

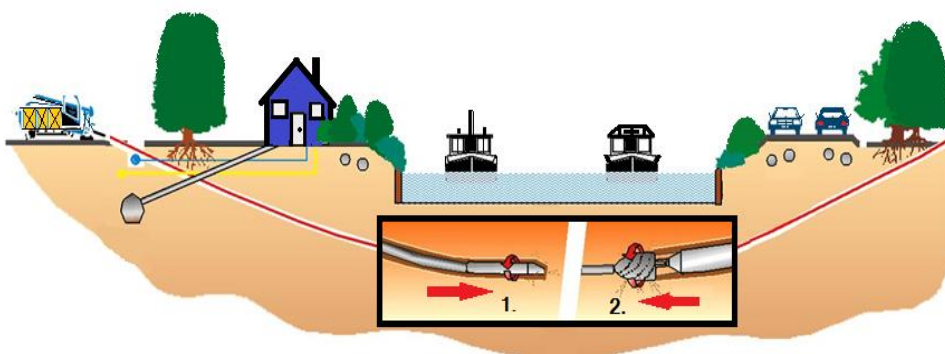
HORDÓ TÍPUSÚ FURATBŐVÍTŐFEJ SZILÁRDSÁGTANI ELLENŐRZÉSE

BAKSA ATTI¹–LADÁNYI GÁBOR²–SZIRBIK SÁNDOR¹–
VIRÁG ZOLTÁN²

¹Műszaki Mechanikai Intézet, ²Bányászati és Geotechnikai Intézet

1. BEVEZETÉS

A vízszintes irányított fúrési technológia (Horizontal Direction Drilling [HDD]) (1. ábra) a bontás nélküli csőfektetés technológiái közül az egyik leghatékonyabb, sokrétűen alkalmazható megoldás a közműépítésben. Az eljárás lényege, hogy a felszínről, munkagödör ásása nélkül fúrással alakítjuk ki a járatot, melybe a kilépési oldalról húzzuk be a termékcsövet.



1. ábra

Vízszintes irányított fúrési technológia

A nyomvonal mélységét alapvetően a felhasznált anyagok (védőcső, hasznocső) paraméterei és a környezet határozzák meg, figyelembe véve, hogy géptípustól függően 25–140 méter lehet a fúrószárok minimális hajlítási sugara. A HDD-technológia egy másik sarkalatos pontja a föld alatt rejtve levő fúrófej nyomon követése. Ennek a megoldására a fúrófejbe telepítenek egy jeladót, ami több mint 30 méter mélységről képes a felszíni vevőegységhez adatokat továbbítani, a szerkezet működéséről és térbeli elhelyezkedéséről. Ez a nyomon követés feltétlenül fontos, mivel különböző okok – pl. földtani viszonyok változása – miatt a legnagyobb odafigyelés mellett is kitérhet a fúrófej az előre eltervezett iránytól. Egy ilyen működtetési hiba komoly gondokat is okozhat egy jól közművesített környezetben.

A munka első fázisaként hajlékony fúrórudak végén elhelyezkedő fúrófej előre tolasásával készítik el a pilóta furatot, mely a tervezett nyomvonalat követi, és amelynek mentén kerül majd végleges elhelyezésre maga a közművezeték.

A technológia a furadék elszállításához és a lyukfal stabilizálásához öblítést használ. A fúrás a vízhez kevert, különféle adalékanyagokat tartalmazó fúrófolyadék áramoltatása mellett történik. Az öblítőfolyadék a fúrófejből fúvókákon keresztül nagy sebességgel távozik, így segítve a fúrófej haladását, hűtését, a talajban képzett furat megtámasztását. Az öblítéshez alkalmazott fúrófolyadék és az általa kiszállított anyag összegyűjtésére tárolómedencét alakítanak ki.

Az irányított fúrási technológia másik nagyon fontos szakasza a bővítési fázis. Ez a behúzendó cső átmérőjétől függően egy vagy több lépcsőben történik, úgy hogy a fúrófejet lecserélik a kívánt méretű bővítőfejre, és azt tengelye körül forgatva húzzák a fúrás indítási pontja felé. A bővítőfej kiválasztásánál fontos a talajszerkezet pontos ismerete, mert így lehet eldönteni, hogy milyen típusú és méretű fej a megfelelő.

Utolsó lépésként történik a behúzás, mely során a felbővített és kitisztított furatba bekerül a védőcső vagy rögtön a haszoncső.

2. A HDD-technológia alkalmazhatósága

Olyan közmű, út, vasút, folyó stb. keresztezések és közművekkel sűrűn ellátott városi körülmények között célszerű alkalmazni, ahol egyébként az árokba fektetéses, hagyományos módszerekkel végzett közműépítés nem, vagy csak nagyon nehézkesen, jelentős költségekkel lenne kivitelezhető. Ezzel a technológiával lehetőség van a csővezetékek különböző objektumok (például autópályák, folyók, vasúti töltések) alatti átvezetésére.

A technológia nem igényel külön indító és fogadó aknát. A fúrófolyadék összegyűjtéséhez és tisztításához viszont szükséges tároló medencét létesíteni. A kivitelezés időtartama ezzel a technológiával jelentősen rövidebb, mint a hagyományos nyílt árkos fektetés esetében.

Az összehasonlító költségelemzések azt mutatják, hogy a legtöbb közműépítési feladat összességében alacsonyabb költséggel oldható meg irányított fúrással, mint más hagyományos technológiával.

Azt, hogy vízszintes irányított fúrással milyen furathosszúságot és átmérőt tudunk megvalósítani, alapvetően a munkagép teljesítménye dönti el, de a ténylegesen elért eredményt erősen befolyásolja a fúrt talaj szerkezete is. A technológia elvi határai, az igényelt speciális eszközök megléte és kedvező közetkörülmények egyúttállása esetén:

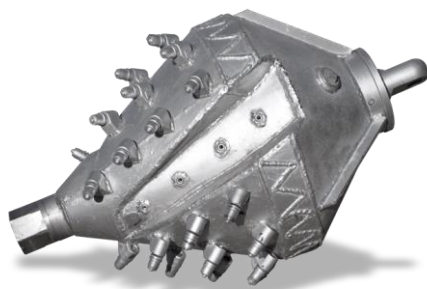
- az elérhető csőátmérő: Ø 1500–1600 mm,
- az elérhető fúrési hossz: ~5000 m.

A fenti két jellemző maximális értéke egyidejűleg nem érhető el. A több ezer méteres hossz mellett a furat átmérője általában 1000 mm alatt van.

Az előbbi mondatban a gép teljesítménye kifejezés három alapvető paramétert foglal magába. Ezek, a csőakat mozgatásánál alkalmazható húzó-nyomó erő nagysága, a géppel kiadható forgatónyomaték nagysága és a fordulatszám-tartomány, amellyel üzemeltethető a fúrógép.

3. SZILÁRDSÁGTANI ELLENŐRZÉS

Vizsgálataink során egy hordó típusú furatbővítő fejet ellenőriztünk (2. ábra). Szélsőséges üzemi körülmények bekövetkezése esetén – pl. a szerszám megszorulásakor – a gép által szolgáltatott maximális erő és forgatónyomaték eljut a fűrészszerszámgig.



2. ábra
Hordó típusú furatbővítőfej

A szerszám igénybevételét tovább fokozza az öblítőfolyadék jelentős nyomása, amely ahhoz szükséges, hogy a fűvókákon kilépő folyadék sebessége elérje a szükséges értéket. Nagyobb fűrési hosszak esetén a folyadék szükséges nyomása elérheti a 100 bar értéket is. E három terhelés együttes megjelenése által okozott igénybevétel főleg a „hordó típusú” furatbővítőknél jelent olyan összetett igénybevételt, melynek hatását tervezés során vizsgálni kell. Az üreges kialakítású szerszám tömegének kezelhető tartományban tartása érdekében cél a falvastagság minimalizálása is, de ez csak addig a határig csökkenthető, amíg a már említett terhelések együttes hatása sem okoz törést egy esetleges működés közbeni szerszám-megszorulás esetén. A tervezési szempontok alapján adott falvastagságú hordó típusú furatbővítő szerszám szilárdságtani ellenőrzésére egy végeelemes analízis szolgál, azaz a fűrészszerszám 3D-s testmodelljén lévő térfogatokon és felületeken kell megadni a vonatkozó peremfeltételi előírásokat, amelyek jól közelítik az üzemszerű állapotokat, majd alkalmazni a végeelemes formalizmust a szilárdságtani állapotok elemzésére.

E szimulációs módszer alkalmazásakor a vizsgált objektumot gondolatban véges számú, elég kicsiny elemre bontjuk, a keresett megoldást pedig elemenként külön-külön közelítjük. Az elemek valóságos kapcsolódásának megfelelően az elemeket megfelelő módon egymáshoz illesztjük. Erre szolgálnak az elemek határain kijelölt csomópontok, illetve azok elmozdulásaiban történő előírások. Így végül a teljes szerkezetre érvényes közelítésre jutunk, amely már csak a csomópontok jellemző elmozdulásait tartalmazza. Kiindulva ebből számítható a teljes szerkezet alakváltozási energiája, mégpedig a csomóponti elmozdulások függvényében. Hasonlóan eljárva, a szerkezeten működtetett terhelések munkáját is kifejezhetjük a felvett csomópontok elmozdulásaival. A szerkezet mozgását korlátozó kényszere-

ket is e csomópontokra vonatkozó kinematikai előírásokkal vesszük figyelembe. Ez konkrétan azt jelenti, hogy adott csomópont teljes, vagy adott irányú elmozdulását gátoljuk, illetve rugalmas megtámasztás esetén egy adott merevségű rugóhoz kapcsoljuk. Energetikai megfontolásokból ezáltal származtatható a közelítésben felvett összes csomóponti elmozdulás-koordináta kiszámítására szolgáló egyenletrendszer. Az általunk is feltételezett lineárisan rugalmas szerkezet statikus terhelése mellett ez egy nagyméretű lineáris egyenletrendszerre vezet (1 404 803 darab tetraéder elem mellett 6 088 260 ismeretlen), amely tulajdonképpen a szerkezet egyensúlyát fejezi ki. Az egyenletrendszer csomóponti paraméterekre történő megoldása után meghatározható a szerkezet szilárdságtani állapota, azaz az elmozdulási, alakváltozási és feszültségi állapot jellemzőit tetszőleges pontokban megvizsgálhatjuk.

A végeelemes modell felállításakor a 3D-s feladat analízisére az irodalomban elterjedt elemfajták közül az igen hatékonynak bizonyuló 10 csomópontú, izoparametrikus tetraéder elemet célszerű választani, amellyel tetszőleges alakú térfogat nagy pontossággal leírható. Négy csomópont az elem sarokpontját és további hat az élek felezőpontját határozza meg. Így lehetőség van a görbült oldalak íves elemekkel történő leírására. A 10 csomópont 3-3 elmozdulás koordinátájának segítségével tetszőleges belső pont alakváltozási és feszültségi állapota válik kifejezhetővé. A kialakult állapot minősítésére az ún. redukált feszültség értéke alkalmas, amely egyesíti a különböző irányú normál, illetve nyíró feszültségek pontbeli hatásait, a veszélyesség szempontjából egyenértékű húzófeszültségben. Ennek képlete a test egy adott P pontjában a

$$\sigma_{red}(P) = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]} \quad (1)$$

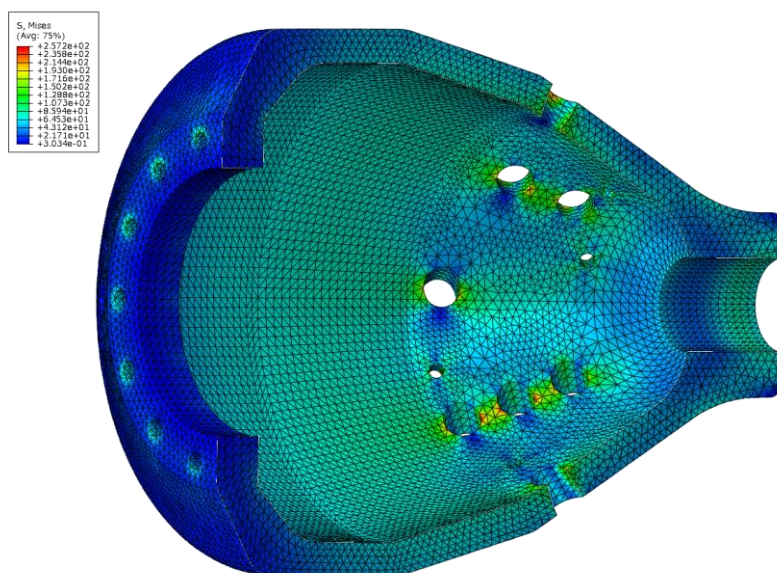
formában ismert. A redukált feszültségek pontbeli értékeinek színskála szerinti összehasonlításával pedig szemléltethető a testben fellépő feszültségi állapot a végeelemes vizsgálatok végén.

A furatbővítő szerszám végeelemes analízisében használt mechanikai modell előállításához a fűrőszerszám 3D-s testmodelljét vesszük alapul. Ezen elmozdulási peremfeltételek előírását, azaz a megfogást, a fűrőszárrögzítő csavarok bővítő szerszámában kialakított, szimmetrikusan elhelyezkedő furatainak teljes megfogásával biztosítjuk. A terhelési állapot megadásakor pedig a fűrőszerszám megszorult állapotában ébredő erőrendszert tételezünk fel. Így a végeelem-módszer segítségével végzett szimulációs vizsgálatokhoz elengedhetetlen feltétel a merevtestszerű mozgás gátlásának biztosítása. A belső nyomásra tett előírás a hordószerű szerszám minden belső felületén azonos nagyságúnak és normális irányúnak tekintett. Itt feltételezzük, hogy minden fűvóka eltömődött és a szerszám belsejében az öblítőszivattyú által előállított maximális nyomás működik. A húzó-nyomó igénybevétel pedig a szerszám megfogással szembeni végén, egy körgyűrűn, felületen megoszlónak definiált. A bontófogakat rögzítő furatok hossz tengelyének a furatbővítő külső geometriájára illeszkedő kúppalást döfő pontjaiban olyan koncentrált erőket

vesszünk fel, amelyek a fűrészszám hossz tengelyére a befeszüléskor a nyomtérhatároló által megengedett előírt maximális nyomtér alapján számítottak, miközben eredőjük, azaz a hossz tengelyre merőleges tengelyekre vett hajlító nyomtérük eltűnik. A vizsgált szerszám anyagát pedig $E = 2 \cdot 10^5$ MPa Young-féle rugalmassági modulus és $\nu = 0,25$ Poisson-szám megadása mellett lineárisan rugalmasnak választjuk. A peremfeltételben megjelenő terhelések így módon történő elkülönítése a szimulációk során a terhelésekben történő változtathatóságot és egyes hatások külön-külön történő elhatárolását is szolgálja. A vonatkozó peremfeltételek kitűzése után a VEM-szimulációk természetesen lehetőséget adnak azok utólagos megváltoztatására is. Így a megfogás, húzás-nyomás és belső nyomás mellett a csavarási igénybevételt adó erőrendszer a modell felállítása után, ha szükséges gyorsan módosítható.

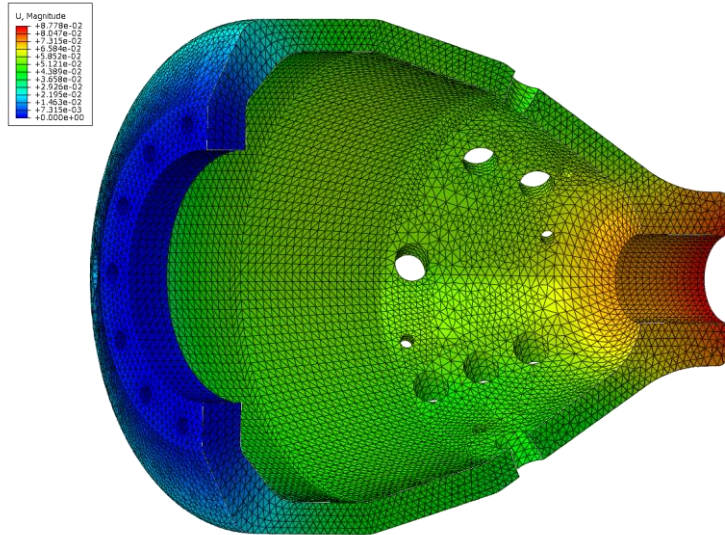
4. VEM-SZÁMÍTÁS ÉRTÉKELÉSE

A végeelemes modell felépítése során a fűrészszámat érő csavaró igénybevételt a szerszámtesten lévő bontófogak számára készített furatok között szétosztva vizsgáltuk. A csavarási igénybevételből keletkező feszültségeloszlást a 3. ábra a Mises-elmélet alapján meghatározott redukált feszültségek (1) pontbeli értékeinek színskála szerinti megjelenítésével mutatja. Az igénybevételhez tartozó elmozdulások nagyságát pedig a 4. ábra, hasonló technikával szemlélteti. Természetesen, sorozatszámítások végezhetőek a bontófogakon ébredő erők szétosztásának további variációs lehetőségeire.



3. ábra

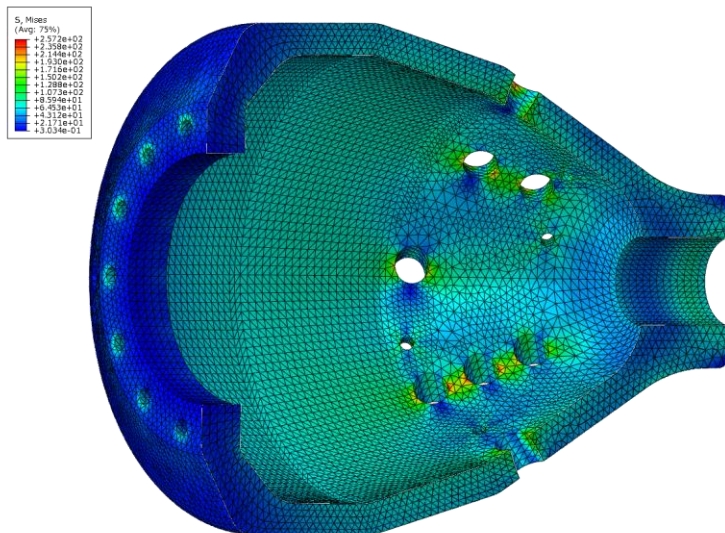
A csavarásnak kitett fűrészszámban keletkező redukált feszültség



4. ábra

A csavarásnak kitett fűrészszerzámban keletkező elmozdulás

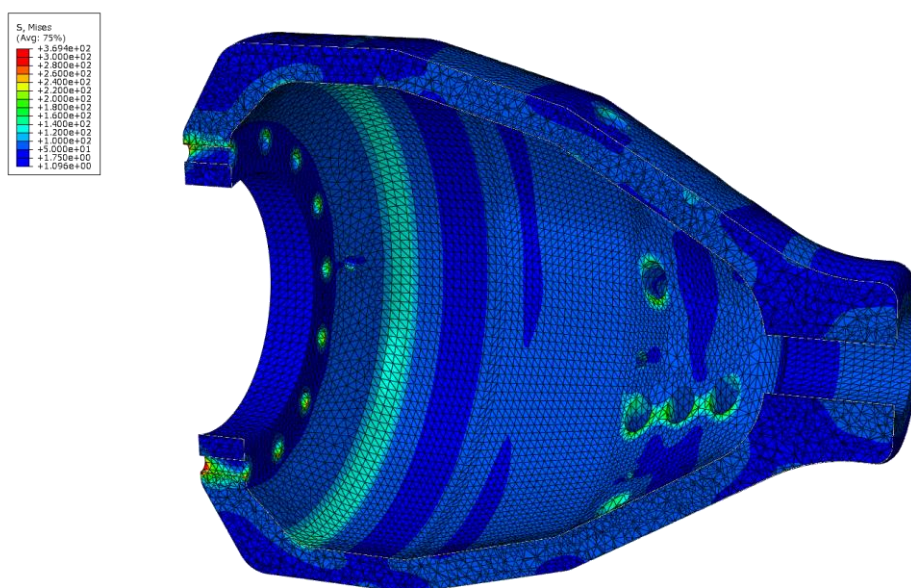
A vizsgált tiszta csavarás esetét előállító, általunk alkalmazott bontófog erők kiosztása egy adott módon megválasztott lehetőség. Ettől eltérő erőkiosztások is állíthatnak elő adott nyomatékú hatást a szerzámtesten, így a feszültségeloszlás lokálisan változhat, de ez a változás a feszültségek nagyságában nem jelentős.



5. ábra

A csavarás mellett belső nyomással és a szerzám végén nyomással terhelt fűrészszerzámban keletkező redukált feszültség eloszlása

A szerszámtest befeszülésekor a csavarási igénybevétel hajlítással is társul, mivel a szerszám működése során a bontófogak munkába lépése nem egyenletes, továbbá nem garantált, hogy minden bontófog egyszerre vesz részt a jövesztésben. Ezen hatások vizsgálata további elemzések tárgya is lehet. A szerszám a furatban előre-hátra mozoghat, ezért a szerszámtesten nyomás, illetve húzó igénybevételt is vizsgáltunk. Ezekhez a belső nyomást is társítottuk. Ezek redukált feszültségre gyakorolt hatását szemléltetik az 5. és 6. ábrák.



6. ábra

A csavarás mellett belső nyomással és a szerszám végén húzással terhelt fűrészszerszámban keletkező redukált feszültség eloszlása

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A furatbővítő szerszám szilárdságtani vizsgálatát végelem-módszer alkalmazásával végeztük el. A mechanikai modell felépítéséhez olyan peremfeltételek kerültek megállapításra, melyek a befeszülő szerszám esetét írták le. A számítások eredményeinek áttekintése után az alábbi megállapítások tehetők:

- a szerszám húzással és belső nyomással is terhelt állapotában ébred a legnagyobb redukált feszültség a szerszámtestben,
- a maximális feszültségek a rögzítési helyek környezetében jelennek meg.

Tanulságos, hogy a szerszámtest hengeres és kúpos szakaszának csatlakozási gyűrűjénél oda kell figyelni a kisebb görbületű illesztésre és kötésre. A 6. ábrán jól látható, hogy a szerszámtestben ezen gyűrű környezetében megnő a fellépő feszültség nagysága, amit erősen befolyásol az ott alkalmazott lekerekítési sugár.

További vizsgálatok végezhetők a szerszámot érő dinamikai hatások esetére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben/előadásban/tanulmányban ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 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.

FELHASZNÁLT IRODALOM

HAIR, Charles W.: III. 1993/1994. *Geotechnical investigation Neches River Pipeline Crossing*. Hardin/Jasper Counties, Texas. Report for transcontinental Gas pipe Line Corporation, Capozzoli & Associates, Inc. Baton Rouge Louisiana, November 1993.

HAIR, JOHN D.: *Analysis of Subsurface Pressures Involved With Directionally Controlled Horizontal Drilling*. Proceedings, Pipeline Crossings Specialty Conference, March 25–27, Denver, Colorado. American Society of Civil Engineers, New York, 1991.