

Az áramlási ellenállás meghatározása öblítőfolyadékok csőbeli turbulens áramlása esetén

CODO FRANCOIS
DE PAULE

A mélyfűrészek hidraulikai programjának tervezésénél és ellenőrzésénél alapvető követelmény az öblítőkör áramlásiellenállás-komponenseinek pontos számítása. Ugyanakkor azonban — az operatív munkában — a viszonylag egyszerű számítási eljárások alkalmazása célszerű. Az üzemi eredmények elemzése azt mutatja, hogy a súrlódási tényező és a csőbeli áramlási ellenállás meghatározása jelentősen egyszerűsíthető.

Bevezetés

A fűrészi műveletek hatékonyságát, eredményességét befolyásoló tényezők megismerését célzó laboratóriumi és üzemi kísérletek eredményei nyomatékosan rámutatnak arra, hogy az öblítőfolyadék, illetve a megfelelően tervezett és kivitelezett öblítőfolyadék-technológia a fűrészi technológia aktív részé, amely önmagában is alkalmas a fűrészi teljesítmények növelésére. A legfontosabb hatások egyike az öblítőfolyadéknak a hidraulikai viszonyokat, s ezen keresztül a fűrészi sebességet befolyásoló szerepe. A fűrészi gyakorlatban alkalmazott hidraulikai programok hatékonyságát az öblítőkörben fellépő áramlási ellenállás komponenseinek nagysága, és egymáshoz való viszonya határozza meg. A mindenkori követelmény az, hogy a felszínen befektetett hidraulikus energia minél nagyobb hányadát lehessen a lyuktalpon — a közetbontást és lyuktalptisztítást elősegítendő — hasznosítani. A megoldás kulcsa: a rendszer két legfontosabb szakaszán: a fűrészcsőben, illetve a gyűrűs térben fellépő áramlási ellenállás csökkentése. Ehhez, valamint a hidraulikai programok tervezéséhez és ellenőrzéséhez alapvetően szükséges annak ismerete, hogy az öblítőfolyadék reológiai paramétereit hogyan hatnak az áramlási ellenállás nagyságára.

A csőbeli áramlási ellenállás meghatározása

Az öblítőkörben a legnagyobb értékű nyomásvesztés-komponens: a fűrésznál (a fűrészfűvókáiban) fellépő áramlási ellenállás pontosan számítható. Nagyságát tekintve az ezt követő legnagyobb áramlási ellenállás a fűrészcsőben, illetve a súlyosítóban jelentkezik. Itt az áramlás típusa általában turbulens. A csőbeli turbulens áramlás nyomásvesztése a Fanning-egyenlettel számítható:

$$\Delta p = \frac{2L \cdot \rho \cdot v^2}{d} \cdot f. \quad (1)$$

A problémát az f súrlódási tényező egyszerű, de pontos meghatározása jelenti. Dodge és Metzner polimer oldatok és szuszpenziók — mint nem newtoni folyadékok — turbulens áramlását tanulmányozták. A kísérleti adatok alapján — pszeudoplasztikus folyadékmodell alkalmazva, amelyhez legközelebb áll az öblítőfolyadékok reológiai viselkedése —, félempirikus

kifejezést adtak meg a súrlódási tényező és a módosított Reynolds-szám közötti összefüggésre [1]:

$$N_{Re}' = \frac{d^n \cdot v^{2-n} \cdot \rho}{K' \cdot 8^{n-1}}; \quad (2)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4,0}{n^{0,75}} [\lg N_{Re}' \cdot f^{1-\frac{n}{2}}] - \frac{0,4}{n^{1,2}}. \quad (3)$$

Saját kísérleti eredményeinek elemzése során Clapp ettől némileg eltérő eredményt kapott; az ennek alapja felírt, az előbbihez formailag hasonló összefüggés érvényességét Torrance kiterjesztette a gyakran alkalmazott, folyási határral bíró hatványkitevős modellre.

Tény, hogy a súrlódási tényező meghatározása körüli bizonytalanságok elkerülésére a legcélszerűbb megoldás a kísérleti úton végzendő mérés lenne, mivel azonban erre a legtöbb esetben nincs mód, általában a (3) egyenletet, vagy az ennek alapján megszerkesztett diagramot alkalmazzák. Az iterációs számítás nehézséges, a diagram nem mindenkor áll rendelkezésre, s a diagramról történő leolvasás meglehetősen pontatlan a közbelső n értékeknél. Joggal merülhet fel a kérdés, hogy van-e ennél egyszerűbb, de kielégítő pontosságú módszer?

Lord és szerzőtársai [3] ugyancsak polimer oldatok és szuszpenziók csőbeli turbulens áramlásának vizsgálata során megállapították, hogy az áramlás jellemzői a Blasius-formulából levezethető összefüggéssel leírhatók:

$$\tau_w' = \frac{d \cdot \Delta p}{4L} = A \cdot v^s \left(\frac{8v}{d} \right)^s = A^* \left(\frac{8v}{d} \right)^s. \quad (4)$$

A hatványkitevős modell analógiájára A^* a turbulens áramlás „konzisztenciaindexének” tekinthető. Továbbá kimutatták, hogy

$$e = s - 0,2. \quad (5)$$

S így, ha az (1) és (4) egyenletet összevonjuk és átrendezzük:

$$f_d = \frac{16}{d^s \cdot v^{2-s} \cdot \rho} = \frac{16}{N_{Re,d}^s}, \quad (6)$$

ahol $N_{Re,d}^s$ a turbulens áramlás „Reynolds-száma”, s az összefüggés formailag azonos a lamináris szakaszra érvényessel. Hangsúlyozni kell, hogy miután A_d a mindenkori csőátmérőnek függvénye, így $N_{Re,d}^s$ és f_d is ennek függvénye. Az s és A ismeretében azonban bármely d és bármely v esetére számítható $N_{Re,d}^s$ és f_d .

Sajnos ma még nem rendelkezünk olyan laboratóriumi berendezéssel, amellyel tanulmányozni tudnánk az öblítőfolyadékok csőbeli turbulens áramlását. Ez kitűnő lehetőséget nyújtana — akár a rotációs viszkozimétereknél a lamináris áramlásra alkalmazott „két pont” módszer analógiájára is — a súrlódási tényező pontos meghatározására. A Blasius-formula és

N_{Re}	6000	10 000	20 000	50 000	100 000	150 000	300 000
1,0 1.	0,009 4	0,007 8	0,006 5	0,005 2	0,004 5	0,004 1	0,003 6
2.	0,009 6	0,008 0	0,006 7	0,005 3	0,004 4	0,004 0	0,003 3
0,9	0,008 8	0,007 4	0,006 0	0,004 8	0,004 1	0,003 8	0,003 3
	0,008 9	0,007 4	0,006 2	0,004 9	0,004 1	0,003 7	0,003 1
0,8	0,008 2	0,006 8	0,005 6	0,004 5	0,003 8	0,003 5	0,003 0
	0,008 1	0,006 8	0,005 7	0,004 5	0,003 7	0,003 4	0,002 8
0,7	0,007 5	0,006 1	0,005 1	0,004 0	0,003 4	0,003 1	0,002 6
	0,007 4	0,006 1	0,005 1	0,004 0	0,003 4	0,003 0	0,002 5
0,6	0,006 8	0,005 6	0,004 5	0,003 6	0,003 0	0,002 7	0,002 4
	0,006 6	0,005 5	0,004 6	0,003 6	0,003 0	0,002 7	0,002 3
0,5	0,006 1	0,004 9	0,004 0	0,003 1	0,002 6	0,002 4	0,002 0
	0,005 7	0,004 8	0,004 0	0,003 1	0,002 6	0,002 4	0,002 0
0,4	0,005 3	0,004 1	0,003 3	0,002 6	0,002 1	0,001 9	0,001 7
	0,004 8	0,004 0	0,003 4	0,002 6	0,002 2	0,002 0	0,001 7
0,3	0,004 4	0,003 4	0,002 7	0,002 7	0,001 7	0,001 5	0,001 3
	0,003 9	0,003 3	0,002 7	0,002 1	0,001 8	0,001 6	0,001 3
0,2	0,003 4	0,002 6	0,002 0	0,001 5	0,001 2	0,001 1	0,000 9
	0,002 9	0,002 4	0,002 0	0,001 6	0,001 3	0,001 2	0,001 0

Megjegyzés: 1. f a (3) egyenlet szerint
2. f a (12) egyenlet szerint

a hatványkitevős modell állandói között elvileg teremthető kapcsolat, hiszen a sűrűsítényező meghatározásának egyszerűsítése érdekében korábban is történt próbálkozás oly módon, hogy az enyhén görbülő $\lg f - \lg N_{Re}$ függvényképet egyenessel közelítsék meg [4]:

$$f = \frac{x}{N_{Re}^\beta} \quad (7)$$

Ennek alapján

$$s = 2 - \beta(2 - n) \quad (8)$$

illetve

$$A = K' \cdot \frac{\alpha}{16} \cdot \left(\frac{\rho}{8}\right)^{1-\beta} \cdot d^{1-\beta \cdot n} \quad (9)$$

Ez azonban aligha segíti elő az áramlási ellenállás meghatározásának egyszerűsítését. A (7) egyenlet szerinti meghatározásához külön diagram adja meg α és β értékét az n kitevő függvényében, vagy számítható a Schuh által megadott közelítéssel [5]:

$$\alpha = \frac{\lg n + 3,93}{50} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{1,75 - \lg n}{7} \quad (11)$$

A fenti eljárások a Yürási gyakorlatban is alkalmazhatónak bizonyulnak, hiszen a jellemző Reynolds-szám tartományban az egyezés a közelítő és az egzakt megoldás között igen jó!

Elemzésünk azt mutatta, hogy α és β diagramról való meghatározása elkerülhető, illetve számításuk egyszerűsíthető az alábbi, kielégítő pontosságot biztosító összefüggés alkalmazásával:

$$f = \frac{0,088 \cdot n^{0,73}}{N_{Re}^{0,26}} \quad (12)$$

Ezt igazolják az 1. táblázat adatai, amelyben a (3) és (12) egyenlettel számított sűrűsítényező értékeit hasonlítottuk össze.

Tekintettel az öblítőfolyadékokra általában jellemző hatványkitevőkre (0,6–0,8), az egyezés jónak tekinthető.

Ha a $N_{Re}' < 10\,000$ és $n < 0,55$, az összefüggést erre az esetre pontosabbá tehetjük, s ekkor

$$f = \frac{0,135 \cdot n^{0,76}}{N_{Re}'^{0,3}} \quad (13)$$

Az öblítőfolyadékok reológiai tulajdonságainak értékelésénél alapul a folyásgörbe szolgál. Ennek alapján meghatározható az áramlási ellenállás mind a lamináris, mind a turbulens áramlási tartományban.

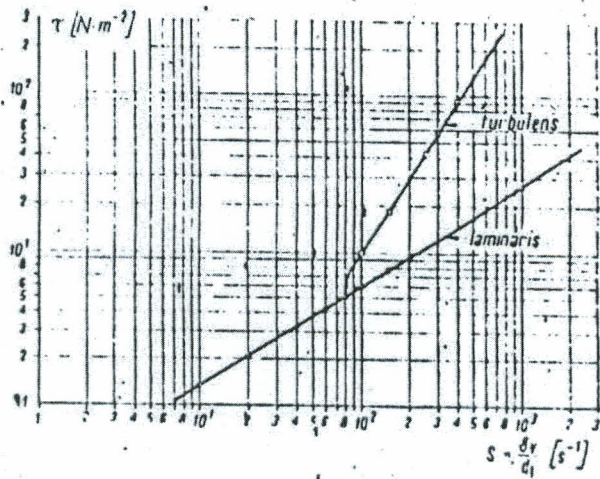
Az alkalmazott viszkoziméterekben azonban az áramlás típusa mindig lamináris. Emiatt a turbulens szakasz csak közvetett úton jellemezhető. Ennek megvilágítására szolgáljon a következő példa (az egyszerűség kedvéért tekintsük úgy, hogy a reológiai paramétereket kapilláris viszkoziméterrel vettük fel). Milyen lesz a „folyásgörbe” a leggyakrabban alkalmazott 5 hüvelykes fűrócsőben való áramlás során?

$$d = 0,1086 \text{ [m]} \quad n = 0,65 \text{ [-]}$$

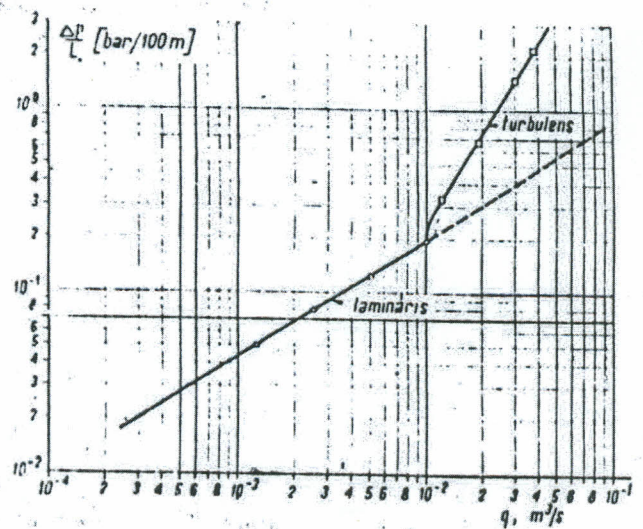
$$K' = 0,3 \text{ [N s}^n \text{ m}^{-2}] \quad \rho = 1300 \text{ [kg/m}^3\text{].}$$

A „folyásgörbe” lamináris szakaszának felvételéhez különböző $\frac{8v}{d}$ értékekhez meghatározzuk a nyírási feszültségeket az alábbi összefüggéssel:

$$\tau = K' \left(\frac{8v}{d}\right)^n \quad (14)$$



1. ábra



2. ábra

Kérdés azonban, hogy mely $\frac{8v}{d}$ értékig tart a laminaris szakasz?

$$N'_{Re} = \frac{d^n \cdot v^{2-n} \cdot \rho}{8 \cdot K'} = \frac{d^2 \cdot \rho}{8 \cdot K'} \cdot \left(\frac{8v}{d}\right)^{2-n} = 6,39 \left(\frac{8v}{d}\right)^{2-n} \quad (15)$$

A kritikus Reynolds-szám (6):

$$N'_{Re,c} = \frac{404}{n \left(\frac{1}{2+n}\right)^{\frac{2+n}{1+n}}} \cdot \left(\frac{4n}{3n+1}\right)^2 = 2310 \quad [-] \quad (16)$$

Ezért

$$\left(\frac{8v}{d}\right)_c = \left(\frac{2310}{6,39}\right)^{\frac{1}{2-0,65}} = 78,5 \quad [s^{-1}] \quad (17)$$

vagyis $v_c = 1,066$ m/s.

A nyírási feszültség a turbulens szakaszban:

$$\tau = \rho \frac{v^2}{2} \cdot f = \rho \frac{d^2}{128} \cdot f \left(\frac{8v}{d}\right)^2 = 0,112 \cdot f \left(\frac{8v}{d}\right)^2 \quad (18)$$

A (12) egyenlettel meghatározva f -et különböző Reynolds-számoknál, illetve különböző $\frac{8v}{d}$ értékek-nél, felrajzolható a fűrészbéli „folyásgörbe” turbulens szakasza (1. ábra). Továbbá a

$$\tau = \frac{d \cdot \Delta p}{4L} \quad (19)$$

illetve a

$$q = 0,0982 d^3 \left(\frac{8v}{d}\right) = 1,258 \cdot 10^{-4} \left(\frac{8v}{d}\right) \quad (20)$$

összefüggések segítségével megszerkeszthető a $\frac{\Delta p}{L} = f(q)$ függvény (2. ábra).

Ha pl. $q = 0,0267$ m³/s, akkor

$$\frac{8v}{d} = 10,18 \frac{q}{d^2} = 242,2 \quad [s^{-1}] \quad (21)$$

tehát az áramlás turbulens.

$$N'_{Re} = 6,39 \cdot (242,2 \cdot 2)^{1,35} = 8843 \quad [-]$$

$$f = \frac{0,088 \cdot (0,65)^{0,75}}{(8843)^{0,26}} = 0,006 \quad [-]$$

$$\frac{p}{L} = 10^{-5} \frac{\rho \cdot d}{32} \cdot f \left(\frac{8v}{d}\right)^2 = 2,7 \cdot 10^{-7} \left(\frac{8v}{d}\right)^2 = 1,216 \cdot 10^{-2} \quad [bar \cdot m^{-1}] \quad (22)$$

Sok esetben azonban a pontos reológiai adatok nem állnak rendelkezésre, s a számításokat ezek ismerete nélkül kell elvégezni. Ez különösen hidraulikai programok előzetes tervezése esetén áll fenn.

Közismert az a tény, hogy napjainkban is döntően diszpergált öblítőfolyadékokat alkalmaznak. Ezért az évek során kiforrott egységes öblítőfolyadék-technológia viszonylag szűk határok között mozgó öblítőfolyadék-paramétereket biztosít.

Az elmúlt három év majdnem ezer reológiai adatának elemzése azt mutatta, hogy egyértelmű összefüggés áll fenn az öblítőfolyadék fajsúlya és reológiai tulajdonságai között. Ennek megfelelően

$$\tau_{600} = 1,778 \cdot 10^{-8} \cdot \rho^{2,25} \quad [N \cdot m^{-2}] \quad (23)$$

$$\tau_{300} = 1,067 \cdot 10^{-9} \cdot \rho^{2,25} \quad [N \cdot m^{-2}] \quad (24)$$

Továbbá

$$n = 0,737;$$

$$K = 1,054 \cdot 10^{-11} \cdot \rho^{2,25} \quad [N \cdot s^n \cdot m^{-2}] \quad (25)$$

A (12) egyenlet ebben az esetben a következő alakban írható fel:

$$f = \frac{0,0702}{N'^{0,26}_{Re}} \quad (26)$$

Ezt behelyettesítve az (1) egyenletbe és átrendezve:

$$\frac{\Delta p}{L} = 1,865 \cdot 10^{-6} \frac{\rho^{0,74} \cdot K'^{0,26} \cdot q^{1,67}}{d^{4,55}} \quad [bar \cdot m^{-1}] \quad (27)$$

illetve a (25) összefüggést felhasználva:

$$\frac{\Delta p}{L} = 2,65 \cdot 10^{-9} \frac{\rho^{1,585} \cdot q^{1,67}}{d^{1,53}} \quad [bar \cdot m^{-1}] \quad (28)$$

Ez utóbbi általánosabb, de ugyanakkor kevésbé pontos megoldás.

A fentiekben részletezett eljárások alapvető célja a turbulens áramlási ellenállás számításának egyszerűsítése a hidraulikai programok terepi ellenőrzésének és esetleges módosításának megkönnyítése érdekében. Ez az egyszerűsítés azonban kielégítő pontosságot biztosít.

JELÖLÉSEK

Δp	áramlási ellenállás, bar
L	a cső hossza, m
d	a cső belső átmérője, m
K	az öblítőfolyadékok konzisztenciaindex, $Ns^m \cdot m^{-2}$
n	az Ostwald—de Waale-módel hatványkitevője,
N'_{Re}	a módosított (Metzner—Reed) Reynolds-szám
N_{Re}	a turbulens áramlás „Reynolds-száma”

A'	a csőbeli turbulens áramlás „konzisztenciaindex”, $Ns^m \cdot m^{-2}$
q	az öblítés folyadékárama, m^3/s
ρ	az öblítőfolyadék sűrűsége, kg/m^3
τ	nyírási feszültség, Nm^{-2}
s	a folyásgörbe turbulens szakaszának hatványkitevője

IRODALOM

- [1] Dodge, D. W.—Metzner, A. B.: Turbulent flow of non-newtonian systems. AIChEJ June 189 (1959).
- [2] Alliquander Ö.—Gilicz B.: A kiegyensúlyozott fűrés elméleti alapjai és gyakorlati feltételei. Bányai Szakirodalmi Társaság, Budapest, 1972.
- [3] Lord, D. et al.: Generalized correlation method for turbulent flow data. Soc. Petr. Eng. J. 3 252—8 (1967).
- [4] Skelland, A. H. P.: Non-newtonian flow and heat transfer. J. Wiley and Sons, N. Y., 1967.
- [5] Schuh, F. J.: Computer makes surge pressure calculations useful. Oil and Gas J. Aug. 3. 96 (1964).
- [6] Hanks, R. F.: AIChEJ 1 45 (1963).

HÍREK AZ ÜZEMEKBŐL

Felavatták a beregdaróci kompresszorállomást

1979. november 16-án tanúi lehettünk annak az ünnepélyes kompresszorindításnak, amely egy nagy volumenű beruházás egyik ütemének befejezését jelképezte. Ez a beruházás a Testvériség néven ismert szovjet—magyar földgázvezeték; a vezeték III. szakaszának első ütemében a beregdaróci kompresszorállomás készült el.

A létesítmény beruházója és üzemeltetője, a Gáz- és Olajszállító Vállalat részéről *Buday Rezső* beruházási fősztályvezető adta át az üzemeltető *Török József* üzemvezetőnek.

Az ünnepélyes indításon és az ünnepségen megjelent dr. *Tarr Imre*, a Szabolcs-Szatmár megyei pb első titkára, I. P. *Makszimov*, az UKRGAZPROM egyesülés elnökhelyettese, dr. *Bán Ákos* vezérigazgató, *Forgács László*, a budapesti KBF hivatalvezetője, valamint az építésben részt vevő vállalatok és szervek képviselői.

Az ünnepi beszédet *Szakonyi Géza*, a GOV igazgatója tartotta. Beszédében röviden megemlékezett a hazai gázszállítás múltjáról, a Szovjetunió és hazánk olajipari kapcsolatairól, a 30 éves magyar—szovjet műszaki-tudományos együttműködésről.

Az állomásról szólva elmondta, hogy jelenleg 3 db. egyenként 10 000 kW teljesítményű, a modern technikát képviselő, gáz-turbinával hajtott centrifugál gázkompresszor került beépítésre. Az olasz Nuovo Pignone cég által szállított berendezés egyenként mintegy 300 000 m^3/h földgáz komprimálására alkalmas 35—40 bar nyomásról 67 bar nyomásra. Az állomás egyszerű kivitelben készült, szabadtéri telepítésű, megfelelő biztonsági berendezésekkel ellátott, elektronikus vezérlésű. Összességében elmondható, hogy világszínvonalon is korszerű kompresszorállomás épült.

Az állomásnak jelentős szerepe lesz már télen a csökkent

nyomású, Beregovóból érkező gáz továbbításában. A kompresszorállomás belépésével a Testvériség gázvezeték-rendszer magyarországi szakaszának kapacitása 5,0—5,5 milliárd m^3 -re növekedett.

A kompresszorállomást az OLAJTÉRV tervezte, a gépészeti szerelést főleg a Gyár- és Gépszerelő Vállalat végezte, építési vonalon a Szabolcsi Állami Építőipari Vállalat tevékenykedett. A beruházás sikeres befejezését a GOV gondos koordináló tevékenysége mellett a szakminisztériumok segítőkészsége is elősegítette, különösen a NIM, a KGM, az ÉVM, valamint a különféle szervek munkája, köztük az Állami Fejlesztési Bank, valamint a budapesti KBF.

Az ünnepi beszéd után *Makszimov* és dr. *Tarr* elvtársak köszöntötték az építőket, a beruházót és az üzemeltetőt, további sikeres munkát kívánva nekik.

Makszimov elvtárs elmondta, hogy a kompresszorállomás jelentős lépés a Testvériség vezetékrendszer bővülésében, és külön megemlékezett a szovjet szakasz magyar építőiről.

Ezután dr. *Bán Ákos* vezérigazgató közvetlen szavakkal méltatta a kompresszorállomás jelentőségét. Köszönetét fejezte ki a jó tervezésért, beruházásért, építésért. Külön sikerként értékelte a különböző tervező-, beruházó-, építővállalatok összefogását, ami lehetővé tette a rekordidő alatt megvalósulást.

Az ünnepség a kompresszorállomás építése során kiváló munkát végzettek kitüntetésével ért véget. Négy dolgozó a Munka Erdemrend bronz fokozatát kapta, huszonegy dolgozó pedig a Kiváló Munkáért miniszteri kitüntetésben részesült.

Szabó Lajos
GOV szem. oszt. vez.

Darás István
üzemviteli fősztályvezető

KÜLFÖLDI HÍREK

Amerikai kölcsön az algériai olajvállalatnak

Az amerikai Eximbank véglegesen jóváhagyta az algériai Sonatrach állami kőolaj- és földgázvállalatnak nyújtandó 315,5 millió dolláros, évi 8,5 százalékos kamatú áruhitelt. Az összeg felhasználásával Algéria 418 millió dollárért vásárol földgáz-cseppfolyósító berendezéseket a Forster Wheelertől és más amerikai cégektől.

Világgazdaság, 1979. 180. sz.

Közös török—svéd szénhidrogén-kutatás

Egy török olajtársasággal kötött szerződés értelmében a svéd *Salen Energy* vállalat kőolaj után kutat az Iskenderuni-öböl térségében. A próbafúrások költségeit a svédok viselik, és siker esetén a kitermelt kőolaj egy része is őket illeti.

Világgazdaság, 1979. 184. sz.

Szegesi K.