

Az ötvenegyedik gázkitörés tanulságai, elméleti kérdései

The 51st blowout, the history, events, lessons and some theoretical issues

ID. ŐSZ ÁRPÁD

aranyokleveles olajmérnök, menedzser szakmérnök



A történelmi Magyarország területén összesen 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörés következett be. Az első Kissármáson következett be 1909. április 22-től 1911. július 30-ig, több mint 27 hónapon keresztül tartott, és napi 864 000 m³ tiszta metángáz távozott a levegőbe. Az utolsó Szadán volt 2008. június 20. és július 13-a között, és több mint 100 millió forintos kár keletkezett. A Zsana-Észak-2 kutatófúrás kitörése az 51. volt, és 1979. január 24-től február 15-ig tartott.

A Duna-Tisza közén 1924 óta folyik – kisebb-nagyobb megszakításokkal – szénhidrogén-kutatói tevékenység. A Hungarian Oil Syndicate, Ltd. két eredménytelen dunántúli (Budafapuszta és Kurd) fúrás után mélyítette le a Baja-1 kutatófúrást. A hamarosan beköszöntött nagy gazdasági világválság azonban, egy időre mindennemű kutatást visszavetett. A Duna-Tisza köze három fő szénhidrogén-kutatói időszakára közül az elsőben nem, a másodikban kis készletű, míg a harmadikban országos viszonylatban is jelentős szénhidrogén-előfordulásokat fedeztek fel. A Duna-Tisza közén, Bács-Kiskun megyében, a 70-es évek második felében folyó szénhidrogén-kutató munka során végzett geofizikai (gravitációs és szeizmikus) mérések alapján, kettős szeizmikus kiemelkedés rajzolódott ki Zsana községtől északra. Az egyik szeizmikus kiemelkedésre a Zsana-Észak-1 fúrástól délkeletre tűzték ki a Zsana-Észak-2 jelű kutatófúrást. A fúrás mélyítése 1825 m-ig zavartalanul történt, amikor a magfúrásra történő kiépítés közben gázkitörés következett be, és a kitörő gáz begyulladt. A tűz eloltásához és kitörés felszámolásához az OKGT teljes kitöréselhárítási mentőszervezetének, a társvállalatok, a közigazgatásilag illetékes szervezetek, az országos hatóságok és intézmények, valamint a karhatalmi erők segítségét is igénybe kellett venni. A megsérült és kiegészítő kiegészítők sikeres eltávolítását szovjet és magyar tűzérési katonai alakulatok önjáró ágyútarack- és harcokcsilövedékekkel hajtották végre. A tűz eloltásához a hagyományos tűzoltókészülékeken felül két turboreaktív oltógépet (ZIL-131-alvázra szerelt MIG-15 VK-1-RD-4 sugárhajtómű) is felhasználtak. A tűz eloltását és a kitörés felszámolását követően, az utólagos munkálatok befejezése után a kutató gáztermelővé képezték ki, amely 1992-ig termelt, majd átképezték azt föld alatti gáztároló kúttá, és ez a mai napig is így funkcionál.

Ez a tanulmány az 51. gázkitörés történetét, eseményeit, tanulságait, néhány elméleti kérdését foglalja össze.

Kulcsszavak: Zsana, gázkitörés

A total of 81 oil, natural gas, carbon dioxide, thermal water and steam eruptions have occurred in the historical territory of Hungary. The first one took place at Kissármás from 22 April 1909 to 30 July 1911, lasting for more than 27 months and releasing 864 000 m³ of pure methane gas per day. The last one was in Szada from 20 June to 13 July 2008, which caused a damage of more than 100 million forints. Zsana-North-2 well was the 51st to blow out, which lasted from 24 January to 15 February 1979.

Hydrocarbon exploration activities have been carried out in the Danube-Tisza area since 1924, with some interruptions. The Hungarian Oil Syndicate, Ltd. drilled Baja-1 exploration well after two unsuccessful wells in Transdanubia (Budafapuszta and Kurd). However, the Great Depression, which soon followed, put all explorations on hold for a time. Of the three main periods of hydrocarbon explorations in the Danube-Tisza area, the first one did not discover any hydrocarbon deposits, the second one discovered small deposits, whereas the third one discovered hydrocarbon deposits of national significance. Geophysical (gravity and seismic) measurements carried out in the second half of the 1970s during hydrocarbon exploration work in the Danube-Tisza area of Bács-Kiskun County revealed a double seismic outcrop north of the village of Zsana. One of the seismic protrusions was targeted by an exploration well, Zsana-North-1, located south-east of Zsana-North-2 well. The drilling of the borehole was undisturbed until 1825 m, when a gas eruption occurred during the construction of the core drilling and the erupted gas ignited. To extinguish the fire and clean up the outbreak, the assistance of the entire OKGT outbreak response rescue team, partner companies, administrative authorities, national authorities and institutions and that of the armed forces was required. The successful removal of the damaged and burnt-out breakout

preventers was carried out by Soviet and Hungarian artillery units with self-propelled artillery shells and tank shells. In addition to conventional fire extinguishers, two turbo-reactive extinguishers (MIG-15 VK-1-RD-4 jet engine mounted on a ZIL-131 chassis) were used to extinguish the fire. After the fire had been extinguished and the outbreak eliminated, the well was trained as a gas producer after the completion of the post-fire works. It produced gas until 1992, when it was converted into an underground gas storage well and continues to function as such today.

The general experience with the clean-up of the blow-out is as follows:

- The potential risk of blowouts exists from the start of deep drilling exploration until the completion of the final well clean-up.
- When the risk is present, the occurrence of blowouts is not necessary.
- It is important to prepare for the prevention and mitigation of blowouts.
- A well-trained eruption response organisation is necessary, both in theory and practice.
- It has been shown that the gas explosion could have been prevented or avoided with more careful pre-planning and preparation, by regular breakout prevention training for the drilling rig personnel, regular blowout prevention checks of the drilling rig, better instrumentation of the drilling rig and better situational awareness and more routine behaviour of the drilling personnel on duty at the time of the hazard.

This paper summarises the history, events, lessons learned, some theoretical issues and societal reactions to the gas explosion in Zsana.

Keywords: Zsana, blowout

1. Bevezetés

A Duna-Tisza közén a legrégebbi földtani térképezések és geofizikai mérések még nem szénhidrogén-kutatási céllal készültek, de eredményiek – amelyek a Geofizikai Intézet évi jelentéseiben találhatóak – jól felhasználhatók voltak a későbbi szénhidrogén-kutatásoknál. Ugyanígy a legrégebbi fúrások is az artézi víz feltárására mélyültek. Ezek földtani leírásai Halaváts Gyula munkáiban (1894, 1902) találhatóak meg. A területen 1924 óta folyik – kisebb-nagyobb megszakításokkal – szénhidrogén-kutatási tevékenység. A Hungarian Oil Syndicate, Ltd. két eredménytelen dunántúli (Budafapuszta és Kurd) fúrás után mélyítette le a Baja-1 kutatófúrást (1. kép). Figyelembe véve az akkori helyzetet (az előző két fúrás sikertelensége és

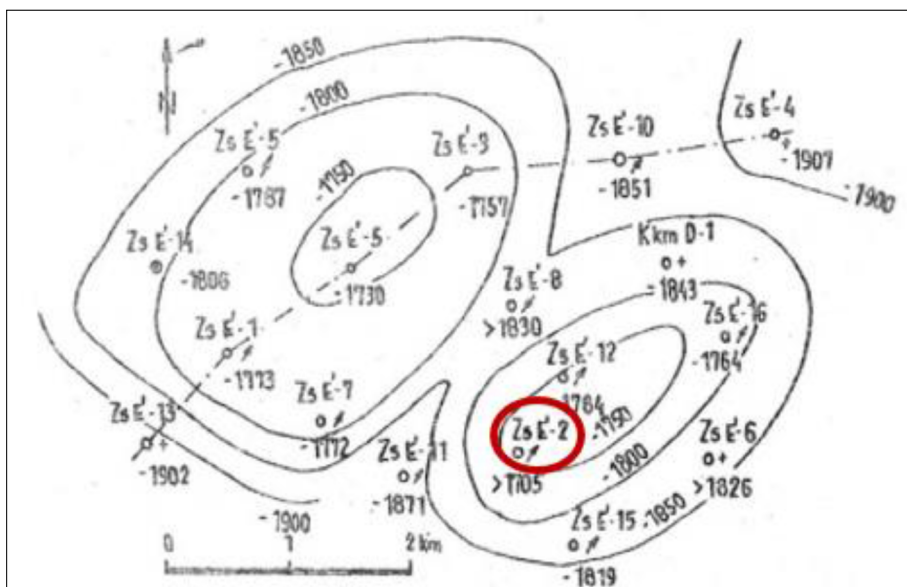
az akkori technikai színvonal) ehhez bizony nem kis bátorság kellett [1].

Annak ellenére, hogy a miocén korú konglomerátumban leállt fúrás szénhidrogénre meddőnek bizonyult, fontos földtani eredményeket szolgáltatott: első ízben furta át a pannóniai képződményeket, s érte el 100 m vastagságú, negyedidőszaki, 458 m felső-, illetve 135 m alsópannóniai összlet harántolása után 693 m-es mélységben annak fekvését. Az alatta települő miocén képződményeket is tekintélyes vastagságban (676 m) tárta fel, bár fekvésüket nem érte el az 1369 m-es talpig. A hamarosan beköszöntött nagy gazdasági világválság egy időre mindennemű kutatást visszavetett. A Duna-Tisza köze három fő szénhidrogén-kutatási időszaka közül az elsőben nem, a másodikban

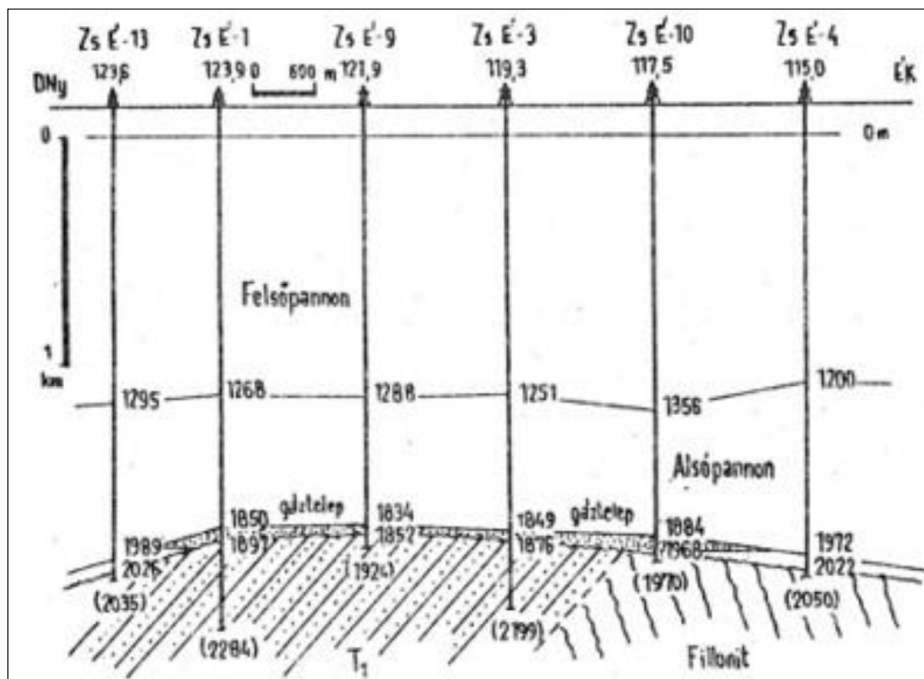
kis készletű, míg a harmadikban országos viszonylatban is jelentős szénhidrogén-előfordulásokat fedeztek fel. A Duna-Tisza közén, Bács-Kiskun megyében a 70-es évek második felében folyó szénhidrogén-kutató munka során Tázlár–Kiskunmajsa területéről délre születtek értékes kutatási eredmények. Ezek közé sorolható a Kiskunhalas-Északkelet (Kiha-ÉK) szénhidrogénmező megtalálása, továbbá a Harka és Eresztő környéki eredmények. A geofizikai (gravitációs és szeizmikus) mérések alapján kettős szeizmikus kiemelkedés rajzolódott ki az Eresztő-1 és a Kiskunmajsa-Dél-1 jelű fúrások között, Zsana községtől északra (1., 2. ábra).



1. kép. A Baja-1 szénhidrogén-kutató fúrás (1924)



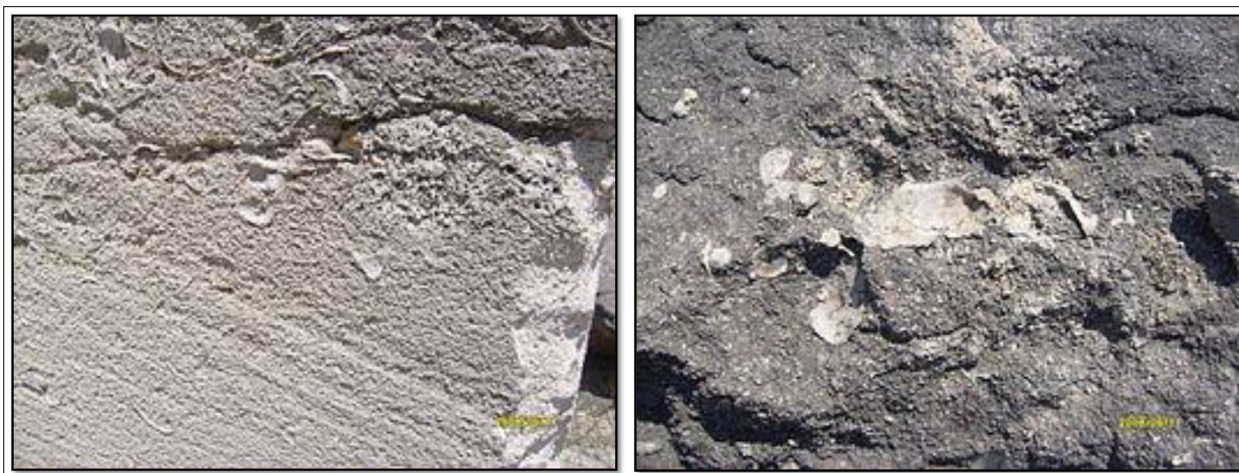
1. ábra. A Zsana-Észak szénhidrogénmező térképvázlata a neogénnél idősebb képződmények felszínének szintvonalaiival. Jelmagyarázat: o = olajnyom; o↑ = földgáztermelő; o+ = víztermelő



2. ábra. Földtani szelvény a Zsana-Észak földgáz-előforduláson át

1. táblázat. A Zsana-Észak-fúrások (kutak) fontosabb földtani adatai

Fúrás	FA	Q	L	Fp.	Ap.	Bdd.	Cr	T	Cr	Hegj.	Fúrás	FA	Q	L	Fp.	Ap.	Bdd.	Cr	T	Cr	Hegj.	
Zs E'-1	123,9	154	554	1268	1050	1897	-	(2284)		gáz	Zs E'-9	121,9	140	525	1288	1034	1852	-	(1924)		gáz	
Zs E'-2	119,8	260	530	1317	1019	(1825)				gáz	Zs E'-10	117,5	415	1356	1084	1968	-	-	(1970)		gáz	
Zs E'-3	119,3	150	400	1251	1849	1876	-	(2199)		gáz	Zs E'-11	119,6	90	360	1332	1915	1991	(2035)				gáz
Zs E'-4	115,0	153	400	1200	1972	2072	-	(2050)		víz	Zs E'-12	118,5			1297	1061	1902	-	(1995,5)		gáz	
Zs E'-5	124,1	155	669	1215	1899	1911	-	(1925)		gáz	Zs E'-13	123,6			1295	1989	2026	-	(2035)		víz	
Zs E'-6	120,1	200	813	1387	1921	(1946)				víz	Zs E'-14	125,9			1248	1899	1932	-	(1950)		olaj	
Zs E'-7	122,4	154	435	1275	1858	1894	-	(2000)		gáz	Zs E'-15	118,2			1368	1084	1937	(2000)				gáz
Zs E'-8	121,3	100	330	1200	1065	(1951)				gáz	Zs E'-16	117,0			1392	1081	-		(2100)		gáz	



2. kép. Lithothamniumos mészkő (balra), lithothamniumgumó a mészkőben (jobbra)

Az egyik szeizmikus kiemelkedésre telepített Zsana-Észak–1 jelű kutatófúrás mélyítése 1978. szeptember 9-én kezdődött, és a badeni rétegekből bőven termelő földgáztelepet talált lokális kőolajteleppel, amelynek lehatárolására és továbbfejlesztésére 1980-ig összesen 16 fúrás mélyült. Ebből 12 földgáztermelő, 3 víztermelő és 1 kőolajtermelő lett (1. táblázat) [2].

A szénhidrogénmező tárolóközete középső-miocén badeni lithothamniumos mészkő (CaCO_3), amely triász dolomittal ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) és homokkővel tartalmazó telepet alkot. (Megjegyzés: A Lithothamnium a vörösmozsarak közé tartozó mészmozsarak rendjének egy nemzetsége. Mész kiválasztó szerkezet, amely fonalakkal rögzül az aljzat kőzeteihez. Ez a mészkő a partszegélyű, illetve hullámveréses övben képződött az algagyep folyamatos növekedésével) (2. kép).

A földgáztelep gázának éghető része 87,5%, fűtőértéke $34,9 \text{ MJ/m}^3$, metántartalma (CH_4) = 82%, a szén-dioxid (CO_2) = 8,4%, a nitrogén (N_2) = 4,1%, a C_{5+} -tartalom = $39,8 \text{ g/m}^3$. A Zsana-Észak–14 kúttal feltárt szegélyi kőolajteleprész (olaj–víz–határ = OVH 1798 m tsza.) olaja paraffin-intermediertípusú, sűrűsége = $851,7 \text{ kg/m}^3$, kéntartalma (S) = 0,1%, oldottgáztartalma = $120,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$. A kezdeti földtani éghető földgázvagyron $6413,8$ millió m^3 volt, 1982–1992 közötti 10 évben összesen $4270,9$ millió m^3 földgázt termeltek ki, majd 1992-ben megkezdődtek a Zsana föld alatti gáztároló építési munkálatai. A tároló kezdeti kapacitása 600 millió m^3 volt, az első kitérőre 1996 novemberében került sor. Ekkor a tároló napi kitérőre 8 millió m^3 körül mozgott. Földtani adottságainak köszönhetően (mészraktároló) a zsanai tároló hazánk legrugalmasabb földgáztároló létesítménye. Az 1695–1780 m tengerszint alatti mélységben négy réteg vesz részt a földgáz tárolásában. A többlépcsős bővítés eredményeként 2008-ra a tároló kapacitása 1570 millió m^3 -re emelkedett 24 millió m^3/nap kitermelési és $10,2$ millió m^3/nap be-

tárolási csúcskapacitással. 2008 nyarán 32 milliárd forint összértékű beruházás keretében kezdődött meg a tároló további bővítése. A 2009 őszére befejeződött bővítésnek köszönhetően a tárolókapacitás 600 millió m^3 -rel bővült. Így immár a mobilgáz-kapacitása 2170 millió m^3 , a napi kitérőre 28 millió m^3 -re emelkedett. A betárolási kapacitás is jelentősen bővült, az új turbókompresszoroknak köszönhetően 17 millió m^3/nap ütemre. A szegélyi kőolajteleprész kezdeti földtani vagyona $98,1$ kilotonna, amelyből a rétegvizsgálaton kívül nem termeltek ki kőolajat [3, 4].

2. A Zsana-Észak–2 jelű fúrás kitérője

A másik szeizmikus kiemelkedésre a Zsana-Észak–1 fúrástól délkeletre tűzték ki a Zsana-Észak–2 jelű kutatófúrást (1. ábra). A közepnehéz, RD–46 jelű, Kaniža 250 típusú fűróárbocos Uralmas 5D típusú szovjet dízelmotoros fűróberendezés (3. kép) 1978. december 21-én költözött a fűrópontra, és 1978. december 24-én kezdte el a fűrólyuk mélyítését.

A fúrás mélyítése 1825 m-ig zavartalanul történt, amikor a fűrói adatok és a geológiai információk elemzése alapján megállapították, hogy a tárolóréteget (lithothamniumos mészkő) a geofizikai szeizmikus mérések alapján előre jelzett értékhez képest 40 m-rel feljebb érték el, és bele is fűrtak. Ezért $7''$ -es bélésű oszlop beépítése vált szükségessé, hogy annak védelmében $6''$ -es szelvényrel fűróják át a tárolóréteget. A $7''$ -es bélésű oszlop beépítése előtt – a bélésű palástcementezésének biztonságos elvégzése érdekében – a nyitott fűrólyuk talpára 1825 m-től 40 zsák cement felhasználásával egy cementdugót helyeztek el. Az eredetileg 1791 m-ig felért cementdugót 1810 m-ig fűrták ki a $7''$ -es bélésű oszlop előtt. A $7''$ -es bélésű oszlopot 1810 m-ig beépítették és elcimentezték. A cementezési művelet alatt teljes folyadékvesztés lépett fel, s így az 500 m mélységig



3. kép. Az RD-46 jelű fúróberendezés

tervezett cementpalásttetőt hőmérsékletmérés alapján 1460 m-ben találták.

A továbbfúrásra kiképzett lyukfejen az előírásoknak megfelelő szerelvény volt (4. kép):

- ❑ egy $9\frac{5}{8}'' \times 7'' \times 210$ bar nyomáshatárú hazai gyártású bélésű csőfej,
- ❑ egy $10'' \times 350$ bar üzemi nyomású Cameron (USA) gyártmányú „F” típusú egyes hidraulikusan működő kitorésgátló $3\frac{1}{2}''$ -es fúrócsőre záró betéttel,
- ❑ egy kétperemes közdarab, alul $10'' \times 350$ bar, fölül $8'' \times 210$ bar nyomáshatárú peremcsatlakozással,
- ❑ egy $8'' \times 210$ bar üzemi nyomású, román gyártmányú „PEOH” típusú kettős hidraulikusan működő kitorésgátló, alul $3\frac{1}{2}''$ -es fúrócsőre záró, fölül teljes szelvény zárására alkalmas záró betétekkel,
- ❑ egy, a lyukfejhez csatlakozó $3'' \times 210$ bar nyomáshatárú tolozárakból álló lefűtőrendszer, amelyhez az „F” típusú kitorésgátló mindkét oldalsó nyílásától bekötővezeték csatlakozott,

- ❑ egy, a fúrólyuk töltésére szolgáló vezetékrendszer, amely a lefűtőrendszerből indult ki.

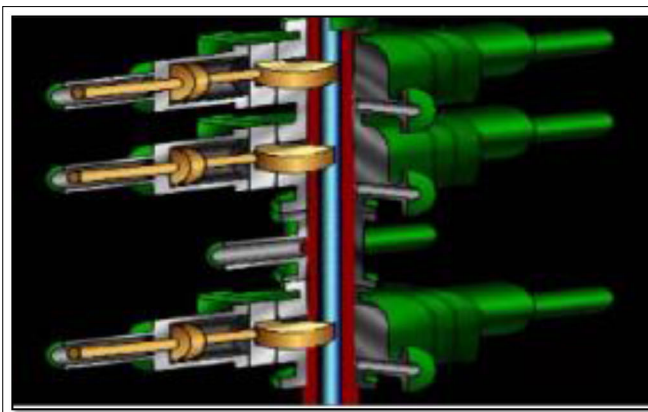
A lyukfejszerelvény és a lefűtőrendszer a továbbfúrás megindulása előtt 180 bar próbanyomással zárt.

Cementfúrásra beépítették a 6"-es teljes szelvényű görgős fúrot, öblítőfolyadékknak vizet használva kifúrták a cementdugókat az 1825 m-es eredeti talpmélységig. A fúrólyukban lévő vizet kicserélték $1,21 \text{ kg/dm}^3$ sűrűségű öblítőiszapra, amellyel átöblítették a fúrólyukat. A terv szerint magfúrást kellett végezni, ezért az öblítés befejezése után megkezdték a fúrószár (fúró, súlyosbító, fúrócső) kiépítését. A fúrószár kiépí-

tése közben – a fúrési mélység pontosítása céljából – ellenőrző csömérést végeztek, amely lelassította a kiépítést. A 4–5 csőszakat (egy csőszakat 3 db fúrócső vagy súlyosbító ~ 100 – 135 m hosszú) kiépítése után rendszeresen fúrólyukfeltöltést végeztek.

3. A kitorés kialakulása

Kiépítés közben 1979. január 24-én éjjel 1 órakor már csak 4 rakat (~ 120 m) $4\frac{3}{4}''$ -es súlyosbító és a 6"-es görgős fúró volt a fúrólyukban, amikor váratlan és jelentős mértékű túlfolyás mutatkozott a fúrólyukszájánál. A túlfolyás jelentkezése után néhány másodperccel az egyre fokozódó kiáramlás és gáznyomás a 12 darab súlyosbítóból álló súlyosbítóoszlopot a fúrólyukból kidobta. A fúróárbc koronacsigaszorának magasságáig (41 m) felrepülő súlyosbítók meghajoltak, és darabokra törve ráhullottak a fúróberendezés gépházára, azt összerombolták, és továbbgördültek a meghajtó fúrómotorok (hajtógépek) és az öblítőszivattyúk közé. A munkapadon dolgozó fúrési személyzet eközben saját élete védelme érdekében elmenekült



4. kép. Kitorésgátlók (balra), lefűtőrendszer (jobbra)



5. kép. Az oldalirányú lángcsóva

a munkapadról, azonban a fúróárboc kapcsolóállásában (28 m) tartózkodó munkás a helyét a fúrólyukból kiáramló függőleges gázsugár miatt már nem tudta elhagyni. A lélekjelenlétét visszanyert fúrómester úgy döntött – helyesen –, hogy a felfelé áramló gázsugarat azonnal meg kell szüntetni, ehhez azonban a román gyártmányú „PEOH” kitörésgátló teljes szelvényt elzáró betéteit be kellett csuknia. A fúrómester tudatában volt annak, hogy a fagyveszélyre való tekintettel a lefűtatórendszernek a fáklya és a tartályrendszer felé menő tolózárvai nincsenek nyitva, ezért utasítást adott munkatársainak a lefűtató vezeték tolózárvainak kinyitására. Azonban a kialakult pánikhelyzetben korábban zárta be a kitörésgátlót, mintsem a fáklyavezeték tolózárvát kinyitották volna. Így a kitörésgátló telezáró betéteinek becsukódásakor a felfelé áramló fluidum (gáz) fluidumütése leszakította a lyuktöltő vezeték részét képező tömlőt, és az így már a szabadba váló csonkon áramlott ki a gáz. Az oldalirányba kifúvó gáz azonnal elárasztotta a fúróberendezés közvetlen környezetét, és/vagy a tömlőleszakításnál keletkezett szikrától, vagy a meghajtómotorok kipufogójától begyulladt és a nagy sebességgel kiáramló gáz hatására hatalmas oldalirányú lángcsóva alakult ki (5. kép). A fúróberendezés dolgozói elmenekültek, és kapcsolóállásban lévő dolgozó is – kisebb égési sérülésekkel – a menekülőszánkóval sikeresen leereszkedett a fúróárboc kapcsolóállásából.

Ezzel bekövetkezett a történelmi Magyarország 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörései közül az 51. kitörés [5]!

4. A kitörés lehetséges okai

A kitörés lehetséges okainak vizsgálatát a Szolnoki Kerületi Bányaműszaki Felügyelőség már a kitörés-

elhárítás időszakában megkezdte. A kitörés vizsgálatának eredményeit és az elemzésének összefoglalását a Kőolaj- és Földgázbányászati Ipari Kutató Laboratórium (OGIL) szakemberei végezték el, bevonva a munkába az üzemek, vállalatok és az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt (OKGT) szakembereit is. Az összeállított tanulmány megállapításainak lényege az alábbiakban foglalható össze:

- ❑ A fúrószerszámnak – a cementdugó átfúrását követően – a fúrólyuk kondicionálása közbeni mozgatasakor kialakult pozitív nyomáshullámok olyan repesztő hatást fejtettek ki a lithothamniumos mészkőre, hogy az abban meglévő kőzetrepedések (2. kép) tovább nőttek, és folyadékelnyelés következett be.
- ❑ A folyadékelnyelés közvetlenül a fúrószár kiépítése előtt keletkezett, amikor a folyadékvesztés mértékét a még fenntartott öblítőkör következtében – a szívótartály szintjelző műszerének hiánya miatt – nem észlelték. Ugyanakkor a felrepesztett, jó átteresztőképességű és nagy gázhozamot biztosító tárolókőzetbe behatoló öblítőfolyadék helyére azzal azonos térfogatú, telepnyomású gáz lépett be, ezért az öblítőfolyadék vesztesége a felszínen nem is volt észlelhető.
- ❑ A fúrószár kiépítése során a fúrócsorakatok levétele utáni fúrószár-megemelés negatív nyomáshullám kialakulását eredményezte. Ennek hatására a tárolókőzetből telepnyomású gázdugók léptek be a lecsökkent nyomású fúrólyuk aljába. Ezek a gázdugók felfelé emelkedésük közben ugyan térfogatukat állandóan növelték, azonban az állandó öblítőfolyadék elnyelés következtében a gáz térfogatnövekedés okozta hatása a felszínen sokáig nem volt észlelhető. Eközben a fúrólyuk aljába belépett gázdugók egyre növekvő térfogata lecsökkentette a fúrólyuk öblítőfolyadék-oszlopának hidrosztatikus nyomását.
- ❑ A fúrószár kiépítése a csömérés miatt az átlagosnál hosszabb ideig tartott, ezalatt az öblítőfolyadék a negatív nyomáshullámok hatására folyamatosan átgázosodott. Ennek az átgázosodásnak és a gázdugók előresiklásának csak a kiépítés végső pillanataiban – éppen a nagy átmérőjű súlyosbítók kiépítésénél – lett a felszínen is észlelhető jele és öblítőfolyadék kilökő hatása.
- ❑ A fúrólyuk átgázosodásának elsődleges oka tehát a pozitív nyomáshullámok okozta kőzetfelrepedésben, a jó átteresztőképességű kőzetben lévő gáz nagy nyomásának, valamint a fúrószár-kiépítés munkafolyamatának negatív nyomást előidéző tulajdonságában keresendő.

- ❑ Az is igaz, hogy a csömérés miatt az átlagnál hosszabb idő alatt elvégzett fűrószár-kiépítés és a hazai fűrási műszerezettség elmaradása közvetett tényezőként hatott az öblítőfolyadék átágazódásának fokozódására és a jelenségnek észrevétlenül maradására.
- ❑ Az adott kőzetviszonyok, a telepnyomás, a réteg felrepedése és a negatív nyomáshullámok következtében kialakult gázdugók létrehozták ugyan az előjelek nélküli gázkifúvást, azonban annak gázkitöréssé való fokozódásában egy másodlagos ok játszott szerepet. Nevezetesen, hogy a lefűvató vezeték tolózárszárműveletének állapota a telezáró kitörésgátló betétek becsukásának pillanatában, amikor is a fluidumütés (gázütés) a lefűvatórendszerhez csatolt tömlő csatlakozásánál – mint a rendszer leggyengébb részénél – okozta a vezetékszakadást, illetve a gázkifúvás növekedését.
- ❑ A tűz kialakulása a gázkifúvás következménye, mivel akár a szikraképződés folytán, akár a még járó meghajtómotorok kipufogójától a robbanóképes metán–levegő keverék belobbant.

5. A kitörés felszámolása

Az eseményeknek a szolgálati és riasztási lánc útján történő bejelentését követően világossá vált, hogy a kitörés felszámolásának feladata meghaladja a Kőolaj- és Földgázbányászati Vállalat erejét. A kitörés felszámolásához az OKGT teljes kitörésselhárítási mentőszervezetének, a társvállalatok, a közigazgatásilag illetékes szervezetek, az országos hatóságok és intézmények, valamint a karhatalmi erők segítségét is igénybe kellett venni. A kialakult feladatok nagyságára jellemző volt, hogy a mentés műveleteinek irányítását az OKGT vezérigazgatója saját kezében tartotta, és távollétében a helyettesítésével a bányászati igazgatót



6. kép. A felfelé irányuló förláng és az oldalirányú láng

bízta meg. Mentési törzskart hoztak létre, amely esetenként vitatta meg a kialakult helyzetet, és határozott mind a távlati feladatokról, mind pedig a soron következő lépésekről. (Megjegyzés: A kitörésselhárítási munkákat csak napvilágnál lehet végezni).

A kialakult állapot első szemrevételezése során már látták, hogy a fűróárbc északkeleti része a tűz hatására megroggyant, ezért a fűróárbc azonnali és biztonságos ledöntését határozták el. A fűróárbc ledöntése után összességében legalább öt helyről kiinduló, egy erőteljesen felfelé irányuló, mintegy 30 m magasságú förláng és egy közel a talaj szintjén kiáramló, mintegy 30–40 m-es oldalirányú láng volt a jellemző (6. kép).

Elsőként a lángokon kívüli, a tűz miatt még megközelíthető gépegységek, tartályok, bódék, szerszámraktár, dízelmotorok, kitörésgátlót működtető egység és egyéb tárgyak eltávolítását végezték el (7. kép). A ledöntött fűróárbcot hegesztőpisztollyal elszállítható darabokra vágták és elhúzták. Ezt követően a fűróberendezés roncsait távolították el a tűzből. A hatalmas lángtenger rendkívüli hőterhelést jelentett a munkát végzők számára, védelmet az alumínium-pigmentes ruházat és az állandó vízpermet nyújtott, a kitörés hangterhelése elleni védelmet a különleges fültokkal kialakított védősisak biztosította.

A fűróberendezés roncsainak eltávolításával egyidejűleg végezték a hűtő- és oltóvíz biztosításának kiépítését: négy kis mélységű vízkút lefűrása, 150 m³-es fémtartály telepítése, 5000 m³-es földgödör kialakítása, nyolc szivattyúállomás telepítése a 2 km távolságra lévő nádas tavakhoz, 9 km 150 mm-es és 4 km 130 mm-es vízvezetékcső lefektetése és fagyvédelmének biztosítása, valamint nagyteljesítményű vízszivattyú telepítése a tűzoltóegységek vízellátására. (Megjegyzés: A kitörés felszámolása során az összes felhasznált víz mennyisége megközelítően 30 000 m³ volt). A roncsok eltávolítása során, január 27-én vált először megszemlélhetővé a kútakna és a lyukfejszerelvény,



7. kép. Fűróberendezés roncsainak eltávolítása



8. kép. Szovjet tüzerek (balra) és a 2SZ3 „Akacija” 152 mm-es önjáró ágyútarack (jobbra) Zsanán

és láthatóvá vált, hogy a béléscsőfej és a felette lévő kitörésgátlók a függőlegestől mintegy 30°-ra megdőlt helyzetben vannak. További izzó acéltárgyak eltakarítását követően a mentés irányítói megszemlélték a lyukfej környékét, és a szerteágazó lángcsóvák egy függőleges lánggá történő egyesítése érdekében, indokoltnak tartották a lezárt telezáróbetétes, román gyártmányú kitörésgátló ágyúlövéssel való eltávolítását. A szovjet tüzérségi alakulat 2SZ3 „Akacija” 152 mm-es önjáró ágyútarackkal (8. kép) a román gyártmányú kitörésgátló alatti 9⁵/₈"-es béléscsőközdarab alsó menetét egyetlen ágyúlövéssel úgy találta el, hogy a kitörésgátló a közdarabbal együtt az alsó peremből kiugrott, és a kútakna melletti betonlapra esett. Azonban nem alakult ki a várt – egyetlen, felfelé irányuló csóvából álló – tűzsugár.

Az oldalirányú láng megszüntetése érdekében elhatározták, hogy a lefűvató vezeték kitörésgátló melletti függőleges ágát eróziós csóvával levágják. A második kísérletre sikerült is levágni azt, és így kialakult a közel függőleges főláng (9. kép) mellett, attól 1,5 m távolságra egy kisméretű, de az is függőleges mellékláng. Az oldalirányú láng megszűnésével a fűrólyuk környékéről minden vastárgyat már el tudtak távolítani. Ezt követően két turboreaktív oltógéppel



9. kép. A közel függőleges lángoszlop



10. kép. A turboreaktív oltógép és tűzoltása



11. kép. Juhász „Juci” János ütegparancsnok (balra) és a kitörésgátló lelvő harcokcsi (jobbra)

(ZIL–131-alvázra szerelt MIG–15 VK-1-RD–4 sugárhajtómű) (10. kép) 7 perc alatt eloltották a lángokat, és már csak három vízágyúval nedvesítették folyamatosan a kitörő gázt.

Miután a még lyukfejen lévő alsó kitörésgátlót nem tudták teljesen kinyitni, megkísérelték azt a kitörésgátló alsó pereme köré tekert robbanóanyag-hurkával (7 kg plastik robbanóanyaggal) és 5 db páncélököllel lerobbantani. Az elvégzett két robbantás nem járt eredménnyel, azonban a művelet hatására a kitörő gáz ismételen meggyulladt. Az adott viszonyok között az amerikai gyártmányú kitörésgátlót a rögzítő csavarok megbontása révén nem lehetett eltávolítani,

így ismételen a katonasághoz fordultak. A MN8920-MN/MH Gábor Áron önjáró páncéltörő tüzérezred állományában lévő alakulat, Juhász „Juci” János hadnagy ütegparancsnok irányításával nehézgéppuska sorozatlövésekkel, továbbá harcokcsival 2 db 100 mm-es harctéri és 10 db páncéltörő gránát felhasználásával úgy lőtte le a kitörésgátlót a lyukfejről, hogy a bélésűcsőfej felső pereme nem sérült meg (11. kép).

A sikeres honvédségi műveletet követően már csak egyetlen közel függőleges gázoszlop égett a lyukfejen. A tűzoltóegységek hatalmas vízágyú megfelelő



12. kép. A bélésűcsőfej előkészítése



13. kép. A kitörésgátló beemelése és csatlakoztatása a bélésűcsőfejhez

előhűtés után összpontosított vízugarakkal február 11-én eloltották az összefüggő gázlángot, még mielőtt a két turboreaktív oltógép teljes erejű oltási működését elkezdte volna. Negyedórás intenzív utóhűtés után már csak biztonsági vízpermettel locsolták a gázugarat az újralobbanás elleni védekezésékként.

Ezt követően 1979. február 11. és 14. között végezték el azokat a munkákat, amelynek eredményeként a kitört fűrólyuk bélés-csőfeje felszerelték a fűrólyuk szabályozott lefűvátását, lezárását és egyensúlyának helyreállítását lehetővé tevő technikai rendszert. Elsőként leszerelték a $9\frac{5}{8}$ " \times 7"-es bélés-csőfejről a kettős töcsavaros peremet a fölötté lévő csonkkal együtt, amely a lelőtt kitörésgátló alsó peremének maradványa volt (12. kép). Közben előkészítették a Cameron gyártmányú (USA) „U” típusú 10" \times 350 bar nyomáshatárú kettős hidraulikus működtetésű kitörésgátlót, az alatta lévő bélés-csőfejre csatlakozó kétperemes közdarabbal. Kiepítették 4 db 50 m hosszú fáklyával ellátott lefűvató vezetéket, amelyek majd a felszerelendő kitörésgátló négy oldalsó tolózáraihoz csatlakoznak. Előkészítették a 350 bar nyomáshatárú cementező egységet és az ahhoz szükséges tolózárendszert. Ezek elvégzése után, az emelődaru segítségével megemelt, nyitott kitörésgátlót drótkötéllal végzett lefelé húzással ráillesztették a bélés-csőfej peremére, és az összekötő csavarokat nyomatékkulccsal meghúzták (13. kép), majd a kitörésgátlóhoz csatlakoztatták a lefűvató vezetékeket. Miután mindennel elkészültek, a mentési törzskar megvitatta a fűrólyuklezárás és a fűrólyukegyensúly helyreállításának menetét, annak veszélyforrásait és az elérhető eredményeket is. Az OKGT vezérigazgatója mint a kitörés elhárítási munkálatok vezetője megadta az engedélyt a műveletek végrehajtására.

A fűrólyuklezárás és fűrólyukegyensúly helyreállításának lépései:

- 1979. február 15-én 11 óra 33 perckor nyitott lefűvató tolózárak mellett távvezérléssel becsukták a kitörésgátló telezáró betéteit, a lyukfejen 50 bar nyomás volt,
- 11 óra 38 perckor két lefűvató vezetéket lezártak, a lyukfejen a nyomás 90 barra emelkedett,
- 11 óra 42 perckor lezárták a még két nyitott lefűvató vezetéket is, a lyukfejen 170 bar nyomás alakult ki,
- 11 óra 48 perckor 180 bar nyomással megkezdtek a víz benyomását a fűrólyukba, illetve a fűrólyukban lévő gáz visszasajtolását a rétegbe,
- 14 óra 10 perckor 100 m³ víz benyomása után a lyukfejen még 60 bar volt,
- 14 óra 10 perckor megkezdtek a 38 m³ 1,21 kg/dm³ sűrűségű öblítőfolyadék benyomását, a

lyukfejen lévő nyomás folyamatosan csökkent, majd 14 óra 28 perckor 0-ra csökkent,

- 14 óra 28 perckor a szivattyúzást leállították,
- 10 perc lyukfigyelést követően 14 óra 38 perckor még 1,5 m³ öblítőfolyadékot kellett benyomni a fűrólyuk teljes feltöltésére,
- 24 órás lyukfigyelést tartottak, a fűrólyuk teljes nyugalomban volt, azonban a kitörésgátlót még nem nyitották ki,
- a lyukfigyelés után a 200 zsák cementből készített cementtejet (1,84 kg/dm³) 38 m³ öblítőfolyadék utánnomásával bepréselték a tárolórétegbe,
- 24 órás cementkötési szünet után kinyitották a kitörésgátlót, és ezzel befejeződött a gázkitörés teljes felszámolása 1979. február 17-én 15 órakor.

Az utólagos munkálatok befejezése után a kutat gáztermelővé kiképezték, 1992-ig termelt, majd átképezték föld alatti gáztároló kúttá, és az a mai napig is így funkcionál.

6. A gázkitörés néhány elméleti kérdése

A gázkitörésekkel szembenező és gyakran életüket is kockáztató szakembereknél sokkal szerényebb, de szükséges erőfeszítéseket tettek azok is, akik a gázkitörést mint fizikai jelenséget vizsgálták íróasztalnál vagy laboratóriumban, numerikus vagy analóg szimulációval. Az elmélet és a tapasztalat mindkét pillérén kell nyugodnia a kitörésvédelem és elhárítás módszereinek. A felhalmozott tapasztalatokat csak akkor lehet kamatoztatni igazán hatékonyan, ha nem csupán mennyiségileg, hanem minőségileg is értékelhető adatok állnak rendelkezésre. Ilyen adatokat elsősorban a gázkitörések áramlástanai és termodinamikai tanulmányozása szolgáltathat. A kitört fűrólyukra vagy kútra vonatkozóan a lehető legpontosabban meg kell határozni azok állapotát jellemző áramlási-hidraulikai paramétereket, mint például a kilépő fluidum mennyisége, minősége, a kilépő anyagáram nyomása, hőmérséklete, sebessége stb. A belobbant kitörés esetén a „lángelfűvás” optimális technológiai paraméterinek lehető legpontosabb meghatározása is fontos. Azaz, hogy milyen erővel (sebességgel), milyen mennyiséggel, milyen irányból (szögből) kell az elfűvó sugarat beszabályozni. Továbbá milyen besajtolási ütemmel, milyen anyagot kell a kilépő gáz anyagáramába beadagolni a lyuktalp vagy kúttalp körüli zónába ahhoz, hogy a kitörés mértéke csökkenjen. Nem elhanyagolható, hogy milyen erőhatásokkal kell számolni a felszínről történő egyensúly-helyreállítási műveletek során az ellenőrizhetetlenül kilépő fluidumáramot illetően. Azonban a Zsana-Észak-2 fűrás kitöréséig (1979) átfogó elméleti anyag nem állt rendelkezésre, csupán néhány rész kérdéssel foglalkoztak. Egy

1989-ben készült doktori disszertáció foglalta össze a gázkitörések áramlástanai és termodinamikai elméleti kérdéseit, valamint számítási módszereit [6, 7]. Eből – a részletes levezetések mellőzésével – érdemes kiemelni néhány gázkitöréssel kapcsolatos elméleti kérdést. A gázkitörés paramétereinek és számításainak ismeretében lehetőség nyílik arra, hogy a tűzoltás és/vagy a fűrólyukegyensúly-helyreállítás legkedvezőbb technológiája viszonylag nagy megbízhatósággal előre meghatározható legyen, lerövidítve ezzel kitöréshárítás időtartamát, ami a kitörések esetében rendkívüli költség- és kárkímélő kihatással jár.

7. Fluidumütés

Fluidumütés vagy hidraulikus sokk egy jellemzően csővezetékrendszerekben, fűrólyukokban vagy fluidumtermelő kutakban fellépő, rendkívül veszélyes áramlási jelenség. Ha a csővezetékben, a fűrólyukban vagy a termelő kútban áramló fluidum sebessége hirtelen megváltozik vagy teljesen megszűnik, egy nyomásütés keletkezik. Ez a nyomásütés jóval magasabb is lehet, mint a rendszer üzemnyomása, és leg súlyosabb esetben a cső vagy a csatlakozó csőszervevények (kútfej szerelvények, kitörésgátlók, tolózárok, szelepek, csőperemek, vezetékek, tömlők stb.) törését vagy leszakadását okozhatja. Az összenyomható fluidum (gáz) hirtelen (gyors) zárásakor a fluidum nyomásprofilja az Allievi–Zsukovszkij-egyenlet alapján számítható. Így az azonnali zárás („kemény zárás”) esetén a fluidumütés okozta maximális nyomásnövekedés mértéke:

$$\Delta p = \rho a \Delta v,$$

ahol

Δp – a nyomásnövekedés,

ρ – a gáz sűrűsége,

a – a gáz áramlási sebessége (hangsebesség),

Δv – a gáz sebességének megváltozása.

A fluidumlökés keletkezése nem kívánatos a szilárdsági-biztonsági problémák miatt, tehát a nagy sebességű gázáramlások tartományába eső vezetékeket úgy kell megtervezni, hogy azok a fluidumlökéseket elviseljék. Amennyiben erre nincs mód, akkor más műszaki megoldások alkalmazásával, például az anyagáram megosztásával (több lefűvató vezeték alkalmazása) vagy „puha zárással” kell törekedni ezen állapot elkerülésére.

8. Kiáramló gázmennyiség

A gázkitörés során kiáramló gázmennyiséget (anyagmennyiséget) szinte lehetetlen mérni, azonban ennek számítására szolgáló összefüggés a viszonylag jól mérhető anyagminőség (gázminőség) és hőmérséklet

ismeretében lehetőséget ad a számítás elvégzésére:

$$m = \delta A R \rho_0 T_0,$$

ahol

m – az áramló gáz anyagmennyisége,

δ – anyagminőségtől függő állandó,

A – az áramló gáz rendelkezésére álló felület,

R – Reynolds-szám,

ρ_0 – az áramló gáz sűrűsége,

T_0 – a lyukszájon lévő hőmérséklet.

9. Áramlás közben kialakuló nyomás

A kitörés során a fűrólyukban vagy a béléscsőben felfelé áramló gáz áramlása turbulens. Nagy sebességű áramlás esetén a súrlódási nyomásvesztés a Mach-számtól függ és nem a Reynolds-számtól. Egy Z mélységben kialakuló nyomás az alábbi egyenletből számítható:

$$p = p_0 + \rho g Z + \Delta p,$$

ahol

p – a Z mélységben kialakuló nyomás,

p_0 – a nyugalmi állapotbeli nyomás,

ρ – a gáz sűrűsége,

g – a nehézségi gyorsulás,

Z – a tetszőleges mélység,

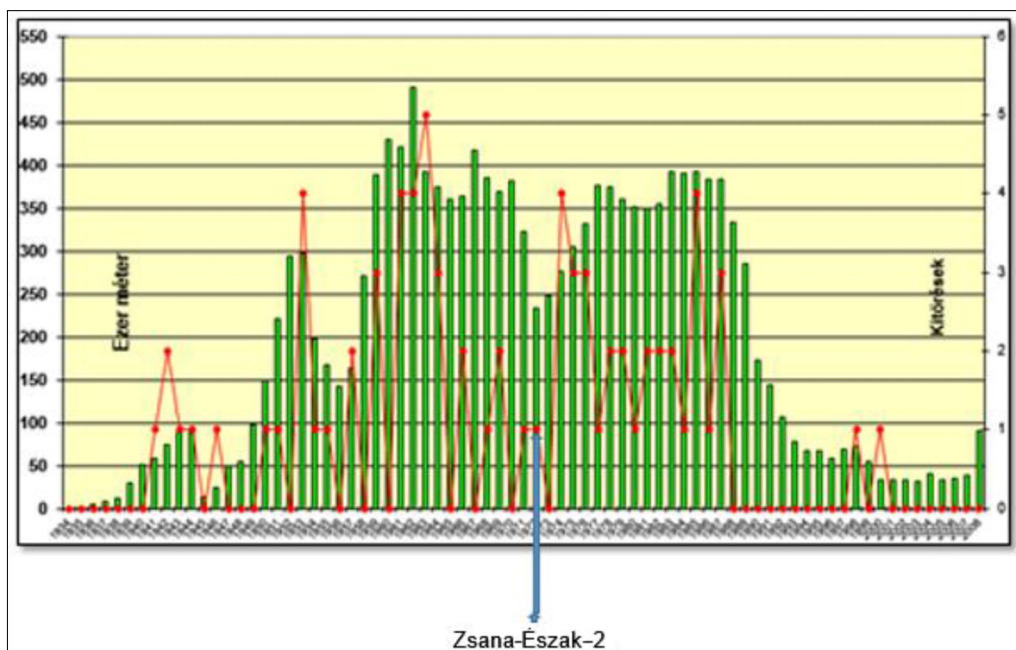
Δp – a súrlódási nyomásvesztés.

10. Felfelé áramló gáz sebessége

Amikor a gáz a fűrólyuk nagyobb mélységű szakaszában áramlik, természetesen még kevésbé expandált, a keresztmetszet-minimumokhoz a hangsebességet még nem elérő sebességmaximumok tartoznak. Minden egyes helyi sebességmaximum egyre nagyobb lesz, ahogyan a lyukfej felé halad a gázáram. Az áramlási sebesség a fűrólyuk bármely keresztmetszetében szubszonikus (hangsebesség alatti) marad, csupán a fűrólyuk szabadba kiömlő végén éri el a helyi hangsebességet, ha a környezet nyomása megfelelően alacsony. A gáz csak akkor áramolhat a fűrólyukban a hangnál nagyobb sebességgel, ha már a belépő keresztmetszetben is szuperszonikus (hangsebesség feletti) az áramlás. Nagy nyomású telepek kitörése esetén ez az állapot bekövetkezhet, azonban a szuperszonikus áramlásban a sebesség monoton csökken az áramlás irányába.

11. Gázdinamikai kritikus állapot

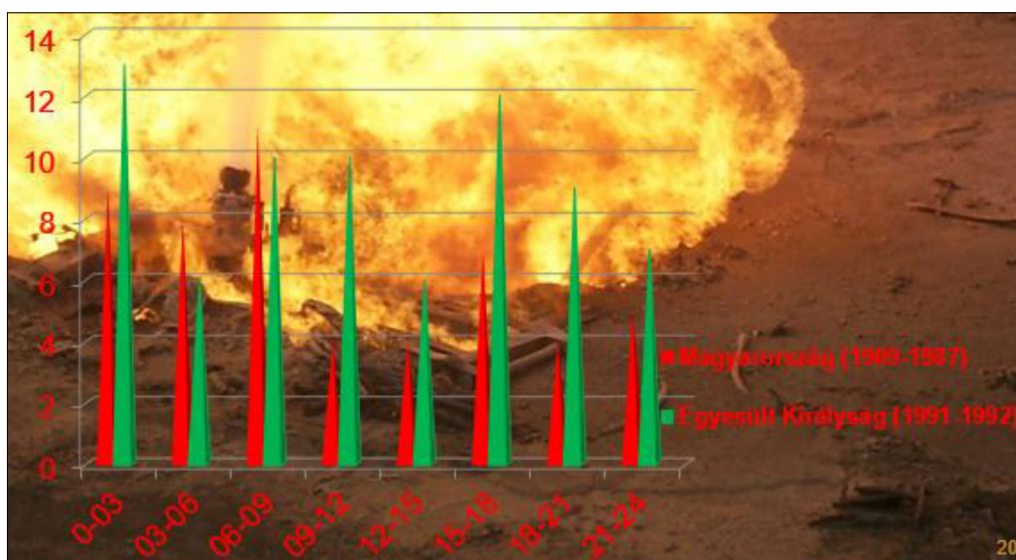
A gázdinamikai kritikus állapot azt a különleges állapotot jelenti, amikor a gáz áramlási sebessége eléri a helyi hangsebességet, azaz a Mach-szám 1 lesz. A gázdinamikában a kritikus elnevezés a hangsebesség alatti (szubszonikus) és a hangsebesség feletti (szuperszonikus) formákat választja külön. A kriti-



3. ábra. Évenkénti lefúrt méterek és kitörések száma (1935–2008). Évenkénti lefúrt méter: zöld oszlopok, ezer méter/év, balra; évenkénti kitörések száma: piros körök, jobbra

kus hangsebesség függ a fúróluk tulajdonságaitól, a nagyobb mélységű, nagyobb nyomású és magasabb hőmérsékletű tárolóból kitörő gáz kritikus sebessége is nagyobb. A kritikus állapotbeli hőmérséklet kisebb a fúróluk állapotbeli hőmérsékletnél, és erre a hőmérsékletre hűl le a lyukfejen kiömlő gáz. A lehűlés oka tehát nem a hőcsere, hanem a kritikus állapot eléréséig tartó expanzió. A nagy sebességű gázáram a lyukfejen kritikus nyomáson távozik, s ez a tárolóbeli nyomásnak (rétegnomásnak) megközelítőleg a fele is lehet. A kilépő gáz sugar kritikus sűrűsége jóval nagyobb az atmoszferikus levegő sűrűségénél, következésképpen a törésmutatója is erősen eltér a levegőjétől. Így a gáz sugar kontúrja mindig jól észlel-

hető, azaz fényképezhető (12., 13. kép), és ez a tény igen hasznos információk kiindulópontja. A gyakorlat számára igen fontos tény, hogy a hőmérséklet ismeretében meghatározható a lyukfejen kilépő gáz kritikus hangsebességértéke. Ez azért lényeges, mert a víz gázáramba történő porlasztásával a kilépési ponton a gáz sebességét csökkenteni lehet, és így a kitört fúróluk egyensúly-helyreállításának lehetőségei javulhatnak. A víz beporlasztásával ugyanis a nagy sebességű áramlásban ködszerű áramlási kép alakítható ki. A nagy sebességű gázáramban így a vízcseppecskék mint egyfajta óriás molekulák viselkednek, azaz csökken a Reynolds-szám értéke, és így végső soron a hangsebesség által keltett hullámok értéke is.



4. ábra. A kitörések megoszlása napszakok szerint

12. Általános tapasztalatok

A történelmi Magyarország területén összesen 81 kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörés következett be. Az első Kissármáson volt 1909. április 22-től 1911. július 30-ig, több mint 27 hónapon keresztül tartott, és napi 864 000 m³ tiszta metángáz távozott a levegőbe. Az utolsó Szadán volt 2008. június 20. és július 13-a között, és több mint 100 millió forintos kár keletkezett. A Zsana-Észak-2 kutatófúrás kitörése az 51. eset volt, és 1979. január 24-től február 15-ig tartott. A kitörés felszámolása után az alábbi általános tapasztalatok mondhatók el [8, 9]:

- ❑ A kitörések potenciális veszélye a mélyfúrások kutatás kezdetétől a végleges kútfelszámolás befejezéséig fennáll.
- ❑ A veszély fennállása mellett a kitörések bekövetkezése nem törvénytörés.
- ❑ Fontos a kitörés megelőzésére és elhárítására történő felkészülés.
- ❑ Szükséges az elméletben és gyakorlatban is jól kiképzett kitörésselhárítási szervezet.
- ❑ Bebizonyosodott, hogy
 - a gondosabb előtervezéssel és előkészítéssel,
 - a fűróberendezés személyzetének rendszeres kitörésmegelőzési oktatásával,
 - a fűróberendezés rendszeres kitörésmegelőzési ellenőrzésével,
 - a fűróberendezés jobb műszerezettségével és
 - a veszély pillanatában szolgálatot teljesítő fűrási személyzet helyesebb helyzetfelismerésével és rutinosabb magatartásávalmegelőzhető vagy megakadályozható lett volna a gázkitörés.

Ha átnézzük az évenkénti lefűrt métert és a kitörések számát, azt látjuk, hogy a lefűrt méterek növekedését – egy kis csúszással – követte a kitörések számának növekedése. Ennek oka az volt, hogy a mérteljesítmény növekedését a fűróberendezések számának növelésével érték el, így az újonnan munkába állított fűróberendezések új személyzete nem volt eléggé kiképezve sem elméletben, sem pedig gyakorlatban. Sőt, ezeket a nem megfelelően kiképzett fűrási személyzeteket vitték a kutatófúrásokhoz is, ahol a kitörések potenciális veszélye nagyobb. Ez volt jellemző a Zsana-Észak-2 gázkitörésének esetére is.

Az 1970–1980-as években a folyamatosan dolgozó fűróberendezéseknél a fűrási személyzet három műszakban dolgozott: a délelőtti műszak 6 órától 14 óráig, a délutáni műszak 14 órától 22 óráig és az éjszakai műszak 22 órától 6 óráig. Ha napszakonként tekintjük át a Magyarországon bekövetkezett kitöréseket, akkor az látható, hogy a legtöbb kitörés 0 és 3 óra, 6 és 9 óra, valamint 15 és 18 óra között történt (4. ábra). Tehát a műszakváltást követő nagy lendülettel, fegyellemmel és figyelemmel megkezdett munka után néhány órával már csökkent a lendület, a fegyelem és a figyelem is. Ebben közrejátszott az éjszaka, a fokozódó fáradtság, a vacsorázás–reggelizés–ebédelés utáni ellanyhulás, elálmosodás, valamint esetenként a nem megfelelő műszakátadás is. Ez alól nem volt kivétel a Zsana-Észak-2 fűrás sem, ahol éjjel 1 órakor következett be a gázkitörés.

IRODALOM

- [1] Erdélyi Á. (1988): A Duna-Tisza közti szénhidrogén-kutatások története. Földtani Kutatás, XXXI/1, Budapest.
- [2] Kőrössy L. (1992): A Duna-Tisza-köze kőolaj- és földgázkutatásának földtani eredményei. Általános Földtani Szemle, 26, 3–126., Budapest.
- [3] Babinszki Edit és mtsai (2018): Szénhidrogének Magyarországon. Eredmények, lehetőségek. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest.
- [4] Magyar Földgáztároló Zrt. (MFGT) (2023): Gáztárolók. Budapest.
- [5] Buda E. (2001): A magyarországi kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, hévíz- és gőzkitörések eseteiről (1909–2000). Nagykanizsa.
- [6] Csákos D. (1989. május): Gázkitörések áramlási és termodinamikai vizsgálata. 1. Modellezés, megfontolások. BKL Kőolaj és Földgáz 22, 122/5.
- [7] Csákos D. (1989. június): Gázkitörések áramlási és termodinamikai vizsgálata. 2. Számítási módszer. BKL Kőolaj és Földgáz 22, 122/6.
- [8] Buda E., Götz T., id. Ösz Á. (2004. szeptember-október): A magyarországi kőolaj-, földgáz-, szén-dioxid-, gőz- és forróvíz-kitörések elhárításának története 1909–2000 között. BKL Kőolaj és Földgáz 37, 137/9–10.
- [9] id. Ösz Á., Galicz G. (2009): Száz év kitörései. Kitörésvédelmi és elhárítási konferencia, Szolnok, 2009. szeptember 8–9.