

Mindennapi törésmechanika – Húzott csövezetékek biztonságának megítélése

Dudra Judit¹, Erdei Réka², Tóth László DSc³,

¹ Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, vezető kutató, judit.dudra@bayzoltan.hu

² Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft, junior kutató, reka.erdei@bayzoltan.hu

³ nyugalmazott egyetemi tanár, laszlo.toth@bayzoltan.hu

Összefoglaló

A mérnöki szerkezetek biztonságos üzemeltethetősége szempontjából a legveszélyesebbek az anyagfolytonossági hibák. Ezeket repedésszerű hibáknak tekintve, hatásuk a törésmechanikai (TM) elvek alkalmazásával értékelhetők. A legkonzervatívabb módszerek, a lineárisan rugalmas törésmechanikai elvek alkalmazása kellő biztonságot nyújt a megengedhető repedésméret meghatározására. A biztonság még inkább növelhető az anyagjellemzők konzervatív megválasztásával. A roncsolásmentes vizsgálattal szembeni minimális követelmény az, hogy az így kijelölt repedésméretet üzembiztosan kimutassa. A közlemény a húzott csövek körvarratainak elemzésével foglalkozik.

Kulcsszavak

törésmechanika, biztonság, szerkezetintegritás, roncsolásmentes vizsgálat, periodikus felülvizsgálat.

1. Bevezetés

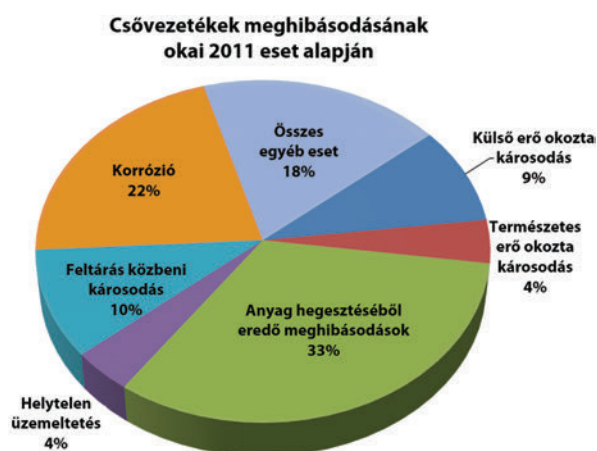
Hazánk mintegy 5800 km hosszúságú földgázszállító vezetékrendszerét a Földgázszállító Zrt. (FGSZ Zrt.) és a 2019 októbere óta az FGSZ Zrt. tulajdonában lévő Magyar Gáz Tranzit Zrt. (MGT Zrt.) üzemelteti. A csövek átmérője 100-1400 mm, üzemi nyomása 40-75 bar, átlagos életkora meghaladja 30 évet [1]. Ezt egészíti ki az 1962-ben és 1972-ben elkészült 400 mm átmérőjű Barátság I. és a 610 mm átmérőjű Barátság II., ill. az 1978-ban átadott 200 km Adria olajvezetékek. A vezetékek átlagéletkora így 40-60 év.

A tranzit olaj- és gázvezetékek üzemeltetése kapcsán fellépő meghibásodások általában meghatározó gazdasági jelentőségűek. Így az egyes esetek részletes kivizsgálására többnyire sor kerül. Ezeket nemzetközi szervezetek periodikusan nyilvánosságra is hozzák. Az egyik ilyen átfogó tanulmány 1998-ban jelent meg [2]. Napjainkban a világhálón az adatok, feldolgozási eredményeket összefoglaló jelentések száma meglehetősen nagy. Beütve a

„pipeline+failures” kifejezést pl. a Google keresőmotorba, a kapott találatok száma kb. 19 millió. Az egyik ilyen részletes elemzés a nigériai helyzetet tekinti át [3], de az USA-ra nézve a Wikipédia rögzíti az összes jelentősebb káresetet kronológiai sorrendben [4]. Az egyes törési, meghibásodási esetekhez köthető jelentések, a „Pipeline Failure Investigation Reports” letölthetők a PHMSA (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) honlapjáról [5], ahol a „Data and Statistics” alkönyvtárban megtalálható dokumentumok igen hasznos információkat szolgáltathatnak a hazai és nemzetközi helyzet összehasonlítására. A gázszállító vezetékek törési eseteinek feldolgozása ugyancsak szabadon letölthető [6]. A rendelkezésre álló igazán nagy adathalmazból csupán néhányat kiválasztva kellő biztonsággal értékelhetők a legfontosabb sérülési okok. Ezeket foglalja össze európai viszonylatban az 1. táblázat.

1. táblázat: A gázvezetékek meghibásodási okai

Meghibásodási ok	Gyakorisága %-ban
Harmadik fél okozta meghibásodás	49,6
Tervezési hiba, anyaghiba	16,5
Korrózió	15,4
Talajmozgás	7,3
Csőcsonkok meghibásodása	4,7
Más, ismeretlen meghibásodások	6,7



1. ábra. 2011 db meghibásodás okainak megoszlása [7]

Az 1. táblázat például meggyőzően szemlélteti azt a tényt, hogy a törési esetek mintegy 50 %-át a külső beavatkozások, hatások idézik elő, pl. feltárás, utólagos talajrendezés, stb. A meghibásodások második, harmadik legfontosabb kiváltó okai között a korrózió és a szerelési (általában a hegesztéshez kötődő) hibák szerepelnek. Ezt meggyőzően alátámasztják az 1. ábrán látható adatok is, ahol 2011 db. meghibásodás okainak feldolgozási eredményei láthatók. Ezek mintegy egyharmadát a hegesztett varratok minősége idézte elő.

A hazai olaj- és gázvezetékek sem kerülhették el a különböző szintű meghibásodásokat, töréseket, lyukadásokat. A napi sajtó természetesen foglalkozott ezen esetekkel. Csupán a jelentősebbeket kiemelve. Az olajvezetékek tekintetében a Barát-ság II.-ön észlelt hosszvarratos csövek „borzolták az idegeket”, mind az üzemeltető, mind pedig a gazdasági élet vezetőinél. Mivel nem voltak kellő pontossággal dokumentálva a FALK gyártmányú csövek beépítési helyei így nem is lehetett gondolni a hosszvarratos csövek szakszerű és pontos kiváltására. A törések egyébként törvényszerűen következtek be a változó belső nyomás és a „háztető alakú” hosszvarratok okozta 1,5-1,8 nagyságú feszültséggyűjtési tényező következtében. Érdekes és tanulságos esetnek tekinthető az olajvezeték üritése „csögörény” segítségével, amikor a görény „pillanatig” a belógó körvarrat gyökén megakadt, miközben az olajtömeg szívó hatása miatt keletkezett vákuumban robbanó elegy keletkezett. A görényre ható szívó és nyomó erők ütő hatására a robbanó elegy berobbant és tipikus „gázrobbanás” szakította szét a vezeték egy részét. Ami a gázvezetéseket illeti, ezeken is következtek be jelentősebb anyagi kárt okozó törések. Ezek közül legjelentősebbnek a 2019 novemberében Püspökladány körzetében végbement eseménysorozat tekinthető. A meghibásodásokat előidéző műszaki okok között meghatározó módon a hegesztés, ill. a létesítés, építés hiányosságai húzódnak meg. A csővezetékek lehetséges repedésszerű hibáinak elemzéséhez kötődő közleménysorozatunk [8] folytatásaként a húzott csővezetékek körvarratiban előforduló hibák elemzését kívánjuk folytatni.

Jelen közleményünkben egy ilyen, alapvetően a csővezetékek építéséhez kötődő lehetséges körülményt kívánunk modellezni a törésmechanika legkonzervatívabb modelljének felhasználásával. A vizsgált esetek a következők:

- Kerületi irányú, teljes keresztmetszeten átmenő repedés,
- Kerületi irányú, belső felületi, kiterjedt repedés,
- Kerületi irányú, külső felületi, kiterjedt repedés,
- Kerületi irányú, belső felületi, elliptikus repedés.

1. Húzott csővezetékek biztonságának megítélése törésmechanika elvek figyelembevételével

Csővezeték építésénél, fektetésénél a legveszélyesebb hiba a kerületi irányú (körvarratban elhelyezkedő) különböző típusú és kiterjedésű repedések. E hiba több módon is keletkezhet. Például nem az előírások szerinti helyszíni gyökhegesztésnél, összeolvadási hibaként, avagy rossz (esős) időjárási viszonyok között nem az előírásoknak megfelelő hegesztési körülmények között a hőhatásövezetben vagy a varratágyban, stb. Az így keletkező repedések csúcsában számítható K feszültségintenzitási tényező számítására a szakirodalomban számos összefüggés fellelhető [8]-[14]. Ezek időnként egymással nem kompatibilis eredményeket szolgáltatnak azonos tartományokban, de az is előfordulhat, hogy a közleményekben elírások vannak, stb. Következésképpen mindig célszerű a talált összefüggések összehasonlítása.

A következő bekezdésekben több összefüggést hasonlítunk össze, valamint a VERB7 program által számolt eredményeket is ismertetjük.

Az összehasonlítás tárgyát képezik:

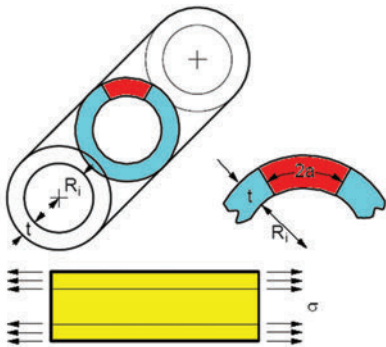
- Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. által alkalmazott összefüggések [9]
- VERB7 program számítási képleteiről megjelent dokumentum [12]
- VERB7 program által kirajzolt görbe [13]
- I. M. Dmytrakh, L. Tóth, O. L. Bilyy, A. M. Syrotyuk „Workability of materials and structural elements with sharp-tipped stress concentrators” c. könyvébenben megjelent összefüggések [14]

A számpéldák a következő alapadatokat alkalmazásával készültek:

- Belső sugár: $R=610$ mm,
- Falvastagság: $t=8$ mm,
- Az axiális irányú húzó feszültség: $\sigma=100,150,\dots,350$ MPa

1.1. Kerületi irányú, teljes keresztmetszeten átmenő repedés

A kerületi irányú teljes keresztmetszeten átmenő repedés (2. ábra) számításait elvégezve megállapítható, hogy a [9][12][14] irodalmak alapján a számítások megegyeznek, így a görbék egymáson futnak. Továbbá a számítási képletek alapján kapott görbék megegyeznek a VERB7 programban [13] ábrázolt görbével. A különböző megoldókkal kapott eredményeket a 3. ábra mutatja. Különböző mértékű feszültségértékek esetén is ábrázoltuk a görbéket, amelyeket a 4. ábra szemléltet.



2. ábra: A kerületi irányú teljes keresztmetszeten átmenő repedés

Alkalmazott számítási összefüggések:

$$K_I = F_0 \sigma \sqrt{\pi a}, \quad (1.1)$$

$$F_0 = \left(\frac{l_0}{2\pi a} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1.2)$$

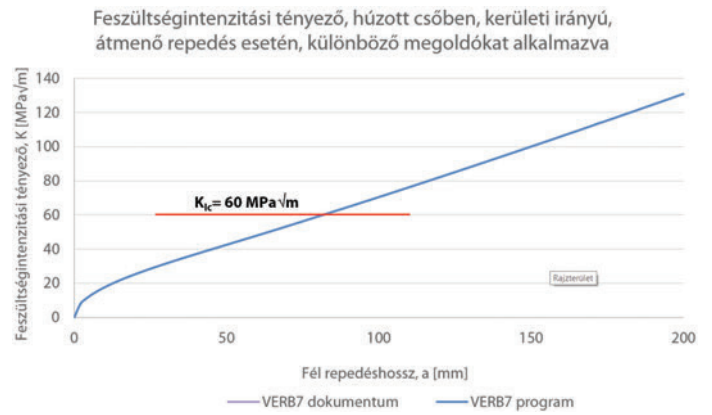
$$l_0 = \left(\sqrt{8(F_{k0}^2 - 1)} + \pi \frac{\beta^2}{\delta} \right) \frac{\alpha^2}{\tau}, \quad (1.3)$$

$$F_{k0} = 1 + \mu \frac{1 - \frac{\alpha}{2\alpha} \operatorname{tg} \alpha}{\alpha}, \quad (1.4)$$

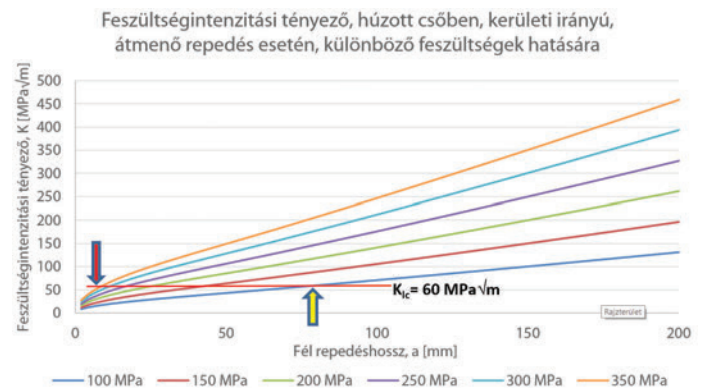
$$\mu = \frac{\sqrt{2}}{\frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi - \alpha}{\sqrt{2}}\right)} + \frac{\sqrt{2}}{\operatorname{tg} \alpha}}, \quad (1.5)$$

$$R_o = R + \frac{t}{2}, \quad (1.6)$$

$$\xi = 0,3, \quad (1.7)$$



3. ábra: A kerületi irányú teljes keresztmetszeten átmenő repedés különböző megoldókkal $\sigma = 100 \text{ MPa}$ axiális irányú terhelésnél



4. ábra: Kerületi irányú, teljes keresztmetszeten átmenő repedés feszültségintenzitási tényezőjének változása a feszültség növelésének hatására

$$\delta = \frac{\alpha}{2\tau}, \quad (1.8)$$

$$\tau = \frac{\sqrt{\frac{t}{R_o}}}{\left(12(1 - \xi^2)\right)^{\frac{1}{4}}}, \quad (1.9)$$

$$\beta = 1 + \frac{\pi}{16} \delta^2 - 0,0293 \delta^3, \quad \text{ha } \delta \leq 1, \quad (1.10)$$

$$\beta = \left(\sqrt{8} \frac{\delta}{\pi} \right)^{0,5} + \left(\frac{0,179}{\delta} \right)^{0,885}, \quad \text{ha } \delta > 1. \quad (1.11)$$

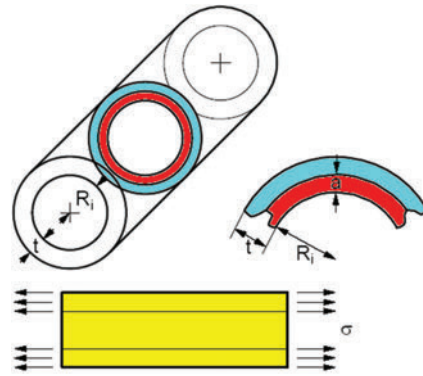
Ahol:

- R belső sugár,
- 2a repedéshossz,
- t falvastagság,
- σ axiális irányú (húzó) feszültség.

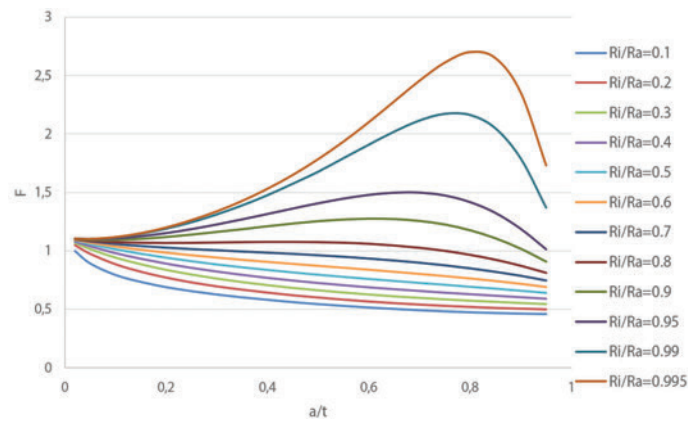
1.2. Kerületi irányú, belső felületi kiterjedt repedés

A kerületi irányú, belső felületi kiterjedt repedés (5. ábra) esetén a [9][12] és [14] irodalmak alapján meghatározott F értékének számításánál a [12]-es irodalom egy táblázatot (2. táblázat) ad meg, a [9] és [14] irodalmak pedig a táblázat értékeinek ábrázolásából (6. ábra) adódó 6-od rendű polinomokkal számolja F értékét. Az F az a/t és az R_i/R_a értékek alapján határozható meg. A 2. táblázat, a 6. ábra és az így számított F értékek, ill. a K számítására használt összefüggések összhangjában ellentmondásokat tapasztaltunk. Ezen ellentmondás feloldása további erőfeszítéseket (és időt), valamint a programot kifejlesztő intézet munkatársaival való konzultációt igényel. A VERB7 program felhasználásával számított K értékeket viszont mérvadónak tekintjük, hiszen a

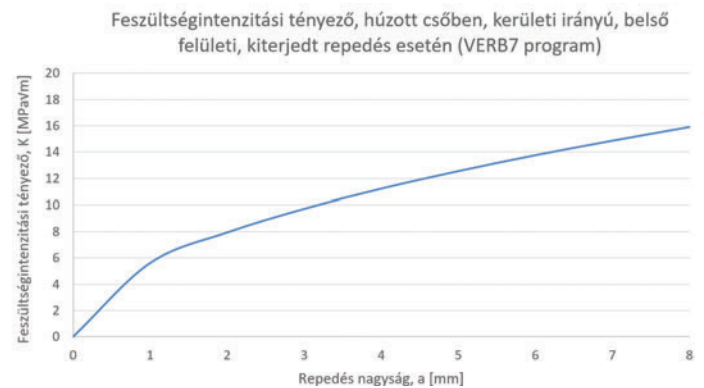
K-a görbe mindenképpen reális nagyságrendeket mutat.



5. ábra: A kerületi irányú, belső felületi kiterjedt repedés



6. ábra: 2. táblázat értékeinek ábrázolása



7. ábra: A kerületi irányú, belső felületi kiterjedt repedés SIF függvénye, $\sigma = 100$ MPa húzófeszültség esetén (VERB7 program)

2. táblázat: Az F értékei az a/t és R_i/R_a értékek függvényében

a/t	R_i/R_a											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,995
0,02	0,997	1,05	1,071	1,082	1,089	1,094	1,098	1,101	1,103	1,105	1,106	1,106
0,05	0,891	0,976	1,017	1,042	1,058	1,07	1,08	1,088	1,095	1,099	1,103	1,104
0,1	0,792	0,887	0,944	0,983	1,013	1,037	1,057	1,076	1,094	1,105	1,117	1,12
0,15	0,733	0,823	0,887	0,935	0,975	1,009	1,04	1,071	1,103	1,124	1,148	1,153
0,2	0,688	0,773	0,839	0,893	0,941	0,984	1,026	1,069	1,119	1,151	1,191	1,202
0,25	0,654	0,732	0,799	0,857	0,911	0,962	1,014	1,07	1,139	1,185	1,246	1,265
0,3	0,625	0,698	0,764	0,825	0,883	0,942	1,004	1,073	1,162	1,225	1,313	1,34
0,35	0,601	0,67	0,734	0,797	0,859	0,923	0,993	1,076	1,185	1,269	1,39	1,429
0,4	0,58	0,645	0,708	0,771	0,836	0,905	0,983	1,078	1,21	1,315	1,477	1,533
0,45	0,56	0,622	0,684	0,748	0,815	0,888	0,973	1,078	1,233	1,362	1,575	1,651
0,5	0,543	0,603	0,664	0,727	0,795	0,871	0,961	1,076	1,253	1,407	1,677	1,786
0,55	0,528	0,585	0,645	0,708	0,777	0,855	0,948	1,071	1,267	1,447	1,793	1,936
0,6	0,514	0,569	0,628	0,69	0,759	0,838	0,933	1,062	1,274	1,479	1,908	2,102
0,65	0,502	0,555	0,612	0,674	0,742	0,82	0,916	1,047	1,271	1,498	2,019	2,279
0,7	0,491	0,543	0,599	0,659	0,725	0,802	0,897	1,027	1,255	1,499	2,114	2,456
0,75	0,481	0,532	0,586	0,644	0,709	0,783	0,875	1,001	1,225	1,474	2,171	2,611
0,8	0,473	0,523	0,575	0,631	0,692	0,763	0,849	0,966	1,176	1,417	2,161	2,701
0,85	0,467	0,514	0,565	0,618	0,676	0,741	0,819	0,924	1,108	1,324	2,047	2,649
0,9	0,462	0,508	0,555	0,605	0,658	0,717	0,785	0,872	1,019	1,187	1,789	2,354
0,95	0,458	0,502	0,546	0,592	0,64	0,69	0,745	0,811	0,91	1,012	1,371	1,733

Alkalmazott számítási összefüggések:

$$K = \sigma \frac{F}{\sqrt{1 - \frac{a}{t}}} \sqrt{\pi a}, \quad (1.12)$$

$$R_a = R_i + a, \quad (1.13)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,1,$$

$$F = 18,126 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 60,398 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 80,005 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 53,794 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 19,737 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 4,2679 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,0695, \quad (1.14)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,2,$$

$$F = 6,4624 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 22,558 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 31,873 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 23,593 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 10,194 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 2,9789 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1043, \quad (1.15)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,3,$$

$$F = 2,2616 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 8,3136 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 12,55 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 10,276 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 5,3034 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 2,0964 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,104, \quad (1.16)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,4,$$

$$F = 0,9373 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 3,6863 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 5,9154 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 5,2604 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 3,1084 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 1,547 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1113, \quad (1.17)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,5,$$

$$F = 0,738 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 2,717 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 4,0625 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 3,4799 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 2,0587 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 1,1521 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1111, \quad (1.18)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,6,$$

$$F = 0,5325 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 2,1951 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 3,5142 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 3,1796 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 1,7611 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 0,8832 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1106, \quad (1.19)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,7,$$

$$F = 0,9608 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 3,6886 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 5,5372 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 4,7111 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 2,2103 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 0,72 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1113, \quad (1.20)$$

$$\text{Ha } \frac{R_i}{R_a} = 0,8,$$

$$F = 1,4953 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 5,014 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 6,7181 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 5,7056 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 2,7044 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 0,5686 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,111, \quad (1.21)$$

$$Ha \frac{R_i}{R_a} = 0,9,$$

$$F = 5,212 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 15,035 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 15,932 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 10,163 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 4,2335 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 0,5085 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,113, \quad (1.22)$$

$$Ha \frac{R_i}{R_a} = 0,95,$$

$$F = 9,9121 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 29,56 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 30,515 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 16,756 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 6,1363 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 0,5709 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1142, \quad (1.23)$$

$$Ha \frac{R_i}{R_a} = 0,99,$$

$$F = 0,8153 \left(\frac{a}{t}\right)^6 - 24,875 \left(\frac{a}{t}\right)^5 + 39,8 \left(\frac{a}{t}\right)^4 - 24,52 \left(\frac{a}{t}\right)^3 + 9,0982 \left(\frac{a}{t}\right)^2 - 0,7477 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1192, \quad (1.24)$$

$$Ha \frac{R_i}{R_a} = 0,995,$$

$$F = -58,423 \left(\frac{a}{t}\right)^6 + 114,46 \left(\frac{a}{t}\right)^5 - 82,249 \left(\frac{a}{t}\right)^4 + 26,186 \left(\frac{a}{t}\right)^3 - 0,5439 \left(\frac{a}{t}\right)^2 + 0,0366 \left(\frac{a}{t}\right) + 1,1035. \quad (1.25)$$

1.3. Kerületi irányú, külső felületi kiterjedt repedés

A kerületi irányú, belső felületi kiterjedt repedés (8. ábra) esetén a SIF értékek jó egyezést mutatnak. Ezt a 9. ábra szemlélteti.

Alkalmazott számítási összefüggések:

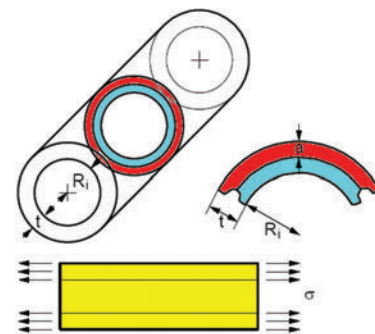
$$K = \sigma \sqrt{\pi a} \frac{F}{\sqrt{Y}}, \quad (1.26)$$

$$F = \frac{1 - R_{ia}^2}{\left[1 - (1 - R_{ia}) \frac{a}{t}\right]^2 - R_{ia}^2}, \quad (1.27)$$

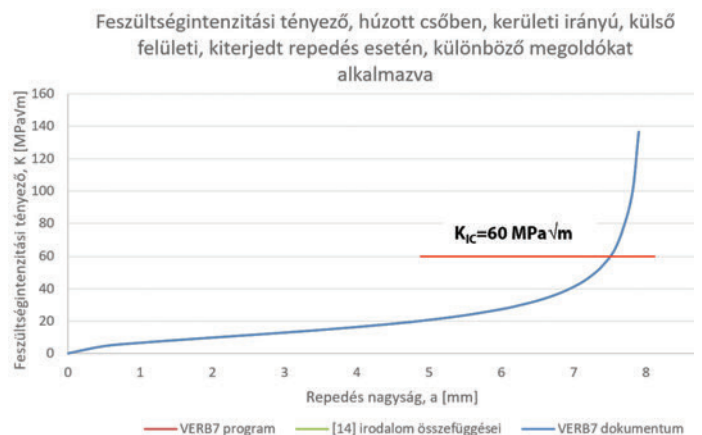
$$R_{ia} = \frac{R_i}{R_i + t}, \quad (1.28)$$

$$Y = 0,8 + (1 - R_{ia}) \frac{a}{t} \frac{H}{1 - (1 - R_{ia}) \frac{a}{t}}, \quad (1.29)$$

$$H = 4 + 1,08 \frac{R_{ia}}{(1 - R_{ia}) \left(1 - \frac{a}{t}\right)}. \quad (1.30)$$



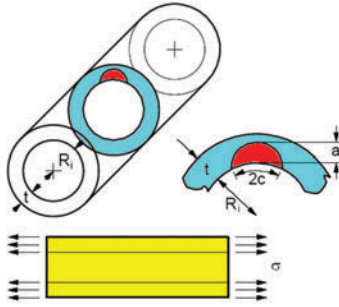
8. ábra: Kerületi irányú, külső felületi kiterjedt repedés



9. ábra: A feszültségintenzitási tényező értéke $\sigma = 100$ MPa húzófeszültség esetén

1.4. Kerületi irányú, belső elliptikus repedés

Kerületi irányú, belső elliptikus repedés (10. ábra) esetén a [9][12][14] irodalmak képletei alapján ábrázolt és a VERB7 program [13] alapján kirajzoltított görbék megegyeznek. A VERB7 program további alkalmazhatósági kritériumokat ad meg, amelyek a többi dokumentumban nem szerepel. A feszültségintenzitási görbéket $a/c=0,5$ arány esetén a 11. ábra, $a/c=0,8$ arány esetén pedig a 12. ábra mutatja.



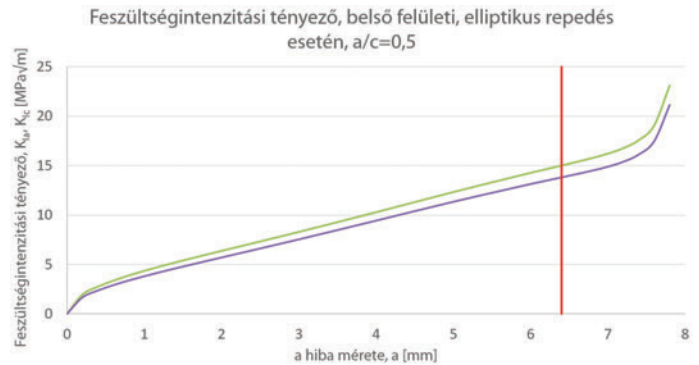
10. ábra: Kerületi irányú, belső elliptikus repedés

A VERB7 program által megadott alkalmazhatósági kritériumok: [13]

$$\frac{a}{t} < 0,8,$$

$$\frac{t}{R_i} < 0,2,$$

$$0,167 < \frac{a}{c} < 1.$$



11. ábra: Feszültségintenzitási tényező $a/c=0,5$ arány esetén

Alkalmazott számítási összefüggések:

$$K_a = \sigma Y_a \sqrt{a}, \quad K_c = \sigma Y_c \sqrt{a}, \quad (1.31)-(1.32)$$

$$Y_a = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{a}{t}}}(Y_1 + Y_2 + Y_3), \quad Y_c = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{a}{t}}}(Y_4 + Y_5 + Y_6), \quad (1.33)-(1.34)$$

$$Y_1 = 1,6561 - 0,3944\left(\frac{a}{c}\right) - 0,46115\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 0,33664\left(\frac{a}{c}\right)^3 + \frac{a}{t} \left[-0,78383 - 0,4868\left(\frac{a}{c}\right) - 23,844\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 1,1149\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right], \quad (1.35)$$

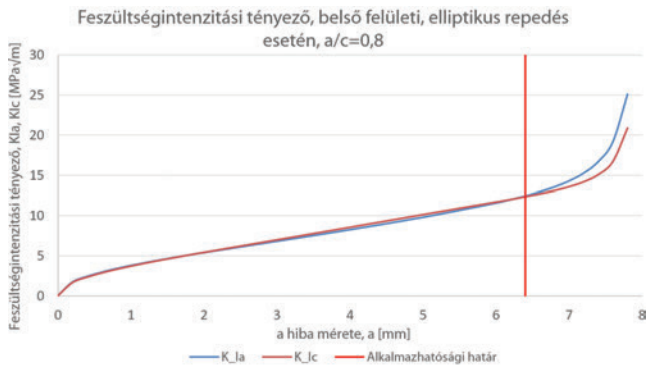
$$Y_2 = \left(\frac{a}{t}\right)^2 \left[0,04206 + 13,568\left(\frac{a}{c}\right) - 23,844\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 11,147\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right], \quad (1.36)$$

$$Y_3 = \left(\frac{a}{t}\right)^3 \left[0,48946 - 18,201\left(\frac{a}{c}\right) + 33,969\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 17,301\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right], \quad (1.37)$$

$$Y_4 = 1,126 + 0,232\left(\frac{a}{c}\right) - 0,28484\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 0,063055\left(\frac{a}{c}\right)^3 + \frac{a}{t} \left[1,2214 - 7,6912\left(\frac{a}{c}\right) + 10,601\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 4,9324\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right], \quad (1.38)$$

$$Y_5 = \left(\frac{a}{t}\right)^2 \left[-3,1601 + 25,091\left(\frac{a}{c}\right) - 41,651\left(\frac{a}{c}\right)^2 + 21,397\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right], \quad (1.39)$$

$$Y_6 = \left(\frac{a}{t}\right)^3 \left[1,6496 - 20,361\left(\frac{a}{c}\right) + 35,868\left(\frac{a}{c}\right)^2 - 18,949\left(\frac{a}{c}\right)^3 \right]. \quad (1.40)$$



12. ábra: Feszültségintenzitási tényező $a/c=0,8$ arány esetén

2. Gyakorlati megállapítások

A kidolgozott számpéldák eredményei alapján levonható GYAKORLATI következtetések megfogalmazásához tekintsük a cső anyagának repedésterjedéssel szembeni ellenállását, a törési szívósságot $K_{Ic}=60 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ értékűnek. Mindenképpen hangsúlyozni kell, hogy a csővek alapanyaga ennél lényegesen szívósabb, kb. $K_{Ic}=150 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. A hegesztett varratok szívóssága is jóval meghaladja a $100 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ nagyságot. Mindezek előre bocsátásával nézzük a kidolgozott esetek számszerű eredményeinek értékelését.

2., 3. és 4. ábrák: A cső mintegy 1885 mm kerületét figyelembe véve $\sigma=100\text{-}350 \text{ MPa}$ húzó terhelésnél az átmenő repedés kritikus mérete 20-160 mm (3. és 4. ábra). Ez a tartomány olyan nagy, hogy a vezeték fektetése során már szabad szemmel is érzékelhető, ill. a nyomáspróba során biztosan érzékelhető. Ebből viszont az is következhet, hogy a vezetéképítés során igen nagy valószínűséggel nem keletkezhet átmenő repedés. Az más kérdés, hogy a csővezeték fektetése során milyen járulékos, és leginkább maradó feszültségeket előidéző beavatkozások történhetnek. E járulékos terhelések, a lokális károsodások sebességét általában lényegesen növelhetik.

5., 6. és 7. ábrák: Belső körkörös repedés, 7. ábrán látható $\sigma=100 \text{ MPa}$ axiális terhelésre jellemző K-a görbét összehasonlítva a 4. ábrán feltüntetett külső körkörös repedésre vonatkozó K-a görbével, ugyanazokat a gyakorlati következtetéseket vonhatjuk le, mint amelyeket már az előző ábrák alapján megtettük. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy a 6. ábrához kötődően diszkrepanciákat tapasztaltunk az F tényező, a közölt összefüggések és a K_I számítására használt kifejezések között. A felhasznált VERB7 program azonban – úgy tűnik – reális eredményeket szolgáltat.

8. és 9. ábrák: Külső körkörös kerületi repedés esetén $K_{Ic}=60 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ törési szívósság feltételezésénél a kritikus repedésméret mintegy 7,5 mm, azaz a falvastagság mintegy 0,9 része $\sigma=100 \text{ MPa}$ axiális terhelésnél. Mivel a K-a görbe második szakasza szinte egyenes vonal, és a K értéke a mindenkori feszültséggel egyenesen arányos, így ha a húzó feszültség növekszik, akkor a K értéke is vele egyenes arányban növekszik. A 9. ábrát szemlélve látható, hogy még $\sigma=300 \text{ MPa}$ axiális terhelés esetén is kb. 5 mm mélységű körkörös repedés válhat kritikus méretűvé. A $t=8 \text{ mm}$ -es falvastagságot tekintve akár a falvastagság 60%-ára kiterjedő körkörös varratgyi repedés lehet csupán kritikus.

10., 11. és 12. ábrák: A 11. és 12. ábrák K-a függvényeinek függőleges, K értékeit szemlélve látható, hogy még meg sem közelítik a $K_{Ic}=60 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ törési szívósság értékét, következésképpen a belső félelliptikus repedésszerű hibák a belső felületen egyáltalán nem veszélyesek a csővezetékek fektetése során. Szerepük csupán akkor erősödhet fel, ha környezetükben a vezetéképítés során jelentős maradó feszültségek keletkezhetnek. Ez ugyanis a vezeték üzemeltetése során hozzájárulhat a hiba terjedési sebességének gyorsulásához.

A cikksorozat folytatásaként egyrészt megkíséreljük „kibogozni” azon hibákat a közölt K-a görbék számítására, amelyeket eddig észleltünk, ill. összehasonlítjuk a csővezetékekben előforduló különböző hibák veszélyességét.

3. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését és a kidolgozott számpéldák eredményeit tekintve az alábbi megállapítások tehetők:

1. A törésmechanika jelenlegi eszközrendszere (kézikönyvek, számítástechnikai háttér) lehetővé teszi azt, hogy a csővezetékek fektetése során gyorsan és könnyen felmérjük a csővek körvarratiban előforduló hegesztési hibák várható hatását.
2. A különböző forrásokban található kifejezések helyessége azonban mindig ellenőrizendő, mert rutinszerű használata egyrészt irreális eredményeket adhat, másrészt az is lehetséges, hogy ezeket csupán egy-egy kiemelt tartományokra fejlesztették ki, következésképpen az extrapolált külső tartományokban nem használhatók.
3. Az elvégzett konkrét számítások arra utalnak, hogy a helyszíni körvarratok

legdurvább hegesztési hibái még a legkonzervatívabb mechanikai modell feltételezésével sem igazán veszélyesek abban az esetben, ha a fektetés során járulékos maradó feszültségeket nem idéznek elő.

4. Az előző két pontból következik az, hogy megfontolandó a helyszíni körvarratok minősítő rendszerébe egy olyan javítandó/nem javítandó kritériumrendszer beépítése, amely figyelembe veszi az esetleges javítási költségeket és a technológia okozta járulékos feszültségek mérlegelését a törésmechanika nyújtotta eszközrendszer felhasználásával.
5. Igen hasznos lenne a csővezeték építése, fektetése során olyan technológia kidolgozása, amely kiinduló adatokat szolgáltatna a vezetékben – különösen a hegesztett kötéseiben – előidézett maradó feszültségekről, azok nagyságrendjéről.

in_the_United_States_in_the_21st_century (Megtekintés dátuma: 2015.05.)

- [5] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration: <http://phmsa.dot.gov/pipeline/library/failure-reports> (Megtekintés dátuma: 2015.05.)
- [6] E. Phillip Dahlberg and T. V. Bruno: Analysis of Gas Pipeline Failure <http://home.eng.iastate.edu/~jdm/katrina/Data/Natural%20Gas/NG%20Transportation/Analysis%20of%20Gas%20Pipeline%20Failure.pdf> (Megtekintés dátuma: 2015.05.)
- [7] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration <https://www.phmsa.dot.gov/data-and-statistics/pipeline/source-data> (Megtekintés dátuma: 2015.05.)
- [8] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika a szerkezetek biztonságos üzemeltetőségének alapja. *Anyagvizsgálók Lapja, A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség Lapja*, ISSN: 1215-8410, 2019/IV p.30-41.
- [9] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Belső nyomással terhelt csővezetékek biztonsága. *Anyagvizsgálók Lapja, A Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség Lapja*, ISSN: 1215-8410, 2020/I p.5-10
- [10] L. Tóth., P. Rossmanith: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, A törésmechanika és az anyagvizsgálat története, TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01191/index.phtml>
- [11] G. Pluvinage, L. Tóth: Kísérleti és numerikus feszültséganalízis, Törésmechanikai példatár, TEMPUS S_JEP_11271 projekt, Miskolc, 1999 <https://mek.oszk.hu/01100/01192/index.phtml>
- [12] Formulae for stress intensity factors and plastic loads IWM

Irodalom:

- [1] Mindent a földgárról – Magyar vezetékrendszer: <http://www.mindentafoldgazrol.hu/ellatasbiztonsag/foldgaszallitas/magyar-vezetekrendszer> (Megtekintés dátuma: 2020.08.)
- [2] Performance of cross-country oil pipelines in western europe. CONCAWE Report 6/98, Brussels, 1998, November
- [3] Ben E. C. Boyter's Blog: <http://www.boyter.org/wp-content/uploads/2014/12/Oil-Gas-Pipeline-Failure-Rates.pdf> (Megtekintés dátuma: 2015.05)
- [4] List of pipeline accidents in the United States http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_pipeline_accidents_

Új szakmérnöki Kurzus: Szerkezetintegritás - Roncsolásmentes vizsgálat



A Debreceni Egyetem Műszaki Kara új, levelező típusú **képzést indított** a 2020-2021-es tanév I. félévében **Szerkezetintegritási és roncsolásmentes vizsgáló szakmérnök** címmel. A 180 óra terjedelmű 2 féléves képzés 13 különböző tantárgyaiban **20%-ot** képviselnek a **matematikai** (gépi tanulás, matematikai statisztika és véges elemes eljárások), **35%-ot** az **anyagokra** vonatkozók (tulajdonságok változása, hibák értékelése, szerkezetek megbízhatósága) és **45%-ot** a **roncsolásmentes vizsgálati** módszerek, ezek megbízhatósága és az ipar 4.0-ban betöltött szerepük). A képzést sikeresen befejező hallgatók a MAROVISZ harmadik szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanúsítását is megkaphatják.

A képzés részleteiről Dr. Mankovits Tamás tanszékvezető ad részletesebb tájékoztatást (tamás.mankovits@eng.unideb.hu), ill. a

<https://mecheng.unideb.hu/hu/szerkezetintegritasi-es-roncsolasmentes-vizsgalo-szakmernok> honlapon tájékozódhatnak az érdeklődők. A jelentkezés **szepember utolsó napjáig** lehetséges