

Deze presentatie is bedoeld ter kennisdeling. Er kunnen geen rechten aan worden verleend.

Consequenties van explosies voor constructies

COBc-dag 7 november 2024

Ans van Doormaal |

Inhoud

Consequenties van explosies voor constructies

1. Introductie explosie
2. Explosiebelasting
3. Constructierespons

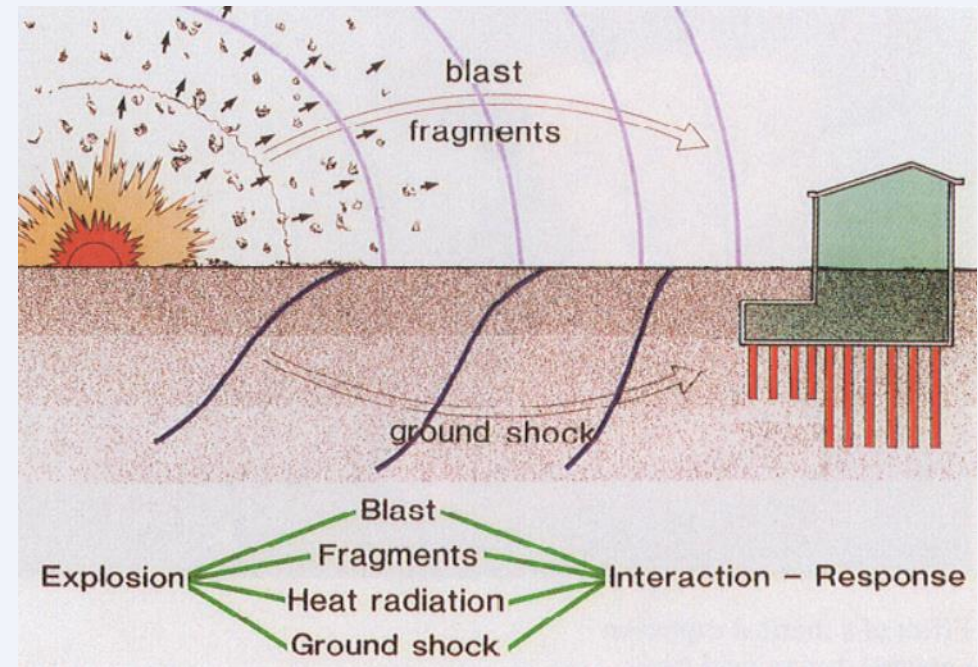


Explosie

TNO innovation
for life

Wat is een explosie?

- Het instantaan of heel snel vrijkomen van energie.
- Effecten:
 - Druk
 - Vuur- en stralingsverschijnselen
 - Fragmenten / brokstukken



Soorten explosies

plofkraak

mortiergranaat

vuurwerk

BLEVE

- Twee categorieën:
 - Detonatie
 - Supersoon
 - Instantaan
 - High Explosive (HE)
 - Deflagratie
 - Subsoon
 - Snelle verbranding

BLEVE

- Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
- Dit type explosie kan optreden bij een stof die onder atmosferische omstandigheden een gas is, maar die in een tank als vloeistof is opgeslagen bij verlaagde temperatuur of onder hogere druk.
- Effecten: **druk**, brokstukken en vuurbal



Koude BLEVE

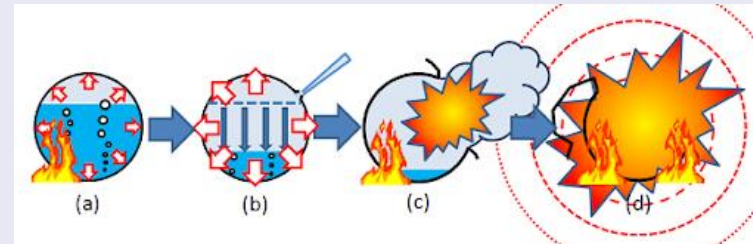
Bij schade aan het vat treedt snelle decompressie op en de vloeistof gaat koken



Effecten: druk en brokstukken

Warme BLEVE

Door externe verhitting loopt de druk in vat op waardoor vloeistof gaat koken.



Effecten: druk, brokstukken en vuurbal

Blast

- Blast is de verzamelnaam voor de drukeffecten die in de lucht optreden in de omgeving van een explosie
- Er zijn twee druk-effecten:
 - Schokgolf – vanwege drukverschil tussen de energiebron en de omgeving gaat een drukgolf zich uitbreiden om de drukverschillen op te heffen.
Een schokgolf is te vergelijken met een akoestische golf, maar dan in het niet-lineaire domein.
 - Blastwind (of quasi-statische druk bij een opgesloten explosie) – als gevolg van uitbreiding van verbrandingsproducten
Blastwind is de verplaatsing van deeltjes en te vergelijken met wind-effecten.
- De blast breidt zich in alle richtingen uit.

Karakteristieken van een schokgolf

Als functie van afstand op verschillende tijdstippen



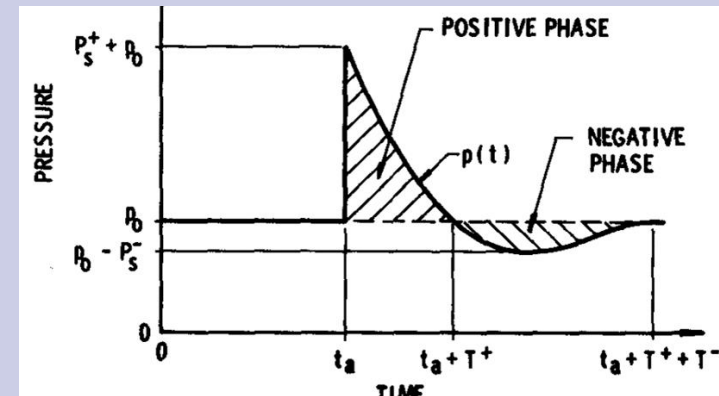
Discontinuïteit ter plaatse van front

Piekdruk, en exponentiële afname

Hoogte van de druk neemt af met de afstand

Overshoot leidt tot onderdruk

Als functie van tijd op een specifieke afstand



Discontinuïteit bij aankomsttijd

Piekdruk en exponentiële afname

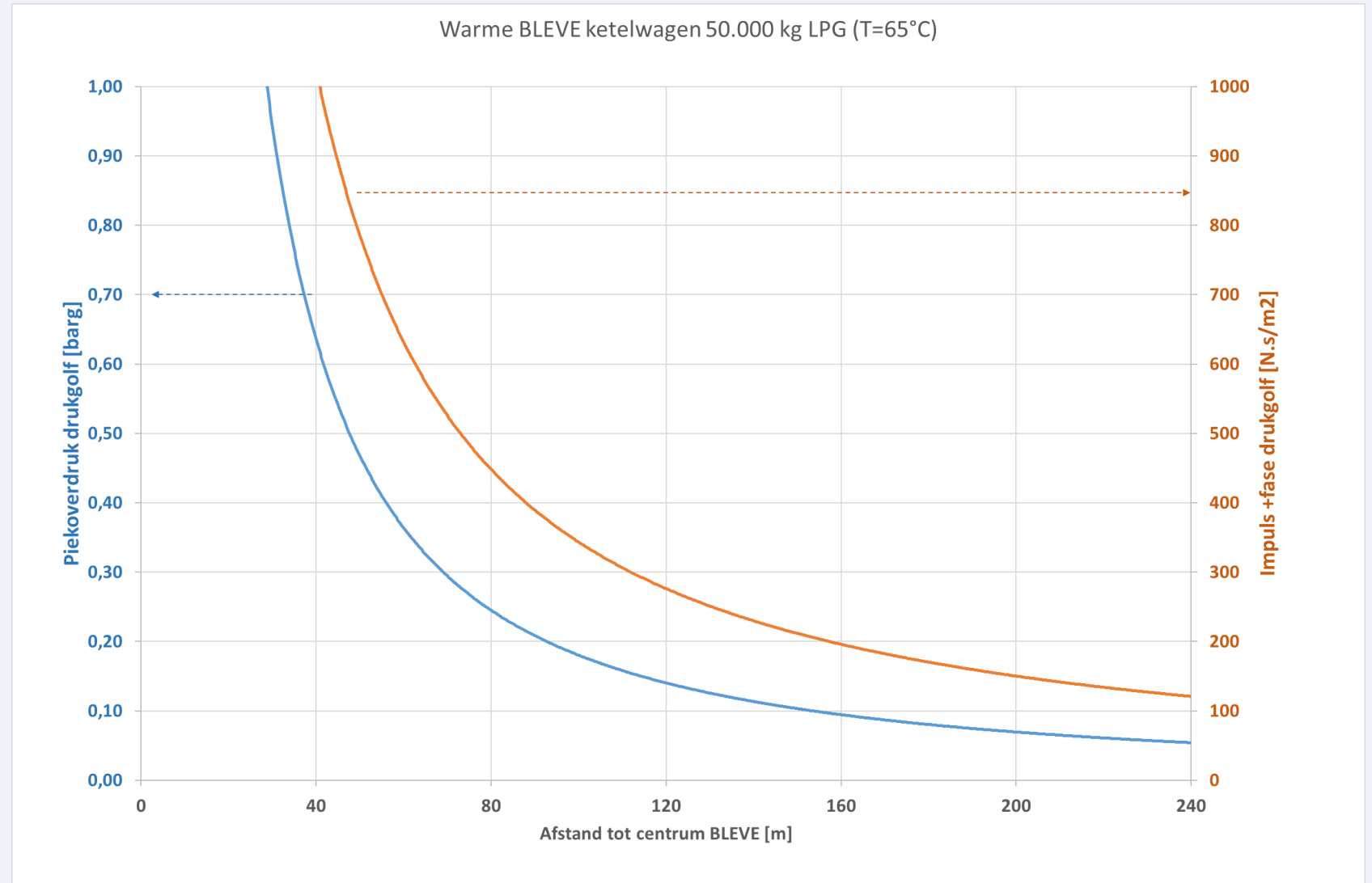
Hoge piekdruk, maar korte duur

Negatieve fase

Impuls = oppervlak onder de druk-tijd-curve; de impuls is een maat voor de energie in de schokgolf

BLAST van een BLEVE (RBM II)

- Rekenblad warme BLEVE
- Dit betreft vrije schokgolf
 - Blauw – piekdruk
 - Oranje - impuls



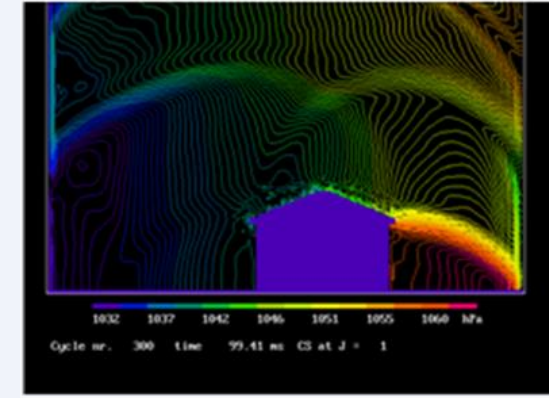
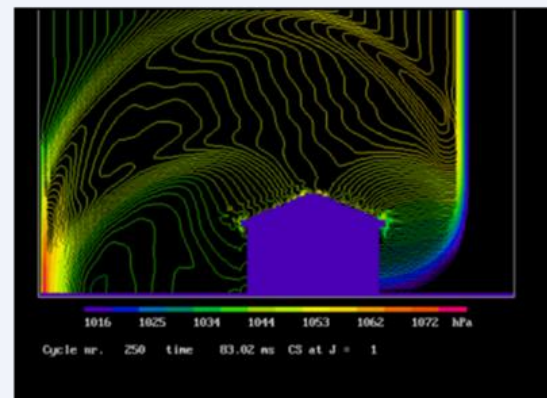
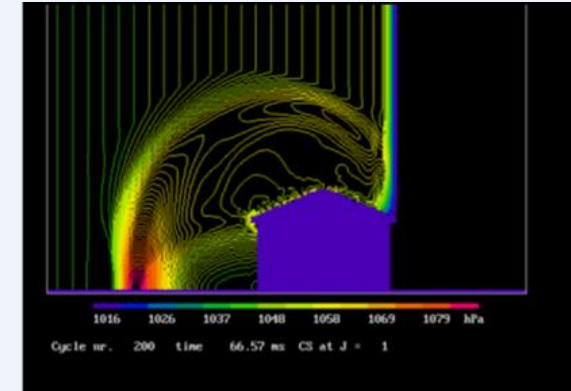
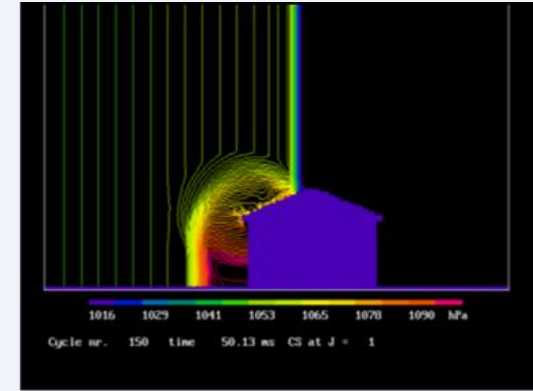
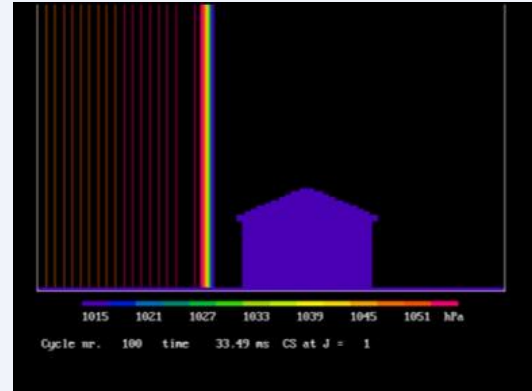


Explosiebelasting

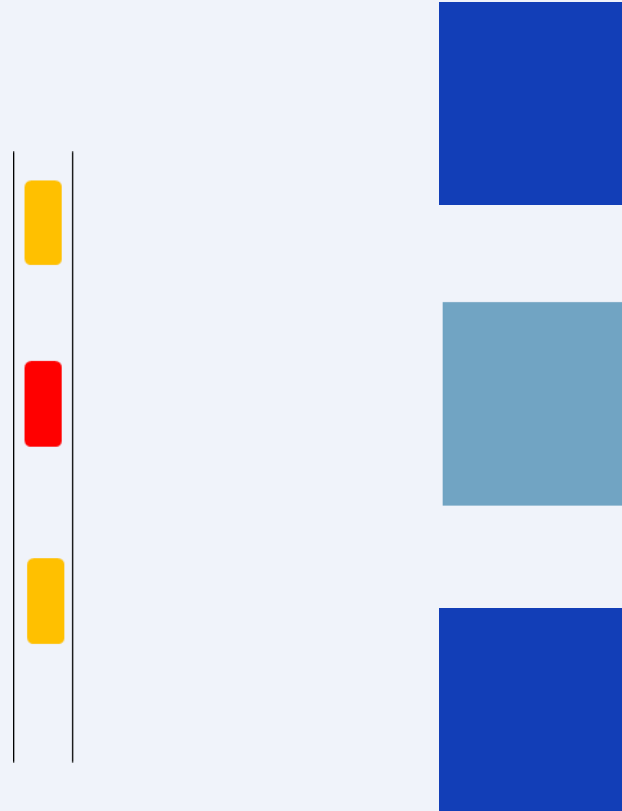
TNO innovation
for life

Interactie van schokgolf met een object

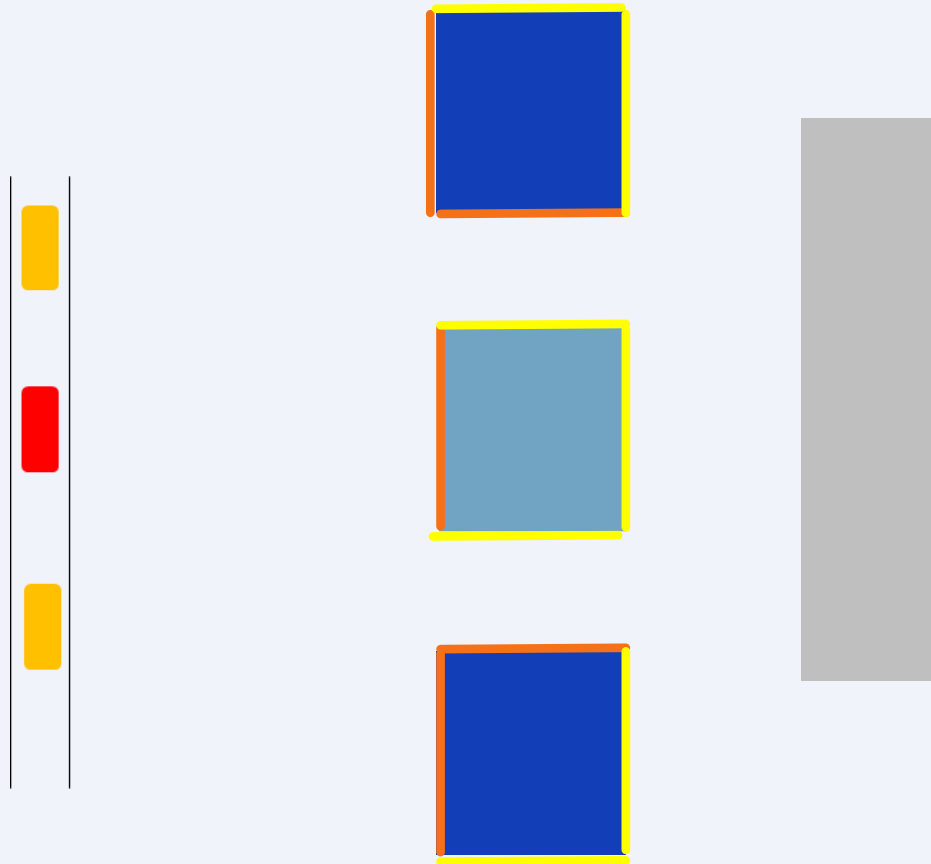
- Reflectie op oppervlakken waar tegenaan gebotst wordt, zoals de voorkant van een obstakel → gereflecteerde belasting op het vlak
- Ontlastingsgolven bij hoeken en randen → reductie in de impuls
- Voortplanting parallel aan een vlak → zijwaartse(side on) belasting op het vlak
- Diffractie om een obstakel heen → ook de achterkant wordt belast






Belasting op gebouw bij explosie op spoor



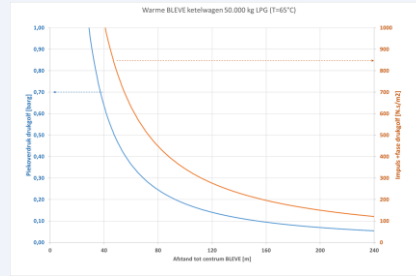
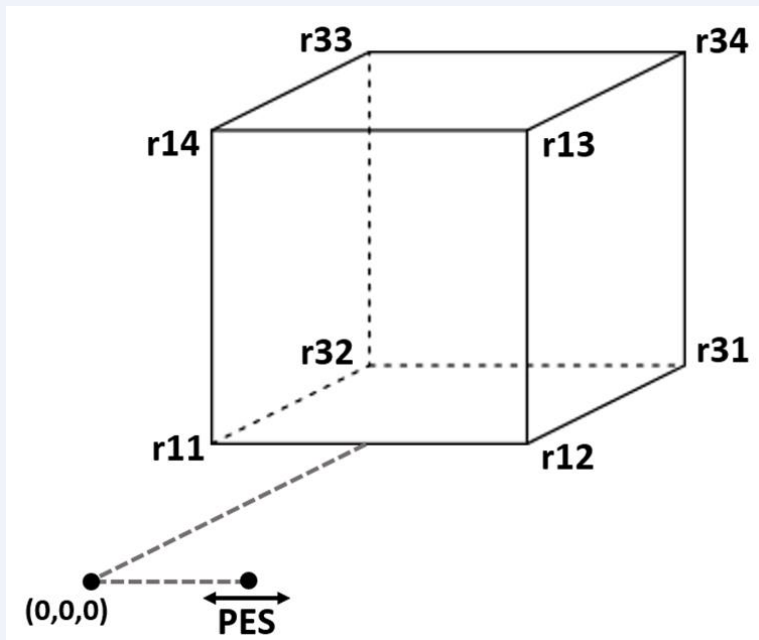
Belasting op gebouw



-  Gereflecteerde belasting
-  Loodrecht of onder hoek
-  Side on (zijwaartse) belasting
+ evt. secundaire (gereflecteerde)
schokgolfbelasting

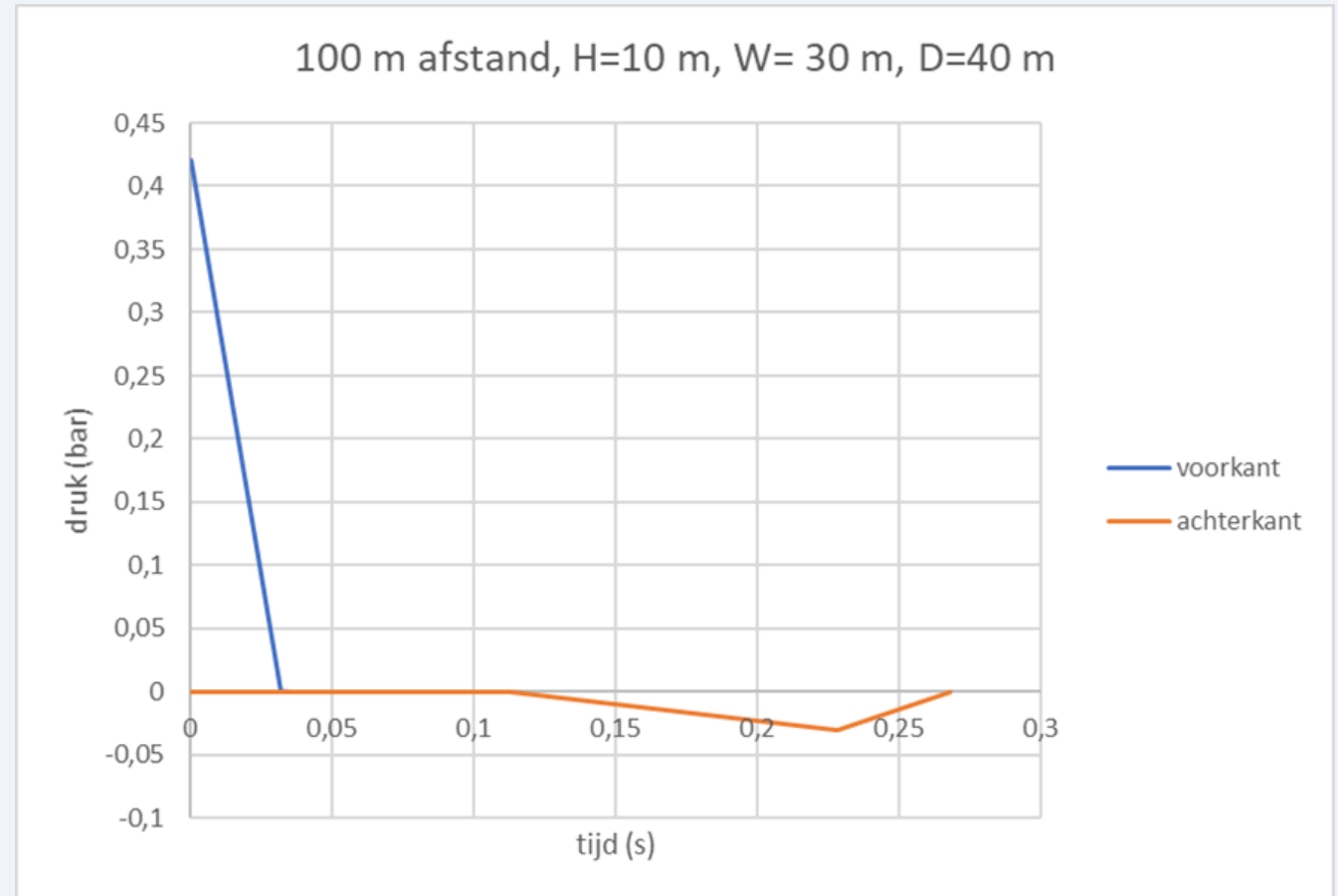
Voorbeeld

- Rechthoekig gebouw
- BLEVE recht voor het gebouw
- Afstand 100 m
- Gebouw: H=10 m, W=30 m, D=40 m



Vrije schokgolf: piekdruk = 19,5 kPa (0,195 bar), impuls = 337 Pa·s, duur = 0,035 s

Effectieve belasting op voor- en achterkant van het gebouw



Voorbeeld uitleg

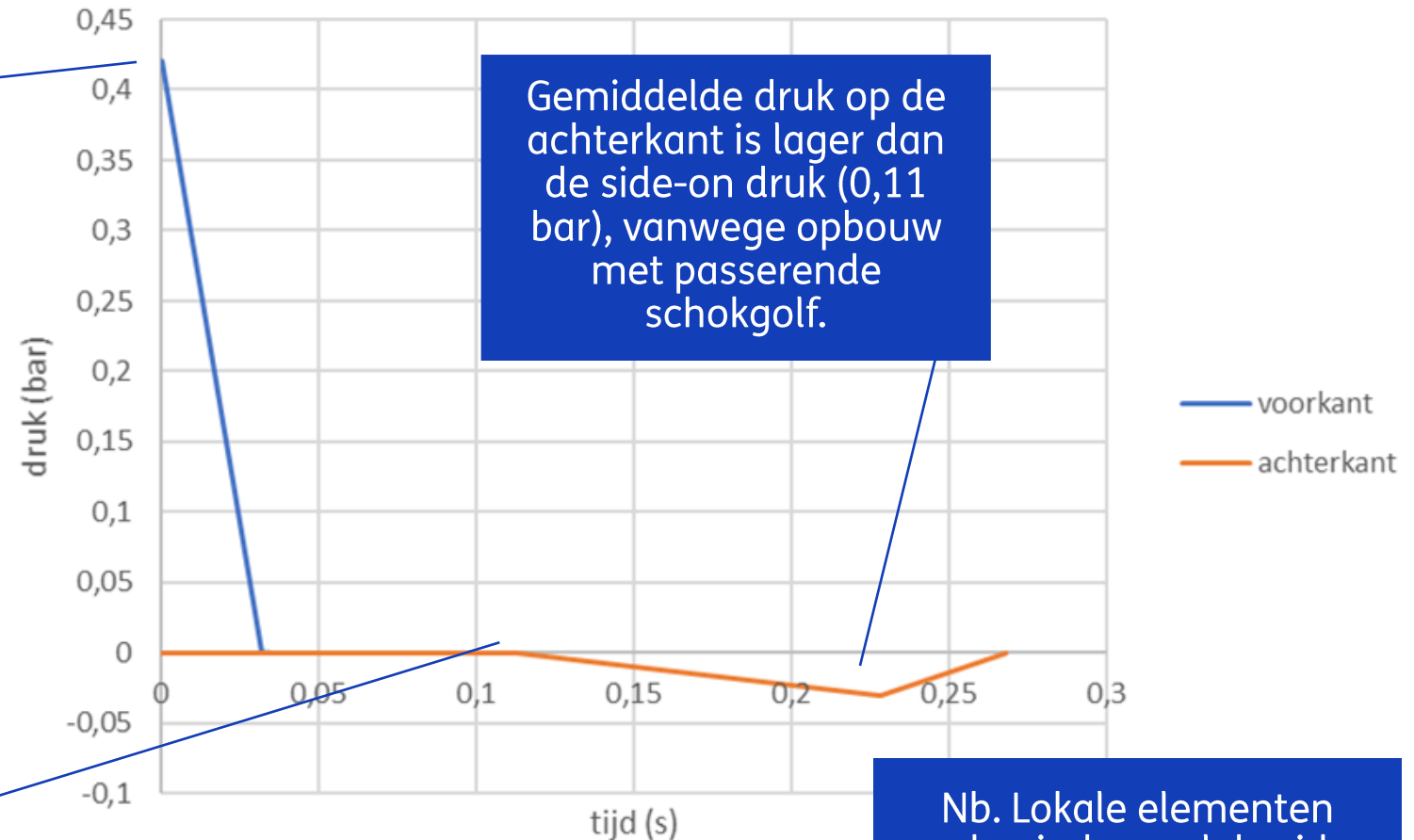
Invallende piekdruk van 0,195 bar geeft gereflecteerde piekdruk van 0,42 bar bij loodrechte inval

Reflectiefactor is afhankelijk van druk in de invallende schokgolf en van de hoek van inval.

De druk aan de achterkant komt veel later. Belasting op voorzijde is dominant.

Effectieve belasting op voor- en achterkant van het gebouw

100 m afstand, H=10 m, W= 30 m, D=40 m



Gemiddelde druk op de achterkant is lager dan de side-on druk (0,11 bar), vanwege opbouw met passerende schokgolf.

Nb. Lokale elementen ondervinden wel de side-on druk van 0,11 bar



Constructierespons

TNO innovation
for life

Dynamisch respons versus statisch

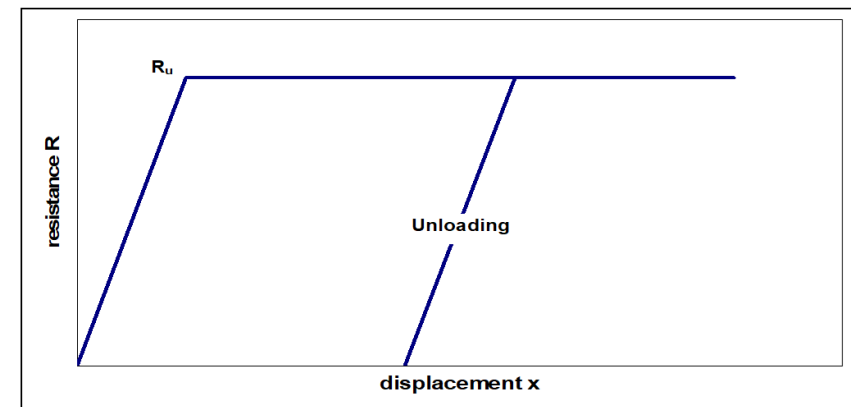
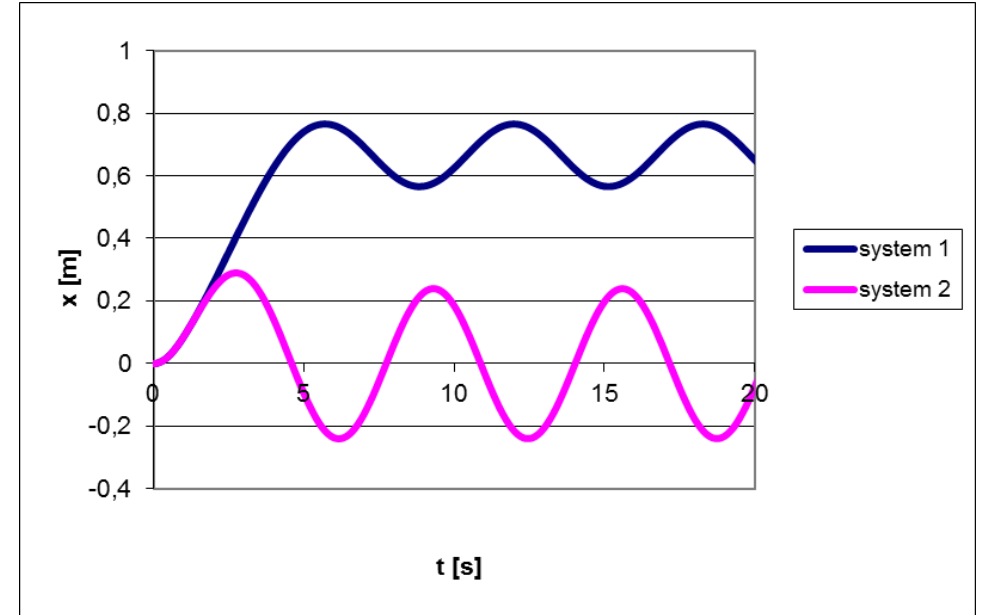
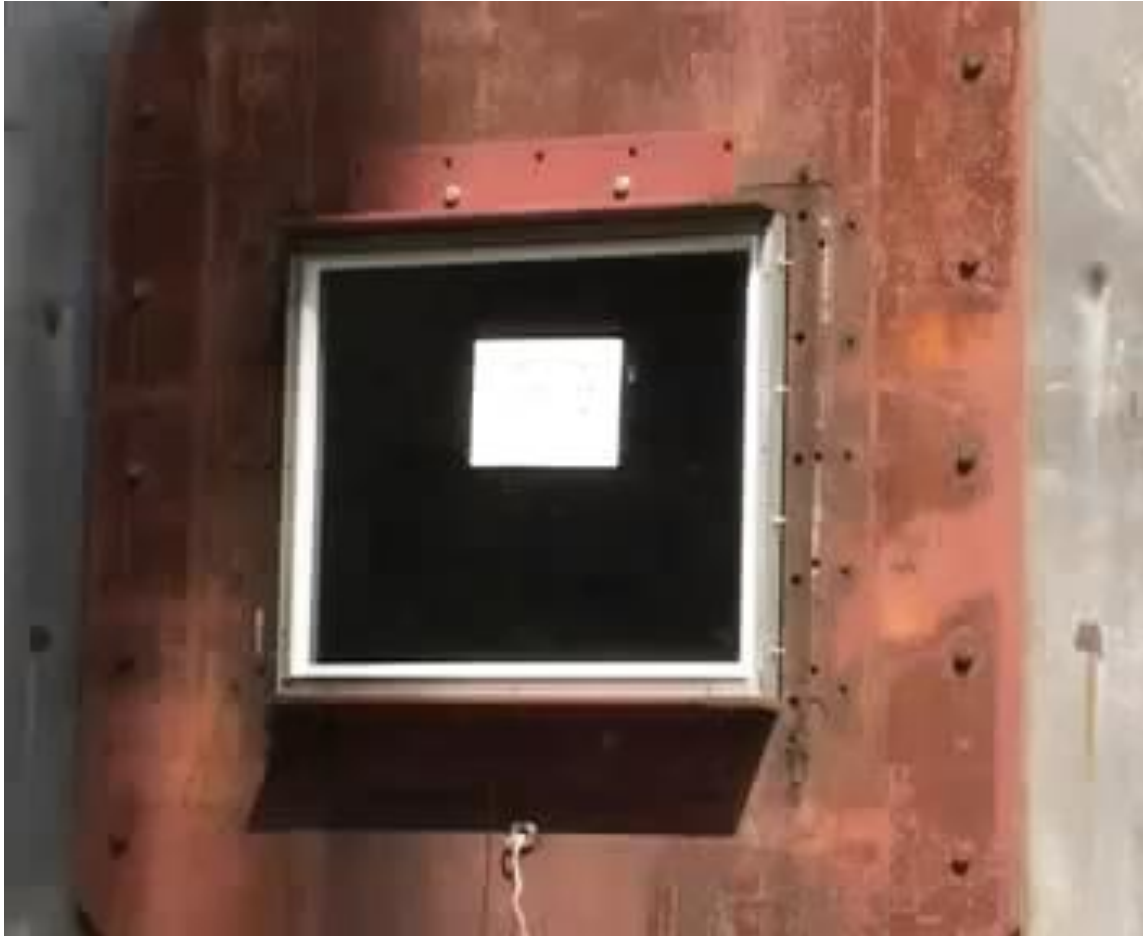
- Explosie: de belasting is hoog, maar van korte duur
- Statisch: de belasting heerst continu

- Er geldt een dynamisch ipv een statisch evenwicht
- Massa speelt een belangrijke rol middels traagheid.
$$\text{Traagheid (t)} + \text{Weerstand (t)} = \text{Kracht (t)}$$
- Energieabsorptie middels plasticiteit.

- Voorbeeld: tafelkleed.



Voorbeeld dynamisch gedrag van een blastwerende raam



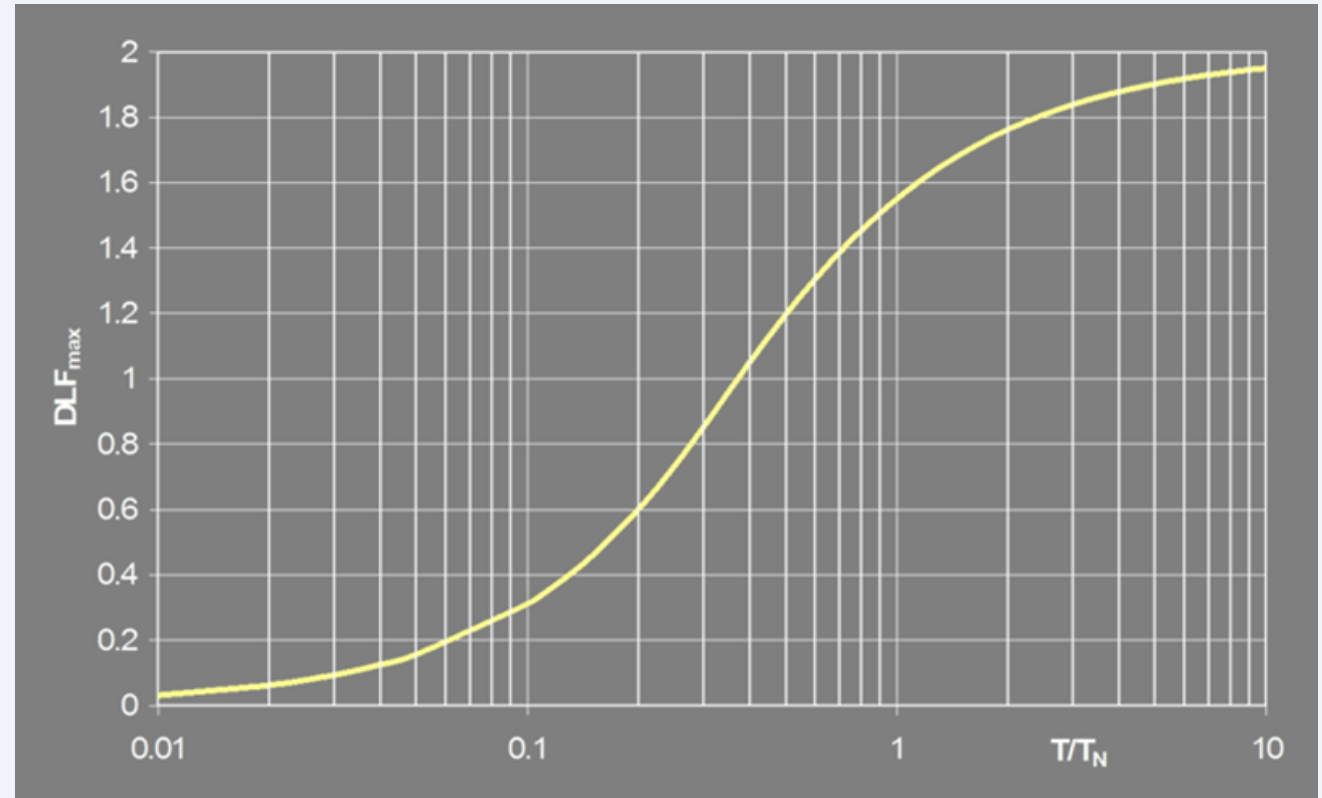
Maximale vervorming onder dynamische belasting

- Lineair elastisch gedrag

- $DLF =$

$$\frac{\text{vervorming onder belasting met piekdruk } P}{\text{vervorming onder statische belasting } P}$$

- Verhouding tussen de duur van de piekbelasting (T) en de eigentrillingstijd van het systeem (T_N)



Eigentrillingstijden voor gebouwen - indicatie

- Bron: PGS1.
- $T_N = k_1 \cdot H$
 - k_1 is een constante die afhankelijk is van het type gebouw.
- $T_N = k_2 \cdot \frac{H}{\sqrt{D}}$
 - k_2 varieert tussen 0,087-0,109
 - Meest gebruikt: 0,091 → PGS1 adviseert 0,09
 - H=hoogte, D= diepte van het gebouw
- Berekenen met numerieke tools.

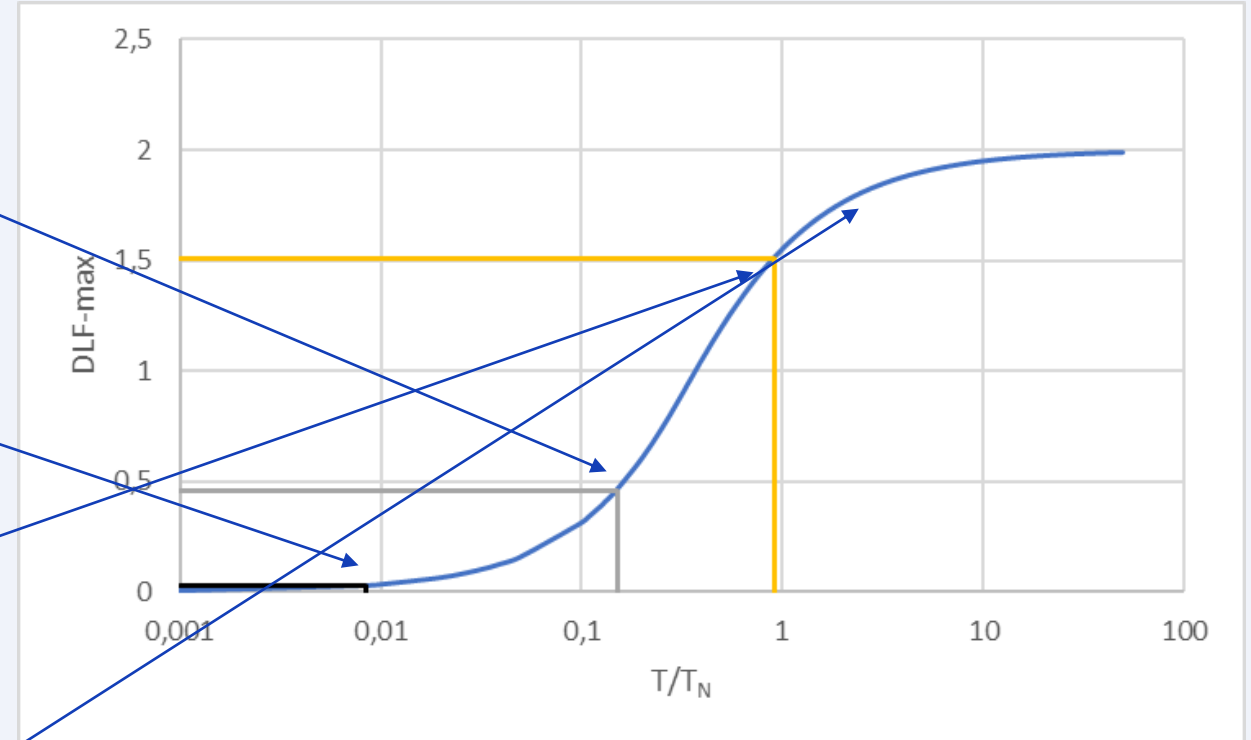
Voorbeeld (Pr=0,42 bar, T=0,03 s)

- Gebouw 1 (H=10 m)
- $T_N=0,2 \text{ s} \rightarrow T/T_N=0,15$
- $DLF=0,46 \rightarrow p_{eq}=0,19 \text{ bar}$

- Gebouw 2 (H= 180m)
- $T_N=3,6 \text{ s} \rightarrow T/T_N=0,0084$
- $DLF=0,026 \rightarrow p_{eq}=0,011 \text{ bar}$

- Ruit van $1,5 \text{ m}^2$, dubbel glas (6+6 mm)
- $T_N=0,033 \text{ s} \rightarrow T/T_N=0,909$
- $DLF=1,51 \rightarrow p_{eq}=0,63 \text{ bar}$

- Betonnen kolom
- $T_N=0,01-0,02 \text{ s} \rightarrow T/T_N=1,5-3$
- $DLF=1,7-1,84 \rightarrow p_{eq}=0,71-0,77 \text{ bar}$



Windbelasting: 0,5-1,5 kPa = 0,005-0,015 bar

Typische schade aan gebouwen bij explosie op afstand

- Grote schade aan gevel
 - Ruitbreuk en andere gevelelementen
 - Vooral aan de voorkant van een gebouw, maar mogelijk ook aan achterkant
- Schade aan hoofddraagconstructie is gering
 - De effectieve belasting voor hoofddraagconstructie is beperkt
 - De hoofddraagconstructie heeft ook voordeel van het snel bezwijken van de geveldelen. Daardoor worden de explosiekrachten niet volledig overgedragen.
 - Gevels/ruiten blastbestendig maken betekent ook aandacht voor de onderliggende constructie.

Beiroet

Afsluiting

- BLEVE - data in tabellen betreft de vrije schokgolf
- Belasting op gebouwen
 - Reflectie in rekening brengen
 - Langsscherende schokgolven belasten een oppervlak geleidelijk
- Respons
 - De eigentrillingstijd bepaalt de equivalente statische belasting.
 - Massa is gunstig.
 - Plasticiteit mag gebruikt worden om energie te absorberen.
 - Stabiliteit van gebouw is niet direct in gevaar, gevels zijn de zwakste schakel.
- Persoonlijke consequenties:
 - Voorkomen van instorten zorgt dat veel dodelijke slachtoffers voorkomen worden
 - Ruitbreuk:
 - Aantal dodelijke slachtoffers tgv verschervende ruiten is meestal gering. Wel veel slachtoffers met snijwonden.
 - Door ruitbreuk zijn mensen niet meer beschermd tegen straling van vuurbal. → Vluchtmogelijkheden!
- Referenties: PGS1 en PGS2



Ans van Doormaal
ans.vandoormaal@tno.nl

TNO innovation
for life