

# TEHERGÉPKOCSI TARTÁLYÁNAK TŰZVÉDELMI TERVEZÉSE KÖZÚTI BALESET ESETÉN

## FIRE SAFETY DESIGN OF TRUCK TANK IN PUBLIC ROAD ACCIDENT

Petrik Máté\*, Bolló Betti\*\* Jármái Károly\*\*\*

### ABSTRACT

The focus of the research is to determine the fire-resistant time of a truck tank containing different liquids in case of a public road accident. The wall material and the wall thickness of the tank have a significant effect on the fire resistance. Depending on the heat release rate, the process can be rapid. We make the calculations for the given tank dimensions and try to optimise the tank for the necessary fire resistance time R30 and R45.

The vessel on a track cannot be classified as a classic pressure vessel, even though the fluid in the cylindrical shell is already loading hydrostatic pressure on the vessel wall. This is due to the dynamic and fatigue loads resulting from the vehicle's progress. Typically, two problems can occur in the event of a fire in such a tank. When transporting a flammable liquid, the fire can cause the pressure in the vessel to increase, resulting in the vessel rupturing. The use of safety equipment can avoid this. However, a BLEVE phenomenon may occur if the tank is left on fire for too long. On the other hand, when transporting solid granular materials, the medium is less able to dissipate heat, so the container may weaken under the weight load, which may also result in cracking. If the granular material is combustible, a more severe fire may develop.

### KIVONAT

A kutatás középpontjában a különböző folyadékokat tartalmazó tehergépkocsik tartályának tűzállósági idejének meghatározása áll egy közúti baleset esetén. A tartályfalának anyaga és falvastagsága jelentős hatással van a tűzállóságra. A hőfelszabadulási sebességtől függően a folyamat nagyon gyors lehet. Az adott tartályméretekre elvégezzük a számításokat, és megpróbáljuk optimalizálni a tartályt a szükséges R30, illetve R45 tűzállósági időre.

A vizsgálat tárgyát képező tartályok nem sorolhatók a klasszikus nyomástartó edények közé, annak ellenére, hogy a hengeres héjban lévő nyomás alatti folyadék nyomást gyakorol a tartályfalára. A különbözőség oka a jármű haladásából eredő dinamikus és fárasztó terhelések. Egy ilyen tartályban keletkező tűz esetén

jellemzően két probléma merülhet fel. Gyúlékony folyadék szállítása esetén a tűz hatására a tartályban megnőhet a nyomás, ami a tartály felhasadásához vezethet. Ez biztonsági berendezéssel elkerülhető, de BLEVE jelenség léphet fel, ha a tartály túl sokáig a tűz hatás alatt marad. Szilárd szemcsés anyagok szállítása esetén a közeg kevésbé képes a hő elvezetésére, így a tartály meggyengülhet a súlyterhelés alatt, ami szintén meghibásodáshoz vezethet. Ha a szemcsés anyag éghető, még súlyosabb tűz alakulhat ki.

### 1. BEVEZETÉS

Modernkori világunkban a termékek a fogyasztóhoz történő szállítása szárazföldön jellemzően közúti és vasúti módon történik. Nincs ez másképp a vegyipar termékeivel kapcsolatban sem. Természetesen vannak közegek, amelyek a mindennapi életünkhöz nélkülözhetetlenek, például ivóvíz, távfűtés, melyek elérhetőségét folyamatosan biztosítani szükséges. Ezeket kiépített csőhálózaton keresztül szükséges szállítani. A többi közeget, legyen az szilárd szemcsés, folyadék vagy gáz halmazállapotú, diszkrét adagokban, néhány köbméteres egységekben szállítják a felhasználás helyszínére. Lehetnek ezek az anyagok élelmiszeripari eredetűek (például tej, szemestakarmány, liszt), vegyipari jellegűek (például kőolajszármazékok, oldószerek), faipar, cementipar stb. [1]. Jelen tanulmány a közúti tartálykocsik balesetét feltételezi, ahol a tartályba oldalirányban egy személyautó beleütközik, és annak üzemanyaga kigyullad. Ilyen balesetre mutat példát az 1. ábra.



1. ábra Tartálykocsi és személyautó ütközése [1]

\* adjunktus, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

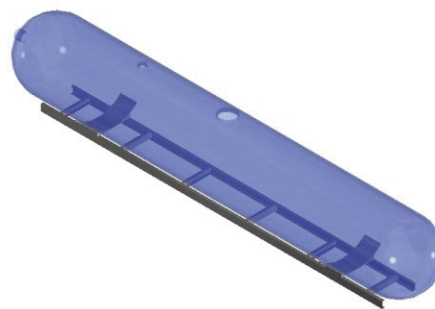
Az előzőekben bemutatott példák közül gyakorlatilag csak a tejhez nem szükséges társítanunk extra kockázatot, mert egyrészt alacsony nyomás a latt történik a szállítása, másrészt a tartály felhasadása esetén sem az égést nem fogja táplálni (szerencsés esetben meg is szüntetheti), sem környezeti károkat nem fog okozni. Ezek a jellemzők nem mondhatók el a többi példáról. A mezőgazdasági takarmányok táplálhatják a tüzet, ezek örleményei, a cementpor, fűrészpor porrobbanásra képes. Az oldószerek, kőolajszármazékok jellemzően kis szaturációs nyomással jellemezhetők, tehát viszonylag könnyen elgőzölögnek, továbbá tűz- és robbanásveszélyesek, így a szabadba kerülésükkor potenciálisan veszélyes atmoszféra jön létre [3-5].

### 1.1. Közúti tartálykocsi

A közúti tartálykocsik gyakorlatilag a legegyszerűbb konstrukciójú nyomástartó edények közé tartoznak: egy hengeres köpeny két domborított edényfenékkal lezárva. Ezt az edényt egy alvázszerkezetre fektetik fel, az alátámasztást jellemzően két nyereggel oldják meg. Az edény a lapterhelése a belső nyomás, mely gázok/gőzök és nyomás alatt lévő folyadékok esetén a gőztér nyomásával egyezik meg, szilárd szemcsés anyagok, porok és atmoszféricusan szállított folyadékok esetén a hidrosztatikai nyomással azonosítható. A héjelemekben ébredő feszültségek a klasszikus nyomástartó edényekkel foglalkozó elméletekkel határozható meg. Ezek ellenére mégsem tartozik a nyomástartó edények közé, melynek oka a forgalomból és útviszonyokból származó dinamikus és ismételt hatások jelenléte. Éppen ezért külön rendelet foglalkozik az ilyen berendezésekkel, kifejezetten a veszélyes közegek szállítására, melyet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti szállításáról szóló Európai Megállapodás (röviden ADR) tartalmaz [6,7].

### 1.2. Alvázszerkezet

Az alváz funkcióját tekintve kettős: ezen a szerkezeti elemén keresztül történik a tartály felfogatása és rögzítése, valamint ehhez csatlakoztatják a lengéscsillapítón keresztül a futóművet, valamint a fékberendezést. Az alvázak többnyire létra alakúak, jelen esetben viszont többszörösen indokolt ennek az alakzatnak az alkalmazása, annak érdekében, hogy a jármű haladásából származó terhelések a lehető legkisebb mértékben adódjanak át az edénynek [8,9]. Ennek értelmében a teherbíró képességen túl nagy csavarási és hajlítási szilárdság követelményeket társítható az alváz mellé. A létra alakú alvázakat éppen ezért úgy készítik el, hogy a tartók különböző I, C vagy U profilból kerülnek kialakítása, melyeket keresztartókkal hegesztenek, szegecselnek vagy csavaroznak össze. Egy ilyen lehetséges létra alakú alvázat mutat a 2. ábra.



2. ábra Alvázszerkezet a tartályal

### 1.3. Tűzterhelés

Jelen tanulmány célja, hogy egy baleset következtében kialakult tűzhatás milyen hatásokat okoz az edény falában, valamint az edény belsejében. A tűz vizsgálatakor mindhárom hőterjedési módot figyelembe kell venni. Maga a tűz sugárzással és konvekcióval melegíti az edény falát, melyben vezetéssel fog a hő továbbterjedni. Azonban ennek következtében a bezárt közeg is felmelegszik, vagyis elszállítja a hőt a tartály falától, tehát hűti a berendezésünk falát, így növelheti a tűzbenállóság idejét. Azonban a helyzetet tovább nehezítheti a bezárt közeg minősége. Az átadott hő nagyságát, a hőcserélőknél megismert módon, a teljes folyamat jellemzi, és a hatékonysága, vagyis a folyamatot jellemző hőátbocsátási tényező reciprokl törvény szerint függ a résztényezőktől.

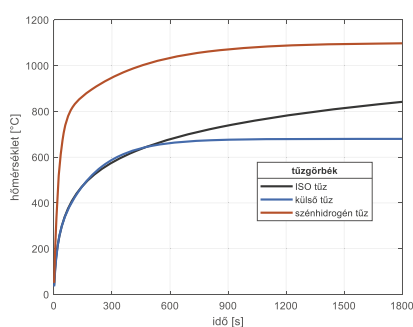
Szilárd szemcsés anyagok és porok esetén a belső oldalon is hővezetést kell feltételeznünk. Ahogy a bevezetőben tárgyalásra került, ezek jellemzően valamilyen mezőgazdasági eredetű, szerves anyagok porai, amik önmagukban is kis értékű hővezetési tényezővel jellemezhetők, amit tovább ront a porozitásuk. Ezek miatt a tűzhatás sokkal koncentráltabb lesz, vagyis a tűzhatás helyén nagyobb acélhőmérsékletek alakulnak ki, ami a tartály felhasadását okozhatja. Hermetikusan bezárt edényeknél a levegő melegezéséből megnövekedhet a nyomás, de nem ez lesz a veszélyes terhelés, hanem az előzőleg tárgyalt koncentrált hőterhelés.

Folyadékok esetén a belső oldalon kialakuló hőátadási tényező értéke elérheti, akár meg is haladhatja a külső oldalon keletkező értéket, hiába zárt a rendszer, és csupán természetes cirkuláció alakul ki. Ennek következtében a folyadék hőmérséklete közel konstansnak tekinthető, jelentős mértékben hűti a falat, így elősegítve a tűzállóságot. A nyomásterhelés időbeli lefolyása szempontjából két közegtípust kell megkülönböztetni. Amennyiben a folyadék kis szaturációs nyomással jellemezhető (a víznél kisebb), nem szükséges feltételezni, hogy jelentős mennyiségű részecske lép át a gőztérbe, így a nyomásterhelés nagysága nem fog jelentősen növekedni. Vízről illékonyabb közegek esetén, jellemzően szénhidrogének vagy más szerves

anyagok esetén azonban a fázisváltozás végbe fog menni, így jelentős mértékben növekszik a belső nyomás értéke, ami növeli az edény felhasadásának kockázatát. További problémát okoz a BLEVE jelensége, amit részletesen a következő részben mutatunk be [10].

Gázok és gőzök esetén szintén kialakul egy belső cirkuláció, de a hőátadást befolyásoló anyagjellemzők közötti nagyságrendi eltérés miatt az itt tapasztalható hőátadási tényező jellemzően kisebb érték lesz, vagyis az átadott hő nagysága is kisebb lesz. A hőmérséklet-növekedés sebességével lesz arányos a nyomásnövekedés sebessége, mivel az általános gáztörvény segítségével határozható meg adott időpillanatban a nyomás pillanatnyi értéke.

Mivel a tűzterhelések időben változó folyamatok, így a számítások során tranziens folyamatként szükséges őket figyelembe venni. A 3. ábra a különböző tüzek hőmérséklet-idő dia gramjai láthatók [15].



3. ábra Tűzmodellek összehasonlítása

Az ábrán látszik, hogy szénhidrogének esetén a kezdeti állapotban egy nagyon gyorsan növekvő hőmérséklet feltételezhető, ami görbe később eléri egy maximumot 1098°C értéknél. A külső tüzeknél sokkal kisebb hőmérsékletnövekedési sebesség tapasztalható, és a maximum értéket is mindössze 680°C-nál éri el. A szabványtűz az előzővel megegyező hőmérsékletnövekedési sebességet predesztinál, ez a görbe viszont monoton növekszik.

#### 1.4. BLEVE jelensége

A BLEVE rövidítés az angol Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion, vagyis forráspontú folyadék gőzzé történő expanziója által bekövetkezett robbanásért jött létre. Jellemzően éghető közegek esetén szükséges figyelembe venni, mint potenciális veszélyforrást, de nem éghető közegek, például víz esetén is értelmezhető. Az expanziót, vagyis térfogatnövekedést a nagy hőmérsékletű folyadék-gőz fázisba történő átmenete fogja okozni. Zárt tartály esetén ez a folyamat viszonylag lassú, mivel az elgőzölgéséhez a párolgáshővel arányos hőenergiát kell a rendszerbe juttatnunk. Ahogy az előző fejezetben írtuk, minél nagyobb hányadban van jelen a gőz a rendszerben, a hőátadási tényező csökkenni fog. Ezt a fázisváltozást

viszont nem csak az entalpia növelésével, hanem a nyomás csökkentésével is végrehajthatjuk. Ez két módon következhet be: ha már a készülék fala a hőmérséklet- és nyomásnövekedés miatt nem bírja a mechanikai igénybevételt és felhasad, vagy ezt megelőzendő biztonsági szelepet telepítünk a tartályra. A szelepek automatikusan működnek, a beállított nyitónyomáson kinyitnak, lefújnak adott mennyiségű közeget, majd záródnak. Ezáltal csökkenti a gőztérben lévő anyag mennyiségét (így a nyomását is), a hőmérsékletet viszont nem. Ez a tűzterhelés miatt tovább növekszik. Ez a folyamat többször is bekövetkezhet, végül elérhet a rendszer egy olyan állapotba, amikor a nyitáspillanatokban a tenziógörbének megfelelően a közeg még folyadék állapotban van jelen, de ahogy a szelepen keresztül történő leáramlás csökkenti a rendszer nyomását, a nagy hőmérséklet miatt bekövetkezik a fázisátalakulás. Ez az instant folyamat oly mértékben megnöveli a belső nyomást, hogy a készülék nem felhasad, hanem szétrobban, az éghető gáz pedig meggyullad [11]. Jelen tanulmányban nem feltételeztük a BLEVE jelenségét.

## 2. VIZSGÁLT RENDSZER

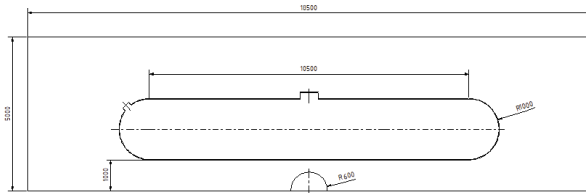
### 2.1. Vizsgált modell

A vizsgált tartálykocsi axonometrikus modellje a 4. ábrán látható.



4. ábra Vizsgált berendezés axonometrikus ábrája

Jelen tanulmány elkészítéséhez a kereskedelmi forgalomban kapható tartályok méretének felső tartományába tartozó tartályt vizsgáltunk, ahol a hengeres köpeny hossza 10500 mm, átmérője 2000 mm. Jelen tanulmányban a vázolt berendezés középsík metszetének hőmérséklet- és nyomásviszonyait vizsgáltuk. A karambol következtében a tartály alá került, majd kigyulladt autót egy 1200 mm átmérőjű félgömbbel modelleztük. A tartályon kívül természetesen az alvázat képző gerendákat is terheli a hőhatás, azonban tanulmányunk célja a berendezés belsejében és falában kialakult hőmérséklet állapot bemutatása volt. A 2D-s numerikus számításokhoz az 5. ábrán mutatott modellt alkalmaztuk.



5. ábra Vizsgált berendezés vizsgált keresztmetszete

A berendezés szükséges falvastagsága a nyomástartó edények számításánál alkalmazott kazánformulával lett meghatározva. Az LNG közeghez a korróziós szempontokat is figyelembe véve egy 1.4301 típusú ausztenites alapanyag lett kiválasztva. A tervezési paraméterek: 18 bar nyomás és 50°C hőmérséklet, melyek alapján a készülék falához 15 mm névleges vastagságú lemezt szükséges alkalmazni. A számításokhoz szükséges ismerni az a cél viselkedését is a hőmérséklet függvényében. Ellentétben a szénacélokkal, ezek esetén nem történik fázisátalakulás a tűzterhelés hatására az anyagszerkezetben, amely következtében a termikus anyagjellemzők is egyszerűbb polinomfüggvénnyel közelíthetők. A hővezetési tényező értéke a

$$\lambda = 0,0127T + 11,368 \quad (1)$$

míg az állandó nyomáson vett fajhő értéke a

$$c_p = -1,26 \cdot 10^{-4} T^2 + 2,98 \cdot 10^{-1} T + 380,19 \quad (2)$$

összefüggéssel számítható, melyek esetén a hőmérsékletet Kelvinben kell behelyettesíteni.

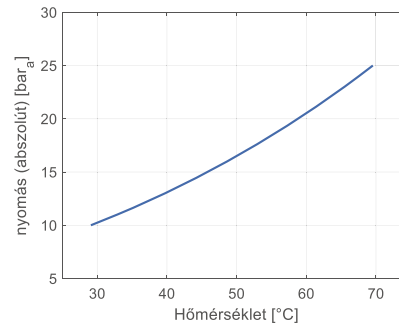
## 2.2. Cseppfolyósított földgáz

A vizsgáltunkban cseppfolyósított földgázt (liquefied natural gas) közeget vettünk a lapul. Ennek összetétele országonként eltérő lehet, ezért az átlagos összetétellel modelleztük. Az 1. táblázat tartalmazza az összetételt [12].

1. táblázat Cseppfolyósított földgáz átlagos összetétele

Vegyület	Összegképlet	Móltört
etán	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2%
propán	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	95%
bután	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3%

A nyomások számításához a lapvetően szükséges, hogy ismerjük a gőz-folyadék egyensúlyhoz tartozó értékpárokat. Az 1. táblázatban vázolt összetételhez tartozó egyensúlyokat a 6. ábra mutatja.



6. ábra Cseppfolyósított földgáz tenzióörbéje

A numerikus számítások során a nyomásértékeket a hőmérséklet függvényében polinom függvénnyel közelítettük, a z alábbi módon:

$$P = 0,0317T^2 - 1,611T + 216,4 \quad (3)$$

Hasonló módon jártunk el a szükséges anyagjellemzők tekintetében is. A hőátadás számításához a következő anyagjellemzőkre van szükség:

- dinamikai viszkozitás:  $\eta = 4,04 \cdot 10^{-9} T^2 - 3,4 \cdot 10^{-6} T + 7,54 \cdot 10^{-4} \quad (4)$

- hővezetési tényező:  $\lambda = 3,07 \cdot 10^{-7} T^2 - 7,61 \cdot 10^{-4} T + 2,94 \cdot 10^{-1} \quad (5)$

- állandó nyomáson vett fajhő:  $c_p = 2,55 \cdot 10^{-1} T^2 - 1,36 \cdot 10^2 T + 2,08 \cdot 10^4 \quad (6)$

- sűrűség:  $\rho = -8,57 \cdot 10^{-3} T^2 + 3,5T + 2,14 \cdot 10^2 \quad (7)$

Szükséges továbbá az üzemanyag párolgáshőjének és égéshőjének ismerete is. Ezek a hőmérséklet függvényében szintén változnak, de olyan kis mértékben, hogy elhanyagolható a változásuk. Szintén az összetétel függvényében a párolgáshő  $\Delta H_v = 307 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , míg az égéshő

$H_c = 47,3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$  értékkel vehető figyelembe [13]. Burgess

szerint [14] az égési sebesség a következő összefüggéssel határozható meg:

$$\dot{m}'' = \frac{C \cdot H_c}{\Delta H_v + c_p (T_b - T_a)} \quad (8)$$

ahol  $C = 0,001 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$ ,  $T_b$  a forráspontoz tartozó hőmérséklet,  $T_a$  pedig a környezeti hőmérséklet. Az összefüggés értelmében minél nagyobb felületen terül szét a baleset következtében a benzin, annál kevesebb idő alatt ég el. Ha feltételezünk egy 1200 mm átmérőjű tócsát, akkor egy átlagos személyautó üzemanyagtartállyal számolva is 33 s alatt fogy el az üzemanyag.

### 2.3. Cseppfolyósított földgáz

A hősugárzás folyamatát egy sugárzási hőátadási tényező értékével lehet figyelembe venni. A számításoknál az EN 1991-1-2:2005 szabvány (Eurocode1) előírásait alkalmaztuk [15], mely alapján a

$$\dot{q}_{rad} = \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma (T_r^4 - T_m^4) \quad (9)$$

ahol

- $\Phi$  a nézet faktor (geometriától függő tényező [16], jelen tanulmányban elhanyagoltuk) [-],
- $\varepsilon_m$  a felület emisszivitási tényezője [-],
- $\varepsilon_f$  a tűz emisszivitási tényezője [-],
- $\sigma$  a Stefan-Boltzmann állandó  $\left(= 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$ ,
- $T_r$  a sugárzó felület hőmérséklete [K], és
- $T_m$  a vizsgált felület hőmérséklete [K].

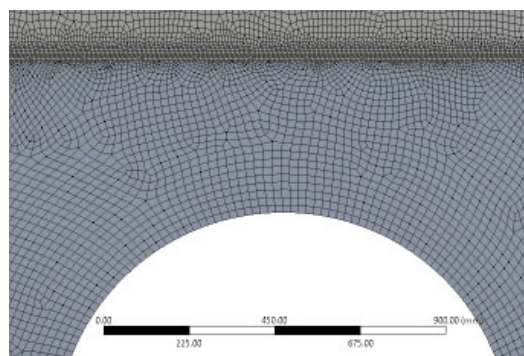
A tűz emisszivitásának értékéhez a hivatkozott szabvány  $\varepsilon_f = 1$  értéket javasol alkalmazni, míg  $\varepsilon_m$  értékénél a sztenites acélra az EN 1993-1-2 szabvány 0,4 értéket javasol [17], azonban ezek a tartályok jellemzően festék védelemmel vannak ellátva, mely festékek  $\varepsilon_m = 0,96$  emisszivitással jellemezhetők. A festékréteg belüli hővezetéstől, valamint a festékréteg és köpeny közötti érintkezési ellenállás jelenségétől eltekinthetünk.

Ez a tűzhatás azonban nem csak közvetlenül a lángoló felületről, hanem közvetett módon az aszfaltból is érkezik a tartály falára. Ezt az aszfaltrétegre előírt  $\varepsilon_f = 0,93$  emisszivitási tényezővel lett figyelembe véve.

### 3. NUMERIKUS MODELL

A tűz hatására a tartálykocsiban és a körülötte kialakuló hő- és áramlási szimulációt a véges térfogatok módszerére épülő Ansys Fluent programmal végeztük el. Az égés részletes szimulációjával nem foglalkoztunk, a tűz leírására a szabványban előírt időben változó melegedési függvényt adtuk meg. A tartálykocsit egy külső környezetbe helyeztük el (5. ábra), melynek peremein: fent nyomáskimenetet, az oldalfalakon sebesség bemenetet, míg az alsó részén falat írtunk elő. A környezeti hőmérséklet 20°C, illetve azt tételeztük fel, hogy nincs szél, azaz a levegő sebessége mindenhol nulla. A számítási tartomány hálózásánál a tartály falazata és a tűz körüli területet sűrűbben hálóztuk be, így több, mint 288 ezer hexagonális elemet kaptunk.

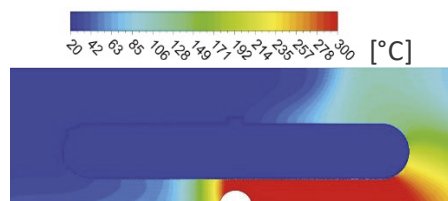
A háló függetlenségi vizsgálatot elvégeztük, a jelzett háló alkalmas volt a vizsgálatok elvégzésére.



7. ábra Az alkalmazott háló részlete

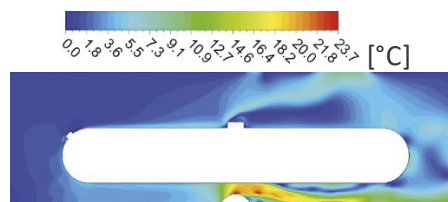
### 4. EREDMÉNYEK

A számításunk során egy 10 perces időintervallumot vizsgáltunk. A numerikus számításból kapott hőmérséklet-eloszlás a 8. ábrán látható. Az ábrán látható, hogy a környezet a tűz közelében akár 400°C-ra is felmelegedhet, míg a tartályban lévő LNG hőmérséklete alig változik (20,65°C átlaghőmérséklet). A tartály falának átlaghőmérséklete 64,5°C, azaz a tartály falazata kellően elvezeti a hőmérsékletet, és a benne szállított közeg hőmérséklete jelentősen nem változik 10 perc elteltével.



8. ábra Hőmérséklet-eloszlás 10 perc után

A 9. ábra a sebességeloszlást mutatja a tartályt körülvevő térben. A levegő hőmérséklete erőteljesen felmelegszik a tartály aljánál, így a közeg sűrűsége megváltozik és kialakul egy természetes konvekció, azaz a levegő felfelé kezd el áramlani, ami beleütközik a tartálykocsi aljába és oldalra elmegy. A levegő sebessége a tűz közelében közel 24 m/s sebességre is megnövekszik, ami elég erőteljes változás. Az ábrából látszik, hogy a 2D szimuláció nem elégséges a tartály felmelegedésének szimulálására, ezért következő lépésként 3D modellen szeretnénk elvégezni a számításainkat.



9. ábra Sebesség-eloszlás a tartály körül

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A számítások és numerikus eredmények alapján kijelenthető, hogy a vizsgált esetben, vagyis egy tartály alatt kigyulladt gépkocsi nem hordoz magában annyi energiát, hogy a tartályban káros nyomásnövekedést okozzon. A vizsgálatokat folytatni fogjuk, áttérünk háromdimenziós vizsgálati módszerre, ahol már az alvázszerkezet hőmérsékletprofilját is figyelembe fogjuk venni.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutatómunka részben a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 nyilvántartási számú projekt keretében valósul meg.

## 6. IRODALOM

- [1] <https://www.walb.com/2018/11/09/albany-wreck-causes-semi-truck-leak-ethanol-onto-road/> (letöltve: 2023.02.09.)
- [2] ECKHOFF, R. K., LI, G. "Industrial dust explosions. A brief review." *Applied Sciences* (Switzerland), 11(4), 2021. 1–18. <https://doi.org/10.3390/app11041669>
- [3] EWBank, C., GUPTA, S., STEWART, B. T., KUSHNER, A. L., & CHARLES, A. (2019). *A systematic review of oil tanker truck disasters: Identifying prevention targets*. *Burns*, 45(4), 905–913. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2018.12.010>
- [4] LYU, S., ZHANG, S., HUANG, X., PENG, S., & LI, J. (2022). *Investigation and modeling of the LPG tank truck accident in Wenling, China*. *Process Safety and Environmental Protection*, 157, 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.10.022>
- [5] BARELLI, L., BIDINI, G., PERLA, M., PILO, F., & TROMBETTI, L. (2022). *Boil-off gas emission from the fuel tank of a LNG powered truck*. *Fuel*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124954>
- [6] ZHANG, L., & FENG, X. (2021). *Planning tank-truck hazardous materials shipments in intercity road transportation networks*. *Applied Mathematical Modelling*, 89, 1860–1880. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.09.009>
- [7] SHEN, X., YAN, Y., LI, X., XIE, C., & WANG, L. (2014). *Analysis on Tank Truck Accidents Involved in Road Hazardous Materials Transportation in China*. *Traffic Injury Prevention*, 15(7), 762–768. <https://doi.org/10.1080/15389588.2013.871711>
- [8] HEDAYATI, E., HEDAYATI, A., & VAHEDI, M. (2015). *Critical buckling load analysis of truck chassis using arclength method*. *Journal of Engineering Research*, 3(2), 129–140. <https://doi.org/10.7603/s40632-015-0018-3>
- [9] DE, S., SINGH, K., SEO, J., KAPANIA, R. K., OSTERGAARD, E., ANGELINI, N., & AGUERO, R. (2021). *Lightweight chassis design of hybrid trucks considering multiple road conditions and constraints*. *World Electric Vehicle Journal*, 12(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/WEVJ12010003>
- [10] MA, T., WANG, Z., YANG, J., HUANG, C., LIU, L., & CHEN, X. (2022). *Real-time risk assessment model for hazmat release accident involving tank truck*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 77. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104759>
- [11] ECKHOFF, R. K. (2014). *Boiling liquid expanding vapour explosions (BLEVEs): A brief review*. In *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (Vol. 32, Issue 1, pp. 30–43). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.06.008>
- [12] RODRÍGUEZ-ANTÓN, L. M., GUTIÉRREZ-MARTÍN, F., & MARTINEZ-AREVALO, C. (2015). *Experimental determination of some physical properties of gasoline, ethanol and ETBE ternary blends*. *Fuel*, 156, 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.040>
- [13] S. SARIKOÇ, "Fuels of the Diesel-Gasoline Engines and Their Properties," *Diesel and Gasoline Engines*, Feb. 2020, doi: 10.5772/intechopen.89044.
- [14] D. BURGESS, A. STRASSER, J. GRUMER, *Diffusive burning of liquid fuels in open trays*, *Fire Research Abstracts and Reviews*, Pittsburg, PA, 3 (1961) 91-106.
- [15] MSZ EN 1991-1-2:2005, Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások. 1-2. rész: Általános hatások. A tűznek kitett szerkezeteket érő hatások.
- [16] KUMAR GUPTA, M., BUMTARIYA, K. J., SHUKLA, H. A., PATEL, P., & KHAN, Z. (n.d.). *Methods for Evaluation of Radiation View Factor: A Review* [www.materialstoday.com/proceeding](http://www.materialstoday.com/proceeding)
- [17] MSZ EN 1993-1-2:2013, Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-2. rész: Általános szabályok. Szerkezetek tervezése tűzhatásra.