

## Olajtartályban külső gerjesztés hatására kialakult hullámfrontok modellezése és csillapítása

Rákos Roland, Veress Árpád, Palkovics László

Széchenyi István Egyetem, H9026 Győr, Egyetem tér 1.

**Absztrakt:** A tanulmány a különböző méretű folyadéktartályokban, külső gerjesztés hatására kialakuló nyíltfelszíni jelenségek numerikus módszerekkel történő vizsgálatával foglalkozik. Egy 3D modell segítségével mutatja be a tranzien nyíltfelszíni áramlások numerikus modellezésének módját, a modell felépítését és beállításait. Mivel a gyakorlati életben a zárt folyadéktartályokban létrejövő intenzív folyadékmozgás gyakran műszaki problémákhoz, az egyes szerkezeti elemek extrém igénybevételéhez vezethet, ezért a kutatás fontos része e nyíltfelszíni hullámjelenségek elkerülésének, csillapítási lehetőségeinek elemzése.

### 1. BEVEZETÉS

A nyíltfelszíni áramlások bonyolult áramlás technikai problémának számítanak. Az ilyen jellegű tervezési folyamatok során gyakran előfordul, hogy csak tapasztalaton alapuló formulákat használnak. A nyíltfelszíni áramlások során rengeteg olyan speciális tranzien hullámjelenséggel találkozhatunk, melyeket nehéz kezelni, analitikus módszerekkel számolni, mert összetett folyadék-mechanikai háttérrel rendelkeznek. Tovább nehezíti a folyamat során kialakult jelenség megértését, illetve a tervezés és fejlesztés fázisát az, hogy mérés-technikai oldalról is komplex problémát jelent a megfelelő adatok összegyűjtése és feldolgozása.

A napjainkban rohamosan fejlődő számítástechnikának köszönhetően lehetőség nyílik a bonyolult fizikai háttérrel rendelkező áramlástechnikai problémák numerikus módszerekkel történő megoldására. A CFD (Computational Fluid Dynamics) számítások legfontosabb előnyei a rövid számítási idő valamint az összetett áramlástechnikai folyamatok olyan szintű feltérképezése, kutatása, melyeket mérés-technikai oldalról csak nehezen, vagy egyáltalán nem lehetne megvalósítani. A mérések természetesen így sem hanyagolhatók el, hiszen a numerikus analízisek eredményeinek megbízhatóságáról a méréssel való validálással győződhetünk meg legjobban. A CFD számítások ma már elérték azt a szintet, hogy kellő szakértelemmel, hozzáértéssel megbízható eredményt kapjunk.

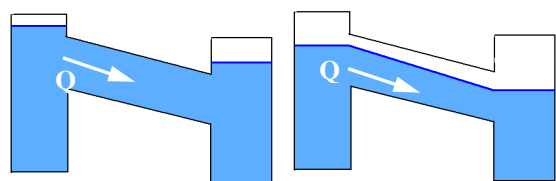
Numerikus analízis oldaláról nézve a nyíltfelszíni áramlások a bonyolultabb számítások közé tartoznak, számtalan paramétert, peremfeltételt kell pontosan definiálni ahhoz, hogy a valóságban lejátszódó folyamatokat, jelenségeket a lehető legpontosabban reprodukáljuk. A nyíltfelszíni áramlások esetén az áramlási térben minimum két komponens (pl. gáz és folyadék) van jelen, melyek egymással nem lépnek kémiai reakcióba és nem oldódnak. A komponenseket egy egyértelműen kialakuló fázishatár választja el. A numerikus szimulációban a két (vagy több) komponens jelenléte az egyik legfontosabb olyan tény, amely

meghatározza a feladat komplexitását. A numerikus szimuláció részletei a későbbiekben kerülnek bemutatásra.

### 2. A NYÍLTFELSZÍNŰ ÁRAMLÁS

A nyíltfelszíni áramlások gyakran jelentenek problémát a műszaki életben akár állandósult, akár tranzien jelenségről legyen szó. A nyíltfelszíni áramlással leggyakrabban a szabad atmoszférára nyitott csatornák vagy vízvezeték hálózatok esetén találkozunk, ahol a víz nem tölti teljesen a rendelkezésre álló áramlási keresztmetszet. Így egy éles, jól elkülöníthető fázishatár (folyadékfelszín) alakul ki a folyadék és a levegő között. Ezt a felületet a folyadékra ható erők és a felületi feszültség alakítják ki.

A városok alatt húzódó bonyolult vízvezeték hálózatoknál gyakori probléma, hogy a csővezetékben részben telt-szelvényű – részben nyíltfelszíni áramlás alakul ki (lásd 1. ábra). Mivel a térfogatáram egyik esetben a csatorna végén kialakuló nyomásoktól, míg a másik esetben a vízszint magasságától függ, ezért ez jelentősen megnehezíti az ilyen hálózatokat modellező módszereket [7].



1. ábra Telt- és nyílt felszíni áramlás csővezetékben [7]

A tanulmány középpontjába egy tranzien nyíltfelszíni jelenséget helyeztünk, amit az angol szakirodalom „sloshing”-ként emleget a leggyakrabban. A magyar szakirodalomban nem igazán találni erre megfelelő kifejezést; egyszerűen megfogalmazva, valamilyen külső vagy belső gerjesztés hatására kialakuló nyíltfelszíni hullám jelenségről van szó. A folyadékon vagy a folyadékot határoló véges térfogatú tartályon fellépő gerjesztő erő hatására az eredetileg teljes nyugalomban lévő folyadéktömeg gyorsulni kezd, melynek következtében a folyadék felszín

formája jelentősen megváltozik, sőt az eredetileg egyben lévő folyadék térfogat szétválhat részekre. Esetünkben fontos megjegyezni, hogy a komponensek kémiai reakcióba nem lépnek egymással, nem oldódnak és a jelenség kialakulása közben egyik komponens sem esik át fázis átalakuláson. A vizsgált jelenségre az egyik legismertebb és legszemléletesebb példa egy ismert természeti jelenség a szökőár. A szökőár vagy más néven cunami az óceán fenekén kialakuló földrengés (mint gerjesztő erő) hatására kialakuló hullám, mely a szárazföld felé haladva a fokozatosan csökkenő vízmélység miatt egyre erősödik (lásd 2. ábra).

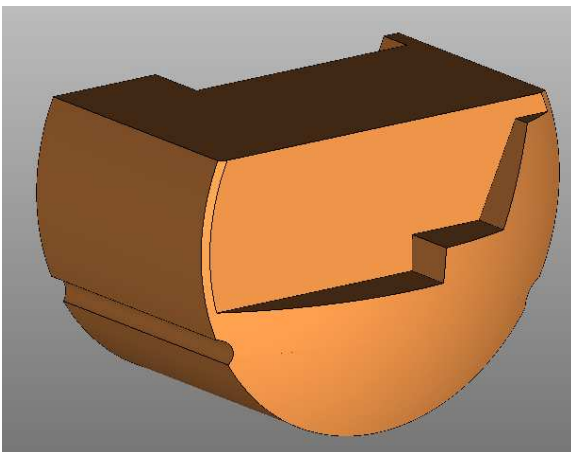


2. ábra Óceán felszínén kialakuló hullámjelenség [8]

A jelenséggel a műszaki életben is gyakran találkozunk. Folyadék tartályt szállító kamionok esetén a tartály szilárdsági méretezése esetén pl. figyelembe kell venni a nagy mennyiségű folyadék viselkedését, mely a jármű gyorsulása és fékezése hatására alakul ki.

### 3. A PROBLÉMA BEMUTATÁSA

A szimuláció középpontjába egy kompresszort körülvevő tartályt helyezünk, mely egy nagyméretű jármű felső részén található. A teret majdnem félig feltöltik olajjal. Menet közben a járműtestből érkező rezgések gerjesztő erőként hatnak a folyadékra, így az mozgásba jön.



3. ábra Vizsgált tartály geometria

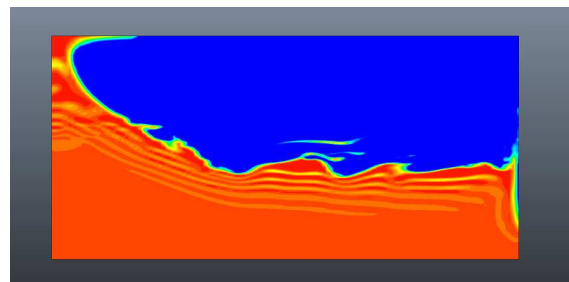
A vizsgált tér felső részén egy kisméretű lélegző furat található, s természetesen elsődleges szempont, hogy az olaj nem érheti el ezt a furatot, mert ez esetben a folyadék mennyisége gyorsan lecsökkenhet. A 3. ábrán a

vizsgált tartály egyszerűsített modellje látható. A CFD szimulációkban az egyik fő szempont a geometria leegyszerűsítése, ami egy hosszú, tranziens számítás esetén jelentősen csökkentheti a számítási időt, másfelől pedig az eredeti modellen található letörések valószínű nem képeznek jelentős akadályt a mozgó olajnak, így nem feltétlenül szükséges a figyelembevételük.

### 4. A FELADATHOZ HASZNÁLT SZOFTVER

A mai rohamosan fejlődő mérnöki világban egyre több szoftverrel találkozhatunk, melyek hatékonyan alkalmazhatóak speciális áramlástechnikai problémák vizsgálatára, megoldására. Egyes szoftverekben nekünk kell felépíteni az adott fizikához tartozó egyenletrendszereket, míg vannak programok, melyekben előre definiált egyenlet-csomagok találhatóak. Ez utóbbi alkalmazása kézenfekvőbbnek és egyszerűbbnek tűnik, hiszen a feladat kiemelését és az adott fizika alapos körbejárását követően már csak az adott egyenletrendszer csomagokat kell kiválasztanunk, majd az adott szoftverrel megoldanunk. Ezzel a megoldással szinte majdnem minden áramlástechnikai probléma lefedhető, ritka esetben előfordulhat, hogy az egyenlet-csomagok nem alkalmazhatóak megfelelően az adott feladatra. Ekkor nekünk kell átformálni a megoldandó egyenleteket, vagy bizonyos esetekben kódok beépítésével tudjuk csak kezelhetővé tenni a problémát.

A jelenség vizsgálatához egy elterjedt kereskedelmi CFD szoftvert választottunk. Az összegyűjtött tapasztalatokra alapozva elmondhatjuk, hogy az ilyen jellegű számítások, kellő szakértelemmel elfogadható pontosságot eredményeznek (a mérésektől való eltérése kb. 5 - 10 % a feladat komplexitásától függően). Esetünkben olaj a vizsgált közeg, s mivel folyadékról beszélünk, összenyomhatatlannak feltételezzük. Ennek következtében a nyomás alapú (*pressure based*) megoldó tűnt a leginkább megfelelőnek a feladat kivitelezéséhez. A probléma leginkább sarkalatos pontja, hogy nyíltfelszínű áramlásról beszélünk, ahol több fázis viselkedését kell vizsgálnunk (lásd 4. ábra).

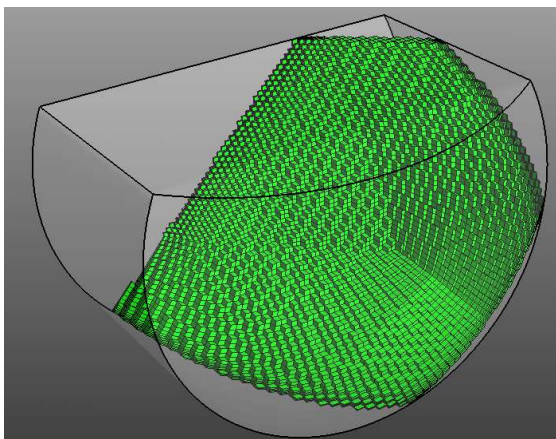


4. ábra Nyíltfelszínű áramlás 2D szimulációja

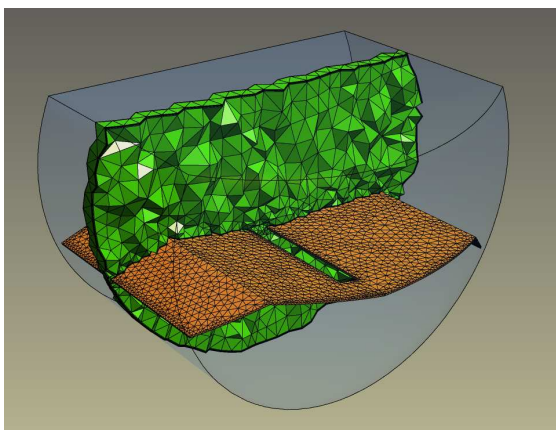
### 5. HÁLÓ GENERÁLÁS

A geometria egyszerűsítését követően a szimulációs modellhez alkalmazott háló generálása a soron következő lépés. A kezdeti szimulációhoz hexaéder (hexa) hálót alkalmazunk (lásd 5. ábra), azonban a munka későbbi részében, ahol a geometria optimalizálásán lesz a hangsúly, áttérünk a tetraéder (tetra) típusú hálóra (lásd 6. ábra), ugyanis a geometria bonyolultsága miatt túlságosan időigényes lenne egy minőségi hexa háló elkészítése.

Az összegyűjtött tapasztalatainkra alapozva elmondhatjuk, hogy a nyíltfelszínű áramlások szimulációja esetén a strukturált hexa háló bizonyos szempontból pontosabb eredményt ad [2]. Ez főleg a két fázist elválasztó fázishatár (nyílt felszín) kialakulásán mutatkozik leginkább. A vizsgált jelenség mindkét hálótípus alkalmazása esetén hasonló lesz, azonban hexa háló használatával a fázishatárok (legnagyobb sűrűség gradiensű helyek) sokkal egyenletesebbek, kisimultabbak lesznek.



5. ábra Hexaéder háló az egyszerűsített geometrián



6. ábra Tetraéder háló egy optimalizált geometrián

A vizsgált közeg olaj, melynek viszkozitása szignifikáns lehet a számítás eredményeire. A viszkozitás falak menti és a szűk résekben kifejtett hatását azonban csak megfelelően felbontott határreteg hálóval lehet vizsgálni, ezért erre mind a tetra mind a hexa háló generálásánál különös figyelmet kell fordítani. Ebből adódóan, a határreteget legalább 8-10 rétegre kell felbontani az  $y^+$  érték 20-100 közötti betartásával, ami a faltörvény helyes szoftver általi alkalmazásához és ezáltal a számítások pontosságához szükséges.

## 6. CFD MODELL BEMUTATÁSA

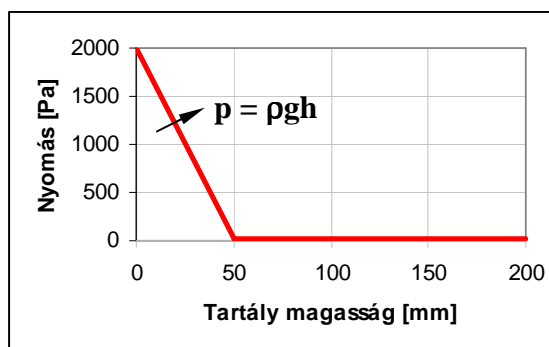
A háló elkészítését és ellenőrzését követően térjünk át a CFD modell felépítésére. A szimulációban egy tranzienis nyíltfelszínű áramlást kell megvalósítani, melynek a fő peremfeltétele a járműszekrényből adódó rázkódás.

A számításban egy teljesen zárt tartályt vizsgálunk, melyben két anyag van jelen, olaj és levegő, melyek anyagjellemzőit az 1. táblázat foglalja össze.

	Olaj	Levegő
<b>Termodinamikai halmazállapot</b>	Folyadék	Légnemű
<b>Moláris tömeg [g/mol]</b>	178	28,96
<b>Sűrűség [kg/m<sup>3</sup>]</b>	864	1,185
<b>Dinamikus viszkozitás [Pas]</b>	0.0206	1,831e-5

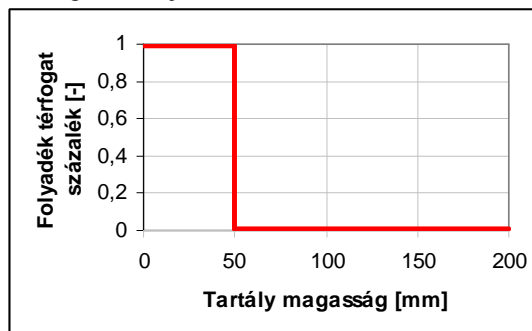
1. táblázat A vizsgált közegek anyagjellemzői

Egy tranzienis folyamat szimulációjánál az egyik legfontosabb dolog a megfelelő inicializálás. Általában a sebesség, a hőmérséklet és a nyomástér kezdeti állapotát kell definiálnunk, melyekhez a nyíltfelszínű áramlások esetén hozzákapszódik a fázisok térfogatszázalékának megoszlása [5]. A sebességet a tér minden pontjában 0 m/s-ról indítjuk. A hőmérsékletváltozás esetünkben elhanyagolható, izotermikus folyamatként kezeljük a problémát, így a hőmérséklet a kezdeti állapotban 80 °C. A nyomás és a térfogatszázalék megoszlást egy-egy függvénnyel írjuk le, melyeknél abból indulunk ki, hogy a folyadék kezdetben 50 mm magasan áll a tartályban. A hidrosztatikus nyomás a tartály magassága mentén a folyadékmélység függvényében változik (lásd 7. ábra).



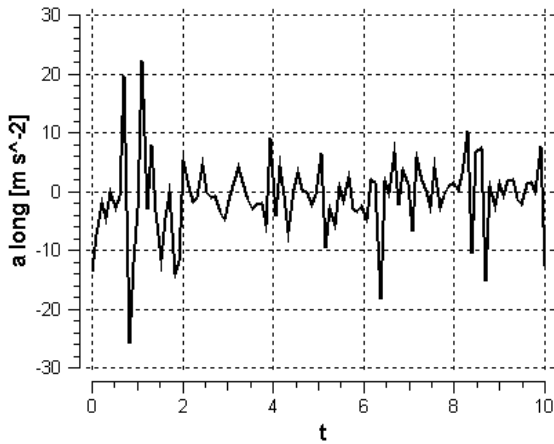
7. ábra Nyomástér inicializálása

A két közeg közötti térfogatszázalék kezdeti megoszlását egy speciális ugrásfüggvénnyel definiáljuk, mellyel a folyadéktérhez tartozó cellákat folyadékkal, míg a többi cellát levegővel töltjük fel (lásd 8. ábra).



8. ábra Térfogatszázalék inicializálása

A tartályt határoló felületeket adiabatikus sűrűdésos falakként definiáljuk. A szimuláció legfontosabb peremfeltétele a gerjesztő jel, amely mozgásba hozza a folyadékot. Ez a jel a valóságban egy időben változó elmozdulás, melyet a járműre helyezett elmozdulás mérő műszerrel rögzítettek előzetesen. A szimulációban szintén lehetőség van a tartály fizikai elmozdítására, ennek megvalósítása azonban bonyolult és növelné a számítási időt. Helyette, a mért elmozdulás jelet átalakítjuk át gyorsulásjellé, majd ezt a jelet, mint időben változó gyorsulás-gerjesztést adjuk meg a folyadékra a tér három irányába (lásd 9. ábra).



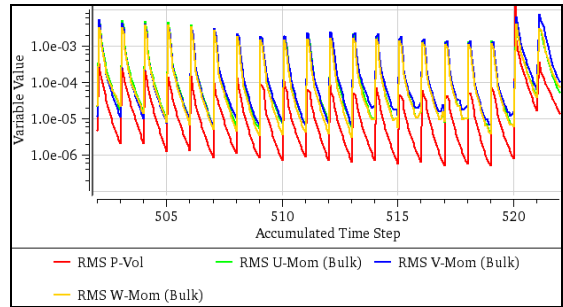
9. ábra Longitudinális gyorsulás-gerjesztés

Nyíltfelszínű áramlások esetén szignifikáns hatása van a gravitációs erőternek ( $g = -9.81 \text{ m/s}^2$ ), ezért a függőleges (a nehézségi erővel párhuzamos) irányú gyorsulás-gerjesztéshez ezt is hozzá kell adnunk. A szimulált idő  $t_{\text{total}} = 10 \text{ s}$  míg az időlépést a mért jel alapján  $t_{\text{step}} = 1e-2 \text{ s}$ -ra állítottuk be. A turbulencia modell kiválasztásánál az eddigi tapasztalatainkra támaszkodtunk, illetve arra, hogy az SST (Shear Stress Transport) modell figyelembe veszi a turbulens nyírófeszültség transzportját, valamint az egyik legjobb közelítés a leválás helyének és intenzitásának becslésére [5]. Ezért, ehhez a feladathoz is ezt a turbulencia modellt használjuk.

Mivel a vizsgált folyadék viszonylag nagy viszkozitású közeg, ezért fontos a dinamikus viszkozitás beállítása, melyet  $T = 80 \text{ °C}$ -on mértek ki. A különböző fázisok határán megjelenő felület kialakuló formáját a folyadékra ható eredő erőter mellett a felületi feszültség befolyásolhatja, mely olaj-levegő esetén  $0,021 \text{ N/m}$ -re állítottuk be.

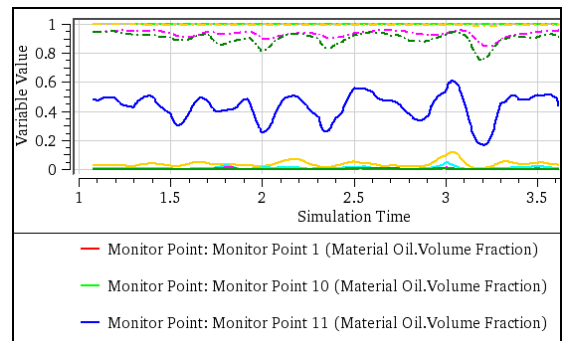
## 7. SZÁMÍTÁS, KONVERGENCIA

Tranziens szimuláció esetén meg kell választanunk az egy időlépésen belüli iterációk számát. Nyíltfelszínű áramlásnál a bekonvergált állapot sokszor lassan valósul meg, ezért az iteráció számot 15-re választottuk. Ahogy a 10. ábra is mutatja, minden időlépésen belül  $1e-4$  alá ment a vizsgált paraméterek RMS (Root Mean Square) értéke, ami megfelelőnek mondható.



10. ábra Mozgás – és kontinuitási egyenlet reziduma

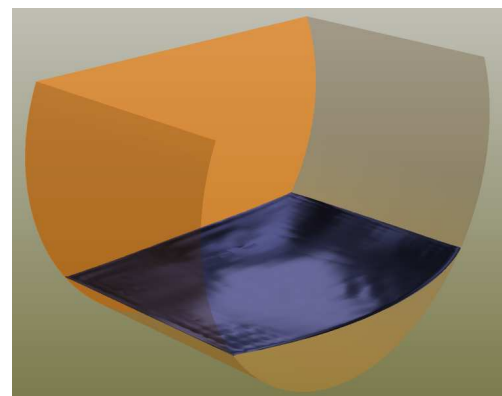
A számítás során a tér különböző pontjaiba helyezett figyelő pontokkal követhetjük az egyes változók értékét az adott időlépésben. Esetünkben az egyik legfontosabb változó a folyadék térfogatszázaléka. Ezen mennyiségek figyelése azért fontos, mert ezek időbeli változásából következtethetünk az időlépés és az időlépésen belüli iteráció szám helyes megválasztására (lásd 11. ábra).



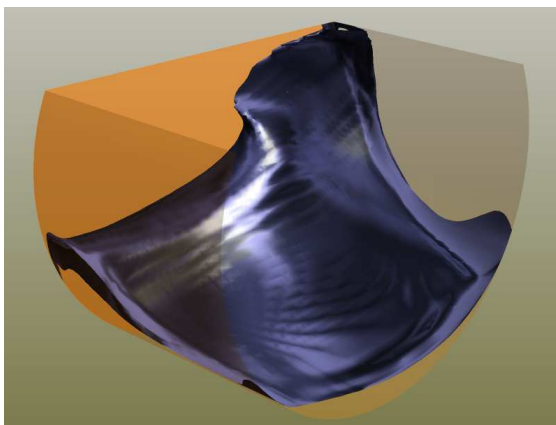
11. ábra Térfogatszázalék különböző pontokban

## 8. EREDMÉNYEK, VALIDÁCIÓ

Miután a számítás a konvergencia történet alapján megfelelőnek tűnik, az eredmények feldolgozása következik. A leginkább minket érdeklő dolog, hogy az időben miként változik a folyadék felszíne. Ezt egy „iso” - felülettel teszünk láthatóvá, melyben a folyadék térfogatszázaléka állandó ( $V\%: \sim 0.8$ ) (lásd 12. és 13. ábra).



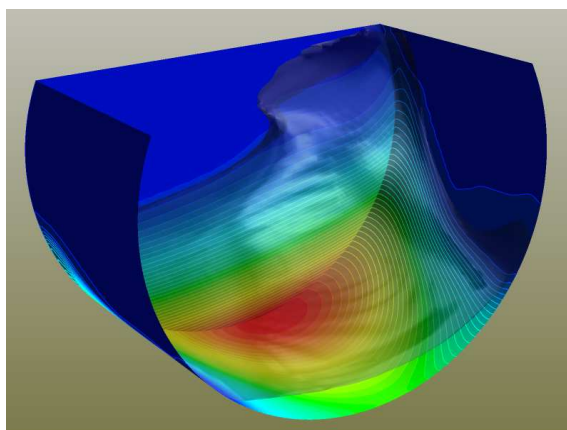
12. ábra Olajfelszín inicializált állapota ( $t = 0 \text{ s}$ )



13. ábra Olajfelszín egy közbenső állapotban ( $t = 5$  s)

Az első szimulációkból világosan látszik, hogy a gerjesztő gyorsulás hatására az olaj intenzív mozgásba kerül, és 5 s elteltével már eléri a tartály felső részét. Szimulációkban a tartály teljesen zárt, az olaj nem tud elfogyni, a valóságban azonban egy kis légzönyflás található a tartály felső részén, így az olaj ilyen intenzív mozgása mindenképp gondot okoz.

Tehergépjárművek nagyméretű folyadék tartályaiban szintén problémákhoz vezethet a folyadékban felgyülemelő nagy kinetikus energia, a tartály falán kialakuló nagy hidrosztatikus nyomás ugyanis nagy igénybevételhez vezet. A szimulációban lehetőség van kiértékelni a falak menti nyomáseloszlást, a nyomás időbeli változását (lásd 14. ábra), amely bemenő paraméter lehet a tartályfalak szilárdságának és élettartam méretezésének.



14. ábra Falak menti hidrosztatikus nyomáseloszlás ( $t = 5$  s)

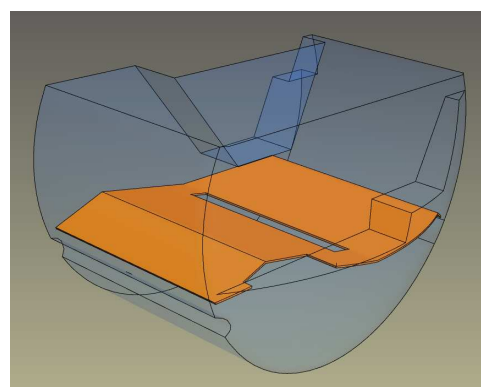
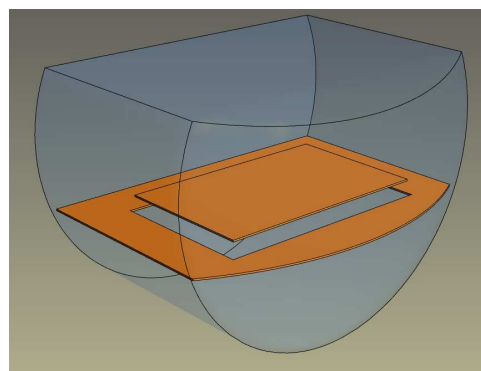
Ahhoz, hogy a számítási eredményeket elfogadhatónak tekinthessük, komoly mérési eredményekre lenne szükség. A jelenség azonban túlságosan komplikált mérés technikai szempontból, egyrészt mert a folyadék viselkedése kaotikus, tehát vélhetően soha nem fok többször egymás után ugyanaz a folyadékfelszín kialakulni. Másfelől a jelenség egy zárt, viszonylag kisméretű tartályban játszódik le, melyet nehéz lenne mérőműszerekkel felszerelni. A tartály belső terébe vezetett kisméretű optikai mérőműszerrel képet kaphatnánk a folyadék viselkedéséről, a jelenség időbeli lefutásáról, ennek megvalósítása azonban nagyon körülményes és költséges lenne.

Jelen esetben csak arra tudunk támaszkodni, hogy a mérési tapasztalatok szerint az adott gyorsulásgerjesztés hatására a folyadék viszonylag gyorsan elkezd fogyni a tartályból, amiből egyértelműen lehet következtetni arra, hogy a folyadékfelszín gyakran eléri a tartály tetejét. A szimuláció eredményeiben ez egyértelműen mutatkozik, így a számítást és annak pontosságát elfogadhatónak tekintjük.

## 9. GEOMETRIAI OPTIMALIZÁLÁS

A kutatás első fontos része a nyílt felszínű áramlás numerikus számítással való reprodukálása. A második részben a probléma elkerülésére, megelőzésére kívánunk javaslatot tenni.

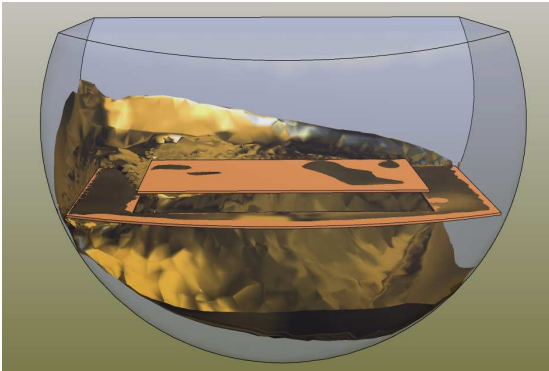
Az előzetes szimulációkból egyértelműen látszódik, hogy az alapvető probléma abban rejlik, hogy a gerjesztő gyorsulás az egész folyadéktömegre hat, amiben ezáltal nagy kinetikus energia keletkezik. Ez a kinetikus energia elegendően nagy ahhoz, hogy eljuttassa a folyadékot a tartály felső részéig. Ebből kiindulva olyan megoldásokat kell találni, melyek vagy csökkentik, vagy kisebb részekre osztják szét ezt a kinetikus energiát. Mindemellett, törekednünk kell arra, hogy a konstrukció a lehető legegyszerűbben kivitelezhető, következésképp a lehető leginkább költségkímélő legyen. Ezen megfontolásokból kiindulva először vizsgáljuk meg két kialakítás hatását, melyekben egy kivágott lemez, mint hullámtörő működik a nyíltfelszínű jelenség kialakulása közben (lásd 15. ábra).



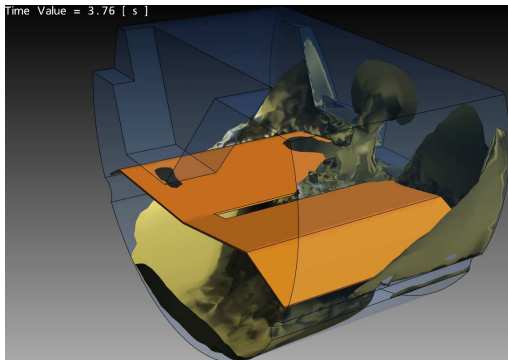
15. ábra Kivágott lemez a tartályba helyezve

A lemezek kivágására azért van szükség, hogy az olaj a felső térbe jutva vissza tudjon folyni az alsó térrészbe. Az eredeti szimulációban megfigyelhető a folyadék intenzív felfelé mozgása. Ebből kiindulva a lemezek alapvető funkciója, hogy az áramlás irányára merőlegesen behelyezve

megtörjék az áramlás irányát és annak hirtelen megváltoztatásával csökkentse a nagymértékű kinetikus energiát.



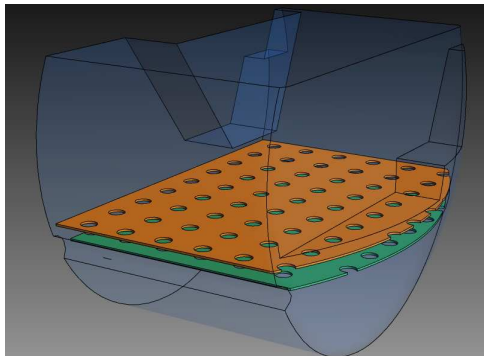
16/a. ábra Kivágott lemez körül kialakuló folyadékfelszín



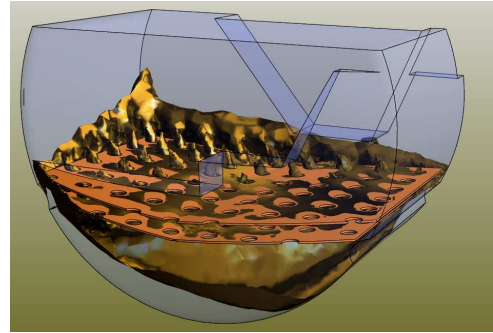
16/b. ábra Kivágott lemez körül kialakuló folyadékfelszín

Az eredményekből (lásd 16/a. és b ábrák) az a következtetés vonható le, hogy a lemezek bár részben csökkentik a folyadék mozgási energiáját, azonban jóval kisebb kivágásokra van szükség, melyeken az olaj kevésbé képes áthatolni. Ezen kívül a megoldás költség szempontjából sem a legideálisabb, ugyanis egy egyedileg gyártott alkatrészből van szó. Az egyszerűség mellett törekednünk kell arra, hogy a konstrukció szabványos elemekből épüljön fel, mert ezzel tovább csökkenthetőek a költségek.

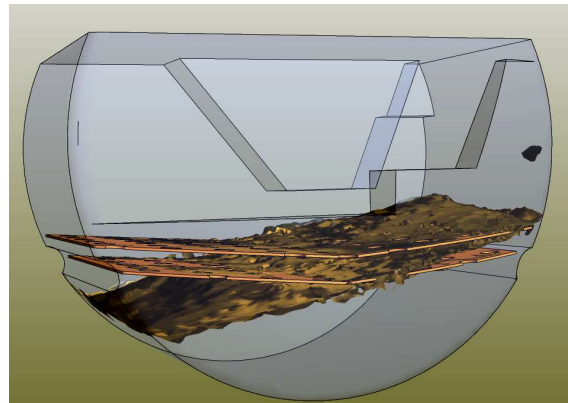
A következő konstrukció (lásd 17. ábra) az előző megfontolásokból kiindulva született. Két egymással párhuzamos lyukacsos lemezt helyezünk el a tartályba, amelyek szabványos elemek.



17. ábra Szabványos lyukacsos lemezek a tartályban



18/a. ábra Lyukacsos lemezek körül kialakuló folyadékfelszín

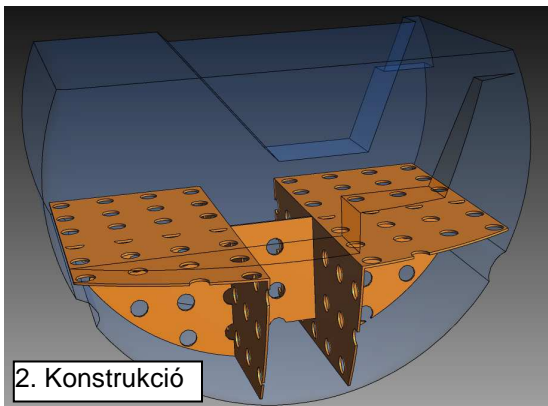
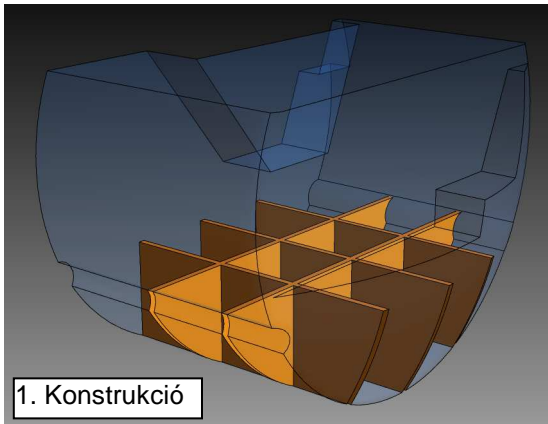


18/b. ábra Lyukacsos lemezek körül kialakuló folyadékfelszín

A folyadékfelszín térbeli eloszlása a 18/a. és b ábrákon látható. Az eredmények azt tükrözik, hogy az elgondolásunk megállta a helyét, a két egymással párhuzamosan elhelyezett lemez valóban hatékonyan képes csökkenteni a folyadék mozgását. A geometriát még annyival módosítottuk, hogy a két lemezt V formába megtörve helyeztük a térbe, amellyel még jobban biztosított az olaj visszajutása a tartály alsó részébe. További hatékonyságot azzal lehetne növelni, hogy a két lemezen elhelyezkedő furatokat egymáshoz képest eltolva helyezzük be, így a folyadék azon része, ami az alsó térrészből az alsó lemezen át feljut, azt a második lemez meggátolja a további felfelé irányuló mozgásában.

Az eddigi megoldásoknál a kinetikus energiát a folyadék irányának hirtelen megváltoztatásával értük el. Most vizsgáljuk meg azon megoldásokat, melynél a kinetikus energiát megpróbáljuk eloszlatni.

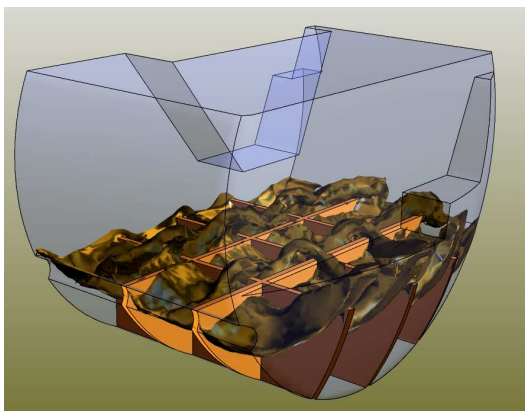
Nagyméretű utas – és teherszállító repülőgépek üzemanyagtartályaiban szintén gondot okoz a kívülről érkező lökésekkel gerjesztett folyadéktömeg mozgása. Az ilyen járműveknél a nagy térfogatú üzemanyagtartályt kis cellákra bontják szét. Ezzel azt érik el, hogy az össz-folyadék (üzemanyag) mennyiség változatlan marad, viszont egyegy cellában lévő folyadéktömegben csak kisebb kinetikus energia tud kialakulni, mint amekkora az egész tartályban kialakulhatna. A következő konstrukciók ezen megfontolások alapján születettek (lásd 19. ábra).



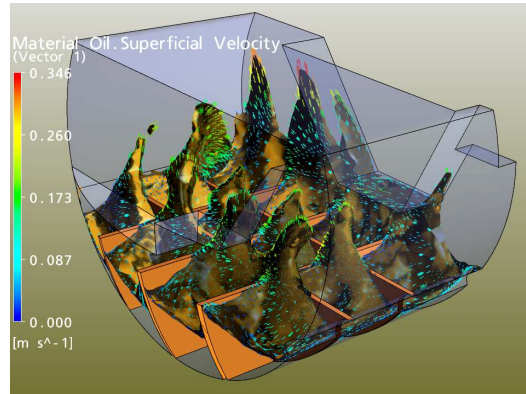
19. ábra Mozgási energiát felosztó lemezek

Az első változatban vertikálisan elhelyezett lemezeket helyezünk az áramlási térbe egymásra merőlegesen. Ezzel az eredeti teret 12 cellára bontjuk szét, tehát már a folyamat kezdetétől lényegesen kevesebb kinetikus energia lesz egy cellában, mint az eredeti geometria esetén.

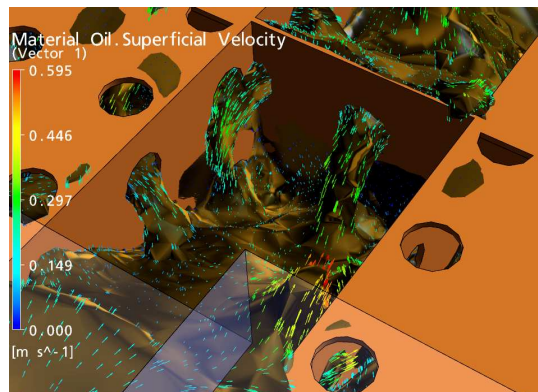
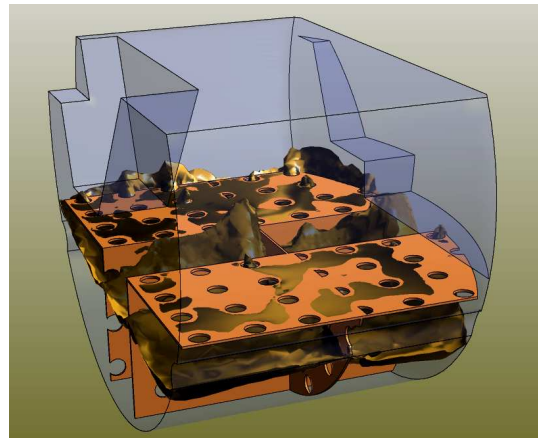
A második konstrukció az előző és a jelenlegi elgondolást ötvözi. A tér alsó részét 6 cellára bontjuk, s szabványosan lyukasztott lemezeket építünk be.



20/a. ábra Teli lemezek hatása a folyadékmozgásra



20/b. ábra Teli lemezek hatása a folyadékmozgásra



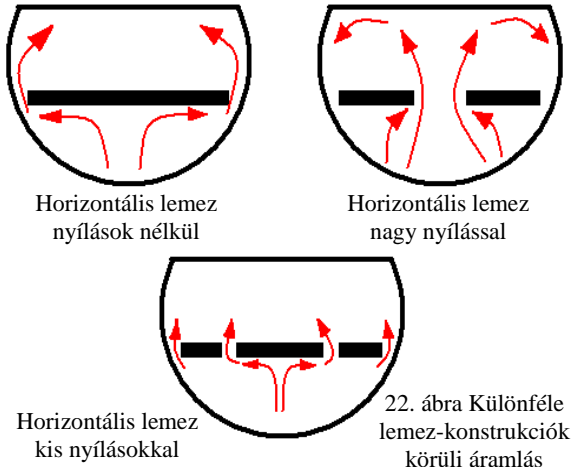
21. ábra Lukacsos lemezek hatása a folyadékra

A számítások eredményei a 20/a, a 20/b. és a 21. ábrán láthatók. Az adott időpillanatban kialakult folyadékfelszín eloszlásából egyértelműen látszik, hogy az 1. Konstrukció, a kinetikus energia csökkentésének szempontjából valóban jó elgondolás, azonban a gyorsulás gerjesztés időjében előforduló hirtelen lökések hatására az olaj még így is eléri a tartály felső szintjét (lásd 20/b. ábra). Az egyes cellákban még mindig olyan mértékű kinetikus energia képes felhalmozódni, melynek kártékony hatásai lehetnek. A konstrukció alapvető hibája, hogy minden egyes pontjában megengedi a folyadék felfelé irányuló áramlását.

A másik megoldás esetén az előző hátrányait küszöböltük ki. A teret itt is cellákra bontottuk, de a horizontálisan elhelyezett lemezekkel az olaj felfelé irányuló mozgását ki lehet szűrni. Ezt az eredmények is jól tükrözik, bármilyen

gerjesztést adunk a rendszerre, a folyadék legfelső tartály középső szintjéig jutott (lásd 21. ábra).

Összességében elmondható, hogy a vizsgált konstrukciók közül azon megoldások voltak a leghatékonyabbak, melyekben horizontálisan elhelyezett, lukacsos lemezek voltak beépítve. Az olaj nagy intenzitású mozgásának csillapítására gyakorolt hatása a lemezek pozíciójában és a furatokban rejlik.



A horizontálisan elhelyezett lemezek önmagukban nem elég hatékonyak. Habár megváltoztatják a folyadék felfelé irányuló mozgását, de ettől a folyadékban lévő kinetikus energia még nem csökken le eléggé, így a közeg a tartály falai felé áramolva a falak és a lemezek közti résekben még fel tud szökni. A lemezekre vágott nagyméretű nyílások túlságosan megengedik a felfelé irányuló mozgást. A vizsgált furatokkal teli lemez azonban hatékonynak bizonyult, ebben az esetben ugyanis részben megváltozik a folyadék felfelé áramlása, részben viszont a kis furatok átengedik a folyadék egy részét. Ezzel olyan arányban osztódik ketté a folyadékban felhalmozódó mozgási energia, mellyel a közeg sem a furatokon át, sem pedig a tartály falai melletti résekben nem képes elérni a tartály felső szintjét.

## 10. ÖSSZEFOGLALÁS, KONKLÚZIÓ

A rohamosan fejlődő számítástechnika világában egyre több lehetőség nyílik olyan fizikai jelenségek vizsgálatára, melyet mérés technikai eszközökkel csak nagyon nehezen vagy egyáltalán nem lehetne megvalósítani. A munkában egy teljesen zárt olajtartályt vetettünk vizsgálat alá, amely nagyméretű külső gerjesztés alatt áll. A tartályban lévő olajban nagy mozgási energia alakul ki. Ennek hatására a közeg eléri a tartály felső részét, melynek már kártékony hatásai lehetnek. A kutatás fő célja a jelenség numerikus

módszerekkel való vizsgálata, valamint megoldást találni a probléma elkerülésére.

A kitűzött célok elérésének érdekében háromdimenziós tranzienis modellek kidolgozására került sor. Először a kialakult probléma reprodukálására fektettük a hangsúlyt, majd a validálást követően különböző tartály konstrukciókat vizsgáltunk meg. A különböző konstrukciók kidolgozásánál a hatékonyságot és az egyszerű gyárthatóságot, mint két legfontosabb szempontot tartottuk szem előtt.

Az eredeti geometria szimulációjának eredményeit vizsgálva elmondható, hogy a beállított peremfeltételekkel, anyagmodellekkel, turbulencia modellel és a többi alkalmazott beállítással a modell jól tükrözi a valóságot. Az optimalizált geometriák eredményeit elemezve arra a következtetésre jutottunk, hogy a leghatékonyabb megoldás a szabványos, lyukacsos lemezek alkalmazása, ugyanis ezek az elemek képesek olyan arányban eloszlatni a folyadékban kialakuló mozgási energiát, hogy az a legextrémebb gyorsulásgerjesztés hatására se érje el a tartály legfelső szintjét. Mint ahogy többször említettük, a költséghatékonyság az elsődleges szempontok közé tartozik. Ebből kiindulva az egymással párhuzamosan elhelyezett horizontális lukacsos lemezek beépítése a legcélszerűbb.

## 11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003: Mobilitás és környezet: Járműipari, energetikai és környezeti kutatások a Közép- és Nyugat-Dunántúli Régióban

A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 12. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai
- [2] <http://www.cfd-online.com/Forums/cfx/>
- [3] Dr. Kristóf Gergely: Többfázisú áramlás modellezése ([www.ara.bme.hu](http://www.ara.bme.hu))
- [4] J.H. Ferziger M.Perić: Computational Methods for Fluid Dynamics
- [5] Ansys CFX Help
- [6] Murray Rudman and Paul W. Cleary: Modeling Sloshing in LNG Tanks
- [7] Halász G.-Kristóf G.-Kullmann L: Áramlás csőhálózatokban
- [8] [http://www.surfersvillage.com/img/st/Tsunami\\_in\\_Lagoon.jpg](http://www.surfersvillage.com/img/st/Tsunami_in_Lagoon.jpg)