

Problémák a robbanóanyagok tárolásából származó kockázatok elemzésében

ELŐADÁS

2012. Október 10-én

Problémafelvetés

A robbanóanyagok jelenlétéből származó kockázatok elemzésére nincs egyértelműen alkalmazható módszer. A pontszerű forrásból kiinduló robbanás, mint jellemző folyamat pillanatszerűen játszódik le, így a „hagyományos” módszereket – mint például probit analízis – nem jellemzően alkalmazzák. Az alkalmazott módszerek:

- 2/1987. (II. 17.) IpM számú rendelettel kiadott Robbanóanyag-ipari Biztonsági Szabályzat,
- A 218/2011. Kormányrendelet előírásainak megfelelő módszer

A 2/1987. (II. 17.) IpM számú rendelettel kiadott Robbanóanyag-ipari Biztonsági Szabályzat

A módszer előnyei:

- alkalmazása egyszerű,
- gyors,
- figyelembe veszi az üzem helyi sajátosságai, a természetes és mesterséges csillapítási tényezőket, mint kockázatcsökkentő intézkedéseket.

Hátránya:

- a módszer nem felel meg a jelzett kormányrendelet előírásainak, segítségével a halálozás egyéni-, a társadalmi és a sérülés egyéni kockázat nem határozható meg.

A 218/2011. Kormányrendelet előírásainak megfelelő módszer alkalmazása

Az egyéni kockázatok meghatározásának lépései:

- veszélyazonosítás (súlyos baleseti scenáriók meghatározása),
- gyakoriságelemzés,
- következményelemzés,
- egyéni kockázatok meghatározása,
- egyéni kockázatok minősítése.

Veszélyazonosítás

A súlyos baleseti scenáriók meghatározása nem különösebben igényes feladat. A robbanóanyag raktárak semmiféle szűrési módszerrel nem vonhatók ki a további kockázatelemzés alól. A robbanóanyag raktárak esetében a jelenlévő összes anyag detonációjával számolunk, amennyiben a folyamat beindul.

Gyakoriságelemzés

A gyakoriságra a nemzetközi szakirodalom (Guidelines for quantitative risk assessment („Purple Book”), és a Controlling risks around explosives stores, HSE, 2002.) javasolnak frekvencia értékeket az eddigi bekövetkezett események alapján.

A „Purple Book” 1×10^{-5} /év, a HSE 3×10^{-4} /raktár év, illetve 2×10^{-4} /raktár év értéket javasol. Tapasztalat szerint az ezt felülvizsgáló hatóság ezeket az értékeket közvetlenül nem fogadja el, így a szakértőknek javasolt felülvizsgálni ezeket valamilyen eseményelemző – többnyire hibafa – módszerrel.

Tapasztalatunk szerint a hibafa módszerrel felülvizsgált, és a szakirodalmi értékek között nincs jelentős eltérés.

Következményelemzés

A robbanóanyag raktárak detonálásakor az alábbi következményekkel számolunk:

- **Romboló hatás:** a robbanás közvetlen környezetének szétroncsolásában jelentkezik, maradó deformációt okoz.
- **Detonáció-átadás** (raktáron belüli dominóhatás): a felrobbanó robbanóanyag olyan áthatása egy másik robbanóanyagra (passzív töltetre), amelytől az felrobban.
- **Léglökési hullám:** a robbanás által létrehozott és a levegőben haladó léglökési hullám frontjának nyomása, azaz a pozitív fázis maximális nyomása.
- **Szeizmikus hatás:** a robbanóanyagok felrobbanásánál - főleg a talajszint alá telepített robbanóanyagok robbanásánál - felszabaduló energia egy része rugalmas hullámok (rezgések) formájában a talajon keresztül érvényesíti károsító hatását az építményekre.
- **Repez- (törmelék-) hatás:** az épületszerkezeti elemek, berendezési tárgyak, szerelvények robbanás hatására történő szétszóródása és azok veszélyeztető (károsító) hatása.
- **Robbanást követő gyújtóhatás:** a robbanás közvetlen hőhatása és a repezhatás következtében szétszórt égő vagy felhevült anyagok, szerkezeti elemek által okozott gyújtóhatás.
- **Mérgező égéstermék keletkezése:** A robbanás során a robbanóanyag összetételétől függően mérgező égéstermék keletkezhet, amely a levegőben terjedhet.
- **Másodlagos hatások:** épületek, azok szerkezeti sérüléseiből (például ablakok betörése, rosszul felfekvő gerendák lezuhanása stb.) eredő sérülések .
- **Egyéb hatások:** toxikus égéstermékek, hőhatást stb.

A következmények értékelésénél azonban csak az alábbi lehetőségek vannak

- Szoftveres elemzéssel a kialakuló léglökési hullám hatásainak elemzése: Az általunk alkalmazott szoftverek (DNV PHAST, SAVE II.) alkalmasak a léglökési hullám (túlnyomás) távolság diagram ábrázolására, ugyanakkor ezek az eredmények csak tájékoztató jellegűek, hiszen egyik szoftverben sem lehet figyelembe venni a természetes és mesterséges védelmi (csillapítási) tényezőket.
- Dominóhatás vizsgálat az előző vizsgálat alapján történhet, bár a valóságban bekövetkezett események az eredményeket cáfolták.
- A mérgező égéstermékek modellezhető szoftveresen a DNV PHAST, illetve a SAVE II segítségével, fontos viszont a kezdeti a paraméterek – elsősorban hőmérséklet – helyes definiálása. Tapasztalataink szerint az 1%-os elhalálozást okozó mérgező füstfelhő (elsősorban $N_y O_x$) maximális terjedési távolsága – több tonna robbanóanyag robbanása esetén – néhány száz méter, így a kockázatelemzés során elhanyagolható.
- Repeszhatás modellezésére nincs szoftveres lehetőség, a HSE módszer tartalmaz egy elég nehezen követhető leírást.

A kockázatok elemzése

A halálozás egyéni kockázat az alábbi képlet alapján számolható ki:

$$IR = P * F_E * (T_O * L_o + T_I * L_i),$$

ahol:

P: az esemény frekvenciája

F_E : a kockázatnak való kitettség időarányos értéke (az év azon törtrésze ameddig egy személy egy adott távolságban tölt el). Helyi lakosok esetében ez az érték 1.

T_O : az idő azon tört része, amennyit egy személy házon kívül tölt el. Értéke 11%, tipikus értéknek tekinthető.

L_o : annak a személynek a halálozási valószínűsége, akik a robbanás idején szabad levegőn tartózkodnak

T_I : az idő azon tört része, amennyit egy személy házon belül tölt el (0,89)

L_i : Robbanásból származó halálozási valószínűség épületben

- A fenti képletben L_i és L_o meghatározása az alábbi képletekkel történik:

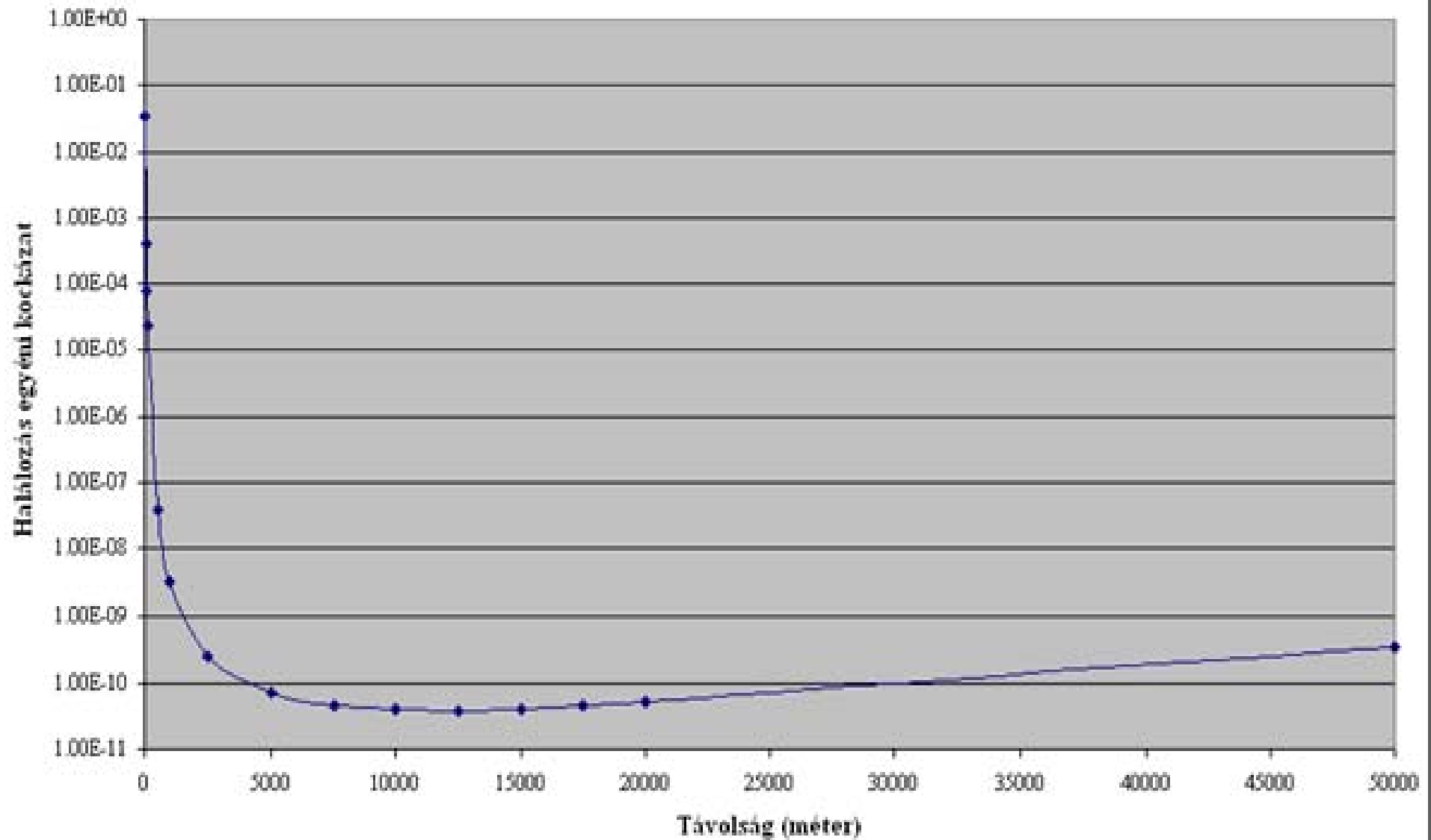
$$L_o = \frac{e^{[-5,785 * |R| Q^{-0,5} - 19,047]} }{100}$$

$$\text{Log}(L_i) = 1,827 - 3,433 \text{Log} \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right) - 0,853 \left(\text{Log} \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right) \right)^2 + 0,356 \left(\text{Log} \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right) \right)^3$$

- ahol : L_o Robbanásból származó halálozási valószínűség szabadtéren
- L_i : Robbanásból származó halálozási valószínűség épületben
- R: a vizsgált távolság (m)
- Q: a robbanóanyag tömege (kg)

Frekvencia: $2e-4/\text{év}$, $Q = 8000 \text{ kg}$

Halálozás egyéni kockázat a távolság függvényében



A módszer használhatóságának elemzése egy a valóságban bekövetkezett detonáció példáján



Az esemény körülményei

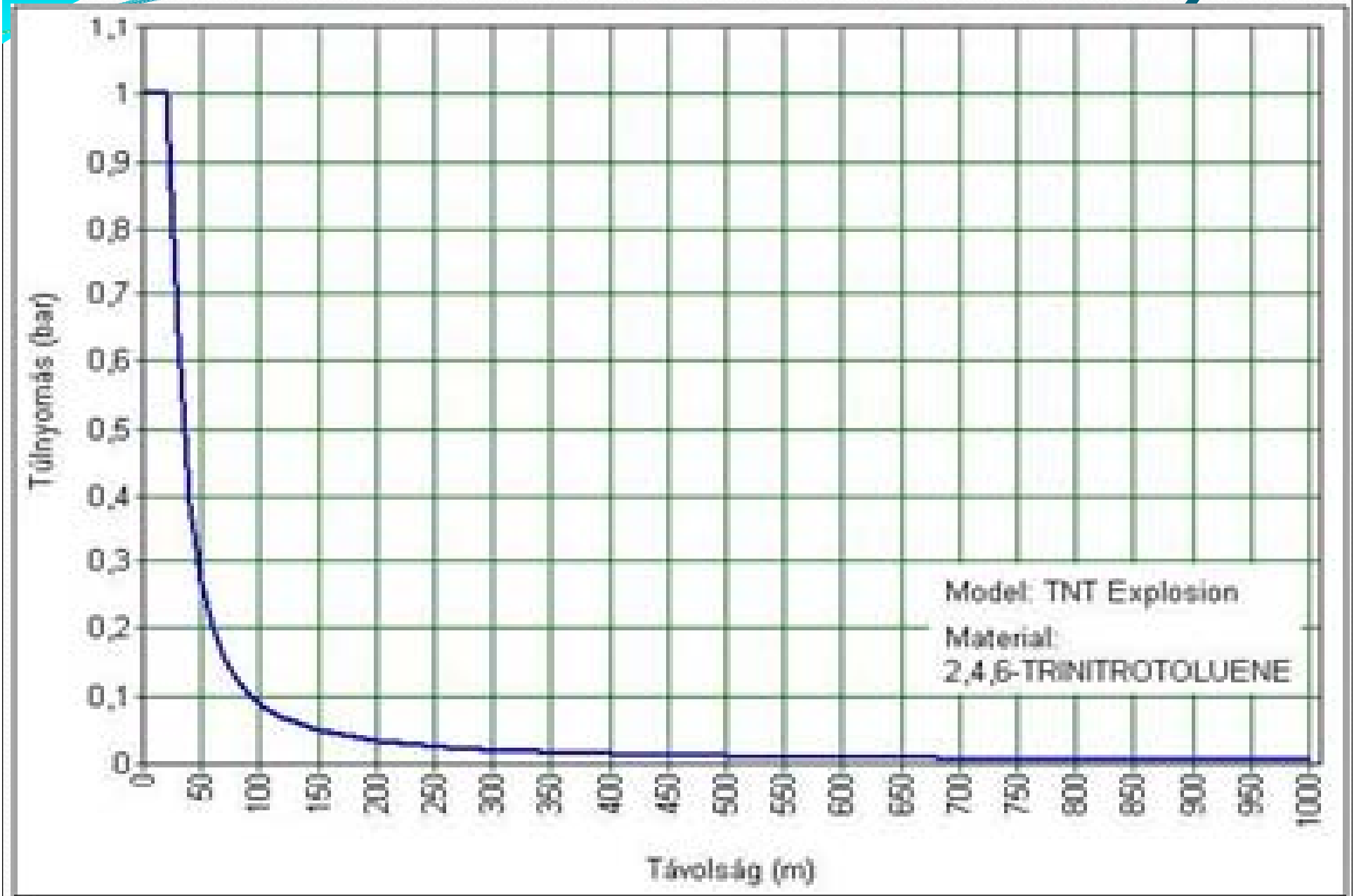
2008. június 28-án délelőtt a Nike-Fiocchi Kft. balatonfűzfői telephelyén az 5-ös számú raktárépület egyik helységében tűz keletkezett, majd robbanás történt. A raktártereket harántirányban és északi hosszirányban robbanás-biztos vasbeton falak határolják. A déli oldalon hasadó-nyíló felületként fémvázaz üveg, mint térelhatároló, illetve kőszivacs repülőtető épült. A bejárati ajtók előtt 60 cm magas rámpa van. Az épület falszerkezete vasbeton vázszerkezet között 10 cm illetve 15 cm vastag kőszivacs lapokból falazott, hasadó-nyíló felületként kialakított falazat. Födém szerkezet alul bordás vasbeton, illetve vázszerkezethez kapcsolt hosszanti merevítő keretek. Nyílászárók fém, sík acél lemezelt ajtók. Padozat simított beton, illetve szikramentes aszfalt. Az épület földszáncokkal bevédett.

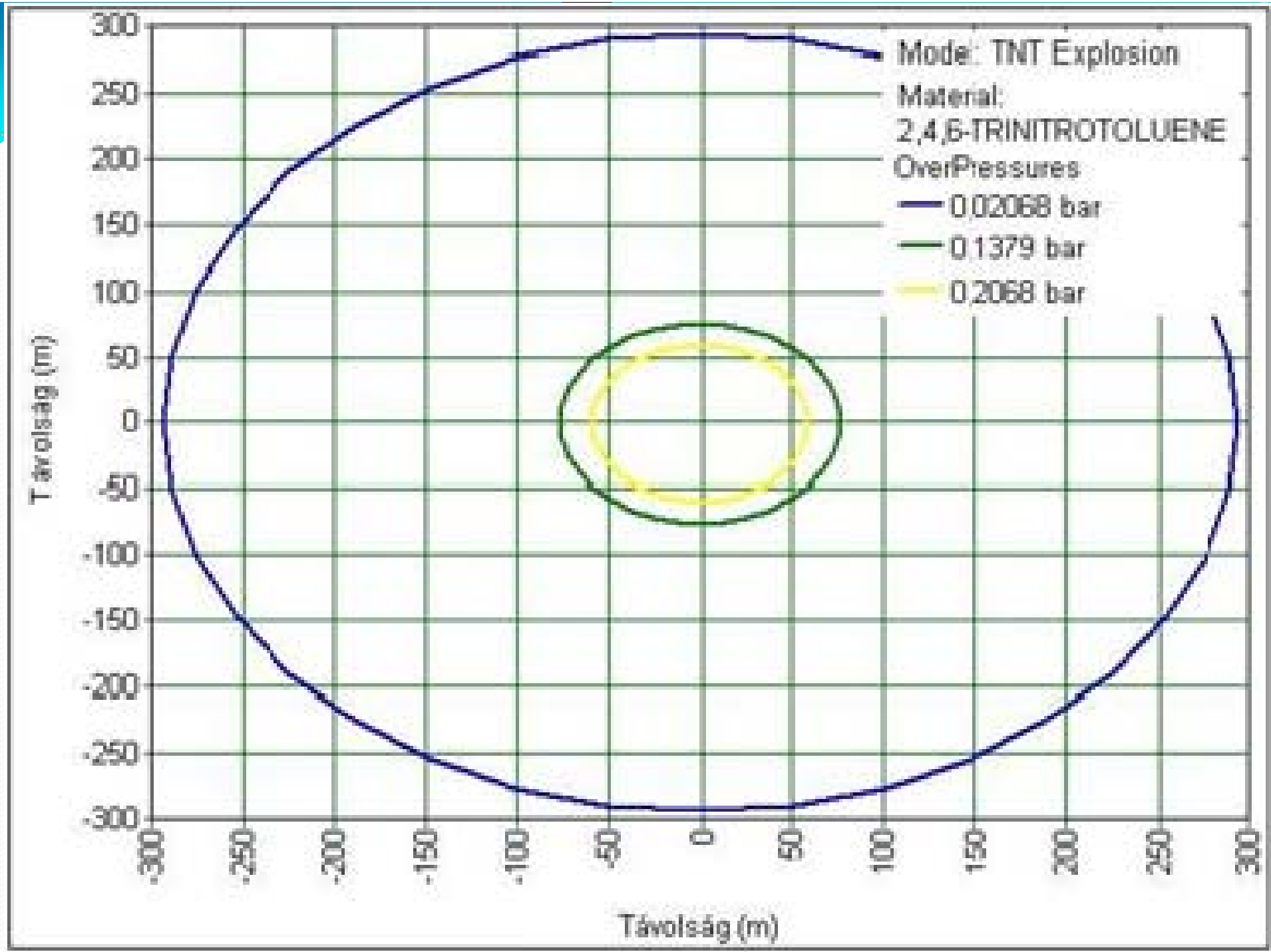
A robbanás a raktárépület 8-as számú helységében keletkezett, ahol az üzemeltető a gyártási selejtként nagy mennyiségben felhalmozódott hulladék csappantyút, füstpatront, ködtermékeket, gyújtózsínort, villanógránátot és ködgyertyát tárolt. A tárolt robbanóanyagok mennyisége 225 kg TNT ekvivalens tömegnek felt meg.

A robbanás feltételezett oka az, hogy az előző éjszakai jelentős esővel járó vihar vízbefolyást eredményezett, amely kiváltotta a hexaklóretános ködtermék melegedését, öngyulladását, ami a későbbiekben detonációhoz vezetett.

A továbbiakban összehasonlítjuk a kockázatelemzés készítése során alkalmazott számítási módszerek eredményeit a gyakorlati - bekövetkezett esemény következményei - tapasztalatokkal.

DNV Phast modellezés eredményei





SAVE II. modellezés

Explosion: Shockwave

Pressure [Pa]	Distance [m]
3E4	44
1E4	95.6
3E3	255
1E3	701

A valós következmények

- Romboló hatás – a robbanás közvetlen környezetének maradó deformáció jelentkezett. A robbanás következtében a csappantyúval érintkező vasbeton fal 1-1,5 m² területen átszakadt, a hasadó-nyíló felületek megnyíltak, a vasajtó a szemközti földbevéedésre repült. Az épület villámhárítója részben, illetve a védődomb területén lévő kerítés részlegesen megsérült.



Túlnyomás (bar)	Hatás
0,001379	Zavaró hanghatás
0,002069	A nagy ablakok ablaküvegei nagy valószínűséggel betörnek
0,002758	Hangos zaj
0,006895	A kis ablakok ablaküvegei nagy valószínűséggel betörnek
0,010343	Az üvegbetörés tipikus nyomása
0,020685	"Biztonsági távolság" határa, amelyen kívül 95%-os valószínűséggel komoly sérüléssel nem kell számolni
0,02758	Kisebb szerkezeti károsodás határa
0,048265	Kisebb szerkezeti károsodás a házakban
0,089635	Acélszerkezetek eltorzulnak
0,1379	A házak fala és teteje részlegesen összeomlik
0,172375	Alsó határa a súlyos szerkezeti károsodásnak
0,158585	A téglafalás házak 50%-a összedől
0,20685	Az épületek acélszerkezete eltorzul
0,2758	Az olaj tankok repednek
0,48265	A házak közel teljes összedőlése
0,48265	A megrakott vasúti vagonok felborulhatnak
0,62055	A megrakott zárt tehervagon teljesen felborul
0,89635	A házak teljes szerkezete valószínűleg lerombolódik

- Légnyomás – a közelben található épületek üveglablakai betörték. a kb. 50-60 méterre található 1. számú üzemi épület, illetve az SZ17-es raktárépület ablakai részben betörték. (Az alábbi térképen az üveglakárt sárga téglalappal jelöltük.)
- Repesz- (törmelék-) hatás – A robbanást követő helyszíni bejárás során megállapítható volt, hogy a repülőtető téglatörmelékei (a térképen piros övezettel jelölt terület) az epicentrumtól déli irányba (kifúvás iránya) a védősánc szélességében a bobbálya kerítéséig hullottak szét. Ezen övezeten belül lehetett a tárolt anyagok csomagoló részeit is megtalálni. Az SZ5-ös raktártól 30 méter szintkülönbséggel alacsonyabban, légvonalban dél-keleti irányba 150 méterre között és az uszoda parkolója, 220 méterre az uszoda épülete fekszik. Ezen a területen törmeléket nem találtak.
- Szeizmikus hatás nem alakult ki.
- Robbanást követő gyújtóhatás nem alakult ki.



**Üzemi
épület**

**Robbanás
epicentruma**

**Uszoda
parkoló**

**Sz17
raktár**

**Bobpálya
területe**



Uszoda

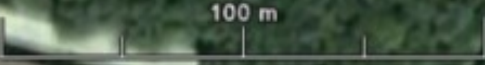


Image © 2008 DigitalGlobe
© 2008 Tele Atlas

©2007 Google™

- Méregző égéstermék keletkezése: Az esemény során kb. 5 – 6 perc időtartamban különféle, elsősorban káliumklorát-porcukor-amonklorid, illetve hexaklóretán-cinkpor keverékéből álló füstök, füstelegyek keletkeztek. A füst az üzem határán túl nem terjedt, lakossági intézkedést nem kellett foganatosítani. A beavatkozó tűzoltóegységek az oltási munkálatokban légzőt alkalmaztak.
- Biológiai hatás, személyi sérülés nem történt.

A számított és a valós következmények összevetése

A bemutatott szoftveres elemzések a valós hatásterületnél nagyobbab eredményeztek. Ez bizonyítható az ablaktörést okozó légnyomás vizsgálatával.

A valóságban 60 méteres övezeten kívül ablaktöréssel nem, a 60 méteres övezeten belül csak részleges ablakbetörés keletkezett.

A szoftveres elemzés azt mutatják, hogy 300 méteres övezetben kialakuló légnyomás elérte az ablaktöréshez szükséges értéket.

A modellezéssel 225 kg TNT ekv. tömegű robbanóanyag robbanáskor 40 – 60 méteres övezeten belül olyan túlnyomásértékek alakulnak ki, amelyek következtében a házak fala és teteje részlegesen összeomlik.

A valóságban a 40 – 60 méteres övezetben található létesítmények szerkezetében nem keletkezett kár.

Összegzés, konklúzió

A fenti elemzések alapján megállapítható, hogy a valóságban – feltételezhetően a csillapítási tényezőknek, esetleg a TNT ekvivalens tömeg meghatározási nehézségeinek köszönhetően – a hatások jóval kisebbek voltak, mint az eleméleti módszerekkel meghatározott várt következmények.

A vizsgálatok szerint leginkább a szoftveres modellezés eredményei által prognosztizált hatásterület nagysága tért el a valóságtól, esetenként 5-szörös mértékben felülbecsülve azt.