

# Kőzet- és gázkitörésekkel kapcsolatos kutatásaim háttere

DR. SOMOSVÁRI ZSOLT

aranyokleveles bányamérnök, professzor emeritus, a műszaki tudomány doktora

## 1. Kezdetek

1964 tavaszi félévét IV. éves bányamérnök hallgatóként a Pécs-komlói szénbányászatnál Kossuthaknán töltöttem. Ekkor megismerkedtem közelebb-ről a súlytőlégveszélyes, kőzet- és gázkitörés veszélyes szénbányászattal, ahová aztán életem során – különböző témákban – gyakran visszajártam. Zobák-bányán 1964-ben kezdődött a termelés és 2000-ben fejeződött be. Kossuth bányával a föld alatt összeköttetésben állt Zobák-bánya, ott is többször jártam 1964-ben. Komlón laktunk a füves focipálya szomszédságában épült új munkásszállóban. Akkoriban a bányászatnak köszönhetően a város gazdagnak számított, NB I-es focicsapata is volt. Estéknként az éttermek, kocsmák tele voltak, köszönhetően a sok fiatal lakosnak, köztük számos bányamérnöknek.

1965-ben végzett bányamérnökként az Egyetem ösztöndíjasaként a Bányaműveléstani Tanszékre kerültem (Tanszékvezető: Zambó János professzor). Lehetőségem volt választani a tanszéken oktatott témák közül, a kőzetmechanikát választottam. Richter Richárd nemzetközi híró professzor lett a témavezetőm, aki kijelölte számomra a „kőzetmozgások” témakör kutatását.

Egyetemi tanulmányaim során a kőzetmechanika főleg bányauregek (vágatok, fejtések) állékonyságával, biztosítás-igényével, és a biztosító szerkezetekkel foglalkozott az akkori ipari kívánalmaknak megfelelően. Hazánkban akkor még (1960-as évek) igen sok föld alatti bánya működött (Borsodi Szénbányák, Nógrádi Szénbányák, Tatabányai Szénbányák, Oroszlányi Szénbányák, Közép-dunántúli Szénbányák, Mecseki Szénbányák, Mecseki Ércbányák, Bakonyi Bauxitbányák, Országos Érc- és Ásványbányák). Később mindegyik vállalatnál jó néhányszor szakérttettem különböző kőzetmechanikai-geomechanikai témákban.

A kőzetmozgás téma hazánkban és külföldön is a bányamérésstanhoz kötődött, mert főleg a felszínmozgások geodéziai méréseiből és azok kiértékeléséből állt. 1965-ben Dr. Martos Ferenc „Bányakártan” címen egy kitűnő jegyzetet jelentetett meg, amely nagyon jól összefoglalta az addigi kutatási eredményeket. Richter professzor szerint viszont a kőzetmozgások, kőzetdeformációk a kőzetmechanika egy területe és ezt kőzetmechanikai alapokon kellene tárgyalni. Ez lesz az én feladatomban. Szerencsére hamar ráéreztem a témára, mert 1967-ben doktori, 1974-ben kandidátusi, majd 1987-ben akadémiai

doktori disszertációt védhettem meg ebben a témakörben. Ez volt az egyik fő kutatási területem, de most egy másikról fogok bővebben szólni.

1969. december 1-én Zobák-szállítóakna továbbmélyítése közben a IV. szint alatt bekövetkezett a szénbányák egyik legnagyobb kőzet- és gázkitörése, amely ledöbbsentette a magyar bányász társadalmat. A kitörés körülményeinek vizsgálatát Richter professzorra bízta, így én is mint a professzor tanársegédje, kaptam a vizsgálatban néhány feladatot. Az egyik feladatomban az volt, hogy a kitörés hatására kiszakadt, eldeformálódott aknavasak alapján állapítsam meg a kitörés mechanikai energiáját.

Ehhez először is fel kellett mérni az eldeformálódott aknavasakat, amelyeket az akna közelében a III. szinten tároltak. Fényképes dokumentációt akartam csinálni. Ennek érdekében Németh Alajos adjunktus kollégámmal megjelentünk Zobák-bánya akkori főmérnökénél. A főmérnök mondta, hogy vakus fényképfelvételről szó sem lehet, de le sem mehetünk a bányába, ezt a hatóság megtiltotta. Nem hagytuk magunkat kidobni, néhány telefon után lekísértek a bányába. Ott sötétben fényképeztünk úgy, hogy hosszú expozíciós idő mellett három bányászlámpával pásztáztuk az aknavasakat. Nem hittem volna, hogy ezek a felvételek sikerülnek, de – hála Laja szakértelmének, aki fotólaboratóriumukban maga hívta elő a felvételeket és készítette el a fényképeket – sikerültek.

A kitörés mechanikai energiáját illetően eredményre jutottam. Ez a szám bekerült a vizsgálati jegyzőkönyvünkbe, majd a későbbiekben megjelenő – Szirtes: Szén-gázkitörések leküzdése – könyvbe is.

Egyetemi tanulmányaim során a kőzet- és gázkitörésekről keveset hallottam, itt szembesültem először vele, hogy milyen pusztító jelenségről van szó. A tragédiában összesen hét bányász veszítette életét. Körülbelül 1000 m<sup>3</sup> szén és trachidolerit kőzet (2200 t) került a 6,6 m átmérőjű aknába, és a talptól számítva 29 m magasságig feltöltötték a visszahulló kőzetdarabok az aknát. Mintegy 150 000 m<sup>3</sup> (68 m<sup>3</sup>/t) metán szabadult fel. A hatalmas mennyiségű kiáramló metángáz megfordította a bányában a légáram irányát és sújtólégrobbanást idézett elő. Az aknatalpon négy bányász, a bánya távolabbi részein három bányász veszítette életét.

Ekkor (1970) határoztam el, hogy elkezdek foglalkozni a kőzet- és gázkitörésekkel is, mert úgy láttam a jelenségnek köze van a kőzetmechanikához. Elkezdtem olvasgatni a rendelkezésre álló irodalmat

és azt tapasztaltam, hogy igen sok fizikai-kémiai tudást igénylő cikk jelenik meg a témakörben, így elkezdtem ezzel a területtel is foglalkozni. Az irodalom tanulmányozása mellett felvettem a kapcsolatot a Mecseki Szénbányák Kutatási Osztályával, ahol sok munkatárs, kémikusok, bányamérnökök foglalkoztak a kitorések elhárításának kérdéseivel. A kollégák önzetlenül voltak minden kérdésben a segítségemre. Legelőször a kitorések tapasztalati jellemzőivel igyekeztem megismerkedni. A tapasztalatok meggyőztek arról, hogy az okokat illetően közetmechanika nélkül nem lehet előre jutni.

Elősegítette a kitorések keletkezésére vonatkozó érdeklődésemet az is, hogy az 1970-es években sokszor megfordultam, mint szakértő, Pécsen a Mecseki Szénbányáknál különböző témakörökben. Mindig felhasználtam az alkalmat hogy a Kutatási Osztályon gyarapítsam a közet- és gázkitorések elleni védekezésben ismereteimet. Igen jó kapcsolatokat ápoltam a pécsi kollégákkal, köszönhető annak is, hogy hat évfolyamtársam ott dolgozott ebben az időben beosztott mérnökként. Egyébként bármilyen témában (közetmozgások = bányakárok, akna elferdülések, vágatbiztosítások, fejtésbiztosítás, közet- és gázkitorések) jelentem meg Pécsen, mindig Dr. Olmos Károly kitűnő bányamérnök osztályán kötöttem ki, aki adatokat tudott szolgáltatni részemre.

## 2. A közet- és gázkitorések fontosabb tapasztalati jellemzői

A közet- és gázkitorések fogalomkörébe az a fizikai jelenség tartozik, amikor a föld alatti bányauzemekben hirtelenül nagy mennyiségű közet és gáz kerül egyidejűleg a szabad bányatériségbe. A hirtelenül beáramló gáz lehet  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  a gázdús közet lehet szén, só, homokkő. Kutatásaim során olyan általános kitoréselméleten dolgoztam, amely magyarázza a szén-gáz kitorések mellett a homokkő-gáz, só-gázkitoréseket is, mert ilyenek is vannak.

A kitorések pár másodperctől pár percig tartó dinamikus jelenségek, amelyek erős ropogó, pattogó, morajló zaj kíséretében mennek végbe. A szénbányászásban a kitoréseknek általában előjelei vannak. Ezek: a közetnyomás hirtelen megnövekedése, a biztosítószerkezet nagyobb igénybevétele, pattogása, recsegése, a munkahelyi levegő gáztartalmának hirtelen megnövekedése, a vájvég kinyomódása, a közet pergése, pattogása; különböző zajok. A kitorések különböző helyzetű vágatokban, aknatalpon, széles- és keskenyhomlokú fejtéseken egyaránt előfordulnak. Közös jellemzője a kitoréseknek – néhány ritka kivételtől eltekintve – hogy mindig előrehaladó, „friss” közetomlokra jönnek létre. A kitorések után kitorési üreg, kürtő marad vissza, amely lehet állva maradt – vagy teljesen kitöltődött üreg, amely mint fellazult közetartomány észlelhető.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a kitorések a kisebb szilárdságú helyekhez, telepszakaszokhoz

kötődnek, ezzel összhangban a tektonikailag zavart geológiai zónák (vetők, gyűrődések stb.) megközelítésekor gyakoribbak a kitorések a szén- és sóbányászásban egyaránt. A tapasztalat továbbá azt is mutatja, hogy szilárdabb gázdús közet esetén csak nagyobb gáznyomás mellett jönnek létre kitorések, kisszilárdságú gáztároló közet esetén néhány bár gáznyomás is elegendő a kitorés keletkezéséhez. Szénbányászati tapasztalat szerint a telepek gáztartalma ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) önmagában nem határozza meg a kitorésveszélyt, sokszor a kisebb gáztartalmú telepekben gyakoribbak, ill. előfordul, hogy nagyobb gáztartalmú telepek kevésbé, vagy egyáltalán nem kitorésveszélyesek. A kitorésveszélyt a bekövetkezett kitorések intenzitásával, illetve gyakoriságával jellemezték.

A szénbányászásban megfigyelték azt is, hogy aknapillérekben ahol az áthárított feszültségek nagyobbak, gyakoribbak és nagyobb intenzitásúak a kitorések, mint a pilléren kívüli területeken. A sóbányászásban is megfigyelték, hogy a peremi területeken, ahol nagyobb az áthárított közetnyomás, gyakoribbak a kitorések. A tapasztalat azt mutatja, hogy általában fűrőlyukak nem idéznek elő kitoréseket, a lyukfúrás nem kitorésveszélyes művelet. Ez teszi lehetővé az olyan védekezési módszerek alkalmazását, amelyek lyukfúrással kezdődnek, mint a provokációs robbantás, hidraulikus teleproncsolás, telepátmedvesítés, hidraulikus anyagkivétel, nagyátmérőjű feszültségsökkentő előfúrás. Jellemző a kitorésveszélyre az is, hogy a különböző területeken az egyes védekezési módszerek nem egyforma eredményességgel alkalmazhatók. Pl. sok bányában a provokációs robbantás teljesen megbízható védekezési módszer, mert kitorésveszélyes körülmények között kiváltja a kitorést, ill. ha a provokációs robbantás hatására nem jön létre kitorés, akkor nem is kell arra számítani. Más bányáknál (ilyen a Mecseki Szénbányák is) viszont nagy számban előfordultak a provokációs robbantások után, késve jelentkező váratlan kitorések. A kitorések megismert tapasztalatait azt mutatták, hogy a közetmechanika nem nélkülözhető a kutatásban.

**1971-ben** megjelent Dr. Szirtes Lajos „Szén- és gázkitorések leküzdése” című kitűnő könyve. Szirtes a Mecseki Szénbányák Kutatási Osztályának vezetője volt, ahol sikeres kutatómunka folyt a kitorések elleni védekezés módjainak kidolgozásában. A Szirtes könyv foglalkozik a Franciaországban, Belgiumban, Lengyelországban, Szovjetunióban, Nagy-Britanniában, Bulgáriában, Romániában, Hollandiában, Jugoszláviában, Kanadában, Ausztráliában, Japánban, Magyarországon és egyéb helyeken bekövetkezett kitorésekkel. Ez a felsorolás mutatja, hogy annak idején világméretű problémáról volt szó. Hazánkban egyedül a mecseki szénbányászati szén-gázkitorésveszélyes. A nyugati országokban a leghatékonyabb védekezés az volt, hogy amint teheték a kitorésveszélyes bányákat bezárták.

### 3. A gáztárolás jellemzői

A kőzetek szilárd vázszerkezetének hézagai, pórusai többé-kevésbé összefüggő rendszert alkotnak. Kevés zárt pórus is van azonban a kőzetekben, ezért beszélhetünk abszolút porozitásról, amikor minden hézagot figyelembe veszünk és hatásos (effektív) porozitásról, amikor csak az összefüggő hézagokat vesszük figyelembe. A porozitás mérőszámai a hatásos porozitásra vonatkoznak. A hézagok, pórusok méretei tág határok között változnak, rezervoárméchanika megkülönböztet szuperkapilláris, kapilláris és szubkapilláris hézagokat. A szuper kapilláris hézagok átmérője 0,5 mm-nél nagyobb, a kapilláris hézagok átmérője 0,0002-0,5 mm, a szubkapilláris hézagok mérete  $2 \cdot 10^{-4}$  mm-nél kisebb. A szuper kapilláris és kapilláris hézagokban a folyadékok mozgásra képtelenek, csak a gázok tudnak ezekben a csatornáknak mozogni. A kőzeteket a pórusokon kívül kisebb-nagyobb méretű repedéshálózatok járják át. A gáztartalmú, gáz dús kőzetekben a gáz a kőzet pórusaiban és repedéshálózataiban egyrészt a pórusfalakhoz kötődve, másrészt a pórusokban szabadon helyezkedik el. A szénben elhelyezkedő gáz nagyobb része a szubkapilláris hézagok felületén fizikai adszorpció útján megkötődik, mert ezek a pórusok igen nagy fajlagos felületek. A szuper kapilláris pórusok fajlagos felülete összehasonlíthatatlanul kisebb a szubkapilláris pórusok fajlagos felületénél, ezért ezekben a pórusokban a gáz nagyobb részét szabadon helyezkedik el. A szenek pórusainak osztályozása – valószínűleg azért, mert a szerkezeti struktúrájának lényeges szerepet tulajdonítottak – árnyaltabb. A szén szerkezetének szerkezeti szempontból legkisebb részei a makromolekulák, amelynek ún. krisztallitokká csoportosulnak. A krisztallitok félig rendezett kötegei rendszertelen micellákat alkotnak. Ennek a szerkezetnek megfelelően a szén pórusainak méretei igen tág határok között változnak, a makro molekuláris méretű pórusoktól a makro pórusokig. A szenek  $10^{-5}$  mm-nél kisebb átmérőjű pórusait mikropórusoknak, a  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  mm átmérőjüket szub makropórusoknak, végül a  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  mm átmérőjüket makro pórusoknak nevezik. A 0,1 mm-nél nagyobb pórusok a szabad szemmel is látható pórusok. A mikropórusok óriási fajlagos felülete ( $100$ – $400$  m<sup>2</sup>/g) összehasonlíthatatlanul nagyobb a makropórusok fajlagos felületénél. Ez az óriási fajlagos felület teszi lehetővé az adszorptíve lekött nagy gázmennyiséget. A szenek mikro- és átmeneti, ill. szubkapilláris méretű pórusainak térfogata nem változik a kőzet rugalmas alakváltozásával, vagyis ezek a pórusok függetlenek a rugalmas alakváltozástól. Úgyisgint ezeknek a pórusoknak a szerepe a gázáteresztő képesség szempontjából elhanyagolható. A makropórusok és a szabad szemmel is látható pórusok, illetve a szuperkapilláris és a nagyobb kapilláris pórusok és a kőzetet behálózó repedésrendszerek határozzák meg a gázáteresztő képességet és a kőzet rugalmas alakváltozására kifejezetten érzékenyek. A kőzetek

rugalmas alakváltozása legnagyobb részét ezen hézagok és repedésrendszerek térfogatának rovására megy végbe. A kőzet alakváltozásával tehát a szóban forgó hézagokban elhelyezkedő szabad gáz térfogata, illetve állapota megváltozik. Nézetünk szerint a gáztároló kőzet szilárd vázszerkezete és a pórusokban helyet foglaló gáz teherviselő kőzet-gáz rendszert alkot, amelyben akár a szilárd fázist, akár a gáz fázis változása a másik fázisra is hatással van, a két fázis tehát egymással kölcsönhatásban van. A rendszert azért nevezzük teherviselőnek, hogy megkülönböztessük pl. a szilárd kőzetanyagok pneumatikus szállításakor jelenlevő kőzet-gáz rendszertől.

Azt már **1969-ben** láttam, hogy a kőzet-gázkitörések, a kőzet tönkremenetele, felaprózódása kőzetmechanikai folyamat kiegészülve a gáz oldallal. A vonatkozó irodalomban – nagy meglepetésemre – azonban ilyen irányú vizsgálatokkal – amihez csatlakozhattam volna – nem találkoztam. Hasonló volt a helyzet, mint **1965-ben** a kőzetmozgás témában. Így új úton kellett elindulnom a kutatásban.

A szénbányászatban a kitörések okait az irodalomban gáz oldalon igyekeztek megtalálni, sokan valamilyen gáztárolási anomáliában gondolták a kitörések okait. Tekintettel arra, hogy a szenekben, homokkövekben, sóban egészen másképpen tárolódik a gáz – az utóbbiakban alig van adszorptíve kötött gáz – úgy gondoltam, hogy a kitörés oka nem lehet az adszorptíve megkötött gáz, hanem csak a szabad pórusgáz. Az irodalomban viszont igen sokan a szén-gázkitöréseknél a lekött gázt tartották felelősnek.

### 4. Első találkozás a pórusnyomás hatásával

Más tématerületekkel is foglalkoznom kellett, igen sok ipari kutatási munkánk volt abban az időben. **1971-ben** a visontai külfejtés környezetében nagy kiterjedésű felszíni süllyedések jelentkeztek. Ezek a nagy területre kiterjedő felszínsüllyedések meglepetésként érték akkor a szakembereket. Természetesen a bányászat igyekezett elhárítani a keletkezett épületkárok felelősségét. Jött a felkérés a Tanszékre, hogy foglalkozzunk az ügygel. Az aláfejtések által előidézett felszínsüllyedések az én tématerületem volt. Ez a fajta talajsüllyedés ugyan más természetű volt, de nekem kellett foglalkozni vele.

Visonta környékén a külszín közeli széntelepek vízdús homokrétegek között helyezkednek el, vízutánpótlást a Mátra-hegységtől kapnak. A széntelepek lefejtése érdekében a rétegvizeket előbb le kell csapolni. A fúrólukak segítségével végzett vízkiemelés után lehet a bányaművelést elkezdni.

Ezeknek a felszínsüllyedéseknek alapvető oka a külfejtési technológia részeként alkalmazott elővíztelelítésrel együtt járó pórusvíznyomás csökkenése. A kőzet-víz rendszerben (rétegvíz-tároló) a fedőrétegek terhelését egyrészt a kőzet szilárd vázszerkezete veszi fel, másrészt a pórusvíz nyomása. A pórusvíznyomás csökkenése miatt a kőzet szilárd vázszerkezetére na-

gyobb terhelés hárul, ezért a víztároló kőzetréteg vázszerkezete összenyomódik, és ez felszínsüllyedésként jelenik meg. Kőzetmechanikai számítási modellt dolgoztam ki a vízszínsüllyedéssel okozott felszínsüllyedések számítására.

Talajmechanikai könyvek ugyan foglalkoztak a kérdéssel, de nem mechanikai alapon, hanem a kiemelt víz térfogata alapján számították a süllyedéseket. Ez a számítás csak homokrétégekre vonatkozott, nem volt elég általános, és nem volt képes visszaadni a süllyedés időfolyamatát sem. Ezért kellett új alapokon nyugvó számítási modellt kialakítani, amely az olaj és gáziparban is alkalmazható.

Ha az új számítási modell szerint jönnek létre a süllyedések, akkor az olaj- és gáztermelésnél előálló nagy pórusnyomás-csökkenés miatt is felszínsüllyedéseknek kell lejárásodniuk. A vonatkozó angol nyelvű irodalom hozza is ezeket a felszínsüllyedéseket. Inentől kezdve (1970-es évek eleje) ezek az ismeretek kőzet-víz, kőzet-gáz rendszer vizsgálata közelebb vittek a kőzet- és gázkitörések okainak megfejtéséhez.

Az általam kidolgozott számítási modell a külféjtéses szénbányászatot, mint károkozót tüntette föl. A külféjtéses szénbányászot akkori vezetője Budapesten végzett általános mérnök kieszközölte a nagy talajmechanika professzor, Kézdi Árpádnál, hogy opponálja a számítási modellt. Kézdi professzor, akadémikus több kitűnő talajmechanikai könyv szerzője volt, akit személyesen is ismertem. Szabó Imre akkori fiatal rámenős bányamérnök foglalkozott az ügygel. Ő felkereste Kézdi professzort – a kórházban – és átadta opponálásra a szakvéleményemet. Az eredmény – minden rendben volt.

Ezután megbízást kaptunk arra vonatkozóan, hogy milyen a talajsüllyedések időfolyamata, az egyes környező falvakban mikor kezdődik és fejeződik be a süllyedés, milyen maximális értékeket ér el. A feladatot sikeresen megoldottam, majd publikáltam is.

Elkezdtem komolyabban tanulmányozni a talajmechanikát (a talaj is kőzet), ahol sokat foglalkoznak a pórusvíznyomás, pórus levegőnyomás hatásaival. A pórusnyomás növekedése a kőzetszilárdság csökkenésével jár együtt és ez több talajmechanikai havária alapja. Miért?

A kőzetek szemcsés-porózus, repedezett anyagok, a kőszenek is. A szilárdság a szemek súrlódásából és tapadásából (kohézió) származik. Különböző nyomó igénybevételekkor a kőzet másképp tömörödik, másképp működik a súrlódás, ezért más-más szilárdságot mutat. A kőzet húzószilárdsága egytizede–egyhuszada a nyomószilárdságnak, mert húzáskor nem működik a súrlódásos mechanizmus. Amikor a kőzet pórusaiban növekvő víznyomás van jelen, akkor nő a szemek egymástól való távolsága, csökken a belső súrlódás, csökken a szilárdság. Ez a talajmechanikában számos káros jelenség alapja. A talajmechanikában a pórusvíz leggyakrabban homokrétégekben fordul elő. Homokrétégekben a pórusvíznyomás növekedhet egyrészt vízfeltöltődés hatására, másrészt pedig a víztároló réteg

összenyomódására. Mindkét esetben a szilárdságcsökkenés miatt haváriák, nagy tömegű földmozgások állhatnak elő. Ezeket a jelenségeket Kézdi Árpád által írt könyvek részletesen tárgyalják. Engem főleg az az eset érdekelt, amikor a réteg összenyomódásának hatására jön létre a pórusvíznyomás növekedése, a szilárdság csökkenése. Ezt a jelenséget aztán jól tudtam adaptálni a kőzet- és gázkitörések keletkezésére.

A kőzetek nyomószilárdságának változását leggyorsabban triaxiális kísérletekkel határozhatjuk meg. Itt érdemes megemlíteni, hogy a világon először hazánk fia, Kármán Tódor végzett 1911-ben carrarai márványon triaxiális nyomókísérleteket. Az 1960-as évektől kezdve már megjelentek angol nyelven olyan publikációk, amelyek olyan triaxiális nyomókísérletekről számolnak be, amelynél a pórusvíznyomás is változtatható volt a mintatestben. Ezek a vizsgálatok számszerűen kimutatták, hogy a pórusvíznyomás növekedésével a kőzetszilárdság jelentősen csökken szilárd kőzetek esetében is. Ezek az ismeretek számomra akkor újak voltak, mert egyetemi tanulmányaimban nem hallottam róluk.

Egyetemi tanulmányaim során sokat hallottam széles homlokú fejtések esetében az áthárított, illetve leháruló kőzetfeszültségekről. Ezt a jelenséget a bányaművelés kedvezően ki tudja használni. A nagy bányaművelés professzornak, Zambó Jánosnak, ez kedvenc tématerülete volt. Ő az akadémiai doktori disszertációját kőzetmechanikából írta. A tanszéken volt hová fordulnom ebben a tárgykörben. Sőt előadtam elképzelésemet is a kőzet- és gázkitörések keletkezéséről és tetszett az elgondolás Zambó professzornak, amely nagy lendületet adott a további munkához.

Az 1970-es években arra a megállapításra jutottam, hogy nem csak a fejtési homlok előtt van áthárított kőzetnyomás, hanem vágathomlok és aknatalep előtt is. Ez utóbbiakról tanulmányaim során nem volt szó, valószínűleg azért, mert ennek nem volt különösebb jelentősége a bányaművelésnél. Annál nagyobb a jelentősége viszont a kőzet- és gázkitörések keletkezésénél.

Elképzelésem az volt, hogy a vágathomlok, aknatalep, fejtési homlok előtti kőzettartomány összenyomottabb állapotban van, így ott a gáztároló kőzet pórusai szűkülnek, növekszik a pórusgáznyomás, ezért csökken a kőzetszilárdság. Ahol eleve kisebb a kőzetszilárdság ott egy hirtelen kőzet tönkremenetel jön elő és bekövetkezik a kőzet- és gázkitörés. Ezt a teóriát aztán 1979-ben egy pécsi nemzetközi szimpóziumon elő is adtam.

Úgy látszik, 1979-re kikerekedett az új kőzet- és gázkitörésmélet, mert egyetemi robbantástechnikai napokon „A provokációs robbantások kőzetmechanikai vizsgálatáról” tartottam előadást az új kőzet- és gázkitörésmélet alapján. Továbbá 1979-ben két tanulmányom is díjat nyert, az egyik „Új prognózis módszer kőzet- és gázkitörések alapvető okainak és feltárásainak alapján” (Országos bányabiztonság pályázat) a másik „A kőzet és gázkitörés veszély alapvető összefüggései” (akadémiai

kutatási pályázat). Ezután a témában számos publikáció jelent meg magyar és angol nyelven. **1980-ban** a Bányászati Lapok folyóiratban megjelent „Kőzet –és gázkitörések új elmélete” című három cikkből álló tanulmányom, amely nívódíjas lett.

Az új kitérőelméletet megerősítendő **1984-ben** mecseki szénmintákon a laboratóriumunkban gáznyomásos térben többször megismételve egytengelyű nyomószilárdság vizsgálatokat végeztünk 0, 3, 6, 9 bar gáznyomás mellett. A mecseki szén szilárdsága a gáznyomás növekedésével jelentősen csökkent, 9 bar-nál 30-50%-os volt a szilárdság csökkenése. A kísérletek arra is rámutattak, hogy a pórusnyomás növekedésével növekszik a szén összenyomhatósága. Ezek a kísérleti eredmények nagymértékben alátámasztották az új kitérőelméletet. Az irodalom arról nem szólt, hogy a gáznyomás növekedésével a közetszilárdság mellett a rugalmassági modulus is csökken, gázdús kőzet összenyomhatósága növekszik. Ez teljesen új eredmény volt és nagyon alátámasztotta az új kitérőelméletet. Hiszen a homlok előtti áthárított feszültségek tartományában a nagyobb pórusgáznyomású helyeken nagyobb összenyomódás következett be, amelynek eredményeként még nagyobb lett a pórusgáznyomás.

Érdemes megemlíteni, hogy a kísérleti berendezésünk egy talajmechanikai triaxiális berendezés volt, amit átalakítottunk. Víznyomás helyett levegőnyomás állt elő a triaxiális cellában egy kompresszor segítségével. A levegőnyomás állandó értéken tartása érdekében légkiegyenlítő tartályt iktattunk be. Németh Alajos érdeme volt a működő berendezés létrehozása.

Bányászati, fizikai-kémiai, termodinamikai, kőzetmechanikai, talajmechanikai ismereteimet összegezve tudtam megfogalmazni a gáztároló kőzet viselkedését mechanikai alakváltozásnál, majd megfejteti a kitérősek okait. Az első lépés a végcél felé a Visonta környéki rétegvízfeltelés okozta talajsüllyedések vizsgálata volt, mert ekkor talákoztam először a pórusnyomás változás okozta jelenséggel.

## 5. A gáztároló kőzet viselkedése mechanikai alakváltozásnál

A kőzetben elhelyezkedő szabad és kötött gáz egyensúlyát a rendelkezésre álló térfogat, a pórusgáznyomás és a hőmérséklet egyértelműen meghatározza. Ha e három paraméter közül egy is megváltozik, a szabad gázfázis állapotváltozása, valamint a kötött és szabad gázfázis egyensúlyváltozása következik be, tehát termodinamikai és fizikai-kémiai változások mennek végbe. A gázdús kőzet rugalmas alakváltozásával – mivel az alakváltozás legnagyobb részét a pórusok és repedésrendszerek rovasára megy végbe – a szabad gáz térfogata megváltozik, azaz egy mechanikai változás (alakváltozás) termodinamikai, és fizikai-kémiai változások elindítója a kőzet-gáz rendszerben.

Ha a kőzetek pórusaiban folyadék, vagy gáz helyezkedik el és a pórusokat kitöltő médiumnyomás alatt van, akkor konzekvensen meg kell különböztet-

nünk egymástól a kőzet szilárd vázszerkezetében ébredő feszültségeket és a pórusokban elhelyezkedő folyadék, vagy gáz feszültségeit (nyomását) és a vizsgált tartományra ható külső terhelésből származó feszültségeket. A vizsgált közettartományra ható külső terhelés hatására létrejövő feszültséget összes, vagy totális feszültségnek szokás nevezni, a kőzet szilárd vázszerkezetében ébredő feszültség neve hatékony vagy effektív feszültség, a pórusokat kitöltő folyadékban, vagy gázban ébredő feszültség neve semleges feszültség, vagy pórusnyomás (pórusfolyadéknyomás, pórusgáznyomás). Ezek az ismeretek a talajmechanikából, illetve angol nyelvű kőzetmechanika könyvekből származnak. A pórusnyomás a közetszilárdságot csökkenti. A pórusnyomás közetszilárdságot csökkentő hatása a kőzetek belső ellenállásának belső súrlódásos mechanizmusából következik. A pórusnyomás csökkenti, semlegesíti a terhelésből származó totális normál feszültséget, ezért a belső súrlódási ellenállás kisebb, a kőzet kisebb terhelés elviselésére képes. A pórusnyomás a kőzet belső súrlódási szögét és kohézióját nem befolyásolja. A fentiekből következik, hogy a pórusnyomás közetszilárdságot csökkentő hatása különösen a kis kohéziójú (repedezett), nagy belső súrlódású kőzeteknél jelentős.

A gáztároló kőzet természetes állapotában, amikor a kőzet szilárd vázszerkezetének alakváltozása, térfogatváltozása ütemében nem tud a gáz eltávozni, vagy odaszivárogni, a térfogatváltozással változik a pórusgáznyomás, amely befolyásolja a nyomószilárdság értékét. Tehát gáztároló kőzetnél a kőzet szilárdsága kapcsolatba kerül a kőzet térfogatváltozásával. Ez pedig a tönkremeneteli folyamatnak egészen más jelleget ad a pórusgáznyomás nélküli kőzet tönkremeneteléhez képest. Ha a kőzet igénybevétele olyan, hogy fajlagos térfogatcsökkenés következik be, s ilyen körülmények között kezdődik el a szilárd vázszerkezet tönkremenetele, akkor a szilárd vázszerkezet, mint egyik teherviselő elem fokozatos kiesésével a térfogatcsökkenés fokozódik, a pórusgáznyomásra hárítódik a terhelés, a pórusgáznyomás növekszik. A pórusgáznyomás növekedése a szilárdság csökkenését eredményezi, s így nagymértékben meggyorsul a tönkremeneteli folyamat. Ilyen körülmények között rövid idő alatt robbanásszerűen következik be a kőzet szilárd vázszerkezetének tönkremenetele, s közben a pórusgáznyomás megnövekszik.

Nemcsak a tönkremenetel megy végbe láncreakciószerűen, hanem a tönkremenetel előtti terhelésfelvétel is egyre gyorsul, mert az összenyomódással, a pórusgáznyomás növekedésével a rugalmassági modulus csökken, az összenyomhatóság növekszik. A tönkremenetelnél jelentkező láncreakciószerű folyamat csirái tehát már a terhelésfelvétel kezdetén megvannak.

## 6. A kőzet- és gázkitörések mechanizmusa

A gáztároló kőzetnek, mint teherviselő kőzet-gáz

rendszer tulajdonságainak előbbi szintű megismerése és a kitörések tapasztalati ismereteinek birtokában a kitörések létrejöttének mechanizmusa hipotetikus elemek közbeiktatása nélkül megfogalmazható. A bányászati gyakorlatban a kőzetnek mind a fajlagos térfogat csökkenésével, mind a fajlagos térfogat növekedésével együtt járó igénybevételre van példa. A kőzet-homlok (a vájvégén, az aknátalpon, legtöbbször a fejtés homlokán is) jelentkező igénybevétel és a bekövetkező tönkremenetel fajlagos térfogatcsökkenés mellett megy végbe. Ezzel szemben vágatok, aknák palástján a kőzet tönkremenetele fajlagos térfogattal növekedéssel jár együtt. Ha itt emlékeztetünk arra a tapasztalatra, hogy a kitörések mindig a munkahely homlokán, vagy ennek közvetlen közelében, a vájvégén, az aknátalpon, a fejtési homlokokon következnek be és a vágatok, az aknák palástján sohasem, akkor világossá válik, hogy a kitörések elengedhetetlen feltétele a kőzet fajlagos térfogatcsökkenése, összenyomódása.

A kitörések létrejöttének alapvető okai a pórus gáznyomásnak:

- kőzetszilárdságot csökkentő és
- a tönkremeneteli folyamatot felgyorsító hatása.

Maga a kitörés nem más, mint a teherviselő kőzet-gáz rendszer tönkremeneteli folyamata, amely robbanásszerűen megy végbe. A kitörés alapvető feltétele a gáztároló kőzet szilárdságát meghaladó igénybevétel, amely tönkremenetelt idéz elő. A kitöréshez még az is szükséges, hogy a kőzet tönkremenetel ne közvetlenül a homlokokon, hanem attól beljebb, zárt környezetben kezdődjön el, mert ellenkező esetben nem tud a gáz hatása érvényesülni.

A kitörés keletkezéséhez tehát több feltétel egyidejű kielégülése szükséges.

Ezek a következők:

- 1./ A gáztároló kőzetben pórus gáznyomás uralkodjon.
- 2./ A kőzethomlok előtti kőzettartomány kőzettérfogatot csökkentő igénybevétel alatt álljon.
- 3./ A kőzethomlok előtti kőzettartományban tönkremenetel kezdődjön el.
- 4./ A kőzet tönkremenetel ne a homlokokon, hanem beljebb, zárt tartományban, a homloktól megfelelő távolságban menjen végbe.

A kitörés beindulása utáni kezdeti gáznyomás csökkenés hatására – szén-gáz kitörésnél – nagy mennyiségű adszorbeálódott gáz szabadul fel, amely akadályozza a gáznyomás csökkenését a kitörés folyamata alatt, ezzel a folyamat fennmaradásának irányába hat.

Az elvi és laboratóriumi vizsgálataink eredményeit és az azokból levont következtetéseket gyakorlati tapasztalatok igazolják. Általános tapasztalat, hogy a gázlecsapolással érintett, tehát kisebb pórus gáznyomású széntelep állékonyabb, szilárdabb. Tapasztalat, hogy a jól kiszellőztetett, gázatlanodott szénhomlok nehezebben jövesztethető, tehát szilárdabb. Tapasztalat, hogy a kitöréseknél felszabaduló gázmennyiség fajlagos értéke ( $m^3/t$ ) és a termeléshez tartozó fajlagos gázfelszabadulás hányadosa annál nagyobb, minél na-

gyobb a szén szilárdsága. Ez azt jelenti, hogy nagyobb szénszilárdságnál csak nagyobb gáztartalom, illetve pórusgáznyomás esetén következnek be kitörések. Tapasztalat, hogy a homokkő-gáz kitörések csak nagyobb porozitású homokkőveknél jönnek létre. Ez azt jelenti, hogy a tömöttebb, kisebb porozitású homokkővekben a gáznyomás szilárdságcsökkentő hatása kevésbé, vagy egyáltalán nem érvényesül.

A vágatok homloka előtti gáztároló kőzettartomány igénybevételére az alábbiak jellemzőek. A vájvég előtti kőzettartomány függőleges és oldalirányban, illetve minden ezek közé eső irányban az eredeti és áthárított feszültségnek van kitéve, a homlokra merőleges irányban ugyanakkor az eredetihez képest kisebb a kőzetcsoport feszültség, a homlokon zérus. A homlok előtti kőzettartomány ezért tönkremenetel szempontjából kedvezőtlen igénybevételű. A vájvég előtti kőzettartomány (közethenger) sugárirányban összenyomódik, tengelyirányban pedig megnyúlást szenved. A tengelyirányú megnyúlás jele az, hogy a vájvég sokszor szabad szemmel is jól érzékelhetően a szabad tér felé mozdul el. Ez a tengelyirányú elmozdulás, illetve az elmozduláshoz tartozó tengelyirányú alakváltozás két részből tevődik össze. Az egyik rész a homlok vízszintes megtámasztásának hiányából, a másik rész a sugárirányú összenyomódásból származik. A homlok vízszintes megtámasztásának hiánya miatti tengelyirányú elmozdulás a sugárirányú feszültségek leépülését jelenti. A vágat konvergenciája miatti feszültségáthárulás a homlok előtti közethenger sugárirányú feszültségeit növeli és ez a nagyobb hatás, ezért végső soron a közethenger térfogatváltozása térfogatcsökkenés.

A homlok előtti közethenger igénybevételének nagyságát, illetve térfogatának csökkenését befolyásolja a vágatba épített biztosítószerkezet vágatkonvergenciát akadályozó hatása. Minél nagyobb ez a hatás, azaz minél hatékonyabb a biztosítás, minél kisebb a konvergencia, annál kisebb a homlok előtti közethenger térfogatának csökkenése. A vágathomlok mögötti biztosítás fenti szerepét gyakorlati tapasztalatok is bizonyítják. Gyakorlati tapasztalat, hogy közvetlenül a kitörés előtt a homlok közelében beépített biztosítás fokozott és egyre növekvő terhelésnek van kitéve, a biztosítás „beharap”, recseg, ropog, nagymértékű szelvényesülést jön létre. Ez mind annak a jele, hogy a homlok előtt megindul a gáztároló kőzet tönkremenetele. Tehát a homlok előtti igénybevétel és mechanikai állapot hatással van a biztosítószerkezet terhelésére. Ez fordítva is így van, a biztosítószerkezet terhelésfelvétele hatással van a homlok előtti kőzettartomány igénybevételére és mechanikai állapotára. Továbbá perforálásnál szerzett tapasztalat, hogy bizonyos anyagmennyiség kinyerése után a vágat biztosítása erős nyomásba kerül. A homlok előtti anyagkivétel, sűrűség- és alakváltozás tehát hatással van a biztosítószerkezet terhelésére. Fordítva, a biztosítószerkezet terhelése is hatással van a homlok előtti kőzetsűrűsége, alakváltozásra. A homlok előtti kőzettartomány igénybevétele, mechanikai állapota tehát „in situ”

megfigyelésekkel is bizonyíthatóan kapcsolatban van a biztosítószerkezet terhelésével.

## 7. A kitörések létrejöttének paramétere

A kitörések paramétereinek azokat a tényezőket kell tekintenünk, amelyek a kitörések létrejöttében meghatározó szerepet játszanak. Különleges szerepük van azoknak a paramétereknek, amelyek a kitörésveszély vágat, akna, fejtés esetében egyformán jellemzők. Ezen utóbbi paramétereket a kitörések fő paramétereinek kell tekintenünk.

Akár vágathomlokra, akár fejtési homlokra, akár aknatapra vonatkozóan vezetjük le a gáztároló kőzet tönkremeneteli feltételét, mindig

$$\frac{\sigma_c}{p_{max}} < \frac{tg^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)}{1 - q} = \frac{B\phi}{1 - q}$$

eredményre jutunk,

ahol:  $q$  – ridegségi koefficiens, folyási határ-nyomószilárdság hányados ( $q < 1$ )

$\sigma_c$  – egytengelyű nyomószilárdság

$\phi$  – belső surlódási szög

$p_{max}$  – gáznyomás

Ez az összefüggés fejezi ki a kitörések létrejöttének alapvető feltételét, amely feltétel szükséges, de nem elégséges feltétele a kitörésnek. A kitörések alapvető feltételét kifejező egyenlőtlenség akkor áll elő, ha kicsi a kőzet nyomószilárdsága, nagy a közethomlok előtt kialakuló maximális pórúsgáz nyomás, nagy a kőzet belső surlódási szöge és ha a kőzet folyási határa minél jobban megközelíti a nyomószilárdság értékét, minél ridegebb a kőzet. A kitörések alapvető feltételét kifejező egyenlőtlenség számos lényeges kérdés magyarázatát teszi lehetővé. Választ kapunk pl. arra a kérdésre, hogy egyes esetekben miért elegendő egész kis pórúsgáz nyomás a kitörések bekövetkezéséhez, más esetekben miért csak jóval nagyobb pórúsgáz nyomásnál következnek be kitörések.

A fenti összefüggés mutatja, hogy ha a kőzet szilárdsága kicsi ( $\sigma_c \rightarrow 0$ ), ridegsége nagy ( $q \rightarrow 1$ ), akkor egészen kicsi ( $p_{max} \rightarrow 0$ ) pórúsgáz nyomás elegendő a teherviselő kőzet-gáz rendszer tönkremeneteléhez, a kitörés bekövetkezéséhez. Ha kőzet-szilárdság nagy és a kőzet szívós ( $q$  kicsi), akkor nagy pórúsgáz nyomás szükséges a kitöréshez. Ki kell térnünk még néhány paraméterre, amelyeket ugyan nem tekinthetjük a kitörésveszély fő paramétereinek, de lényegesen befolyásolják a kitörésveszélyt. Ezek a természeti paraméterek:

- a gáztároló kőzet hézagtenyezője ( $e_0$ ),
- a gáztároló kőzet rugalmassági modulusa ( $E$ )
- a gáztároló kőzet Poisson-száma ( $m$ )

Ezek a paraméterek a  $p_{max}$  befolyásolásán keresztül hatnak a kitörésveszélyre. Ha a közethomlok előtt kialakuló maximális pórúsgáznyomást ( $p_{max}$ ) az eredeti pórúsgáz nyomás ( $p$ ) függvényében fejezzük ki, akkor a teherviselő kőzet-gáz rendszer tönkremeneteli

felvételét kifejező egyenlőtlenségbe az  $e_0$ ,  $E$ ,  $m$  paraméterek is bekerülnek. Az így kifejezett tönkremeneteli feltétel azonban már más-más egyenlőtlenséget ad vágat, fejtés, akna esetére, ezért a fő paraméterekkel kapcsolatos felfogásunknak megfelelően az  $e_0$ ,  $E$ ,  $m$  paramétert nem tekinthetjük a kitörések fő paramétereinek.

Ha a gáztároló kőzet rugalmassági modulusa kisebb, akkor ugyanolyan igénybevételnél a kőzet térfogatváltozása, ezzel a pórúsgáznyomás változása nagyobb, ezért nagyobb a kitörésveszély. Ha a kőzet hézagtenyezője kicsi, akkor a pórúsgáznyomás érzékenyebben változik a kőzet térfogatváltozásával, ezért a kitörésveszély nagyobb. Ha a kőzet Poisson-száma nagy, akkor a közethomlok a kőzet a szabad térség felé kevésbé mozdul el, a térfogatcsökkenés nagyobb, ezzel a pórúsgáz nyomás növekedése nagyobb, ezért nagyobb a kitörésveszély. A kőzet hézagtenyezője, rugalmassági modulusa és Poisson-száma egymástól és a kőzet szilárdságától nem független mennyiségek. Általában tömöttebb, kisebb porozitású, hézagtenyezőjű kőzeteknek nagyobb a szilárdsága, rugalmassági modulusa és Poisson-száma is. Tekintettel arra, hogy alapvetően a kőzet nyomószilárdsága határozza meg a teherviselő kőzet-gáz rendszer tönkremenetelét szemben az  $E$ ,  $m$ ,  $e_0$  paraméterekkel, amelyek a pórúsgáz nyomáson keresztül csak befolyásolják azt, ezért előfordul, hogy a nagyobb hézagtenyezőjű, vagy kisebb rugalmassági modulusú, kisebb Poisson-számú gáztároló kőzetnél mégis nagyobb a kitörésveszély, mert kisebb a kőzet szilárdsága. Pl. a donyeci és Ruhr-vidéki kitörést szenvedett homokkővek porozitása kb. kétszer akkora, szilárdsága pedig körülbelül fele a kitörést nem szenvedett homokkővekének.

## 8. A védőtelepes művelés kitörésveszélyt csökkentő hatása

A mecseki szénbányák adottságainál, amikor is több meredek dőlésű telepet műveltek omlasztásos fejtésekkel felülről lefelé sorrendben igen nagy jelentőségű módszer a kitörésveszély csökkentésére az ún. védőtelepes művelés. Az új kitörésmélet segítségével sikerült pontosítani a védőtelepes művelés jótékony hatásait.

A védőtelepes művelés során akár alá- vagy fölé fejtésről van szó, az érintett telepszakasz igénybevétele, összerhelése az átháruló feszültségek miatt kisebb lesz az előbbinél, térfogatnövekedés megy végbe a védett telepben. A térfogatnövekedés miatt csökken az eredeti pórúsgáz nyomás. A kőzet térfogatnövekedése miatt nyílnak az addig zárt repedések, s ezzel növekszik a telep hézagtenyezője, gázáteresztő képessége. A lejátszó deformációk miatt repedezettebbé válik a védett telep, aminek következtében tovább nő a gázáteresztő képesség, csökken a zérus pórúsgáz nyomásra vonatkoztatott kohézió és szilárdság, csökken a rugalmassági modulus és Poisson-szám, csökken a kőzet ridegségi koefficiense. A gázáteresztő képesség növekedésével – ha a köztes rétegek is töredezték –

lehetőség nyílik a telep-gáz intenzív elszívására, ezzel a pórúsgáz nyomás további csökkenésére.

A védőtelepes művelés hatásmechanizmusa az alábbiak szerint fogalmazható meg: Az érintett telep szakaszon leterhelődés és ezzel térfogatnövekedés megy végbe, amely miatt a pórúsgáznyomás csökken. A leterhelődés, térfogatnövekedés, alakváltozás nyitja az addig zárt kőzetrepedéseket, új repedések is keletkeznek, ezért nagyságrendekkel megnövekszik a kőzet gázáteresztő képessége, a kőztes rétegek repedésrendszerén keresztül lehetőség nyílik a tárolt gáz elszívására, a pórúsgáznyomás további hathatós csökkenésére, így a védett telepben később üreɡnyitásnál a kőzethomok előtt lényegesen kisebb pórúsgáznyomás alakulhat csak ki. A repedezettség kialakulásával továbbá a telep ridegsége csökken. Ezeknek a paramétereknek ilyen változása nagymértékben csökkenti a kitérésveszélyt. A kőzet belső súrlódási szöge gyakorlatilag nem változik, így ez nem változtatja a kitérésveszélyt. A védett telep repedezettségével a kohézió csökken, amely a kitérésveszély növekedése irányába hat. Ezt a hatást azonban felülmúlja a ridegség és pórúsgáznyomás csökkenése, ezért a védett telep kitérésveszélyessége végeredményben mindig csökken.

A legutolsó szakvélemény, amit kőzet- és gázkitörések tárgyban készítettem a Pécsi Erőmű Rt. felkérésére 1997 októberében íródott „Szételepek kőzetzfizikai és gázdinamikai paramétereinek időbeni változása Zobák-bányán” címmel. Itt az időbeliség volt a fő kérdés. A paraméterek változását 1993 decemberében készített „Több telepes föléfjtések együttes hatásainak értékelése” című tanulmányom tárgyalta. Ez a tanulmány az új kitéréselmélet alapján a védőtelepes művelés hatászonáját nagymértékben kiterjesztette, így lehetővé vált a koncentrált termelés, amely gazdasági eredményeket hozott egészen az üzem bezárásáig.

Itt említem meg, hogy Zobák-bányán 1986-tól a bánya bezárásáig (2000. 01. 31.) Erdélyi László okleveles bányamérnök volt a főmérnök és igen kiváló bányamérnökök Pusztafalvi János, Muhel Illés, Ország Imre, Rábai Ottó voltak a munkatársai, akikkel számtalanszor konzultálhattam. Úgy vezették a kőzet- és gázkitörésveszélyes bányát, hogy az említett időszakban komolyabb baleset Zobák-bányán nem történt. Ez megsüvegező eredmény volt.

A Kutatási Osztályról főképpen Nyers József okl. bányamérnök volt segítségemre, aki 1987-ben doktori értekezést védett meg „Szén-és gázkitörések előrejelzése a mecseki szénmedencében” címmel. Elárulom, hogy szívesen segítettem doktori disszertáció kimunkálásában ipari kollégáimnak, mert a konzultációk során sokat tanulhattam tőlük. Ők azt tudták amit én nem, így aztán a konzultációk során sok gyakorlati ismeretre tehettem szert.

Ha visszagondolok, hogy mi is tette lehetővé a kőzet- és gázkitörések okainak feltárását, akkor az ismeretek komplexitását tudom kiemelni. Ezek:

- Bányászati ismeretek a kitérések körülményeiről
- Fizikai-kémiai ismeretek a gáztárolásról

- Bányaművelés-kőzetmechanikai ismeretek az áthárított feszültségek vonatkozásában vágathomlok és aknátalp előtt
- Talajmechanika ismeretek
- A kőzet-gáz rendszer viselkedésének tanulmányozása térfogatcsökkenés és térfogatnövekedés hatására (geomechanika)
- A kőzet-gáz rendszer tönkremeneteli elméletének kidolgozása amely láncreakciószerű folyamat.

Zobák-bánya bezárásával (2000) a kőzet- és gázkitörések többé nem jelentettek veszélyt Magyarországon. Mégsem mentek veszendőbe a témakörben tett erőfeszítéseim, hiszen ezeknek a kutatásoknak a folyományaként született meg a „Geomechanika” tantárgy (1976), amit azóta is oktatnak a Műszaki Földtudományi Karon. A geomechanika alapja a kőzetmechanika, amelyet a nemzetközi híró Richter Richárd professzortól tanultam. Művelt ember volt, beszélt németül és franciául, oda volt a francia szellemiségért.

A geomechanika a kőzetmechanikán alapul, de több annál, a kőzet-folyadék, kőzet-gáz rendszerek jelenségeivel foglalkozik. Számos ilyen jelenség van, köztük a kőzet- és gázkitörések, a hidraulikus kőzetrepesztés, az olaj- és gázipar fűrólyukai körüli mechanikai állapotok, a rétegvízfelvonás által előidézett felszínmozgások, és a geotechnika (talajmechanika) számos káros jelensége.

1976-ban kialakítottam a geomechanika oktatott tárgykörét, majd megírtam a Geomechanika I. (1987) és a Geomechanika II. (1989) egyetemi jegyzeteimet. Az oktatott tárgykör változásainak megfelelően az újabb ismeretekhez később oktatási segédleteket írtam. Ilyen a hidraulikus kőzetrepesztésen alapuló kőzetmechanikai „in situ” mérés, amely geomechanikai ismereteket feltételez.

2010-ben írtam egy oktatási segédletet „Vízépítési földgátak állékonyságának geomechanikai kérdéseiről” címmel. Ebben főleg a gátak oldalirányú elcsúszásának kérdéseivel foglalkozom. Szó van arról, hogy a stabilitás alapvető paraméterei a gát talpszélessége és a pórúsvíznyomás a gáttal alatt.

Talán sokan emlékezünk még a nemrégiben (2010. október 4.) bekövetkezett kolontári iszap-katasztrófára, amikor a Mal Zrt. ajkai zagytározójának X-es kazettájából mintegy egymillió köbméter vörös iszap zagy zúdult a környezetre. Kolontáron és környékén az elárasztás halálos áldozatokat is követelt.

A bekövetkezett jelenség is a geomechanika tárgyköréhez tartozik. A X-es kazetta sarka nyílt szét, úgy hogy az északi falat (töltést) a saroknál a tárolt zagy nyomása elnyomta észak felé, és az északi fal leszakadt a saroknál a nyugati falról. A keletkezett résen – amely egyre bővült – hatalmas mennyiségű lúgos zagy ömlött hirtelen a környezetre. A tározót 1980-1990 között tervezték, majd helyezték üzembe. Résfal, illetve injektált vízzáró fal épült a tároló fala közelében a szennyezett talajvíz torlasztására. Ezért a gátak környezetében terepszintig emelkedő talajvízszinttel kellett számolni.



Tudni kell, hogy a tározók határoló töltéseinek stabilitása szempontjából alapvető paramétere a talpszélesség. Itt az északi fal talpszélessége 56 méter volt, a nyugati fal talpszélessége – amely épen maradt – 90 méter volt. Miért? Hiszen az északnyugati sarokban észak felé és nyugat felé is ugyanaz az oldalnyomás terheli a határoló falakat, de az északi fal stabilitása csak 2/3-a volt a nyugati fal stabilitásának. Tudni kell, hogy a talpszélesség nem arányosan, hanem progresszíven változtatja az állékonyság biztonsági tényezőjét. A kétharmados talpszélesség mint egy 50%-os biztonsági tényezőt jelentett az északi falnál a nyugati falhoz viszonyítva. Ennek megfelelően az északi fal csúszott észak felé az északnyugati saroknál.

De van itt más is, ami kifogásolható. A tározók úgy működnek, hogy a trapéz keresztmetszetű gátakon bizonyos vízszivárgás lehetséges, amely víz (zagy) a tározó külső lábvonálánál, mint csurgalék víz jelenik meg és beszivárog a földbe, zagy esetén szennyezve a talajvizet.

Az úgynevezett szivárgási vonal alatt a tároló gátjának pórusai telített állapotban vannak, a talp alatt pórusvíznyomás ébred. Ez a pórusvíznyomás csökkenti a gát alatt a talaj szilárdságát.

A tározó feltöltésével egyrészt egyre nagyobb oldalirányú nyomás terheli a tároló falait, másrészt egyre magasabban húzódik az úgynevezett szivárgási vonal, ezért a talp alatt egyre nagyobb a pórusvíznyomás, egyre kisebb az altalaj szilárdsága. Vagyis a feltöltéssel rohamosan csökkent a tároló gátjának stabilitása, illetve ennek biztonsági tényezője. Előnyös ha a gát talp alatt a talajvízszint mélyebben húzódik, mert így kisebb pórusvíznyomás keletkezik a gáttest alatt, ezért kevésbé csökken a szilárdság.

Víztározók gátjainál, egyébként mindent elkövetnek annak érdekében, hogy a gáttestbe beszivárgó vizet minél inkább elvezessék, csökkentsék a gát talpa alatt a pórusvíznyomást, ezzel a gát stabilitását növeljék. A X-es kazettánál ennek ellenkezőjét érték el a talajvíz duzzasztásával.

Végső soron a katasztrófát – véleményem szerint – a pórusvíznyomás hatásának alábecslése okozta. Ezt az is bizonyítja, hogy a baleset egy kéthónapos intenzív esőzés után következett be, amikor is a térségben az átlagos csapadék 2,4 szerese hullott le.

Geomechanika nélkül nem tudtuk volna eredményesen vizsgálni a Pécs–Mecsekszabolcsi felszínemelkedéseket (1998), amelyeket a bányák bezárása után a bányavíz visszatöltődése okozott. A felszín emelkedések a sűrűn beépített területen épületkárokat okoztak. Az egyre szaporodó épületkárok miatt a Bányavagyongazdálkodási felújította a korábbi hét darab mérési vonalon a geodéziai méréseket, és azt tapasztalták, hogy a felszín emelkedik. Nem akarták elhinni, mivel ilyet még sohasem tapasztaltak. Többször megismételték a méréseket, ellenőrizték az alappontokat, (hátha azok süllyedtek), de el kellett fogadni a sokszor nem is kismértékű (8-10 cm) felszínemelkedéseket.

Németh József korábbi fő bányamérő, aki korábban a Pécs-komló szénmedence aláfejtett területein, egyes helyeken 20 m süllyedést is mért, most teljesen le volt döbbenve a felszín emelkedésektől.

Felkérésre foglalkoztam az üggyel és arra a megállapításra jutottam, hogy a korábbi bányaművelés, mintegy 250 méter vastag omlásos, és repedékes kőzettartományt idézett elő a lefejtett telepek között és fölött. A bányavíz emelés megszűnésével az emelkedő bányavíz feltöltötte ezt a kőzettartományt, amelynek az alja, mintegy 35 bar víznyomás alá került. Ez a víznyomás tágítja ezt a kőzettartományt, amely csak függőleges irányban képes tágulni. Ha csak egy ezrelék a tágulás, akkor ez 250 méter lazult kőzettartomány fölött 25 cm emelkedést jelent. Szerencsére csak 0,5 ezrelék volt a tágulás, ezért 12,5 cm-nél nagyobb felszínemelkedéseket nem mértek. Végeredményben megállapítottuk, hogy a soha nem tapasztalt felszínemelkedések a bányavíz feltöltődés miatt keletkeztek.

Az uránbányászat IV. aknáját a bányahatóság be akarta zárni, mert az akna egyre nagyobb értékben elmozdult (1994). A bánya igazgatója (Varga Ernő) telefonált, hogy sürgősen keressem föl, mert nagy bajban vannak. Megállapítható volt, hogy az akna mozgását nem a bányaművelés okozza. Ezt azonnal láttam. Ha ugyanis a bányaművelés okozta volna, akkor elferdült volna az akna, viszont ez az akna függőleges maradt, egy vető mentén elcsúszott. A vetőmozgást a repedékes-vizes ösztet vízleszívása okozta, amely már az akna mélyítésekor elkezdődött. A mozgás már az aknamélyítés során elkezdődött, amikor még nem is volt bányaművelés. Erre a később már regisztrált mozgások időfolyamatából lehetett következtetni. Az akna a bezárás előtt ekkor megmenekült, sajnos nem sokkal később gazdasági okok miatt bezárták.

Továbbá nem tudtuk volna vizsgálni a Mecsekérc északi bányauzemeinek vízfeltöltődése következményeit, de nem vizsgálhattuk volna a hidraulikus repesztés közetmechanikáját sem (2008). A geomechanika nélkül továbbá nem vizsgálhattuk volna a Csabrendek – Nagytárkány környéki váratlan felszíni mozgásokat sem (2008), amelyek régen felhagyott bauxit-fejtések vízelárasztása miatt jöttek létre.

A borsodi területen a rétegvíz veszélyes bányák vízlecsapolása környezetében (Felsőnyárád 2001) a templomok is megsüllyedtek a fixnek vélt geodéziai pontokkal együtt. Ugyanez történt Sajómercsén is, ahol a rétegvíz megcsapolás vetőmozgásokat és épületkárokat okozott. Geomechanika nélkül ezeket a jelenségeket sem vizsgálhattuk volna eredményesen.

Geomechanika nélkül nem vizsgálhattuk volna az alábbi esetet sem. A várpalotai szénbányászatban (SII bánya) sorra mentek tönkre a nagy értékű önjáró berendezésekkel felszerelt frontfejtések. A szituáció az volt, hogy a művelészentelep fölött vízzáró agyagréteg húzódott e réteg fölött viszont víztároló homokréteg tetemes pórusvíznyomással. A víznyomás terhelte az alatta húzódó agyagréteget és a fejtési biztosítószerkezeteket. A jó megoldás a víznyomás csökkentésében

rejtett, amit meg is valósítottak és a fejtési haváriák megszűntek (1986). Normál esetben a kőzetnyomás a fejtési homlok elé hárul tehermentesítve ezzel a fejtési biztosítószervezeteket. A víznyomás azonban nem tud áthárulni, ez okozta a bajt.

A geotechnikában (talajmechanikában) van a kőzet- és gázkitörések mechanizmusához igen hasonló jelenség. A felszíni gátépítéskor a gát alatti talajrétegek a többletterhelés hatására összenyomódnak, a pórusvolumen csökken. Ha olyan a szituáció, hogy a gát alatt a felszínhez közel két agyagréteg között egy rétegvízzel telített homokréteg húzódik, akkor abban a

porusvíznyomás gátépítéskor megnövekszik, a szilárdság lecsökken, akár zérus értékűre is. Ilyenkor a ráépített gát szétesőszik, tönkremegy. Itt is megvan a terhelésnövekedés, pórusvolumen-csökkenés, pórusnyomás-növekedés bezárt térben, majd a szilárdságvesztés és tönkremenetel, mint a kitöréseknél.

Az utolsó tanszéki segédletet **2020-ban** írtam „Meddőhányók geomechanikai tervezési kérdései” címmel. A meddőhányókban mindig van talajvíz, pórusvíznyomás, még a külső hányókban is. Ezért az állékonyság vizsgálat nem nélkülözheti a geomechanikát.

**PROF. DR. SOMOSVÁRI ZSOLT** 1941. augusztus 30-án Miskolcon született, iskoláit is itt végezte. 1960-ban a Bláthy Ottó Villamosenergiapari Technikumban érettségizett. 1960-ban felvételt nyert az NME Bányamérnöki Karára, ahol 1965-ben bányaművelőmérnöki oklevelet szerzett. 1965-ben az NME Bányaműveléstani Tanszékén kezdett dolgozni Richter Richárd professzor mellett. Kutatási területe kezdetben a kőzetmechanika-, a biztosítószervezetek mechanikája, ezen belül a kőzetmozgások-bányakárok. 1967-ben egyetemi doktori címet, 1974-ben kandidátusi címet szerzett. 1966-70 között egyetemi tanársegéd, 1970-77 között egyetemi adjunktus. 1978-1988 között egyetemi docens, majd 1988-tól egyetemi tanár, 1987-től a műszaki tudomány doktora.

1980-85 között a Bányamérnöki Kar szakszervezeti titkára, 1986-1987-ben a Bányamérnöki Kar dékánhelyettese, majd 1987-1994 között a Bányamérnöki Kar dékánja. Ebben az időszakban a szilárdásványbányászat leépülésével szükségszerűvé vált az oktatási profil jelentős átalakítása, amelynek irányítója.

1989-től elnöke az Igazságügyi Műszaki Szakértői Bizottság Bányamérnöki Albizottságának. 1995-től elnöke az MTA BTB Geotechnikai Munkabizottságának. 2001-től két ciklusban társelnöke az MTA Bányászati Tudományos Bizottságnak. 2002-2008 között elnöke a Miskolci Akadémiai Bizottság Bányászati- Föld- és Környezettudományi Szakbizottságának.

1993-94 között a Környezetgazdálkodási Intézet igazgatója. 1994-2006 között a Geotechnológiai és Térinformatikai Intézet (később Bányászati és Geotechnikai Intézet) igazgatója. 2011-től Professor Emeritus.

1964 óta az OMBKE tagja. Az OMBKE Egyetemi Osztályának megalakulásakor 1972-1976 között az Osztály titkára, majd egy ciklusban az Osztály elnöke (1981-85).

### Megkezdtek a világ első fosszilismentes acéljának gyártását Svédországban

Az SSAB, az LKAB és a Vattenfall 2016-ban megalakította a HYBRIT-et, a Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology-t, azzal a céllal, hogy technológiát fejlesszen ki a fosszilismentes vas- és acélgyártáshoz. A cél az, hogy fosszilismentes acélt szállítsanak a piacra, és a technológiát ipari méretekben demonstrálják már 2026-ban. A HYBRIT technológia használatával az SSAB képes csökkenteni Svédország teljes szén-dioxid-kibocsátását körülbelül tíz százalékkal, Finnországot pedig körülbelül hét százalékkal.

2021 júliusában az SSAB Oxelösund jó eredménnyel hengerelte az első acélt, amelyet HYBRIT technológiával, azaz szén és koks helyett 100%-ban fosszilis energia használatától mentesen, hidrogénalapon gyártottak. Az acélt most szállítják az első ügyfélnek, a Volvo csoportnak.

Az illetékes vezetők sajtónyilatkozataiból szemezgetve az alábbiakat olvashatjuk:

„A világ első fosszilismentes acélja nemcsak az SSAB számára jelent áttörést, hanem bizonyítéka annak, hogy lehetséges az átállás, és jelentősen csökkenthető az acélipar globális szénlábnyoma. Reméljük, hogy ez másokat is arra ösztönöz majd, hogy felgyorsítsák a zöld átállást” – Martin Lindqvist, az SSAB elnök-vezérigazgatója.

„Az ipar és különösen az acélipar jelentős kibocsátást okoz, de egyben fontos részét képezik a megoldásnak. Az

átmenet előmozdításához és a világ első fosszilismentes jóléti államává váláshoz elengedhetetlen az üzleti élet, az egyetemek és a közszféra közötti együttműködés. A HYBRIT partnerség keretein belül végzett munka az egész iparág fejlődését hajtja, és egy nemzetközi modell” – Ibrahim Baylan svéd kereskedelmi és ipari miniszter.

„Ez egy döntő mérföldkő és egy fontos lépés egy teljesen fosszilismentes értéklánc létrehozása felé a bányától a kész acélig. Most együtt megmutattuk, hogy ez lehetséges, és az utazás folytatódik. Ennek a technológiának a jövőbeni iparosításával és a termék ipari méretekben történő előállítására való átállással lehetővé tesszük az acélipar számára az átállást. Ez a legnagyobb dolog, amit együtt tehetünk az éghajlatért” – Jan Moström, az LKAB elnök-vezérigazgatója.

„Nagyon örvendetes, hogy a HYBRIT partnerség ismét fontos lépést tesz előre, és hogy az SSAB most előállíthatja az első fosszilismentes acélt és megkezdte az értékesítést. Ez azt mutatja, hogy az együttműködés hogyan járulhat hozzá a kibocsátás csökkentéséhez és az iparágak versenyképességének növeléséhez, hozzájárul ahhoz, hogy egy nemzedéken belül lehetővé váljon a fosszilismentes élet” – Anna Borg, a Vattenfall elnök-vezérigazgatója.

Az optimista sajtónyilatkozatok nem szólnak a technológia részleteiről, a termelés volumenéről, gazdasági vonatkozásairól és arról sem, milyen módon történik a szükséges hidrogén előállítása.

Újabb, részletesebb hírekről be fogunk számolni. VT