

# Nyomástartó edény végeselemes szimulációja és ultrahangos repedésvizsgálatának elősegítése a CIVA ultrahangos modellező program segítségével

*Finite element simulation and support of ultrasonic testing with CIVA non-destructive testing modelling software of a pressure vessel*

**ERDEI Réka<sup>1</sup>, BÉZI Zoltán<sup>2</sup>, Dr. Szávai Szabolcs, PhD<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Miskolci Egyetem, Msc Gépészmérnök hallgató  
3515 Miskolc, Egyetemváros, tel.: +36-20/612-9791, e-mail: [erdeireka94@gmail.com](mailto:erdeireka94@gmail.com)

<sup>1,2,3</sup> Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Mérnöki Divízió  
Cím: H-3519 Miskolc, Iglói út 2., telefon: +36-46/560-120, web: [www.bayzoltan.hu](http://www.bayzoltan.hu),  
<sup>1</sup> junior kutató, <sup>2</sup> tudományos munkatárs, <sup>3</sup> osztályvezető

*A nyomástartó edények működtetése során nagy szerepet játszanak a roncsolásmentes vizsgálatok, amelyek közé tartozik az ultrahangos repedésvizsgálat. Ennek elősegítésére használható a CIVA roncsolásmentes vizsgálatokat modellező program ultrahangos modulja. A kiszűrendő hiba, azaz a megengedhető repedésméret meghatározásához feszültséganalízis szükséges, amely az MSC Marc 2016 program segítségével számíthatóak.*

*During the operation of pressure vessels the non-destructive testing have significant role, which include the ultrasonic testing. The ultrasonic testing modul of Civa non-destructive testing modelling software can support these examinations. Stress analysis is required to determine the allowable crack size which can be calculated using the MSC Marc 2016 finite element modelling program.*

Kulcsszavak: nyomástartó edény, végeselemes szimuláció, fázisvezérelt ultrahangos repedésvizsgálat, szimuláció, CIVA

## 1. BEVEZETÉS

A nyomástartó edények meghibásodása vészhelyzetet eredményezhetnek, ezért nagyon fontos az esetleges törések, káresetek megelőzése. Emiatt a meghibásodások okait, bekövetkezésének lehetőségeit fel kell tárni, amelyhez a tudományok fejlődése egyre több lehetőséget ad. Az esetleges meghibásodások a tervezés, gyártás, valamint az üzemeltetés során bekövetkező figyelmen kívül hagyás során keletkezhetnek. A legfőbb okozói a tárolt közeg, a környezeti atmoszféra, az üzemeltetési nyomás és hőmérséklet, valamint az üzemeltetés ciklikussága. A törések mindig a repedés keletkezésével, majd ennek terjedésével következnek be. A repedésterjedés megindulását, terjedésének sebességét mechanikailag és anyagszerkezetileg is vizsgálni kell. A repedésterjedés hajtóerejét a mechanikai elemzés szolgáltatja, az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenálló képességét pedig az anyagtudomány biztosítja. [1] A mechanikai elemzés analitikus úton is készülhet, azonban egy nyomástartó edény végeselemes analízise megkönnyítheti a bonyolult számítások elvégzését.

A meghibásodások nagy százalékát repedésjellegű hibák okozzák, amelyek túlnyomórészt a hegesztési varratok hőhatásövezeteiben keletkeznek. A nyomástartó edények gyártását, üzembe helyezését, üzemeltetését, valamint vizsgálatait előírások és szabványok szabályozzák. A nyomástartó edények a veszélyességük (tárolt közeg, valamint a nyomás és a térfogat kapcsolata) alapján csoportokba sorolhatók, az egyes csoportokra vonatkozóan előírások tartalmazzák a hegesztési varratok roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatait, amelyek előre jelezhetik az anyagban jelentkező szerkezeti változásokat, repedéseket. [2] A roncsolásmentes vizsgálatok közül az ultrahangos vizsgálat alkalmas akár igen nagy falvastagságú edények feltérképezésére is, megfelelő beállítások mellett. A mérés elkészítéséhez a Civa 2016 roncsolásmentes vizsgálatokat modellező program ad segítséget.

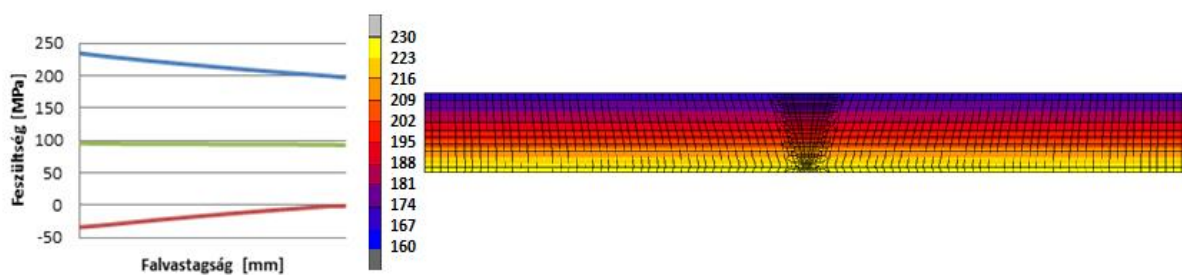
## 2. EGY ÜZEMELŐ NYOMÁSTARTÓ EDÉNY ÁLLAPOTÁNAK FELMÉRÉSE, A TARTÁLYON VÉGZETT VIZSGÁLATOK

A vizsgálat tárgyát egy lassan 50 éve üzemelő 10 méter magas, 100 mm falvastagságú ammóniatartály képezi. A tartályon az évek során vizuális, penetrációs-, valamint a belső hibákat is kimutatni képes ultrahangos repedésvizsgálatokat végeztek, amelyek eredményei alapján az eddigi üzemelés során nem tapasztaltak sem felületi sem belső szerkezeti folytonossági hibát. A technológia változása miatt a belső vizsgálatok gyakoriságát csökkenteni kellett időszakos külső vizsgálatok bevezetése mellett. Ennek érdekében megfelelő kimutatási megbízhatóságú vizsgálati eljárást kellett bevezetni. A hagyományos ultrahangos vizsgálattal, a 100 mm falvastagság miatt, a mérés nem oldható meg megfelelő megbízhatósággal. Emiatt a jelenleg legmodernebb és legmegbízhatóbb vizsgálati módszer – a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálati módszer – a legalkalmasabb a feladat elvégzésére.

A vizsgálat során kimutatásra kerülő esetleges repedésről meg kell határozni, hogy veszélyezteti-e a szerkezet integritását, illetve a vizsgálati időszakon belül elérheti-e ezt az állapotot. Emiatt először törésmechanikai számításokat végeztünk, ahol megállapítottuk a tönkremenetelhez tartozó, valamint a terjedőképes repedésméretet. Ezekhez a számításokhoz szükség volt a szerkezetben ébredő feszültségeloszlásra, amely meghatározására az MSC Marc 2016 végeeselemes program alkalmas.

### 2.1. Feszültségállapot és a hozzá tartozó kritikus repedésméret meghatározása

A nyomástartó edény falában kialakult feszültségállapotot a belső nyomást, a tartály súlyát, valamint a tartályban uralkodó hőmérsékleteket figyelembe véve kiszámítottuk, a feszültségeloszlást 1. ábra mutatja.



1. ábra

Feszültségeloszlás a tartály falában

A hajlító- és a membránfeszültség ismeretében szabvány [3] alapján kétparaméteres biztonsági diagram segítségével már meghatározható a tönkremenetelhez tartozó repedésméret, különböző geometriájú repedések esetén. Az így megengedhető repedésméreteket kerületi irányú repedés esetén az Tönkremenetelhez tartozó maximális repedésméret (Kerületi irányú repedés esetén) 1. táblázat tartalmazza.

Tönkremenetelhez tartozó maximális repedésméret (Kerületi irányú repedés esetén) 1. táblázat

Repedés irányítottága	Repedés típusa	a [mm]	a/2c	a [mm]	2c [mm]
Kerületi irányú repedés	Teljes keresztmetszeten átmenő	19,9			
	Belső felületi		0,5	40,0	72,0
			0,25	18,7	74,9
			0,1	17,4	174,3
			0,05	15,4	308,3
	Kiterjedt belső felületi	15,5			

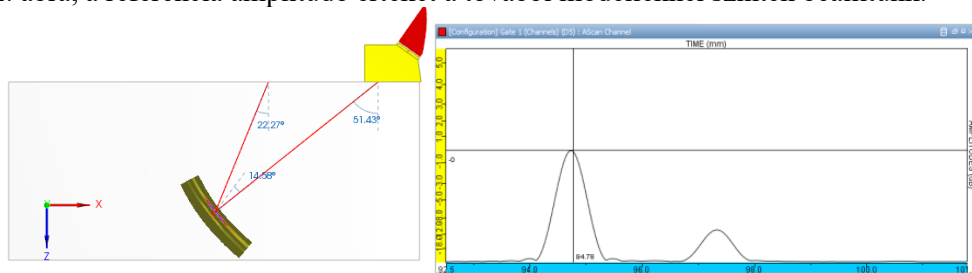
A konverter alapvetően statikus, állandó nyomáson és hőmérsékleten üzemelő készülék, amelynek terhelése azonban függ a termelési paraméterektől. Az elmúlt években az ammónia termelési értékek elemzéséből megállapítható, hogy a termelés jelentős ingadozást mutat. A termelésingadozásból származó üzemi nyomási ciklusokat megvizsgálva kijelenthető, hogy a fáradásos repedésterjedéssel számolnunk kell. Az elvégzett számítások alapján meghatároztuk a [6] irodalomból származó repedésterjedési adatokra támaszkodva, hogy a 1,5 mm-es repedés már terjedőképes, emiatt szükséges az ultrahangos repedésvizsgálat során ennek a repedésnek a kimutatása. A méréshez megfelelő vizsgálófej és a vizsgálati paraméterek meghatározása érdekében módszerfejlesztés szükséges, amelyre a CIVA modellező program ultrahangos modulja alkalmas.

## 2.2. Ultrahangos repedésvizsgálat szimulációs előkészítése a Civa roncsolásmentes vizsgálatokat modellező program ultrahangos moduljának segítségével

A roncsolásmentes repedéskereső vizsgálati eljárások közvetett eljárások, azaz a hiba indikációként jelenik meg a vizsgálati képeken. Az eltérések pontos helyét és méretét elemző vizsgálatnál lehet megállapítani, ilyen vizsgálat a fázisvezérelt ultrahangos repedésvizsgálat (PAUT vizsgálat) is. A hibák méretének és helyének megbízható meghatározása egy etalon darabon végzett mérés alapján igazolható, amelyben lévő bemunkált hiba megfeleltethető a keresett indikációnak. A modellezés során meg kell határozni a legoptimálisabb mérési paramétereket, amelyek segítségével a legmegbízhatóbb módon tudjuk kimutatni a már terjedőképes repedéseket is. Ehhez meg kell állapítanunk a megfelelő etalon méretét és ki kell választani a méréshez rendelkezésre álló vizsgálófejek közül a legalkalmasabbat, valamint ezek elhelyezési távolságát a varratközépponttól.

A szoftver tartalmaz különböző geometriai típusú hegesztéseket, amelyek segítségével a varrat előállítható. A hegesztési varrat anyagát, valamint ehhez az anyaghoz tartozó sűrűséget ( $7,67 \text{ gcm}^{-3}$ ) beállítottuk, valamint megadtuk a longitudinális és a transzverzális hullámok terjedési sebességét ( $v_l=5390 \text{ ms}^{-1}$ ,  $v_t=3000 \text{ ms}^{-1}$ ) is. A program segítségével beállítható a vizsgálófej, amelyet a rendelkezésre álló fejek közül választottunk, így ez egy 32 rezgőből álló fázisvezérelt vizsgálófej, amelyhez a vizsgálati frekvencia 2,25 MHz, valamint csatolóközegként vizet használtunk. Az ultrahangos hullám típusa esetünkben transzverzális, a modellezést szektorális szkennelésre végeztük el, amelynek vizsgálati szögterületét 40-65°-ra állítottuk be.

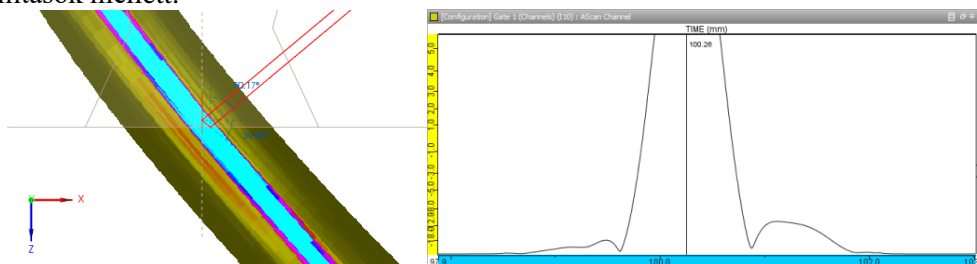
Az etalonnak először egy 3 mm-es körtárcsa alakú reflektort választottunk, amely reflektor méret a későbbi modellek eredményei alapján már elegendő a terjedőképes repedésnél kisebb méretű hiba kimutatására is. A 3 mm-es kör keresztmetszetű hibát egy homogén tömbben helyeztük el, ennek segítségével határoztuk meg, hogy a hibáról milyen jel érkezik. A szektorális szkenneléses vizsgálatunknál azt az ideális besugárzási pozíciót kerestük, amelynél a hibák a legjobban látszanak, amelyhez sorozatszámításokat végeztünk. Így megállapítottuk, hogy a vizsgálófejet 110 mm indextávolságra elhelyezve, 51,43°-nál kapjuk az etalonról a legnagyobb jelet. Az eredményeket (A-kép és S-kép) mutatja a 2. ábra, a referencia amplitúdó értékét a további modelleknél szintén beállítunk.



2. ábra

Etalon  $\varnothing$  3mm körhiba

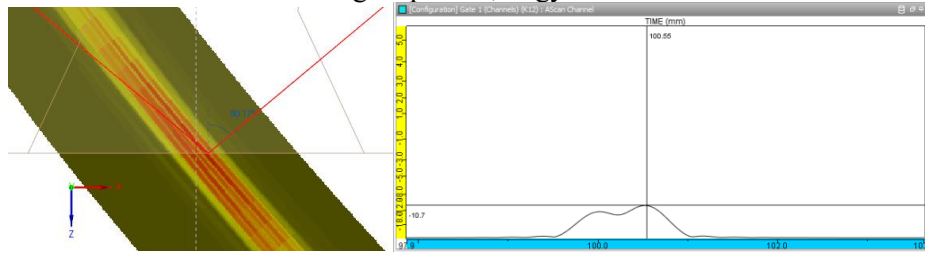
Az etalonon megállapított paramétereket alkalmazva már vizsgálhatjuk a hegesztési varratba elhelyezett különböző méretű téglalap keresztmetszetű repedéseket. A 3 mm-es kör keresztmetszetű hibával összehasonlítva egy 3 mm-es téglalap keresztmetszetű hibát, az etalon referencia amplitúdóját beállítva látható (3. ábra), hogy a hibáról érkező jel kiugró értékeket mutat. Tehát megállapítható, hogy egy ugyanolyan méretű téglalap keresztmetszetű hibáról jóval nagyobb jel érkezik vissza ugyanazon beállítások mellett.



3. ábra

3 mm-es repedés

A vizsgálat során vizsgáltunk 2 mm, 1,5 mm, 1 mm és 0,5 mm méretű téglalap keresztmetszetű hibákat is. Ezek alapján megállapítható, hogy már egy fél mm-es repedés is észlelhető, amely hibáról érkező jelet a 4. ábra mutatja. Ez a repedés jóval kisebb a terjedőképes repedésnél, így a mérés során esetlegesen kimutatott hibák esetén is megállapítható, hogy ezek a további működést befolyásolják.



4. ábra

0,5 mm-es repedés

A mérés során esetlegesen kimutatott terjedőképes repedés esetén a repedés folyamatosan figyelhető, hogy a tönkremenetelhez tartozó repedésméretet el ne érje. A helyszíni mérés során a hegesztési varratokban nem mutattak ki folytonossági hibákat, így a szerkezet állapotát repedések nem befolyásolják.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ammóniakonverter elemzése során végelemes analízis alapján megállapítottuk a falban ébredő feszültségeloszlást, a belső nyomást, a hőmérsékletet és az edény súlyát figyelembe véve. A feszültségállapot alapján meghatároztuk a szerkezet tönkremeneteléhez tartozó repedést, valamint a fáradásos repedésterjedés esetén a már terjedőképes repedés méretét. Az ultrahangos vizsgálattervezés célja azon vizsgálati paraméterek beállítása, amely ezt a repedést már biztonsággal kimutassa. Elmondhatjuk, hogy a szimuláció során kapott mérési eredmények elősegítették a helyszíni mérések lebonyolítását. Természetesen a szimuláció nem tud minden apró szerkezeti sajátosságot figyelembe venni, csak aminek a vizsgálatára beállították.

A fázisvezérelt vizsgálati eljárás a precíz vizsgálati előkészítés segítségével sokkal gyorsabban, sokkal pontosabb információt adhat a nyomástartó edény hegesztési varratainak esetleges hibáiról, mint bármely más roncsolásmentes vizsgálat. Elmondható, hogy a bemutatott szimulációs szoftver nagyban elősegítheti a fázisvezérelt ultrahangos vizsgálat vizsgálattervezését, a vizsgálat könnyebb helyszíni végrehajtását és az eredmények későbbi elemzését.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

**BORSODCHEM TÁMOGATÁSA**

### 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Tóth László, Magyar Zoltán, Lévy István - Kárelemzés, törések gazdasági kihatásai, A kárelemzés jelentősége, módszertana, eszközei, Miskolci Egyetem, Miskolc, 1999
- [2] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2014/68/EU IRÁNYELVE, a nyomástartó berendezések forgalmazására vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról – PED-2014
- [3] BS 7910:2013 + A1:2015 – Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures, BSI Standards Limited 2015, December 2013, ISBN 978 0 580 89564 7
- [4] ATLAS OF FATIGUE CURVES, ISBN: 0-87170-214-2
- [5] Training Book for CIVA 2011, UT Module – Beam Computation
- [6] MSC Marc 2016 User Guide