

# Korrodált csövek rugalmas-képlékeny állapotának vizsgálata végeselem módszerrel

## Investigation of elastic-plastic behaviour of corroded pipes with FE analysis

*FEKETE Gábor<sup>1</sup>, PhD hallgató*  
*Dr. VARGA László<sup>2</sup>, Professzor Emeritus*

<sup>1</sup>BME, Gép- és Terméktervezés Tanszék, Budapest, Műegyetem rkp. 3., Tel: (06 1) 463-1111/52-33, Fax: (06 1) 463-3510, fekete.gabor@gt3.bme.hu, www.gt3.bme.hu

<sup>2</sup>BME, Gép- és Terméktervezés Tanszék, Budapest, Műegyetem rkp. 3., Tel: (06 1) 463-1111/52-33, Fax: (06 1) 463-3510, varga.laszlo@gt3.bme.hu, www.gt3.bme.hu

### Abstract

*This paper deals with the finite element modelling of corrosion failures of technologic pipes. The investigations in this article show the effect of the corrosion defects on elastic strength and the elastic-plastic behaviour of pipes with ideal failures that were analysed in details in our previous research. The results of the finite element investigations have been evaluate in dimensionless form by applying two characteristic failure size values.*

### Összefoglaló

*A cikk technológiai csövek korróziós meghibásodásainak végeselemes modellezésével foglalkozik. A leírt vizsgálatok korábbi kutatások eredményeként meghatározott, idealizált korróziós hibaalakokkal mutatják be a feltételezett hibáknak a csövek rugalmas teherbírására, rugalmas-képlékeny viselkedésére gyakorolt hatását. Az eredmények kiértékelése és ismertetése két jellemző hibaméret vizsgálatával történt.*

### Kulcsszavak

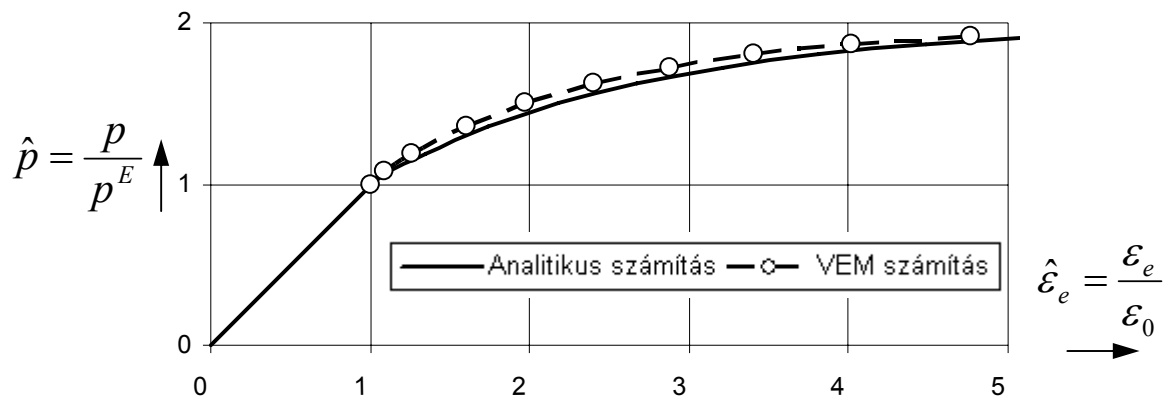
Gyenge pont, VEM, rugalmas-képlékeny viselkedés, képlékeny zóna, rugalmas teherbírás.

## 1. BEVEZETÉS

Az ipar számos területén alkalmazott acélcsővek élettartamát jelentősen lecsökkentheti a használatuk során – a külső és belső falon – jelentkező korrózió. A korróziós hibák pontos detektálásán kívül elengedhetetlen a csövek várható élettartamának megállapítása, amelyben kulcsfontosságú szerepe van a csőfal – adott méretű anyaghányok esetén kialakuló – térbeli feszültségi állapotának [1]. A valóságban kialakuló korróziós hibafelület felmérése nehézkes, ezért korábban a korróziós hibákat 2D-s alakzatokkal közelítették. A valós hibák végeselemes vizsgálata a hálógenerálás miatt nem lehetséges. A bemutatásra kerülő végeselemes számítási eredmények idealizált, 3D-s hibaalakok segítségével reprezentálják a korróziós elmaródásokat [2]. A korábbi kutatási eredmények alapján kialakított közelítő hibaalak VEM-el jól kezelhető, így lehetővé teszi a korrodált csövek rugalmas-képlékeny viselkedésének pontos feltérképezését. A kidolgozott módszerrel a korróziós hibák méreteinek hatásai is vizsgálhatók.

## 2. VALIDÁLÁS

A végeselemes eredményeket analitikus számítási eredményekkel vetettük össze. A validálást 60 [mm] belső, és 100 [mm] külső átmérőjű vastagfalú gömb segítségével végeztük, amelyet belső nyomással ( $p$ ) terheltünk. A validálás eredménye az 1. ábrán látható.



1. ábra: A validálás eredménye (eredmények lekérdezése a belső falon)

A validálásnál a nyomásviszonyt ( $\hat{p}$ ) ábrázoltuk a fajlagosított eredő egyenértékű alakváltozás ( $\hat{\varepsilon}_e$ ) függvényében. Az eredmények kismértékű eltérése azzal magyarázható, hogy rugalmas tartományban a végeleemes program a rugalmas alakváltozási törvény (1), képlékeny tartományban pedig  $\nu = 0,5$  feltétel (2) szerint számol:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \frac{1 - 2\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3), \quad (1)$$

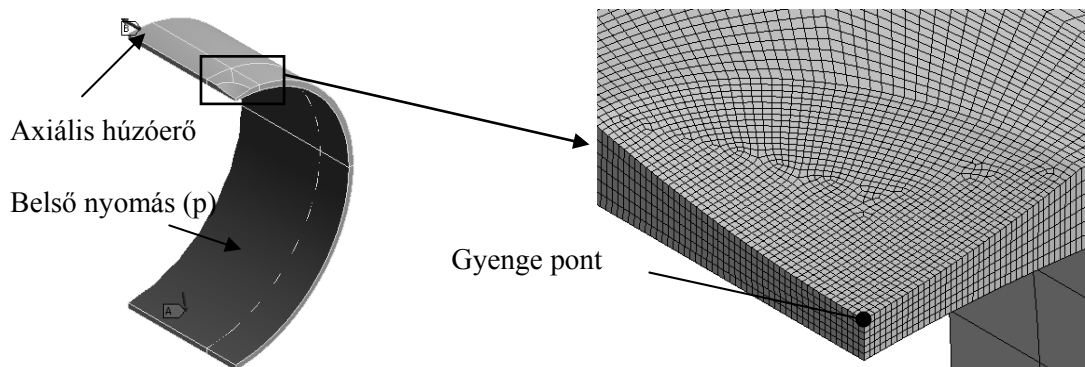
$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0, \quad (2)$$

ahol  $\varepsilon_i$  a főnyúlások,  $\sigma_i$  ( $i = 1,2,3$ ) a főfeszültségek,  $E$  a Young-modulus,  $\nu$  a Poisson-tényező. A valóságban a változás átmenettel történik. Diszkrét átmenet a keresztmetszet folytonosságát nem tenné lehetővé. Az összehasonlított eredmények alapján a programot megbízhatónak találtuk.

### 3. KORRODÁLT CSŐ RUGALMAS-KÉPLÉKENY VIZSGÁLATA

#### 3.1. Végeleemes modell (háló, terhelések, peremfeltételek)

A korrodált cső végeleemes modelljét korábbi vizsgálataink alapján építettük fel. A szimmetria feltételek szerint kialakított végeleemes modellt a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Végeleemes modell és háló [2]

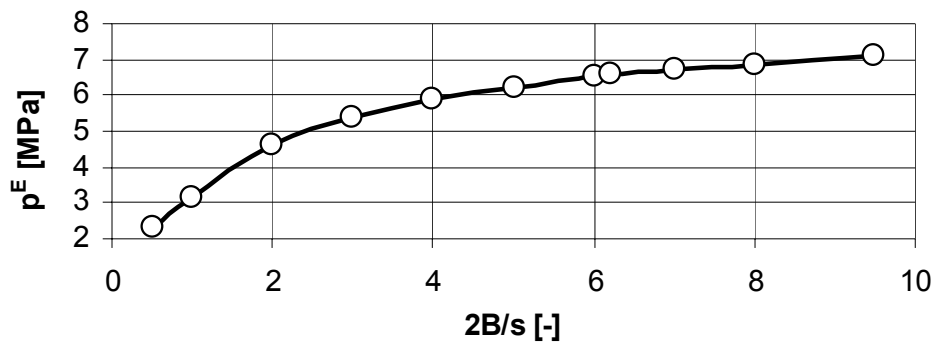
A hálóépítéshez 20 csomópontos hexaéder elemeket alkalmaztunk. A hálót úgy alakítottuk ki, hogy a gyenge pont közelében volt a legsűrűbb (validálási eredmény szerint), attól távolodva mind axiális, mind pedig kerület irányban ritkult. Gyenge pont a korrodált keresztmetszet azon pontja, amely a terhelés növekedés hatására először kerül képlékeny állapotba. A végeleemes modell anyagát tökéletesen rugalmasnak és ideálisan képlékenynek tételeztük fel (folyáshatár:  $\sigma_F = 410$  [MPa]).

### 3.2. Elvégzett vizsgálatok

A korróziós hibák hatásának vizsgálatához számítási sorozatot készítettünk állandó mélységű és hosszúságú, de változó szélességű hibák esetén. A számításokat egy 609,6 [mm] külső átmérőjű,  $s = 12,34$  [mm] falvastagságú, API X52-es anyagból készített csövön végeztük. A modellezett hiba hosszúsági mérete  $2A = 100$  [mm], mélysége  $c = 6,12$  [mm] volt, szélessége 12,34 [mm]-tól 98,7 [mm]-ig változott. A Young-modulus  $E = 203$  [GPa], a Poisson tényező  $\nu = 0,3$  volt.

## 4. EREDMÉNYEK

A hibaszélességnek a rugalmas teherbírásra gyakorolt hatását a 3. ábra mutatja. Rugalmas teherbírásnál azt a nyomásértéket értjük, amelyenél a korrodált keresztmetszet gyenge pontja éppen képlékeny állapotba kerül.

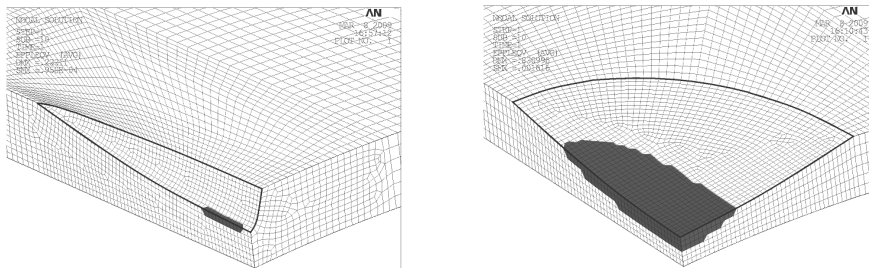


3. ábra: A hibaszélesség hatása a rugalmas teherbírásra

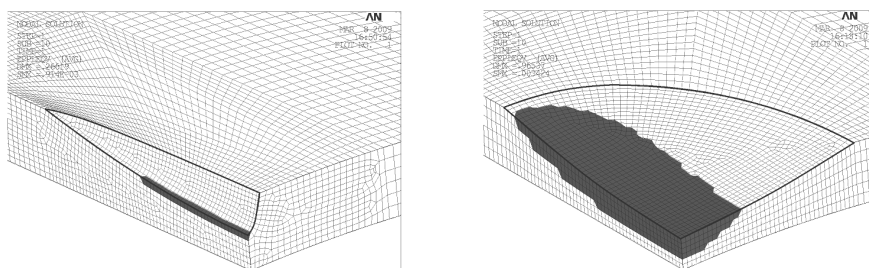
$2B/s = 6,21$  esetén a félellipszis profil szabályos félkör, így az általa létrehozott idealizált hiba egy gömbfelületet eredményez.

### 4.1. Képlékeny zóna terjedése

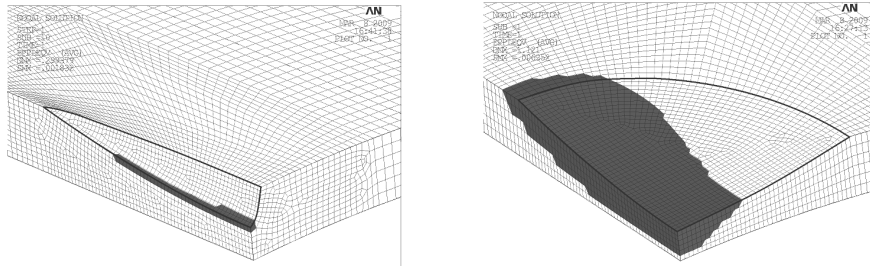
A képlékeny zóna terjedését a két jellemző – repedésszerű és foltszerű – hibalak esetén hasonlítottuk össze. A foltszerű korróziós hibaként a gömb hibafelületet, repedésszerű meghibásodásként pedig a  $2B/s = 0,5$  hibaszélességet választottuk. A képlékeny zóna terjedését a nyomás növekedésének hatására az 4-7. ábrák szemléltetik.



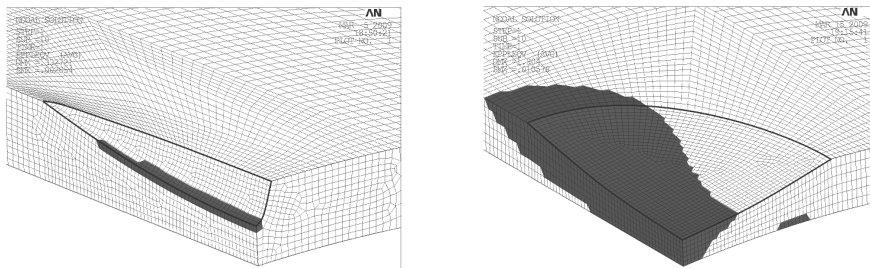
4. ábra: Képlékeny zóna kiterjedése  $\hat{p}=1,4$  esetén



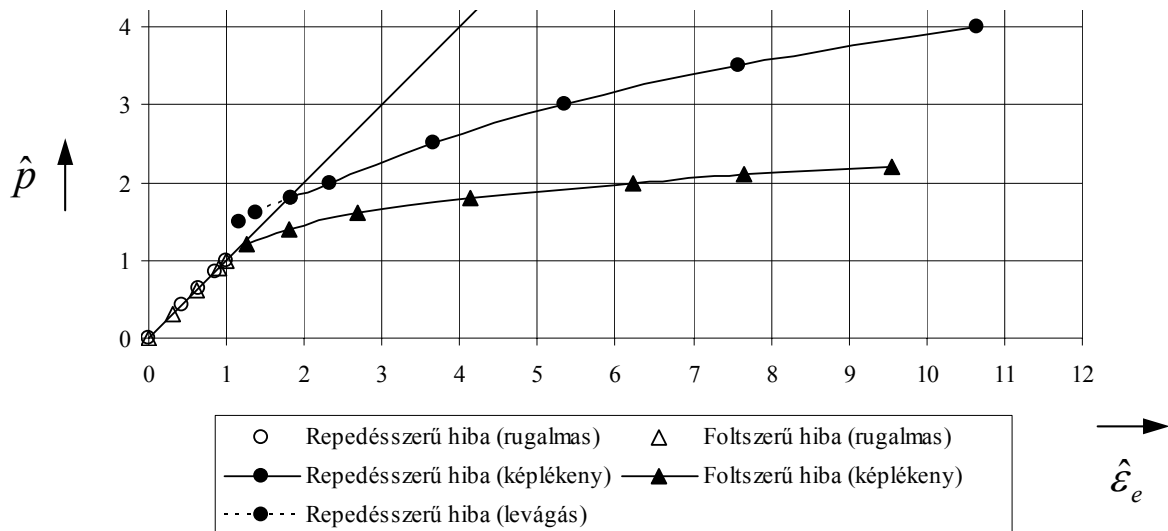
5. ábra: Képlékeny zóna kiterjedése  $\hat{p}=1,6$  esetén



6. ábra: Képlékeny zóna kiterjedése  $\hat{p}=1,8$  esetén



7. ábra: Képlékeny zóna kiterjedése  $\hat{p}=2$  esetén



8. ábra: A repedésszerű és foltszerű korróziós hibák gyenge pontjainak  $\hat{p} - \hat{\epsilon}_e$  diagramjai

## 5. Következtetések

A vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a hiba szélességének növekedésével növekszik a rugalmas teherbírás. A képlékeny zóna ugyanolyan nyomásviszonyok feltételezésével a foltszerű korróziós meghibásodásoknál gyorsabban terjed, és előbb válik a teljes keresztmetszet képlékennyé, mint a repedésszerű hibák esetén. A végeelemes vizsgálatok a hibaszélesség vonatkozásában mind a keskeny, mint a szélesebb hibák esetén korlátozottak (8. ábra). A Repedésszerű hibáknál a hálósűrűség, foltszerű hibáknál pedig a képlékeny csukló kialakulása lehet korlátozó tényező.

## 6. Irodalom

- [1] H. Adib, S. Jallouf, C. Schmitt, A. Carmasol, G. Pluvinage: Evaluation of the effect of corrosion defects on the structural integrity X52 gas pipelines using the SINTAP procedure and notch theory, International Journal of Vessels and Piping 84, 2007, pp. 123-131.
- [2] Fekete Gábor, Dr. Varga László: Korrodált csövek végeelemes modellezése, GÉP, Gépípari tudományos egyesület, LVIII. évfolyam, 2008/10-11, pp. 36-39.