

## Extrém körülmények között hosszú használatra szánt hőre lágyuló műanyag csövek vizsgálata, tervezése és minősítése. 1. rész

Extrém körülmények között – tengervízbe süllyesztve, az olajkitermelésben, föld alatti gáz- és vízvezetéként – egyre gyakrabban alkalmaznak hőre lágyuló műanyag csöveket, ott is, ahol eddig inkább a hőre keményedő műanyagokban bíztak meg. A hőre lágyuló műanyag csövek ugyanis hajlékonyabbak, dobra tekerhetők, emiatt nagyobb hosszúságban fektethetők le, kevesebb csatlakozást kell kiépíteni, emellett könnyebbek, ami a szállításkor és a szereléskor is előnyös. Ilyen csöveket azonban csak akkor szabad felhasználni, ha azok tervezett élettartamát szavatolni lehet, mert egy meghibásodás katasztrófával járhat, javításuk vagy cseréjük bonyolult és nagyon költséges, gyakran pedig komoly környezetkárosodást is okoz. Ezért a csöveknek az anyagát, a felépítését nagyon gondosan kell kiválasztani, ill. megtervezni, gyártásukat mindig nagyon alapos és sokrétű vizsgálat előzi meg. A következőkben bemutatjuk, milyen munkát kell elvégezni a kőolaj kitermelésében alkalmazott csövek tervezése, gyártása és minősítése előtt (1. rész), folyóiratunk legközelebbi számában pedig a földbe fektetett polietilén gázcsövek ritka, de nagy kárt okozó meghibásodásának, a gyors repedésterjedésnek az elhárítására végzett kísérleteket ismertetjük (2. rész).

*Tárgyszavak: műanyag csövek; olajkitermelés; csőgyártás; csőtervezés; minősítés; minősítési eljárás.*

Az olaj- és gáziparban már hosszabb idő óta alkalmaznak üvegszállal (esetleg szénszállal) erősített hőre keményedő műanyagokat (poliésztert, epoxigyantát) csövek vagy az iparágban alkalmazott más eszközök gyártására. A fent felsorolt előnyeik miatt azonban az iparág érdeklődése a hőre lágyuló műanyaggal készített kompozitok felé fordult. Az ilyen kompozitokból készített csövek (angol megnevezésük – *thermoplastic composit pipes* – szerinti rövid jelük TCP) több rétegből épülnek fel. A belső réteg olyan polimerből készül, amely meggátolja a gázok és a folyadékok áthatolását a cső falán; a középső réteg szállal erősített hőre lágyuló műanyag, amely a cső szilárdságát, merevségét adja és védelmet nyújt a sérülések ellen. A külső köpeny (ha szükséges) a külső hatásokat, pl. az ütést foghatja fel. Az olaj- és gáziparban azt is értékelik, hogy a műanyag csövek nem korrodálnak, nagy nyomást és viszonylag magas hőmérsékletet is elviselnek, sima felületük révén pedig kisebb ellenállást fejtenek ki a bennük vezetett közeg áramlásával szemben.

A TCP alkalmazása az olaj- és gáziparban viszonylag új jelenség, és egy új technológia bevezetése mindig óvatosságra int, mert szavatolni kell a biztonságot és meg

kell találni az alkalmazáshoz szükséges minősítés kereteit. Ebben nyújt segítséget a DNV GL. Ez a szervezet a tengeri tevékenység, az olaj- és gázipar, továbbá az energiatermelés területén kínál olyan szolgáltatásokat, amelyek révén növekedik az élet, a tulajdon és a természet biztonsága, továbbá fenntarthatóvá válik a vállalatok tevékenysége. A szervezet vállal minősítést, műszaki segítséget, szoftverfejlesztést és független tanácsadókat is tud ajánlani. A világ több mint 100 országában van jelen, amelyekben partnereiken keresztül azon munkálkodnak, hogy a világ biztonságosabb, intelligensebb és „zöldebb” legyen.

A DNV GL 2015-ben indított meg egy projektet arra, hogy kidolgozzák a TCP-k alkalmazásának biztonságára és minősítésére szolgáló szabályokat. A munkacsoportot 18 partner alkotja, vannak közöttük műanyaggyártók, hőre lágyuló kompozitokból csöveket gyártók, ilyeneket alkalmazó és szervizelő vállalatok is.

### *A TCP-k minősítésére kidolgozott dokumentum*

A közzétett dokumentumot „ajánlott gyakorlat”-ként (recommended practice, RP) kezelik és *DNVGL-RP-F119-nek* nevezik. Olyan sztatikus vagy dinamikus csövekre vonatkozik, mint

- a tengerből vagy nagy mélységből folyékony közeget szállító „kiemelő” csövek (risers),
- azok a rövid összekötő csövek, amelyek két tenger alatti vagy szárazföldi cső között teremtenek kapcsolatot (jumpers),
- az olajfúrásoknál alkalmazott nagy átmérőjű csövek, amelyeken keresztül a mélyből vizet, sarat hoznak a felszínre (flowlines),
- az ún. beavatkozó csövek, amelyek a biztonságot szolgálják vagy a folyamat leállítását teszik lehetővé (intervention lines).

Az új RP nagy hangsúlyt helyez a csövek szerkezetének sérülésmentességére. A dinamikus terhelésnek kitett TCP (ilyenek a riserek) minősítéskor alkalmazni kell a DNV Helica nevű szoftverjét, amely figyelembe veszi a csövek anizotrópiáját.

Az új RP a következő három dokumentumon alapszik:

- DNV-OS-C501 – ez főképpen a hőre keményedő kompozitokra vonatkozik,
- DNV-OS-F201 – a dinamikus terhelés alatt használt riserekre vonatkozik,
- DNV-OS-F101 – a tengervízbe süllyesztett csőrendszerekre vonatkozik.

Az új RP legbővebb része a „Fejlesztés” című fejezet, amely magában foglalja a teljes végrehajtást és megalapozza a tervezést. Ebben a fejezetben foglalkoznak az anyagokkal (azok minősítésével és jellemzőivel), a meghibásodási mechanizmusokkal (pl. mátrixtörés, rétegelválás), továbbá a csövek és a kötőelemek tervezésének kritériumaival. A „Vizsgálatok” című fejezetben olvashatók a prototípus vizsgálatának követelményei. A biztonsági faktorok meghatározása és alkalmazása is külön fejezetben található. Az egyik fejezet azt írja le, hogyan végezhető el a minősítés valódi méretű kísérletek (full-scale testing) alapján, amelyek alternatívái lehetnek az RP-ben ajánlott tervezési számításoknak.

A teljes méretű kísérletek néha indokoltak lehetnek, mert jobban érvényesülnek a környezeti hatások (pl. a hőmérséklet és a degradáció), bár ezek meglehetősen költségesek. Eredményeik kizárólag az adott körülményekre vonatkoznak, azok változásakor újabb kísérletek szükségesek. Akkor lehetnek hasznosak, ha a körülmények hosszú ideig állandóak, de pl. változó összetételű közeg szállításakor vagy a cső gyakran változó terhelése esetén nincs gyakorlati jelentőségük.

### *Az anyagvizsgálatok*

A minősítésig tartó munka leginkább egy piramishoz hasonlítható. A piramis alját képezik a kis méretű próbatestekkel végzett nagyobb számú vizsgálatok, amelyek lehetnek rövid vagy hosszú időtartamúak. A következő szint a közepes méretű próbadarabok vizsgálata, ezek száma már kisebb. A csúcstól képviselik a valódi méretű termékekkel végzett vizsgálatok, amelyek száma a magas költségek és a nehézkes végrehajtás miatt már erősen korlátozott.

A minősítés alapját a kis próbatestekkel végzett rövid vagy hosszú idejű vizsgálatok viszonylag nagy számú eredménye adja. Az anyagvizsgálatokban figyelembe kell venni a környezeti hatásokat is, pl. a hőmérsékletet és a csőben áramló közeg esetleges degradáló hatását. Az alapvető tulajdonságokat ebben a fázisban statisztikai értékeléssel és a statisztikai biztonsági faktorok figyelembevételével határozzák meg. Ezek a vizsgálatok megterhelők és költségesek lehetnek, de a későbbiekben megtérülnek, mert az eredményeket fel lehet használni bármilyen méretű és falvastagságú csövek tervezésekor.

Ha az anyagtulajdonságok már megvannak, a lehetséges meghibásodások módját és mechanizmusát kell feltárni, majd a biztonsági faktorokat kell megállapítani. Ezután lehet elkezdeni a TCP tervezését és elemzését numerikus módszerrel, pl. végeselemes modellezéssel. A modell helyességét közepes méretű csővizsgálatokkal lehet ellenőrizni (verifikálni). A minősítés utolsó lépése lehet a valódi méretű cső vizsgálata szelvényekkel együtt. Ebben a fázisban elsősorban azt vizsgálják, hogy hogyan „viselkedik” a cső a hosszabb időtartamú igénybevétel folyamán, és hogy túléli-e az erre rendszeresített próbát. Ha minden rendben van, a cső megkapja a minősítést. Ha a cső bármelyik szinten elbukik, egy szinttel visszalép, és csak akkor léphet feljebb, ha tisztázták a kudarc okát. Az ismételt vizsgálatok addig tartanak, amíg a cső ki nem elégítette valamennyi követelményt.

### *A tervezéskor felhasználandó legfontosabb adatok*

Az új RP három kategóriába sorolja a rövid időtartamú vizsgálatok tervezéskor figyelembe veendő eredményeit. Az első kategóriában vannak a szállal erősített laminátum tulajdonságai, a rétegelés esetleges hibái, a mátrix repedezése, a rétegelválás. A második kategóriában már a teljes csövet veszik górcső alá, és figyelembe veszik a folyadékzáró képességet, az erősítés nélküli polimerréteg törékenységét, a műanyagok deformációját (pl. az izotróp anyagok megereszkedését), a maximális defor-

mációt és a rétegek között szétválást. A harmadik kategória a degradáció. Ide tartozik a csővel érintkező folyadékok okozta duzzadás vagy zsugorodás, az adalékok kimosódása, a gázok gyors nyomáscsökkenése, az UV sugárzás hatása, a hő hatására bekövetkező lágyulás vagy keményedés.

A hosszú időtartamú vizsgálatok eredményei közül a két legfontosabb a ciklikus terhelés miatti fáradás és a feszültségtörés. A ciklikus fárasztás alatt meg kell figyelni a kompozitok különféle és sajátos törési mechanizmusait, amelyek között lehet üvegszáltörés, mátrixrepedezés, laminátumszétválás, hőkifáradás. A feszültségtörésekre is sokféle példa van: delaminálás és szétválás teljes vastagságban, a szál nélküli belső és külső réteg sérülései stb.

### *Fontos a biztonság*

Nagyon fontos a korrekt biztonsági faktorok kiválasztása. Ebből jó néhányat kell bevonni az elemzésbe. Külön biztonsági faktorra van szükség a terhelés és az anyagtulajdonságok bizonytalanságának kivédésére. De biztonsági faktora kell hogy legyen a tervezéskor figyelembe vett minden egyes meghibásodási mechanizmusnak is. Biztonsági faktorokat meg lehet határozni statisztikai számítások alapján is, hasonlóan, ahogyan azt újabban az acélcsőkre vonatkozóan végzik. A terhelés és az ellenállás biztonsági faktorai összevonhatók egyetlen faktorban.

Az RP három biztonsági osztályt definiál: alacsony, közepes, magas. Ennek kiválasztásakor a kérdéses komponens kritikus volta a meghatározó.

Ennek a fázisnak a végén, amikor megvannak a biztonsági faktorok, a tervezés kritériumai és az anyagok tulajdonságai, jöhet a következő fázis, amelyben el lehet kezdeni az aktuális TCP tervezését és elemzését.

### *Megerősítő vizsgálatok*

A projektben végeselemes modellezést ajánlanak, de analitikus módszert is lehet használni. Felmerülhet a kérdés, hogy mennyire megbízható az a végeselemes módszer, amellyel dolgoznak. Eldöntésére az RP néhány megerősítő vizsgálatot javasol a valódi csővekkel.

Háromféle típusú megerősítő vizsgálatokat célszerű végezni:

- sztatikus vizsgálatokat, amelyek között lehet tengelyirányú kompresszióval, belső nyomással végzett próba, gyűrűszilárdság mérése,
- hosszú időtartamú ciklikus fárasztást (tengelyirányú nyomással, tengelyirányú nyújtással és belső nyomással végzett próba),
- hosszú időtartamú vizsgálatokat a feszültségtörés ellenőrzésére (tengelyirányú kompresszióval és belső nyomással).

A megerősítő vizsgálatok eredményeinek és a korábban elvégzett elemzés alapján végzett előrejelzés értékeinek összehasonlítása arra is alkalmas, hogy meghatározzák az alkalmazott modell minőségét, az ún. modellfaktort.

Ha a végeselemes számítások eredményei és a felsorolt vizsgálatok eredményei között nem nagy a különbség, elérkezett a kvalifikáció utolsó fázisa, elvégezhető a valódi méretű prototípus próbája a megfelelő fittingekkel felszerelt csővel. Ha az ilyen próbák is igazolják a konkrét csőre a tervezés folyamán elemzéssel kapott eredményeket, a továbbiakban megengedhető a kísérletekben nem vizsgált más körülmények és másféle terhelési viszonyok között alkalmazandó hasonló csövek számításokon alapuló tervezése.

Összeállította: Pál Károlyné

Moslemian, M.: Thermoplastic pipe offers benefits in oil and gas sector = Pipe & profile extrusion, 2017 jan/febr, p. 13, 14, 16. [www.pipeandprofile.com](http://www.pipeandprofile.com)

DNV GL Safer Smarter Greener– It's time to take a broader view to address increased complexity = [www.dnvgl.com/about/broader-view/index.html](http://www.dnvgl.com/about/broader-view/index.html)