

Explosiebestendig gebouw

Hoofdontwerp

S. Yousif Al Michael

maart 2011

Explosiebestendig Gebouw

Hoofdontwerp

Opdrachtgever:

Drs. ir. A.J.J.M. Schillemans
Manager Afdeling Constructies

Ir. D. Ramadhin
Senior Adviseur
Afdeling Energy

Begeleider:

Ir. H.D.M. Kool
Senior Adviseur
Constructief Ontwerpen

Divisie Infra
Ingenieursbureau Movares

Opleiding:

Civiele Techniek
School of Built Environment & Transport
Windesheim

Begeleiders:

Eerste afstudeerbegeleider:

Ir. P.G.F. Bosman
Docent Civiele Techniek

Tweede afstudeerbegeleider:

Ir. A. Lagerweij
Docent Civiele Techniek

Auteur:

B. Eng. S. Yousif Al Michael
Student Civiele Techniek
S1031870

maart 2011

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Het vooronderzoek als basis	5
2.1	Uitgangspunten	5
2.2	Programma van Eisen	6
2.3	Model- en Materiaalkeuze	6
3	Basisprincipes voor ontwerp.....	7
3.1	Sterkte-eigenschappen	7
3.2	Belastingfactoren en combinaties.....	7
3.3	Vervormingsgrens	7
3.4	Normen en richtlijnen en literatuur.....	8
3.5	Belastingen en geotechnische uitgangspunten.....	8
4	Ontwerpproces.....	10
5	Definitief ontwerp.....	11
6	Conclusies en aanbevelingen.....	12

Tabellen

Tabel 1	Varianten	6
Tabel 2	Normen en richtlijnen.....	8
Tabel 3	Horizontaalbedding (kelderwand)	9
Tabel 4	Horizontaalbedding (palen).....	9
Tabel 5	Materialen en afmetingen van de gekozen variant 1b	11

1 Inleiding

Bij het ontwerpen van een explosiebestendig gebouw moet rekening worden gehouden met een aantal aspecten.

Eén hiervan is de energieabsorptie. Sterkte en ductuliteit zijn nodig om een hoge energieabsorptie te bereiken. Een grote sterkte met een lage ductuliteit is niet wenselijk voor een normaal ontwerp, maar nog minder wenselijk voor een explosiebestendig ontwerp. Hoge energieabsorptie wordt bereikt door het gebruik van goede materialen.

Veiligheidsmarges kunnen worden bepaald door het gebruik van criteria voor toegestane vervorming. Zolang de berekende vervorming de criteria voor de toegestane vervorming niet overschrijdt, is er een veiligheidsmarge.

2 Het vooronderzoek als basis

Het hoofdontwerp bouwt voort op het vooronderzoek waarin uitgangspunten en randvoorwaarden (programma van eisen) zijn vastgesteld en model- en materiaalkeuzen zijn gemaakt. Deze worden in de volgende paragrafen kort herhaald.

2.1 Uitgangspunten

In deze paragraaf worden uitgangspunten beschreven voor het ontwerp van het explosiebestendig gebouw:

1. Locatie: het gebouw komt te staan op een terrein met explosieve (petrochemische) stoffen die een 'Vrije Dampwolk-Explosie' (Unconfined Vapor Cloud Explosion) kunnen veroorzaken. De explosieve stoffen bevinden zich op verschillende plaatsen op 30 meter afstand van het gebouw. Een explosie zou dus van verschillende kanten kunnen komen. Het terrein is open - er zijn geen andere gebouwen in de nabije omgeving - en bevindt zich naast de Sloehaven in Vlissingen.
2. Grondgesteldheid: Volgens de sondering van het Sloegebied begint de sterke laag grond op -11 meter t.o.v. het NAP. De grondwaterstand is -1 meter t.o.v. het maaiveld. De bovenste zandlaag (laag t.o.v. het NAP +0,5 m) is opgespoten. Het maaiveld is 2,63 meter boven NAP, waardoor de bodem van de 2 meter diepe kelder op 0,63 meter boven NAP komt
3. Wind: Vlissingen is gelegen in een gebied II wat betreft stuwdrukwaarde. De hoogte van het gebouw wordt 8 meter. De Sloehaven ligt vlakbij de dijk, waardoor er niet of nauwelijks bebouwing is tussen de zee en het gebouw. Dit betekent dat de stuwdrukwaarde bij benadering $0,81 \text{ kN/m}^2$ is.
4. Explosiegegevens: De explosie gegevens van de opdrachtgever zijn: Een vrije Damp-Wolk Explosie, gekarakteriseerd door de volgende dimensies:
 - Soort explosie: deflagratie
 - Volume van de explosiewolk: $V = 10000 \text{ m}^3$
 - Hoogte van de wolk: $h = 4 \text{ m}$
 - Lange as van de ellipsoïde: $x_a = 100 \text{ m}$
 - Korte as van de ellipsoïde: $x_b = 25 \text{ m}$
 - Overdruk op de plaats van de explosie: 70000 Pa (70 kN/m^2)
 - Snelheid van de explosiewolk: $v = 255 \text{ m/s}$

Het gebouw bevindt zich op een afstand van tenminste 30 m., vrij van obstakels, van de plaats van de explosie. Hierdoor is de druk in de explosiewolk op de plaats van het gebouw afgenomen tot:

- Overdruk in de explosiewolk op de plaats van het gebouw: $P_s = 36500 \text{ Pa}$
- De duur van de positieve fase van de explosie bedraagt: $t_p = 0,0704 \text{ s}$.

De volgende aspecten vallen niet binnen het bereik van deze opdracht:

- De plaatsing en installatie van de apparatuur;
- De bouwkundige detaillering van het gebouw;
- De gevolgen van rondvliegende fragmenten en brokstukken;
- De waterdichtheid van de kelderwanden;
- De brandveiligheid van het gebouw wordt alleen op een kwalitatieve manier in het onderzoek meegenomen.

2.2 Programma van Eisen

De volgende eisen en ontwerpnormen zijn vastgesteld in het programma van eisen:

1. Fundering: De constructieve eisen voor de fundering zijn gerelateerd aan de sondering van het gebied, op grond waarvan de funderingspalen een bepaalde diepte moeten bereiken. De palen worden gemaakt van prefab beton.
2. Kelderwanden: Het maaiveld is 2,63 meter boven NAP, waardoor de bodem van de 2 meter diepe kelder op 0,63 meter boven NAP komt. Het grondwater bevindt zich op -1 meter onder maaiveld.
3. Vloeren: De trafo 150/50 heeft een gewicht van 130 ton. En de trafo 50/6 heeft een gewicht van 60 ton. De veranderlijke belasting voor de trafo ruimtes en het bedieningsgebouw is 5 kN/m^2 . De veranderlijke belasting voor de 50 kV en de 20 kV ruimtes is 10 kN/m^2 .
4. Buitenwanden: Het gebouw moet aan de buitenzijde bestendig zijn tegen een dynamischebelasting van ongeveer 80 kN/m^2 .
5. Dak: De dynamischebelasting op het dak is ongeveer 36 kN/m^2 .
6. Vormgeving: De opdrachtgever heeft de volgende eisen voor de vormgeving van het gebouw:
 - het gebouw moet rechthoekig zijn;
 - het gebouw mag geen 'bunker' (boog- of koepelconstructie) worden;
 - er moet in de constructie gebruik gemaakt worden van spanten en panelen.
7. Functionaliteit: De opdrachtgever heeft de volgende eisen voor de functionaliteit van het gebouw bij een explosie:
 - De bedieningsfunctie mag niet in gevaar komen;
 - De transformatoren voor hoogspanning dienen te blijven functioneren.
8. Belasting: De opdrachtgever eist dat de quasi-statische belasting waarop het dak en de gevel wordt uitgerekend, tenminste gelijk is aan de interne overdruk in de explosiewolk: $P_s = 36,5 \text{ kN/m}^2$.

2.3 Model- en Materiaalkeuze

Er is een keuze gemaakt voor het gebruik van **stalen spanten** op grond van de vier factoren in onderstaande tabel. Daarnaast sluit deze keuze aan bij de eis van de opdrachtgever dat het gebouw geen 'bunker' moet worden, maar een gebouw met spanten en panelen.

Variant	Ductuliteit	Stijfheid	D.L.F	Eisen opdrachtgever
1.a. spanten van gewapend beton.	+/-	++ (semislap)	-	+
1.b. spanten van staal.	+	+ (slap)	+	+
2.a. wanden van gewapend beton.	+/-	++ (stijf)	+	-

Tabel 1 Varianten

3 Basisprincipes voor ontwerp

3.1 Sterkte-eigenschappen

In de statische belasting mogen de rekenwaarden voor sterkte-eigenschappen van bouwmaterialen niet worden aangepast. Het gaat hier echter om een dynamische belasting, daarom mogen de sterkte-eigenschappen licht verhoogd worden.

In het ontwerp zijn echter de dynamische sterkte factoren niet meegenomen, vanwege veiligheidsredenen.

3.2 Belastingfactoren en combinaties

Bij het ontwerp van een gebouw, waarbij rekening wordt gehouden met explosiebelasting, moet met de volgende aspecten rekening worden gehouden:

- De belastingduur is heel kort $\approx 0,1$ s
- De kans dat er een explosie plaatsvindt is klein.
- De belasting is heel groot ≈ 80 kN/m²

Daarom

- is de belastingcombinatie 1,0
- is de windlast verwaarloosbaar, omdat de kans klein is dat de volledige windlast zal optreden tegelijkertijd met de explosie .

3.3 Vervormingsgrens

Het gebouw/ de componenten mogen slechts een beperkte vervorming ondergaan. Deze vervormingen kunnen op twee manieren gedefinieerd worden. Uitgegaan kan worden van een bepaalde hoekverdraaiing θ die niet overschreden mag worden of van een maximale uitwijking.

Staalconstructies moeten berekend worden zodat een bepaalde rekgrens niet overschreden wordt.

Niet alleen moeten vervormingen beperkt worden om de stabiliteit te waarborgen, ook moeten personen en eventueel installaties beschermd worden van primaire en vooral secundaire dreigingen. Betonscherven mogen geen dreiging vormen voor mensen, ook om deze reden moet de vervorming tegen gegaan worden.

Volgens de eisen van de opdrachtgever, mag een mogelijke explosie niet meer dan lichte schade opleveren. Daarom moet - op grond van Task Committee on Blast-Resistant Design¹ - de hoek θ beperkt blijven tot 1° of een maximale uitwijking (Δ) van $1/50$ van de hoogte van het gebouw. Deze maximale uitwijking is alleen geldig voor stalenconstructies. Op grond van NEN 6702 geldt er een maximale uitwijking Δ van $1/150$ van de hoogte van het gebouw voor een industriegebouw. Deze waarde houdt echter geen rekening met de dynamische belasting.

Voor dit ontwerp is er op basis van de berekening in ESA uitgekomen op een Δ van ongeveer 26 mm. Op grond van bovenstaande regels is de maximale $\Delta = 8000/50 = 160$ mm of $8000/150 = 54$ mm. Dit betekent dat de berekende vervorming in beide gevallen lager is dan de maximale uitwijking.

¹ Design of Blast-Resistant Buildings in Petrochemical Facilities, Second Edition, p.70

3.4 Normen en richtlijnen en literatuur

Onderstaande normen en richtlijnen zijn gebruikt voor het ontwerp.

Nationale norm/ richtlijn	Titel
NEN-EN 1991-1-4Deel 1-4	Algemene belastingen, Windbelasting
NEN-EN 1991-1-7Deel 1-7	Algemene belastingen, Buitengewone belastingen stootbelastingen en ontploffing
NEN-EN 1993-1-1Deel 1-1	Ontwerp en berekening van staalconstructies en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-8	Ontwerp en berekening van staal constructies, ontwerp en berekening van verbindingen
NEN-EN 1997-1	Geotechnisch ontwerp
NEN-EN-206-1	Beton - Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit
NEN 6702	Technische grondslagen voor bouwconstructies - TGB 1990 - Belastingen en vervormingen
NEN 6720	Voorschriften Beton
ARMY TM 5-130 NAVY NAVFAC P-397 AIR FORCE AFR 88-22	Structures to resist the effects of accidental explosions
Richtlijnen VROM	Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1 Deel 2B: Effecten van explosie op constructies
ASCE	Design of Blast-Resistant Buildings in Petrochemical Facilities

Tabel 2 Normen en richtlijnen

3.5 Belastingen en geotechnische uitgangspunten

Windbelasting

Waarden voor de windbelasting zijn:

$$P_w = 0,81 \text{ (gebied II)}$$

$$C_{dim.} = 0,91$$

$$C_{index} = -1,2 \text{ (EN-NEN 1991-1)}$$

$$P_{rep} = P_w \times C_{dim} \times C_{index} \times \text{afstand tussen spanten}$$

$$P_{rep} = 0,88 \times \text{afstand tussen spanten}$$

Grondbelasting

Waarden voor de neutrale gronddruk zijn:

$$Prep. = kn \times \text{dichtheid grond} \times \text{hoogte kelderwand}$$

$$Prep. = 0,5 \times 19 \times 2 = 19 \text{ kN/m}^2$$

kn = coëfficiënt neutrale gronddruk

Grondwaterbelasting

De Horizontale en verticale grondwaterbelasting is verwaarloosbaar.

Geotechnische uitgangspunten

Om te weten te komen hoeveel kN de grond kan dragen bij één bepaald soort paal op een bepaalde diepte, zijn de sonderingsgegevens verwerkt met behulp van het programma M-Foundation. Met dit programma is berekend hoeveel kN de grond kan dragen in het geval van één paal van 320 x 320 mm. en in het geval één paal van 400 x 400 mm. In dit ontwerp is gekozen voor de paal van 400 x 400 mm. Voor deze paal kan de grond 1439 kN dragen op een diepte van -14 m. (zie bijlage 4).

Dynamische factoren voor palen en kelderwanden

Onderstaande twee tabellen hebben betrekking op de dynamische belasting, daarom wordt factor 9 gebruikt.

Diepte m	Horizontaalbedding MN/m ³	Dyn. factor	In ESA invoeren MN/ m ³
(2,63)-(0,63)	10	9	90

Tabel 3 Horizontaalbedding (kelderwand)

Diepte m	Horizontaalbedding MN/m ³	Breedte paal m	Dyn. factor	In ESA invoeren MN/ m ²
0-(-5)	7	0,4	9	25
(-5)-(-11)	30	0,4	9	108
(-11)-(-14)	50	0,4	9	180

Tabel 4 Horizontaalbedding (palen)

De schelpfactor is verwaarloosbaar.

4 Ontwerpproces

Het ontwerpproces van het explosiebestendig gebouw bestaat uit verschillende stappen. Hieronder zijn de verschillende stappen genoemd en is uitgewerkt hoe de stappen zijn toegepast in dit ontwerp.

1. Het bepalen van de belasting:

De quasi-statische belasting voor het gebouw (op grond van het gekozen profiel in het Vooronderzoek) is op basis van een DLF van 0,2 als volgt:
quasi-statische belasting = $82,7 \times 0,2 = 16,5 \text{ kN/m}^2$ (druk)

Omdat de opdrachtgever eist dat de quasi-statische belasting waarop de (draag)constructie wordt berekend tenminste gelijk is aan de interne overdruk in de explosiewolk $P_s = 36,5 \text{ kN/m}^2$, zal die waarde worden aangehouden bij het ontwerpen van de gevels. Op grond van de berekeningen in het vooronderzoek zou voor het dak een belasting van ongeveer de helft van deze waarde moeten worden genomen. In dit ontwerp is echter dezelfde waarde gekozen ($36,5 \text{ kN/m}^2$) voor de belasting van het dak uit veiligheidsoverwegingen.

2. Het bepalen van de materiaaleigenschappen van de elementen, zoals gewicht en kwaliteit:

Op grond van de berekeningen in het vooronderzoek is er gekozen voor een hoofddraagconstructie van staal in combinatie met een betonnen fundering.

3. Ontwerp:

Met behulp van ESA PT en DBET is een model gemaakt ter dimensionering van de hoofdprofielen en betondoorsneden. Het resultaat van het ontwerp is te vinden in bijlage 1.

4. Check van de vervormingscriteria:

De vervormingsresultaten voor de elementen verkregen in ESA-PT, zijn verwerkt in een model gemaakt in Excel dat aangeeft hoe het gebouw reageert op deze resultaten. Uit het model blijkt dat het gebouw 'slap' reageert: $t_p/t_e < 0,4$. Dit betekent dat voor het ontwerp een belastingwaarde van $36,5 \text{ kN/m}^2$ voldoende is. Zie bijlage 2 trillingsberekening.

5. Uitwerking van de verbindingen:

De resultaten van ESA-PT worden gebruikt om de verbindingen te ontwerpen. Zie bijlage 3. Hier worden twee knopen berekend: knoop 16, kolom op fundering en knoop 36, kolom met liggers.

De verbinding is voor knoop 36 voor de ene zijde (zie bijlage 3) goed te realiseren in de praktijk. Voor de andere zijde is het echter in de praktijk lastig om de verbindingen te maken, omdat de flens van de liggers breder is dan het lijf van de kolom. Maar het moet altijd mogelijk zijn om tot een oplossing te komen.

De kolommen in de kelder hebben voetplaten van 630 mm., terwijl de wanden een dikte hebben van 400 mm. De wanden worden echter op de plaats van de kolommen verbreed, om goed te steunen op de kolommen.

Het ontwerp van de plaat en de ankers vallen niet binnen deze studie.

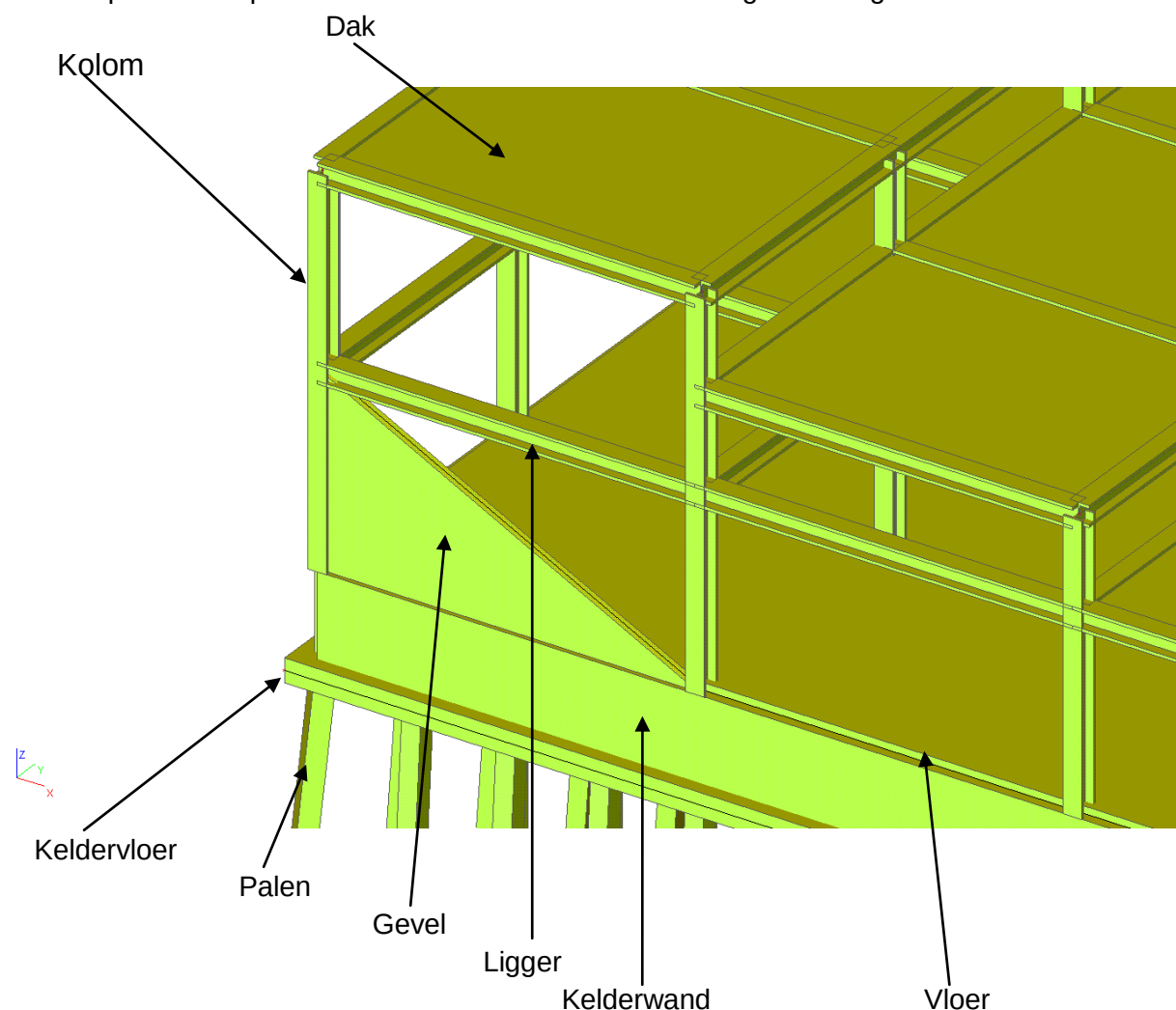
5 Definitief ontwerp

Voor het definitieve ontwerp is er gekozen voor de volgende materialen en afmetingen voor de verschillende elementen:

Element	Materiaal	Afmetingen
Liggers	Staal (S355)	Profiel HHD400x509
Kolommen	Staal (S355)	Profiel HHD400x421
Vloerbalken	Beton (C30/37)	Vierkant 400x400mm.
Vloer	Beton (C30/37)	Dikte 300mm.
Dak	Prefab beton (C30/ 37)	Dikte 220mm.
Gevel	Prefab beton (C45/ 55)	Dikte 220mm.
Kelderwanden	Beton (C30/ 37)	Dikte 400mm.
Keldervloer	Beton (C30/37)	Dikte 500mm.
Palen	Prefab Beton (C30/37)	Vierkant 400x400mm.
Verbindingen	8.8	M30

Tabel 5 Materialen en afmetingen van de gekozen variant 1b

Het ontwerp komt er op basis van deze materialen en afmetingen als volgt uit te zien:



6 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is een ontwerp gemaakt van een explosiebestendig gebouw. Voor de keuze van het model en de materialen voor het gebouw, zijn de volgende vier factoren cruciaal te zijn: de ductuliteit, stijfheid, Dynamic Load Factor en de eisen van de opdrachtgever. Op grond van deze vier factoren is er gekozen voor een gebouw met stalen spanten.

Een gebouw met stalen spanten is een relatief slap explosiebestendig gebouw. Het voordeel van een relatief slap explosiebestendig gebouw is reductie van de belastingen die het gebouw moeten kunnen dragen en daardoor ook van de kosten van het gebouw. Daarnaast zijn stalen spanten demontabel, wat nodig is om het gebouw te kunnen afbouwen na het plaatsen van de transformatoren (een eis van de opdrachtgever m.b.t functionaliteit).