreken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit bij 20°C	10	10	10	8	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	8	10	8	8	2	8
8) Plaatsingsnelheid verankering	8	6	6	4	6	6	6	6	4	6	6	6	6	4	6	6	4	4	10	8
9) Toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur	6	2	6	6	2	6	2	6	6	2	6	2	6	6	2	6	6	6	10	5
10) Verankering tussen PBGP onderling	Nee			Nee															Ja	
11) Verankering tussen PBGP en achterliggende draagstructuur	Ja			Ja															Nee	
12) Verankering aan draagstructuur draagstructuur evenwijdig met achterkant PBGP	NVT			Ja															NVT	
13) Materiaal van verankeringsmiddel	RVS			RVS															RVS	
14) Vorm doorbooring spouwisolatie	Punt			Punt															Geen	
<b>Totaalscore</b>	-	364	434	402	376	446	414	358	382	442	410	377	442	410	377	442	410	270		550
<b>Totaalscore (op 10)</b>	-	6,6	7,9	7,3	6,8	8,1	7,5	6,5	6,9	8,0	7,5	6,9	8,0	7,5	6,9	8,0	7,5			4,9

Figuur 73: Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 1

In het Excel-bestand bevindt zich onder Figuur 73 een kleinere keuzematrix. Na het invullen van de kostprijs per verankeringsmiddel (berekeningen in bijlage A) wordt door de geprogrammeerde formules het resultaat bekomen zoals Figuur 74 weergeeft. Op Figuur 73 kleurt de verstifting rood, terwijl deze donkergroen gekleurd is op Figuur 74. Hieruit constateren we dat een verstifting een relatief lage totaalscore op 10 behaalt op basis van de gekozen gewichten per criterium. De kostprijs van een verstifting is echter relatief laag waardoor de score/kostprijs-verhouding van de verstifting aanzienlijk hoger is in vergelijking met andere verankeringsmiddelen. Op vlak van score/kostprijs-verhouding scoort het dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoer aanzienlijk lager dan de andere bevestigingstechnieken. Op basis van de kleine matrix van Figuur 74 en de toegekende gewichten kunnen we vaststellen dat een verstifting een zeer gunstig verankeringsmiddel is.

Omschrijving	Afstoter	Windanker met klemplaat of -beugel	Windanker met hamerkopplaat	Dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoer	L-profiel (RVS)	Z-profiel (RVS)	Verstijfing
Manier van verankeren in draagstructuur	-						-
Totaalscore [op 10]	6,4	8,4	8,2	6,2	6,3	6,2	6,0
Kostprijs [€]	46,55	43,58	31,28	67,42	53,78	58,78	13,37
Verhouding (score/kostprijs)	0,14	0,19	0,26	0,09	0,12	0,11	0,45
					Ankerrail	Ankerrail	
					Chemisch anker	Chemisch anker	
					Mechanisch anker	Mechanisch anker	

Figuur 74: Score/kostprijs-verhouding horizontale krachten – voorbeeld 1



#### 5.4.2 Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 2

Figuur 75 toont de inputgegevens van een tweede voorbeeld voor de matrix van de horizontale krachten. In dit voorbeeld wordt in het inputveld ingevuld dat de criteria voor het opnemen van trekkrachten en toepasbaarheid voor de spouwbreedtes niet van belang zijn. De toegekende gewichten voor de laatst genoemde criteria zijn hierdoor automatisch rood gekleurd.

Invullen belangrijkheid criteria - horizontale krachten			
	criterium van belang voor berkening score	Toegekend gewicht criterium	
Belang van het opnemen van drukkrachten?	Ja	5	op 10
Belang van het opnemen van trekkrachten?	Nee	4	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de lengterichting?	Ja	10	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de hoogterichting?	Ja	10	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de diepterichting?	Ja	2	op 10
Belang van de toepasbaarheid voor de spouwbreedtes?	Nee	10	op 10
Belang van de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit?	Ja	5	op 10
Belang van de van de plaatsingsnelheid van de verankering?	Ja	10	op 10
Belang van toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur?	Ja	10	op 10

*Figuur 75: Inputveld horizontale krachten – voorbeeld 2*

De keuzematrix voor de hierboven vermelde gewichten wordt weergegeven op Figuur 76. We stellen vast dat voor criterium 2 en 6 nulrijen gevormd zijn in de grote matrix. Dit komt door de geprogrammeerde formules die gelinkt zijn aan het inputveld. Enkel voor 'Ja'-antwoorden op de criteria worden de initieel ingevulde scores per verankering weergegeven in de keuzematrix om vervolgens meegerekend te worden in de totaalscore. Figuur 76 toont aan voor deze gewichten per criterium een afstoter gunstig scoort met een totaalscore van 8,8 op 10.

In tegenstelling tot voorbeeld 1 van de keuzematrix voor horizontale krachten is bij voorbeeld 2 een totaalscore (op 10) waar te nemen voor een afstoter op Figuur 76. Dit is te wijten aan de ingevulde waarden in het inputveld en de geprogrammeerde formules. Bij voorbeeld 1 wordt aangeduid dat het opnemen van trekkrachten van belang is waardoor een ongeldige score wordt bekomen voor een afstoter aangezien deze enkel drukkrachten kan opnemen. Figuur 75 stelt dat voor voorbeeld 2 het criterium 'opnemen van trekkrachten' niet in rekening gebracht moet worden. Hierdoor behaalt een afstoter wel een score op 10, namelijk 8,8.

Omschrijving	BEVESTIGINGSTECHNIKEN VOOR HORIZONTALE KRACHTEN												Gewicht (max 10)							
	Afstoter	Windanker met klemplaat of -beugel			Windanker met hamerkopplaat			Dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoe			L-profiel			Z-profiel			Verstijfing			
	GB/K°/BB°/S°	GB	GB/K°/BB°/S°	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Verstijfing	
Manier van verankeren in draagstructuur																				
1) Opnemen drukkrachten	10	10	10	10	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8		3
2) Opnemen trekkrachten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
3) Opnemen toleranties in hoogte/richting	10	6	10	10	6	10	10	10	10	6	6	6	10	10	10	6	10	10		4
4) Opnemen toleranties in lengte/richting	10	4	10	10	4	10	10	10	10	6	6	6	10	10	10	5	10	10		4
5) Opnemen toleranties in diepte/richting	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	4	4	4	4	4	4	4	4		2
6) Toepasbaarheid bij spouwbreedtes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
7) Verstrekken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit bij 20°C	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	8	10	10	8		2
8) Plaatsingsnelheid verankering	8	6	6	4	6	6	4	6	4	6	6	6	6	6	4	6	6	4		10
9) Toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur	6	2	6	6	2	6	6	6	6	2	2	6	6	6	2	2	6	6		10
10) Verankering tussen PBGP onderling	GB/K°/BB°/S°	GB	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°		0
11) Verankering tussen PBGP en achterliggende draagstructuur	Nee		Nee	Nee	Nee		Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee		0
12) Verankering aan draagstructuur evenwijdig met achterkant PBGP	Ja		Ja	Ja	Ja		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee		0
13) Materiaal van verankeringsmiddel	NVT		Ja	Ja	Nee		Ja	Nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	NVT		0
14) Vorm doorboring spouwisolatie	RVS		RVS	RVS	RVS/BS		RVS	RVS/BS	RVS/BS	RVS	RVS	RVS	RVS/BS	RVS/BS	RVS/BS	RVS	RVS/BS	RVS		0
	Punt		Punt	Punt	Punt		Punt	Punt	Punt	Punt	Punt	Punt	Punt	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Geen		0
<b>Totaalscore</b>	456	296	436	406	286	426	396	297	298	418	388	288	418	388	288	418	388	309		520
<b>Totaalscore (op 10)</b>	8,8	5,7	8,4	7,8	5,5	8,2	7,6	5,7	5,7	8,0	7,5	5,5	8,0	7,5	5,5	8,0	7,5	5,9		10

Figuur 76: Keuzematrix horizontale krachten – voorbeeld 2

Figuur 77 geeft de verhouding score/kostprijs weer voor het inputveld weergegeven op Figuur 75. We constateren dat het systeem 'dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoer' de laagste score behaalt. Daarnaast valt de donkergroene kleur van de verstifting op. Voor zowel voorbeeld 1 als voor voorbeeld 2 kleurt de verstifting donkergroen in de kleine matrix terwijl deze rood en oranje kleurt in de grote matrix. Voor de toegekende gewichten voor de vooropgestelde criteria behaalt een verstifting een gunstige ratio op gebied van score/kostprijs-verhouding.

Omschrijving	Afstoter	Windanker met klemplaat of -beugel	Windanker met hamerkopplaat	Dubbel ankerrail met 2 hamerkopbouten en koppelmoer	L-profiel (RVS)	Z-profiel (RVS)	Verstijfing
Manier van verankeren in draagstructuur	-						-
Totaalscore [op 10]	8,6	5,2	5,2	5,6	5,5	5,3	6,3
Kostprijs [€]	21,94	46,55	34,25	67,42	53,78	58,78	13,37
<b>Verhouding (score/kostprijs)</b>	<b>0,39</b>	<b>0,11</b>	<b>0,15</b>	<b>0,08</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,47</b>
		Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	Ankerrail	
		Mechanisch anker	Mechanisch anker		Mechanisch anker	Mechanisch anker	
		Chemisch anker	Chemisch anker		Chemisch anker	Chemisch anker	
		5,2	8,2	7,6	8,0	8,0	
		42,79	31,28	50,02	50,81	55,81	
		0,19	0,26	0,15	0,16	0,14	
		0,18	0,25	0,08	0,15	0,13	
		7,6	7,6	7,6	7,4	7,4	
		42,79	30,49	67,42	50,02	55,02	
		0,18	0,25	0,08	0,15	0,13	

Figuur 77: Score/kostprijs-verhouding horizontale krachten – voorbeeld 2

### 5.4.3 Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 1

De inputgegevens voor de keuzematrix van de verticale krachten worden weergegeven op Figuur 78. We kiezen in dit voorbeeld om aan de criteria voor het opnemen van toleranties in lengte- en hoogterichting het hoogste gewicht toe te kennen. Aan het opnemen van de toleranties in de diepterichting wordt een gewicht van 2 toegekend. Het niet-numerieke criterium voor de oriëntatie van het verankeringsoppervlak van de draagstructuur wordt niet nader gespecificeerd. Dit is mogelijk wanneer bijvoorbeeld de verankering voorzien wordt aan een betonnen plaat waarbij het bevestigingspunt zich zowel aan het horizontaal als aan het verticaal oppervlak van de betonnen plaat kan bevinden.

<b>Invullen belangrijkheid criteria - verticale krachten</b>			
	<b>Criterium van belang voor berkening score</b>	<b>Toegekend gewicht criterium</b>	
Belang van het opnemen van toleranties in de lengterichting?	Ja	10	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de hoogterichting?	Ja	10	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de diepterichting?	Ja	2	op 10
Belang van de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit?	Ja	5	op 10
Belang van toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur?	Ja	5	op 10
Oriëntatie van verankeringsoppervlak van draagstructuur?	-		

*Figuur 78: Inputveld verticale krachten – voorbeeld 1*

Figuur 79 geeft het resultaat weer voor het inputveld van Figuur 78. We constateren dat voor de toegekende gewichten de verankeringen met gevelplaatankers aanzienlijk beter scoren dan de andere systemen. Een belangrijke opmerking bij deze grote matrix is dat de kostprijs van de verankeringsmiddelen nog niet in rekening is gebracht. Deze kostprijs wordt pas meegerekend in de kleine matrix op Figuur 80 waarbij de score/kostprijs-verhouding wordt berekend.

Omschrijving	BEVESTIGINGSTECHNIJEN VOOR VERTICALE KRACHTEN																		Gewicht (max 10)				
	Gevelplaatanker aan verticaal oppervlak			Gevelplaatanker aan horizontaal oppervlak			Borstveringsanker			Omgekeerd L-profiel			Dubbel L- of T-profiel   Wapeningsstaven			L-console (of L-profiel)				U-profiel console met opgelaste haakplaat			Prefab betonnen console met verstijfung
	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Punt	
Manier van verankering in draagstructuur	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1) Opnemen toleranties in hoogte/richting	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2) Opnemen toleranties in lengte/richting	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10
3) Opnemen toleranties in diepte/richting	10	10	10	2	4	4	6	6	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4) Verstrekken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit bij 20°C	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	8
5) Toepassing systeem bij materiaal achterliggende structuur	5	8	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6) Oriëntatie verankeringsoffervlak van draagstructuur	GB	GB/K°/BB°/S°	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB	GB	GB/K°/BB°/S°	GB	GB	GB
7) Bijkomende horizontale verankering nodig ter hoogte van ophangpunt	Verticaal	Ja	Ja	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal
8) Materiaal van verankeringsoffervlak	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS	RVS
9) Vorm doorboring spouwisolatie	Punt	Punt	Punt	Grillige vorm	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn	Lijn
<b>Totaalscore</b>	235	290	280	167	227	217	167	227	217	167	227	217	167	227	217	167	227	217	167	227	217	167	227
<b>Totaalscore (op 10)</b>	7.3	9.1	8.8	6.8	8.2	7.9	6.8	8.2	7.9	6.8	8.2	7.9	6.8	8.2	7.9	6.8	8.2	7.9	6.8	8.2	7.9	6.8	8.2
<b>Max score</b>	119	320	320	188	244	244	188	244	244	188	244	244	188	244	244	188	244	244	188	244	244	188	244
<b>3.71</b>	10	10	10	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2	5.9	5.9	6.2

Figuur 79: Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 1

Figuur 80 geeft de kleine matrix weer waarbij de verhouding score/kostprijs weergegeven wordt. De ingevulde kostprijzen zijn de prijzen voor de verankeringsmiddelen voor het hele beschouwde PBGP. Het beschouwde opgehangen PBGP voor Figuur 80 heeft volgende afmetingen: 400x300x12 cm. Voor de verankeringsystemen 'Gevelplaatanker aan verticaal oppervlak', 'Gevelplaatanker aan horizontaal oppervlak' en 'Borstweringsanker' werden de kostprijzen nauwkeurig bepaald met de beschikbare rekensoftware van Halfen zoals eerder vermeld werd in deze thesis. Voor de overige bevestigingstechnieken werden geen nauwkeurige prijzen bepaald. Hiervoor werden aannames gemaakt of richtprijzen bekomen bij leveranciers van het beschouwde systeem. De ingevulde kostprijzen per bevestigingstechniek zijn inclusief de horizontale verankeringen waarvoor eveneens een aanname werd gemaakt.

Deze kostprijzen zijn ter indicatie om de werking van deze kleine keuzematrix aan te tonen. Om deze reden is het niet mogelijk om op basis van Figuur 80 correcte conclusies te trekken over de vergelijkingen van de score/kostprijs-verhoudingen van de verschillende systemen. De berekeningen om tot deze kostprijzen te komen zijn terug te vinden in de bijlagen. Wanneer de afmetingen van het PBGP wijzigen, dienen nieuwe kostprijsberekeningen gemaakt te worden om een correcte score/kostprijs-verhouding te bekomen.

Omschrijving	Gevelplaatanker aan verticaal oppervlak			Gevelplaatanker aan horizontaal oppervlak			Borstweringsanker			Omgekeerd L-profiel			Dubbel L- of T-profiel			Wapeningsstaven			L-console (of L-profiel)			U-profiel console met opgelaste haakplaat			Prefab betonnen console met verstijving	
Manier van verankeren in draagstructuur	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	Chemisch anker	Mechanisch anker	Ankerrail	-	
Totaal score [op 10]	7,3	9,1	8,8	6,8	8,2	7,9	5,2	7,1	6,8	7,0	7,3	7,0	4,3	6,7	6,4	5,5	5,0	7,3	7,0	5,7	6,2	5,9	5,7	6,2	5,9	3,7
Kostprijs [€/paneel]	474,04	453,87	530,80	510,63	505,09	860,68	838,32	834,97	310,86	290,69	285,15	260,86	240,69	235,15	800,00	780,86	760,69	755,15	1030,86	1010,69	1005,15	1030,86	1010,69	1005,15	400	
Verhouding (score x10/kostprijs)	0,15	0,20	0,13	0,16	0,16	0,06	0,08	0,08	0,16	0,25	0,25	0,17	0,28	0,27	0,07	0,06	0,10	0,09	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,09

Figuur 80: Score/kostprijs-verhouding verticale krachten – voorbeeld 1



#### 5.4.4 Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 2

De inputgegevens voor het tweede voorbeeld zijn weergegeven in Figuur 81. We stellen vast dat het criterium voor het opnemen van toleranties in de diepterichting niet van belang is. Daarentegen zijn aan de criteria 'Verstreken tijd tot het bereiken van de 50%-sterktecapaciteit' en 'toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur' het hoogst toegekende gewicht hebben. Daarnaast is het criterium voor de oriëntatie van het verankeringsoppervlak van belang. Dit oppervlak is namelijk horizontaal.

<b>Invullen belangrijkheid criteria - verticale krachten</b>			
	<b>Criterium van belang voor berkening score</b>	<b>Toegekend gewicht criterium</b>	
Belang van het opnemen van toleranties in de lengterichting?	Ja	2	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de hoogterichting?	Ja	7	op 10
Belang van het opnemen van toleranties in de diepterichting?	Nee	2	op 10
Belang van de verstreken tijd tot het bereiken van 50% van de sterktecapaciteit?	Ja	10	op 10
Belang van toepasbaarheid systeem bij materiaal achterliggende structuur?	Ja	10	op 10
Oriëntatie van verankeringsoppervlak van draagstructuur?	Horizontaal		

*Figuur 81: Inputveld verticale krachten – voorbeeld 2*

Figuur 82 geeft de keuzematrix weer met een totaalscore (op 10). We constateren dat voor een bepaald aantal bevestigingstechnieken een ongeldige score weergegeven wordt. Dit is te verklaren door het feit dat deze bevestigingstechnieken enkel toepasbaar zijn voor een verticaal georiënteerd verankeringsoppervlak van de draagstructuur. De ongeldige score wordt automatisch gegenereerd via de geprogrammeerde formules wanneer de geselecteerde oriëntatie van het oppervlak in het inputveld niet van toepassing is voor een bepaalde bevestigingstechniek.

Omschrijving	BEVESTIGINGSTECHNIEN VOOR VERTICALE KRACHTEN												Gewicht (max 10)																		
	Gevelplaatanker aan verticaal oppervlak			Gevelplaatanker aan horizontaal oppervlak			Borstweringsanker			Omgekeerd L-profiel				Dubbel L- of T-profiel			Wapeningsstaven L-console (of L-profiel)			U-profiel console met opgelaste haakplaat			Prefab betonnen console met verstijving								
	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker	Ankerrail	Mechanisch anker	Chemisch anker				
Manier van verankering in draagstructuur																															
1) Opnemen toleranties in hoogte	8	8	8	8	4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
2) Opnemen toleranties in lengte	6	10	10	10	4	10	10	10	10	4	10	10	10	4	10	10	10	10	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
3) Opnemen toleranties in diepte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4) Verstrekken tijd tussen aanbrengen verankering en bereiken van 50% sterktecapaciteit bij materiaal achterliggende structuur	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	10	10	8	10	10	8	10	10	10		
5) Toepassing systeem bij structuur	5	8	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
	GB	GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB/K <sup>o</sup> / GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB	GB	GB	GB	GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB/K <sup>o</sup> / GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB	GB	GB	GB	GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB/K <sup>o</sup> / GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB	GB	GB	GB	GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB/K <sup>o</sup> / GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB	GB	GB	GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB/K <sup>o</sup> / GB/K <sup>o</sup> / BB <sup>o</sup> /S <sup>o</sup>	GB	GB	GB		
6) Oriëntatie verankersoppervlak van draagstructuur	Verticaal	Verticaal	Verticaal	Horizontaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal en verticaal	Horizontaal en verticaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Verticaal	Horizontaal	Horizontaal	Verticaal	Horizontaal	Verticaal	Verticaal	Verticaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	Horizontaal	
7) Bijkomende horizontale verankering nodig ter hoogte van ophangpunt		Ja			Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	
8) Materiaal van verankermiddel		RVS		RVS		RVS		BS				BS																			
9) Vorm doorboring spouwisolatie		Punt		Punt		Grillige vorm		Lijn				Lijn																			
<b>Totaalscore</b>	-	-	-	208	236	216	186	186	258	238	186	186	258	238	186	186	258	238	186	186	258	238	186	186	258	238	186	186	258	238	
<b>Totaalscore (op 10)</b>	-	-	-	7,2	8,1	7,4	6,4	6,4	7,9	7,2	6,4	6,4	7,9	7,2	6,4	6,4	7,9	7,2	6,4	6,4	7,9	7,2	6,4	6,4	7,9	7,2	6,4	6,4	7,9	7,2	
<b>Max score</b>	-	-	-	118	-	-	-	-	-	118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Max score (op 10)</b>	-	-	-	4,1	-	-	-	-	-	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Figuur 82: Keuzematrix verticale krachten – voorbeeld 2

Op Figuur 82 wordt de keuzematrix voor de score/kostprijs-verhouding weergegeven die geldig is voor de inputgegevens van Figuur 80. De geprogrammeerde formules in de rekentool voor de matrices zorgen ervoor dat voor bepaalde bevestigingstechnieken geen kostprijs en geen score/kostprijs-verhouding weergegeven wordt. Dit is te wijten aan de keuze in het inputveld waarbij bij het laatste criterium 'Horizontaal' is aangevinkt waardoor enkel voor deze systemen – die toegepast kunnen worden op een horizontaal oppervlak – een ratio berekend wordt. Bij dit voorbeeld – met enkele ingevulde indicatieve kostprijzen – behaalt de ophanging met een omgekeerd L-profiel de hoogste ratio. Deze hoge ratio duidt op een gunstige score/kostprijs-verhouding op basis van het inputveld van Figuur 81.

Omschrijving	Gevelplaatanker aan verticaal oppervlak	Gevelplaatanker aan horizontaal oppervlak	Borstwingsanker	Omgekeerd L-profiel	Dubbel L- of T-profiel	Wapeningsstaven	L-console (of L-profiel)	U-profiel console met opgelaste haakplaat	Prefab betonnen console met verstijving
Manier van verankeren in draagstructuur	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	-	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	Chemisch anker Mechanisch anker Ankerrail	-
Totaal score [op 10]	-	7,2	6,4	6,4	6,4	4,1	-	-	3,3
Kostprijs [€/paneel]	-	530,80	860,68	310,86	290,69	800,00	-	-	400
Verhouding (score x10/kostprijs)	-	0,14	0,07	0,21	0,31	0,05	-	-	0,08

Figuur 83: Score/kostprijs-verhouding verticale krachten – voorbeeld 2



## 6 Besluit

Deze thesis bestudeerde de bestaande bevestigingstechnieken in België voor geprefabriceerde betonnen gevelpanelen. Hieruit blijkt dat zowel voor het opnemen van verticale krachten als voor het opnemen van horizontale krachten een aanzienlijk aantal verankeringsmiddelen op de markt beschikbaar zijn. Deze verankeringsmiddelen variëren van een speciaal ontwikkeld systeem door de fabrikanten van verankeringen voor PBGP zelf tot samenstellingen met een aantal stalen profielen.

### 6.1 Kostprijsvergelijkingen

Aan de hand van een project te Melsbroek werden verschillende bevestigingstechnieken en uitvoeringsmethodes met elkaar vergeleken via kostprijsvergelijkingen. Hierbij zijn verschillende aannames gemaakt die terug te vinden zijn in tabellen 5 t.e.m. 11. De aannames met betrekking tot de plaatsingssnelheid en de dikte van de PBGP zijn gebaseerd op de literatuurstudie en ervaringen van monteurs van PBGP. De belangrijkste aannames van deze thesis zijn hieronder opgesomd.

- De gemiddelde plaatsingssnelheid van gestapelde PBGP bedraagt 9 st/dag.
- De gemiddelde plaatsingssnelheid van alle opgehangen PBGP bedraagt 5 st/dag.
- De dikte van de PBGP en de afstand tussen de PBGP en de draagstructuur bedragen beide 12 cm.
- De kostprijs voor de productie van gestapelde PBGP is identiek aan die van opgehangen PBGP.
- Enkel een vaste kraan wordt voorzien tijdens de montage van de PBGP. Met tijdelijke kranen op de werf wordt geen rekening gehouden.

Uit de gemaakte kostprijsvergelijkingen van verschillende bevestigingstechnieken constateren we dat gestapelde PBGP aanzienlijk voordeliger zijn op vlak van plaatsingssnelheid en materiaalkost dan opgehangen PBGP. Voor de beschouwde PBGP is de gemiddelde kostprijs 13% hoger voor de opgehangen PBGP dan voor de gestapelde PBGP. Daarenboven is de extra kostprijs voor het kantelen van PBGP op de werf beperkt tot ongeveer 2% van de totale kostprijs van de PBGP in vergelijking met PBGP van dezelfde afmetingen die niet gekanteld moeten worden op de werf. Voorts constateren we dat de totale kostprijs voor de verankeringsmiddelen van een PBGP van 12,6 m<sup>2</sup> en een PBGP van 6,5 m<sup>2</sup> met borstweringsankers aanzienlijk hoger is dan voor PBGP met dezelfde afmetingen uitgevoerd met gevelplaatankers. De totale kostprijs voor de verankeringsmiddelen bedraagt respectievelijk 114% en 89% meer.

Daarnaast stellen we vast dat het – op vlak van kostprijs – voordeliger is om zoveel mogelijk relatief grote PBGP te plaatsen en een groot aantal kleinere PBGP te beperken. De totale kostprijs voor deze beschouwde zones van PBGP is gemiddeld 13% hoger voor drie relatief kleine panelen in vergelijking met twee relatief grote panelen. Een klein aantal grote PBGP impliceert grotere afmetingen en een groter gewicht van de panelen met groter gedimensioneerde verankeringen tot gevolg. Hierdoor stijgt de kostprijs van de verankeringen per PBGP voor grote PBGP. Aangezien een kleiner aantal van de grote panelen nodig is, daalt echter het aantal nodige verankeringen voor de beschouwde zone. Voorts dalen de totale werkuren en het gebruik van de kraan op de werf om

eenzelfde oppervlakte van gevelafwerking te realiseren in vergelijking met een groter aantal kleine panelen.

In realiteit stellen we vast dat de capaciteit van de transportladers en de capaciteit van de kraan op de werf de maximale afmetingen van de PBGP beperken. Naast het voorzien van een kraan met een grotere draagcapaciteit is het mogelijk dat het voorzien van een tijdelijke kraan gunstig is voor de plaatsingssnelheid en de totale kostprijs voor de gevelafwerking met PBGP. Het voorzien van een tijdelijke kraan met de hierbij gepaarde voor- en nadelen werd niet beschouwd in deze thesis.

## 6.2 Determineerkaarten en keuzematrices

Wanneer een aannemer een project moet realiseren met enkelschalige PBGP wordt meestal een of een beperkt aantal systemen in detail bestudeerd. Hierdoor wordt niet altijd de meest gunstige of optimale keuze gemaakt. De determineerkaarten en keuzematrices kunnen helpen bij het beslissingsproces van de bevestigingstechnieken. Met behulp van de determineerkaart kan stapsgewijs bekeken worden welke bestaande systemen uitgesloten kunnen worden om een resterend aantal interessante verankeringsmiddelen over te houden. Deze verankeringsmiddelen kunnen vervolgens verder in detail bestudeerd worden, eventueel met de keuzematrices.

De keuzematrices werken op basis van een score en een toegekend gewicht per criterium. Aan de verschillende numerieke criteria wordt in het inputveld een gewicht toegekend door de gebruiker van de matrix. Het toegekende gewicht per criterium heeft een invloed op de bevestigingstechniek die door de keuzematrix naar voor wordt geschoven als het meest gunstige verankeringsmiddel. Op deze manier wordt op basis van enkele criteria en op een objectieve manier een ranking gemaakt van de verschillende toepasbare verankeringsmiddelen. Nadat een totaalscore op 10 per bevestigingstechniek bekomen wordt, moeten de niet-numerieke criteria afgetoetst worden. De randvoorwaarden van het project kunnen op deze manier enkele bevestigingstechnieken weerhouden.

Door de gebruiksvriendelijkheid van het ontwikkelde Excel-bestand kunnen eenvoudig aanpassingen gebeuren aan deze tool. Nieuwe bevestigingstechnieken die in de toekomst ontwikkeld worden, kunnen toegevoegd worden in deze keuzematrices. De gekende informatie van deze nieuwe technieken dient compatibel te zijn met de huidige criteria om de correctheid van de keuzematrix te behouden. Indien aanvullend onderzoek verricht wordt naar de eigenschappen van bevestigingstechnieken of nieuwe criteria vooropgesteld worden, kunnen bijkomende criteria aangevuld worden in de keuzematrices.

## Referentielijst

- [1] B. Geysen, Interviewee, *projectleider bij Verheyen beton*. [Interview]. 20 november 2020.
- [2] „Febelarch,” [Online]. Available: [http://www.febelarch.be/gevelpanelen\\_1](http://www.febelarch.be/gevelpanelen_1). [Geopend 10 december 2020].
- [3] S. Leenders, Interviewee, *projectleider bij Democo*. [Interview]. 12 oktober 2020.
- [4] J. Janssen, Interviewee, *bestuurder van Samonco*. [Interview]. 25 november 2020.
- [5] „Febe,” [Online]. Available: <https://www.febe.be/frontend/files/userfiles/files/Andere%20Publicaties/publication-techniques/Gids%20voor%20architecten%20en%20voorschrijvers.pdf>. [Geopend 10 december 2020].
- [6] T. Willekens, Interviewee, *verantwoordelijke tekenkamer van Architon*. [Interview]. 11 februari 2021.
- [7] I. Celen, Interviewee, *Technical Sales Consultant bij Halfen*. [Interview]. 11 februari 2021.
- [8] „Fischer,” [Online]. Available: [https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Load%20Tables/Load%20Tables%20fischer/LT\\_01\\_FIS-V\\_F\\_SEN\\_AIP\\_V2.pdf](https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Load%20Tables/Load%20Tables%20fischer/LT_01_FIS-V_F_SEN_AIP_V2.pdf). [Geopend 29 april 2021].
- [9] S. Willemsen, Interviewee, *Technical Sales Consultant bij Halfen*. [Interview]. 26 november 2020.
- [10] F. Castille, Interviewee, *ingenieur bij Fischer*. [Interview]. 28 april 2021.
- [11] „Probeton,” 2016. [Online]. Available: [http://www.probeton.be/uploads/docs/DOC\\_NL/PTV/TV%2021-601.pdf](http://www.probeton.be/uploads/docs/DOC_NL/PTV/TV%2021-601.pdf). [Geopend 24 februari 2021].
- [12] „Hilti,” [Online]. Available: [https://www.hilti.be/medias/sys\\_master/h88/h1f/9137807425566/08\\_Ankers.pdf?mime=application%2Fpdf&](https://www.hilti.be/medias/sys_master/h88/h1f/9137807425566/08_Ankers.pdf?mime=application%2Fpdf&). [Geopend 8 februari 2021].
- [13] „Jordahl,” [Online]. Available: <https://docplayer.nl/61291505-Ankerrails-en-toebehoren-jordahl-ankerrails-en-toebehoren-dragen-ook-zware-belastingen-met-gemak-technische-informatie-anchored-in-quality.html>. [Geopend 28 april 2021].
- [14] „Fischer,” [Online]. Available: <https://www.fischer.nl/nl-nl/producten/stalen-bevestigingen/doorsteekanker/expressanker-exa/expressanker-exa>. [Geopend 28 april 2021].
- [15] „Soudal,” 4 6 2017. [Online]. Available: [https://www.soudal.com/sites/default/files/soudal\\_api/document/F0017445\\_0001.pdf](https://www.soudal.com/sites/default/files/soudal_api/document/F0017445_0001.pdf). [Geopend 18 februari 2021].
- [16] M. Schöler, Interviewee, *assistent-projectleider bij Hooyberghs*. [Interview]. 29 januari 2021.



- [17] „Fixinox,” [Online]. Available: <https://www.fixinox.com/nl/producten/ankers-voor-architectonisch-beton/fixi-3d-gevelplaatankers/>. [Geopend 12 oktober 2020].
- [18] „Halfen,” [Online]. Available: [https://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/precastsystems/FB\\_Leviat\\_16-1-E.pdf](https://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/precastsystems/FB_Leviat_16-1-E.pdf). [Geopend 12 oktober 2020].
- [19] Fixinox, „Verankeringen voor panelen in architectonisch beton,” Fixinox.
- [20] M. Verhagen, Interviewee, *adjunt-projectleider bij Vanhout.pro*. [Interview]. 10 februari 2021.
- [21] „Fixinox,” [Online]. Available: <https://www.fixinox.com/nl/producten/ankers-voor-architectonisch-beton/borstweringsankers/>. [Geopend 1 november 2020].
- [22] „Modersohn,” [Online]. Available: <https://www.modersohn.eu/en/construction/detail/parapet-anchor/>. [Geopend 28 april 2021].
- [23] „Modersohn,” [Online]. Available: <https://www.modersohn.eu/en/construction/detail/gallow-anchor/>. [Geopend 30 april 2021].
- [24] „Jordahl,” januari 2020. [Online]. Available: [https://jordahl.nl/fileadmin/user\\_upload/jordahl.nl/downloads/AA\\_JOR\\_catalogus\\_NL\\_v11\\_zondersnijlijnen.pdf](https://jordahl.nl/fileadmin/user_upload/jordahl.nl/downloads/AA_JOR_catalogus_NL_v11_zondersnijlijnen.pdf). [Geopend 20 februari 2021].
- [25] M. Lenaerts, Interviewee, *werfleider bij Artem*. [Interview]. 11 januari 2021.
- [26] Fixinox, „Fixi 3D System: On-site set up”.
- [27] „Prijslijst,” Halfen, 2020.
- [28] „Rentopia,” [Online]. Available: [http://rentopia.be/storage/prijslijst\\_excl.pdf](http://rentopia.be/storage/prijslijst_excl.pdf). [Geopend 10 mei 2021].
- [29] G. Moyaert, Interviewee, *commercieel verantwoordelijke bij Fixinox*. [Interview]. 25 februari 2021.
- [30] „Fischer,” 6 oktober 2017. [Online]. Available: [https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Certification%20Documents/ETA%20European%20Technical%20Assessment/fischer/ZD\\_ETAB\\_F\\_10-0383-1\\_SEN\\_AIP\\_V1.pdf](https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Certification%20Documents/ETA%20European%20Technical%20Assessment/fischer/ZD_ETAB_F_10-0383-1_SEN_AIP_V1.pdf). [Geopend 28 april 2021].
- [31] „Fischer,” 2 januari 2020. [Online]. Available: [https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Certification%20Documents/ETA%20European%20Technical%20Assessment/fischer/ZD\\_ETAB\\_F\\_02-0024\\_SEN\\_AIP\\_V4.pdf](https://fiproductmedia.azureedge.net/media/Certification%20Documents/ETA%20European%20Technical%20Assessment/fischer/ZD_ETAB_F_02-0024_SEN_AIP_V4.pdf). [Geopend 4 april 2021].

# Bijlagen

## Bijlage A: Berekeningen kostprijs keuzematrix horizontale krachten

### Gegevens case

- Afmetingen PBGP	250x320x12	cm
- Afstand PBGP tot draagstructuur	12	cm
- Draagstructuur in beton		
- Windbelasting druk	1000	N/m <sup>2</sup>
- Windbelasting zuiging	1000	N/m <sup>2</sup>
- Belasting per anker	3	kN

### Windanker met klemplaat of -beugel

- Regelbout	11,6	€/st	Halfen regelbout M12x152
- Huls	10,34	€/st	Halfen huls M12
- Klemplaat	18,72	€/st	Halfen M12 voor windanker LD

### Windanker met hamerkopplaat

- Hamerkopplaat met rasterplaat	25,15	€/st	Halfen hamerkopplaat met rasterplaat HKZ - GF 28/15 - 175 - A4 (b = 125 mm) (RVS)
- Ankerrail	3,21	€/st	Halfen HTA CE 28/15 - FV - 100 - Kf

### Dubbel ankerrail met 2 bouten en koppelhoer

- Ankerrails	6,42	€/2st	Halfen HTA CE 28/15 - FV - 100 - Kf
- 2 hamerkopbouten en koppelhoer	61	€/st	Halfen SPV - 7 - 120 - A4

### L-profiel

			* verankering bovenaan in PBGP met ankerrail
- Ankerrail	3,21	€/st	Halfen HTA CE 28/15 - FV - 100 - Kf
- Hamerkopbout ankerrail	2,68	€/st	HZS bijhorend bij ankerrail
- L-profiel	42	€/st*1	Halfen ULZ in RVS - variant L-profiel spouwbreedte 120 mm

### Z-profiel

			* verankering achteraan in PBGP met ankerrail
- Ankerrail	3,21	€/st	Halfen HTA CE 28/15 - FV - 100 - Kf
- Hamerkopbout ankerrail	2,68	€/st	HZS bijhorend bij ankerrail
- Z-profiel	47	€/st*1	Halfen ULZ in RVS - variant Z-profiel spouwbreedte 120 mm

### Verstifting

- Ovale huls	1,1	€/st	Halfen
- Ronde huls	0,78	€/st	Halfen
- Stift	11,29	€/st	Halfen
- Krimparme gietmortel	0,2	€/st	Schatting

### Verankering in draagstructuur

- Ankerrail - rail	3,21	€/st	Halfen HTA CE 28/15 - FV - 100 - Kf
- Ankerrail - hamerkopbout	2,68	€/st	HZS bijhorend bij ankerrail
- Mechanische verankering - anker	2,92	€/st	HST3 Keilnagel M12 - 115 mm
- Chemische verankering - anker	1,12	€/st	HAS-U5.8 M12 - ankerstang Hilti
- Chemische verankering - injectiemortel	1,01	€/0,5L	HIT-HY 170 -> HAS-U 5.8 (M12)
			Kostprijs 18,13 €/330ml
			18 st/330 ml

## Bijlage B: Berekeningen kostprijs keuzematrix verticale krachten

### Gegevens case

- Afmetingen PBGP	400x300x12 cm
- Afstand PBGP tot draagstructuur	12 cm
- Draagstructuur in beton	
- Windbelasting druk	1000 N/m <sup>2</sup>
- Windbelasting zuiging	1000 N/m <sup>2</sup>

### Bijkomende horizontale verankeringen (aanname)

- Afstoter	60 €/paneel
- Windanker	120 €/paneel

### Gevelplaatanker (verankering aan verticaal oppervlak)

- Gevelplaatanker	263,18 €/paneel	Halfen FPA-5-G-22-120 (2st)
- Bijkomende afstoter bovenaan	60 €/paneel	
- Bijkomend windanker onderaan	120 €/paneel	

### Gevelplaatanker (verankering aan horizontaal oppervlak)

- Gevelplaatanker	319,94 €/paneel	Halfen FPA-A-5-G-22-120 (2st)
- Bijkomende afstoter bovenaan	60 €/paneel	
- Bijkomend windanker onderaan	120 €/paneel	

### Borstweringsanker

- Borstweringsanker	829,82 €/paneel	Halfen BRA 6-700-L4 (2st)
---------------------	-----------------	---------------------------

### Omgekeerd L-profiel

- Totaal	280 €/paneel	Schatting
----------	--------------	-----------

### Dubbel L- of T-profiel

- Totaal	230 €/paneel	Schatting
----------	--------------	-----------

### Wapeningsstaven

- Totaal	800 €/paneel	Schatting
----------	--------------	-----------

### L-console (of L-profiel)

- Totaal	750 €/paneel	Schatting
----------	--------------	-----------

### U-profiel console met opgelaste haakplaat

- U-console met boutverbindingen	1000 €/paneel	Richtprijs ontvangen van Jordahl
----------------------------------	---------------	----------------------------------

### Prefab betonnen console met verstifting

- Totaal	400 €/paneel	Schatting
----------	--------------	-----------

### Verankering in draagstructuur

- Ankerrail - rail	22,36 €/st	HTA-CE 52/34 -FV - 150 - Kf
- Ankerrail - hamerkopbout	8,5 €/st	HZS bijhorend bij ankerrail
- Mechanische verankering - anker	10,69 €/st	HST3 Keilnagel M20 - 170 mm
- Chemische verankering - anker	2,88 €/st	HAS-U5.8 M20 - ankerstang Hilti
- Chemische verankering - injectiemortel	2,3 €/st	Hilti HIT-HY 170 -> HAS-U 5.8 (M20)
		Kostprijs 18,13 €/330ml
		8 st/330 ml