

## Mélytengeri csővezetékek technológiájának fejlesztési eredményei

*Tárgyszavak: kőolajvezeték; mélytengeri csőfektetés; hegesztés; tengerfenék feltérképezése; Y elágazás; csőlezáró; csőgörény.*

A Mexikói-öbölben feltárt új kőolajlelőhelyek tulajdonosai általában minél előbb kiépítik a szállítórendszert, hogy közvetlen kapcsolatot létesítsenek közeli szárazföldi infrastruktúrájukkal. Miután a BP America Inc. 1999–2000-ben több eredményes kutatást végzett az Öböl mélytengeri körzeteiben, ahol korábban nem rendelkezett infrastruktúrával, elhatározta, hogy a hiány pótlására kiépíti saját mélytengeri kőolaj- és földgázszállító rendszerét, a Mardi Gras rendszert. Elkészülte után ez lesz a világ legnagyobb kapacitású csővezeték-hálózata.

A Mexikói-öbölben kiépítésre kerülő csővezeték tervezésekor törekedtek az új követelmények kielégítésére.

A 485 mérföldes (1 mérföld = 1609 m) csővezetékrendszernek mintegy 200 mérföldes szakaszát már lefektették. A rendszer első szakasza, az Okeanos gázgyűjtő rendszer üzembe helyezése, a tervek szerint 2003 végén kezdődhet meg.

A Mardi Gras csővezetékéhez hasonló méretű és mélységű a Fekete-tengert átszelő Blue Stream iker elrendezésű földgázvezeték, amelyiknek létesítésekor azonban nem kellett tenger alatti Y elágazás kivitelezéséről és egyéb szerelvénymegoldásokról gondoskodni.

### A Mardi Gras „leg”-ek

Ez a 2200 m mélységben lefektetett nagy szállítóképességű csővezeték, napi 1 M barrel (1 barrel = 0,16 m<sup>3</sup>) olaj és 1,5 bcf (42 millió m<sup>3</sup>) földgáz szállítására lesz alkalmas.

Ezen túlmenően a mélytengeri csővezeték-építési technika számos kiemelkedő eredményét fogja megvalósítani, többek közt:

- A legnagyobb vízmélységben lefektetett 28, 24, 20 és 16 inch-es (1 inch = 2,54 cm) csővezeték szakaszok (tenger szint alatt 1600, 2200, 1800 ill. 2200 m).

- A legnagyobb méretű, búvár nélkül rekord mélységbe (1200 m) lerakott (600 mm-es, ANSI 1500 osztályú) zárógyűrűs csatlakozó.
- A legnagyobb mélyvízi csőzárak (700 mm-es furatátmérő, ANSI 1500 osztályú, 1200 m mélységben).
- A legnagyobb mélységbe (2200 m) telepített, csőgörénnyel hozzáférhető Y elágazás.
- Legmélyebb (2200 m, 400 mm-es) sűrű fázisú gázcsővezeték.
- Legnagyobb mélységben (2200 m) kialakított, legnagyobb méretű (600 mm-es) láncfelfüggesztésű felszálló vezeték.
- Csővezeték-építéshez tervbe vett, eddigi legnagyobb, a lefektető bárkára gyakorolt húzó igénybevétel (450 t).

## Partnercégek

A szállító rendszer a BP America vállalat számára a 2003 és 2006 között üzembe helyezésre kerülő legfontosabb mélytengeri kitermelő telepeiről fogja továbbítani a kőolajat és földgázt. Egyidejűleg felkészülnek arra, hogy kereskedelmi alapon, a rendkívül biztató kilátásokkal kecsegtető Mexikói-öbölben tevékenykedő más vállalatok számára is nyújthassanak szolgáltatásokat.

Ennek megfelelően a csővezeték-hálózat a jelenlegi kitermelési volumenhez viszonyítva túlméretezett. A Mardi Gras a tengerszint alatti utólagos csatlakozás megkönnyítése érdekében a fő mélyvízi csatlakozási pontokon talpas Y elágazásokat, csővezeték-végcsatlakozókat és csővezeték-átkötéseket is alkalmaz, amelyek a folyamatban lévő termelést nem fogják zavarni.

Tehát a rendszer más termelők számára is rendelkezésre fog állni. A Mexikói-öböl Texastól Floridáig terjedő partszakaszán működő feldolgozó üzemeket fogja kiszolgálni, és csatlakozási lehetőségei lesznek a szárazföldi csővezeték-hálózatokhoz.

Gondoskodni fognak a csővezetéken szállított különböző kőolajminőségek miatt fellépő árkülönbsétek közös kasszából való kompenzálásáról.

Végeredményben a közeli kőolajlelőhelyek tulajdonosai számára csökkenteni fogják a kereskedelmi tevékenységüket korlátozó tényezőket, ami javítja gazdaságossági eredményeiket.

Az 1 Mrd USD-s költséggel kivitelezésre kerülő Mardi Gras projekt öt önálló csővezeték-ből fog állni. Tulajdonos a BP, valamint a cég mélyvízi kőolaj- és földgázkitermelést fejlesztő partnerei:

- Caesar Oil Pipeline Co.,
- Cleopatra Gas Gathering Co.,
- Okeanos Gas Gathering Co.,
- Proteus Oil Pipeline Co.,
- Endymion Oil Pipeline Co..

A partnervállalatok mindegyikében résztulajdonos a BP.

A BP a projekt révén mind az öt partnere számára biztosítani kívánja a feltárt kőolajmezők és környezetük kiszolgálását. Minden egyes csővezeték-szakasz fejlődőképes piaci központba fogja eljuttatni a kitermelt kőolajat és földgázt, ahol a szállítók számára, rugalmas marketinglehetőségek kihasználása révén, vonzó piacok feltárására kerülhet sor.

## **Kapacitások**

A Caesar Oil Pipeline Co. 450 000 barrel/nap kapacitású csővezeték-hálózata 700 mm-es fővonallal és három 600 mm-es leágazással fog rendelkezni. Megtörténtek az előkészületek az építés alatt álló 380 mérföldes Cameron csővezetékhez való csatlakoztatás érdekében. A Cameron két texasi kőolaj-finomító központot fog olajjal ellátni.

A Proteus Oil Pipeline Co. nagynyomású, 700 mm-es vezetéke a kezdeti 420 000 barrel/nap kapacitásról 580 000 barrel/nap kapacitásra bővíthető.

Az Endymion Oil Pipeline Co. 750 mm átmérőjű csővezetékének 420 000 barrel/nap kapacitása pótszivattyúval 750 000 barrel/nap kapacitásra lesz bővíthető

A Proteus és az Endymion vonalak által szállított kőolaj 2005-től kezdve Dél-Louisiana kőolaj-finomítóiba juthat.

A Caesarral párhuzamosan futó 500 mm-es csővezeték 380 mm átmérőjű leágazásokkal fog rendelkezni. A Cleopatra csővezeték nyomását legalább 115 atm.-n fogják tartani, hogy elkerüljék a zagyképződés és a kétfázisú áramlás okozta problémákat. Erre különösen a vonal egyik meredeken emelkedő szakaszán van szükség.

A földgázszállítmányok Dél-Louisiana gázfogyasztó infrastruktúráját fogják földgázzal ellátni. Üzembe helyezésre 2004-ben kerül sor.

Az Okeanos Gas Gathering Co. 600 mm-es fővonala és 500 mm-es leágazásai már 2003-ban megkezdik az üzemet. A földgázt hat nagy szárazföldi csővezetékbe és a floridai földgáztároló rendszerbe fogja szállítani.

## **A rendszerrel szemben támasztott műszaki követelmények**

A BP a Mardi Gras szállítórendszer mélyvízi szakaszának műszaki megoldásával 2000 elején a Heerema csoporthoz tartozó Intec Engineering részleget bízta meg.

A BP több szigorú követelményt írt elő a Mardi Gras rendszer tervezője számára:

- A rendszernek nagy tengerszint alatti mélységben rekord mennyiségű kőolajat és földgázt kell szállítania. Tehát a csővezeték nagy átmérőjű csöveit úgy kell legyártatni, hogy ellenállóképesek legyenek az igen nagy külső nyomással és a lefektetésnél fellépő hatalmas igénybevétellel szemben.

- A csővezeték üzemeltetője számára biztosítani kell új lelőhelyek csatlakoztatásának lehetőségét a rendszerhez, bűvár nélküli csatlakozó elemekkel, anélkül, hogy az befolyásolná az alapvető szállítási feladatokat.
- Az egész rendszer az intelligens és a hagyományos csőgörények segítségével átjárható legyen. Biztosítani kell, hogy a csőgörények különböző átmérőjű csöveken és aszimmetrikus Y elágazásokon is végighaladhassanak.

A Mardi Gras szállító rendszer 750 mm átmérőjű, a sekély vízben és a parton létesítendő szakaszainak létesítésével, valamint a projekt irányításával és a szolgáltatásokkal a Paragon Engineering Services céget bízták meg.

## **A láncfelfüggesztésű felszálló vezeték szerkezeti megoldása**

A Mardi Gras tervezőcsoportja különleges szerkezeti megoldást dolgozott ki a tartókra, valamint a félig víz alatti struktúrákra függesztett, a kutató fúrásoknál használt, nagy átmérőjű felszálló acélvezetékek számára.

A legsúlyosabb problémát az acélszerkezetre gyakorolt mechanikai hatás megakadályozása jelentette. Ezt a hajó mozgásának és a különböző vízmélységekben érvényesülő, eltérő jellegű, a változó áramlási viszonyok által előidézett örvénylés rezgésgerjesztő hatásának kombinációja idézi elő.

A legkényesebb szelvény mindig a felszálló acélvezeték hegesztett csökötése.

A hegesztéstechnológia a Heerema cég kompetenciája. A hegesztett kötések minőségét és a felszálló acélvezetésekre gyakorolt igénybevétellel szembeni ellenálló képességet a Mardi Gras fogja ellenőrizni.

A felszálló vezeték folyamatos ellenőrzésére nyúlásmérő szalagokat, áramlásmérő és szögelfordulás-ellenőrző detektorokat fejlesztettek ki, amelyek biztosítják a vezeték-elmozdulás és a fellépő igénybevételek követését. Ezzel lehet szavatolni a felszálló vezetéktől elvárt élettartamot.

## **Csővezeték-építési előkészületek**

A csővezeték lefektetésére két hajótípust vesznek igénybe. A közbenső vízmélységek (legfeljebb kb. 1100 m) esetében az S-lay csőfektető hajó, az egészen nagy mélységek esetében a J-lay csőfektető hajót használják.

A Balder J-lay csőfektető hajó világviszonylatban szintén egyedülálló konstrukciót képvisel. Eredetileg nagy súlyok kiemelésére készült. A csőfektetési munkálatokhoz megfelelő átalakításon esett át.

A hajó toronyszerkezete 1150 t igénybevételre méretezett. Normális csőfektetési viszonyok között rendszeresen 450 t terhelésnek lesz kitéve, ami két-

háromszorosa az eddig megszokott csőfektetési erőhatásoknak. A Mardi Gras által felhasznált talpas Y elágazások és csővezeték-végcsatlakozók az eddig víz alá fektetett csővezetékek esetében felhasználtak közül a legnagyobbak. A szerelvények hatalmas csúszó talpainak elhelyezésekor fellépő erőhatások következtében mind a lefektető struktúra tornyának, mind a hajó daruszerkezetének igénybevétele különleges eljárások alkalmazását teszi szükségessé.

## **Új ellenőrzési technológiák**

A BP vállalat Mardi Gras szállítórendszerének egyik kulcsfontosságú problémája a kifejlesztett új technológiák és berendezések vizsgálata, valamint ellenőrzése.

A legalaposabb vizsgálatoknak vetik alá a felszálló vezetékek hegesztett kötéseit, a tenger alatti csatlakozásokat, szigorúan ellenőrzik a csövek ellenállóképességét és a csővezeték lefektetési folyamatot.

### **(a) A felszállóvezetékek hegesztéseinek vizsgálata**

A nagy átmérőjű acél felszállóvezetékek esetében ellenőrizni kell, hogy a Mardi Gras rendszer élettartamának megfelelnek-e.

Elsősorban a hegesztett kötésekre gyakorolt (a már említett hajómozgás és a különböző mélységekben fellépő áramlási örvényhatások által előidézett) igénybevétellel szembeni ellenálló képességet kell biztosítani.

A vizsgálatok számára a Heerema alvállalkozó a terepen felhasználásra kerülő hegesztőberendezésekkel és technológiával állítja elő a kísérleti csőköteket. A hegesztett csőszakaszokon a Stress Engineering Services Inc. (Houston) végzi az ellenőrző fárasztóvizsgálatokat.

### **(b) A csövek ellenőrzése**

A felhasználásra szánt vastag falú csövek mintáit a BP America cég 2001-ben a Sumitomo Metals vállalattól szerezte be. 1 M USD-s ellenőrzési program keretén belül egy kanadai vállalat (CFER, Edmonton) végezte az eredeti méretű csöveken a külső nyomással és a hajlító igénybevétellel szembeni ellenállóképesség vizsgálatát, a teljes törésig.

A vizsgálat eredményei alapján kellett meghatározni, hogy a kísérlet során megállapított értékek extrapolálhatók-e a csővezeték anyagára az üzemi feltételek között fellépő igénybevételek esetére. Ezt a mérések igazolták. Az is kiderült, hogy a csőbevonat előállításakor fellépő hőhatás a felhasználási mélységben fellépő nyomással szembeni ellenálló képességet nem rontja le, sőt javítja. A csövek mérésrel meghatározott tulajdonságai annyira megfelelők

voltak, hogy a BP valamivel csökkenteni tudta az előírt falvastagságot anélkül, hogy a cső károsodásától tartani kellene.

### **(c) Csőkötések és a lefektetés vizsgálata**

Ellenőrizni kellett, hogy az Y elágazással és csővezeték-lezáró elemekkel ellátott csövek valóban alkalmasak-e az átalakított mélyvízi csőfektető hajó üzemeltetésekor fellépő komoly igénybevételekkel szembeni ellenállásra. A vizsgálatokat 2002 decemberében és 2003 januárjában végezték.

A kísérleti vizsgálatok során nagy mélységben kb. 10 km hosszú csővezeték szakaszt fektettek le. A 700 mm és a 600 mm átmérőjű csövekre felhegesztették a kísérleti talpas Y elágazásokat és végcsatlakozókat. A kísérlet eredményes volt. Utána a csöveket és csúsztató talpakat kiemelték, majd ellenőrizték.

További vizsgálatokat végeztek az átkötések és a zárógyűrűs csatlakozók bekötési lehetőségeinek tisztázása és az elkészült szerelvények alkalmaságának ellenőrzése céljából.

### **Csővezeték-csatlakozások**

A más termelők csatlakoztatását a kiépített mélyvízi csővezetékhez a BP tenger alatti talpas Y elágazások, csővezeték-végcsatlakozók és csővezeték-átkötések kombinációjával oldja meg.

Szerkezeti acélanyagból készült, nagy felületű, a laza talajon jól felfekvő csúszótalpakon helyezkednek el a tenger alatti tolózárok, szelepek, zárógyűrűs csatlakozók és Y elágazások. Egy-egy talpas Y elágazás súlya 120 t.

Azok a talpas Y elágazások, amelyek két csúszótalppal rendelkeznek, hidraulikus motorral működtetett csavarorsó-mechanizmussal állíthatók.

Búvármunkát nem igénylő zárógyűrűs csatlakozó teszi lehetővé az új ki-termelőktől bekötésekor a kőolaj- és földgázvezetékek átkötését. A Mardi Gras által alkalmazott csővezeték-átkötések átmérője elérheti a 700 mm-t.

Az átkötést a külső víznyomásnál nagyobb ellenállásra méretezett fém-tömítéssel csatlakoztatják, ami nagy tengeralatti mélységek esetében fontos követelmény.

### **Átjárási lehetőségek csőgörénnyel**

A Mardi Gras rendszer további sajátossága, hogy lehetőség van olyan többátmérős, intelligens tisztító csőgörény alkalmazására, amelyik képes áthaladni az Y elágazásokon, az ívelt, valamint a változó keresztmetszetű sza-

kaszokon. Mindenre kiterjedő vizsgálatok után kezdik meg az ilyen csőgörények gyártását, majd azokat rendszerbe állítják.

Olyan különleges csőgörény-konstrukciót is kidolgoznak, amelyik a karbantartás folyamán el tudja távolítani a csővezetékben lerakódott viaszos anyagokat és a folyadékokat.

## **Mélytengeri nyomvonal felmérés**

Az egyik legsúlyosabb megoldásra váró műszaki probléma a Caesar és Cleopatra csővezetékek megfelelő nyomvonalának megválasztása volt.

A legnagyobb nehézséget a kontinentális talpazat emelkedő szakaszán való áthaladás nyomvonalának kijelölése jelentette. Az erősen töredezett részű meredeksége helyenként 23–25 fok. Ezért a vállalat elhatározta, hogy vállalja a kockázatot, és új technológia alkalmazását kíséri meg. Az iparágban először a mélyvízi tengerfenék feltérképezésére egy önállóan működő tengeralatti járművet fog alkalmazni.

Ez a víz alatti önjáró berendezés nagy előrelépést jelent a hagyományos felmérési technológiával szemben. Nem igényel kábeleket, és mivel áramforrásként akkumulátorokat használ, 24–36 óra hosszat víz alatt maradhat.

Az operátorok ultrahangos lokátor segítségével kommunikálhatnak a járművel, amelyik éles fordulatokat is képes végezni. Ezáltal jelentős időmegtakarítás lehetséges egyes szakaszok többszörösen megismételt felméréseinek elvégzésekor.

Ezen túlmenően az adatfelbontó képesség lényegesen jobb, mint a hagyományos, kábelvontatásos feltérképező készülékek használatakor.

Néhány kezdeti nehézség elhárítását követően az önálló tenger alatti jármű a hagyományos módszerhez képest lényegesen meggyorsította a felmérési munkákat. Ugyanakkor a kapott adatok könnyebben kezelhetők és megbízhatóbbak.

Mellékesen az Okeanos csővezeték nyomvonalának feltérképezésekor a berendezés rátaálta a Második Világháború alatt elsüllyesztett U-166 német tengeralattjáróra. A BP a Shellel együttműködve egy kutatócsoportot hozott létre a tengeralattjáró átvizsgálására.

## **Környezetvédelmi eredmények**

A Mardi Gras kőolajvezeték-hálózat kiépítésének tervezésekor bizonyos parti szakaszon végzendő munkálatokkal kapcsolatban komoly problémák merültek fel mind a hatósági előírások betartása, mind pedig a közvélemény elvárásainak kielégítése szempontjából. Az eredeti elgondolás szerint az Endymion csővezeték a nyílttengeri fúrótoronytól egyenesen, közvetlenül a kérdéses parti szakaszon haladt volna át. Ebben az esetben a csővezetéket

ciprusfás mocsarakon és természetvédelmi vizes élettéren kellett volna átvezetni.

A tervező csoport több alternatív lehetőséget vizsgált meg. A hatóságokkal együttműködve, a csővezeték számára a mocsaras természetvédelmi terület helyett a kevésbé kényes nyíltvízi nyomvonalat választották. Ez a megoldás 10 M USD-s költségtöbbletet jelentett, azonban megkönnyítette az engedélyezési folyamat lebonyolítását, és minimumra csökkentette a környezetre gyakorolt hatást. Elnyerte a hatóságok és a környezetvédők dicséretét, valamint a helyi közösségek elégedettségét.

A csővezeték szárazföldi szakaszának kiépítésekor több vízi utat és régebben lefektetett csővezeték-nyomvonalat kellett keresztezni. Ezért azt a megoldást választották, hogy nem a szárazföld felszínén, hanem a vízi útvoalak és a már meglévő csővezetékek alatt átvezetett, fúrással kialakított nyomvonalat létesítettek.

Ez a döntés is megkapta az engedélyezési folyamatban érintett valamennyi hatóság jóváhagyását és jóindulatú támogatását.

Az egyik tengerparti szakaszon osztrigahalászok által használt területet kellett keresztezni. A BP pontosan informálta a halászokat a munkálatok menetéről, figyelembe vette igényeiket, és törekedett arra, hogy ne zavarja meg őket foglalkozásuk gyakorlásában.

A BP kutatástámogatási szerződéseket kötött két kutatóintézettel egy hasonló környezetvédelmi problémának a tisztázására. Ugyanis egyrészt az édesvízi mocsarakba fokozatosan előretörő sós tengervíz visszatartására bevezetett intézkedések, másrészt ezek következtében az osztrigák tengeri életterének megzavarása miatti ellentétes érdekeket kell egymással valahogy összeegyeztetni.

A megoldás még várat magára, azonban a projekt megvalósítását most már ezek a kérdések sem hátráltatják.

**(Dr. Barna Györgyné)**

Marshall, R.: Gulf project advances deepwater pipeline technologies. = Oil and Gas Journal, 101. k. 18. sz. 2003. máj. 5. p. 84–92.

Black, R. J.; Freeman, L. L.; Calderon, J. A.: Pioneering deepwater gulf pipeline system integrates five segments. = Oil and Gas Journal, 101. k. 19. sz. 2003. máj. 12. p. 58–61.

Chai, Y. T.; Varyani, K. S.; Barltrop, N. D. P.: Three-dimensional Lump-Mass formulation of a catenary riser with bending, torsion and irregular seabed interaction effect. = Ocean Engineering, 29. k. 12. sz. 2002. szept. p. 1503–1525.

Madhu Sudhan, Ch.; Sundar, V.; Narasimha Rao, S.: Wave induced forces around buried pipelines. = Ocean Engineering, 29. k. 5. sz. 2002. p. 533–544.

Macdonald, K. A.; Maddox, S. J.: New guidance for fatigue design of pipeline girth welds. = Engineering Failure Analysis, 10. k. 2. sz. 2003. ápr. p. 177–197.