

A recski mélyszinti szinesfémérc előfordulás gazdasági-műveletési értékelése és felismert törvényszerűségei

dr. ifj. Gagyi Pálffy András*

(13 ábrával)

A recski ércelőfordulás különleges teleptani sajátosságai, népgazdasági jelentősége és a kutatás során megismert adatok nagy száma a gazdasági-műveletési értékelő munkától egyértelműen megkövetelte, hogy

- az alkalmazott módszerek igazodjanak az előfordulás ércteleptani sajátosságaihoz és az ezáltal meghatározott bányaművelési lehetőségekhez,
- a szubjektív megítélés minél nagyobb mértékű kiküszöbölésével, objektíven és komplex módon mutassa be a különböző gazdasági és termelési körülmények között várható műveletési érckészlet mennyiségi és minőségi paramétereit, illetve az azokban rejlő bizonytalanságokat,
- minél nagyobb mértékben használjuk fel a műveletési minősítéssel és a bányászati telepítések analitikájával kapcsolatos legújabb tudományos eredményeket, sőt ha az előfordulás jellege azt megkívánta, ezen eredmények továbbfejlesztésével, illetve általánosításával tegyük alkalmassá azokat a recski ércelőfordulás értékelésére,
- minél nagyobb mértékben használjuk ki a korszerű elektronikus számítástechnika által nyújtott lehetőségeket.

A következőkben röviden ismertetjük az előfordulás kiértékelése során alkalmazott főbb módszereket és a felismert fontosabb összefüggéseket.

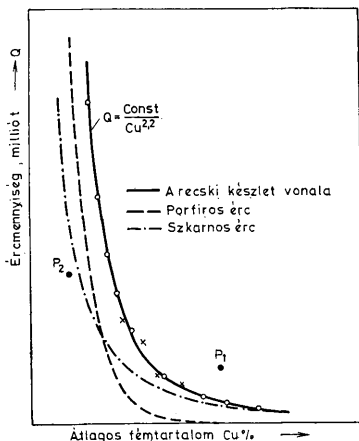
A készletek meghatározása és nyilvántartása a minőség függvényében

A vizsgált rézércelőfordulásra az jellemző, hogy a műveletési és nem műveletési ércet tartalmazó térrészeknek, vagyis az „ércnek” és a „meddőnek” nincsenek földtani határai. A kitermelendő érces tömbök határait a gazdaságosság szempontjából megkívánt százalékos fémtartalom alapján mesterségesen kell kialakítani.

Az érckészlet mennyisége így erősen függ attól, hogy milyen átlagfémtartalmú ércet kívánunk művelésbe vonni. Minél kisebb lehet a termelendő érc átlagos fémtartalma, annál nagyobb érckészlettel számolhatunk.

Tehát arra a kérdésre, hogy milyen mennyiségű érc található egy adott területen, csak akkor lehet egyértelműen válaszolni, ha egyúttal megjelöljük azt is, hogy ez milyen átlagminőség mellett értendő.

* Országos Érc- és Ásványbányák, területi főmérnök



1. ábra. Az ércmennyiség alakulása a minőség függvényében
 Fig. 1. Variation of ore quantity versus quality

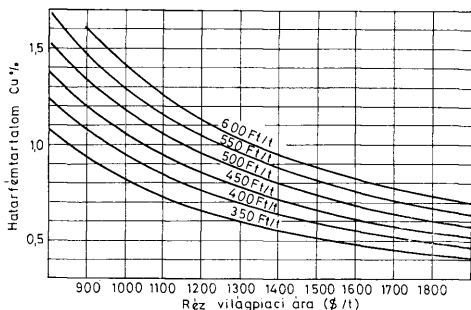
A készlet mennyiségét tehát nem egy adat, hanem az átlagminőség—ércmennyiség összefüggés jellemzi. Ezért a hazai hagyományoktól eltérően olyan dinamikus készletkiértékelést végeztünk, melynek során az átlagminőség függvényében jelöltük ki a fúrólukak ércesnek minősítendő szakaszait és határoztuk meg a készletek mennyiségét (1. ábra).

Az ilyen számítás nagy segítséget nyújt a különböző gazdasági viszonyok között szükséges döntésekhez, az optimális kapacitásnak a közismert telepítés-elméletnél sokkal körültekintőbb meghatározásához és a műrevalóságot meghatározó feltételek változása esetén a műrevaló készletek gyors megállapításához is.

Előfordulhat ugyanis, hogy az idő során változnak, vagy jobban pontosíthatók a műrevalósági feltételek (termelési költség, réz világgpiaci ára, stb.), de változhatnak a rézzel kapcsolatos gazdaságpolitikai megfontolások is, amelyek döntően befolyásolhatják a műrevalósági előírásokat. A 2. ábra alapján könnyen megállapítható, hogy a világgpiaci rézárnak és az érc termelési költségének a változása milyen mértékben befolyásolja a még gazdaságosan kitermelhető érc Cu-tartalmát.

Az érckészlet-átlagminőség függvény birtokában jobban felmérhető a gazdaságosságot befolyásoló tényezők esetleges változásaiból eredő kockázat mértéke is.

A készletek mennyiségének az átlagos Cu-tartalom függvényében való nyilvántartása, illetve ábrázolása az említett előnyökön kívül azt is lehetővé tette, hogy a recski ércelőfordulást más előfordulásokkal összehasonlíthassuk, az egyes előfordulások érckészletét és átlagos Cu-tartalmát képviselő pontok, vala-



2. ábra. A határfém-tartalom alakulása a réz világgpiaci ára és a termelési költség függvényében

Fig. 2. Variation of limiting metal content as a function of the world market price of copper and production cost

mint a recski ércelőfordulást képviselő ércmennyiség-ércminőség függvény görbéjének egymáshoz viszonyított helyzete alapján. Pl. az 1. ábrán a P_1 pont által képviselt előforduláshoz képest a recski előfordulás kisebb, a P_2 pontnak megfelelő előforduláshoz képest viszont nagyobb, mivel a P_1 pont a recski készlet görbéje felett, a P_2 pont pedig a görbe alatt helyezkedik el.

A világ jelentős rézlelőhelyeire vonatkozó készletek mennyiségi és minőségi adatait ilymódon összevetve a recski rézércelőfordulás megkutatott területének adataival az adódott, hogy a recski rézércelőfordulás nagyságrendben a közismerten nagy rézlelőhelyekkel mutat egyezőséget.

Az átlagminőség függvényében meghatározott érckészlet segítséget nyújt a különböző módon végzett készletszámítások eredményeinek összehasonlításához is. A különböző időpontokban, a kutatás különböző fázisaiban, különböző minőségi követelmények mellett meghatározott készletek mennyiségi és minőségi adatai, melyeket az 1. ábrán kereszttel jelöltünk meg, egymástól eltértek. Ezen adatokhoz tartozó pontok azonban az előfordulásra jellemző görbéhez simulnak, tehát többnyire csak látszólagos eltérésekről lehet beszélni. A valóságos eltéréseket mindig a görbéhez viszonyítva, rögzített átlagfém-tartalom mellett lehet meghatározni.

A készletszámítás matematikai modellje

Mint az előzőekben láthattuk, az érckészletet a $Q = f(a)$ függvény jellemzi, ahol Q az átlagos fém-tartalom mellett maximálisan kitermelhető érckészlet mennyiségét jelöli.

A függvényt első lépésben fúrólukanként határozzuk meg, ugyanis adott átlagfém-tartalom mellett az összkészlet mennyisége akkor maximális, ha a fúrólukanként kijelölt érces szakaszokra meghatározott a átlagfém-tartalom mellett az érces szakaszok M összhossza maximális.

A feladat tehát visszavezethető az

$$(1) \quad M = \varphi(a) = \text{MAX}_1 \left\{ \sum_i x_i \left| \frac{\sum_i x_i a_i}{\sum_i x_i} \geq a \right. \right\}$$

függvény meghatározására, ahol a_i az adott fúróluk i -edik méterében levő fémtartalmat jelenti. (Megjegyzendő, hogy a recski készletek kutatása során az ércesedést hordozó kőzetekben minden fúróluk minden egyes méterében meghatározták a fémtartalmakat.)

x_i aszerint vesz fel 1 , vagy 0 értéket, hogy a fúróluk i -edik méterében levő szakasz ércesnek, vagy meddőnek minősül az átlagminőségre meghatározott feltétel mellett.

Az $M = \varphi(a)$ függvény meghatározása során még bizonyos műszaki szempontok által megszabott korlátozó feltételeket is figyelembe kell venni. Így x_i értékekre fenn kell álljon, az

$$(2) \quad \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (x_{i+j} - 1) \leq x_{i+1} - x_i \leq \frac{1}{h} \sum_{j=1}^h x_{i+j}$$

egyenlőtlenség is, mely azt jelenti, hogy az összefüggően kitermelhető érces szakaszok hossza nem lehet h -nál kisebb és két összefüggően kitermelhető szakasz közötti távolság nem lehet d -nél kisebb. Tehát a művelés által meghatározott technikai feltételeknek megfelelően legalább h magasságú üreget és két üreg között legalább d vastagságú pillért kell figyelembe venni.

Recsk esetében a kitermelhető készletet $h = 2 m$, $d = 4 m$ feltételekkel határoztuk meg.

Könnnyen belátható, hogy minél nagyobb d illetve h értéke, vagyis minél szigorúbbak a korlátozó feltételek, annál kisebb lesz a műrevaló szakaszok összhossza.

Tehát

$$d_2 \geq d_1 \text{ és } h_2 \geq h_1 \text{ esetén} \\ \varphi(a, d_1, h_1) \geq \varphi(a, d_2, h_2).$$

A $d = 0$, $h = 0$ feltételnek megfelelő megoldás így mindenkor a keresett $M = \varphi(a, d, h)$ függvény felső korlátját adja, s egyúttal megadja a természetes fémeloszlást, vagyis a geológiai készletet is.

A

$$V = 1 - \frac{\varphi(a, d, h)}{\varphi(a, 0, 0)} \leq 1$$

hányados a művelési technológia által minimálisan okozott ércvesztéséget jellemzi. Az ércvesztés fogalmát itt tágabb értelemben kell venni, mivel az érchigulás esetén is csökken a rögzített átlagfémtartalomhoz tartozó érc mennyisége.

Bizonyítható, hogy az optimális megoldás esetén minden egyes a átlagfémtartalomhoz, illetve a hozzátartozó M vastagsághoz egy ún. λ határfémtartalom rendelhető, amelynél minden kitermelhető szakasz jobb minőségű, vagy

azzal egyenlő és amelynél minden egyes nem műrevaló meddőszakasz gyengébb minőségű. Tehát van olyan λ , amelynél (2) feltétel figyelembevételével a

$$(3) \quad \sum_i x_i (a_i - \lambda) \rightarrow \text{MAX}$$

ugyanolyan x_i értékeknél teljesül, mint az eredeti (1) (2) feltételek esetén.

A feladat tehát úgy oldható meg, ha λ értékét 0 és $a_{i \max}$ között változtatva, rendre meghatározzuk a (2) és (3) feltételt kielégítő x_i értékeket, s ez alapján a λ -hoz tartozó $M = \sum x_i$ összvastagságot, valamint az $a = \frac{1}{M} \sum a_i x_i$ átlagfém tartalmat is.

Tehát a keresett $Q = f(a)$ függvény úgy határozható meg, hogy a λ határfém tartalom értékét rendre változtatva, különböző határfém tartalmak mellett elvégezzük a készletszámítást. Esetünkben a határfém tartalmat 0,1 Cu %-onként változtatva 16 változatban készítettük el a teljes készletszámítást, beleértve az optimálisan kitermelhető érces szakaszoknak az előzőekben ismertetett módon való kijelölését is. Ezt a feladatot ODRA 1013 típusú elektronikus számítógéppel oldottuk meg.

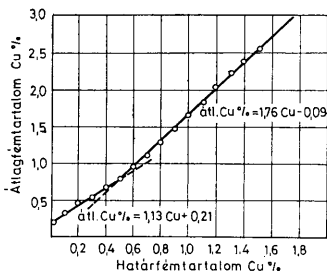
A matematikai modell és az elektronikus számítástechnika felhasználásával sikerült kiküszöbölni az érces szakaszok kijelölésénél elkövethető szubjektív hibákat, valamint a nagymennyiségű számításokkal óhatatlanul együttjáró számolási hibákat.

Az átlagos fém tartalom, a határfém tartalom és az érc mennyiség közötti összefüggés

Az átlagos fém tartalom és a határfém tartalom, vagyis a még művelésbe vonható érc fém tartalma közötti összefüggést a 3. ábra tünteti fel. Ezek szerint

$$a = 1,76 \lambda - 0,09, \text{ ha } \lambda \geq 0,5$$

$$a = 1,13 \lambda + 0,21, \text{ ha } \lambda < 0,5$$



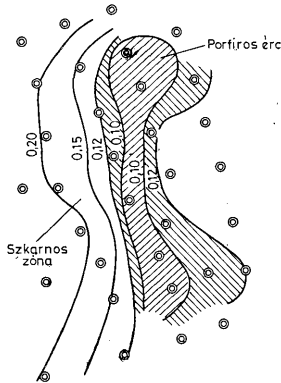
3. ábra. Az átlagos fém tartalom változása a határfém tartalom függvényében
Fig. 3. Variation of average metal content as a function of limiting metal content.

Ezen összefüggés birtokában meghatározható a művelési tömbök lehatárolását kijelölő minimális fémtartalom annak érdekében, hogy az egész üzem által biztosítandó átlagos fémtartalom az ásványvagyon optimális igénybevételével legyen elérhető. Bár a művelési technológia, és az érces feldúsulások térbeli kiterjedésének ismeretében ez az összefüggés még változhat, a minőségtervezéshez szükséges trendek már az előzetes kutatás adatainak kiértékelésével is kellő pontossággal megállapíthatók.

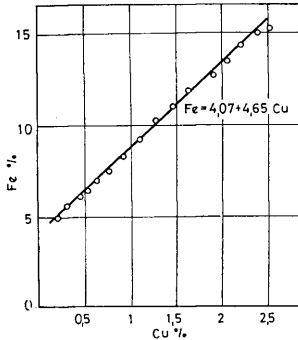
A határfémtartalom és az átlagos fémtartalom közötti összefüggés jellemző az egyes fúrólukakra is. Az egyes fúrólukakra meghatározott, közel lineáris trendet követő függvények alapján megállapítható volt, hogy 0,1 Cu % határfémtartalom változás milyen mértékű változást eredményez az átlagos fémtartalomban. Ezeket az adatokat térképen ábrázolva, kirajzolódtak az előfordulás érc típusaira jellemző vonalak (4. ábra). Az előfordulás középvonalában húzódó nagytömegű és gyengébb minőségű porfíros ércesedésre az jellemző, hogy a határfémtartalom változása közel azonos mértékű az átlagos fémtartalom változásával. Az előfordulás Ny-i peremén viszont, ahol a szkarnos zóna található, az átlagminőség változása igen nagy, meghaladja a határfémtartalom változásának a kétszeresét is. Ez a különbség abból adódik, hogy míg a hintett érces területen a minőség változása térben folyamatosabb és egyenletesebb, addig a szkarnos területen fokozottabb mértékben találhatók ugrásszerű feldúsulások, illetve elszegényedések.

Bizonyítottuk, hogy az átlagos fémtartalom és a határfémtartalom közötti összefüggés ismeretében az átlagos fémtartalom és az ércmennyiség közötti összefüggés jellege is meghatározható. Ez alapján a recki készletre jellemző összefüggés egyszerűsített formában a

$$(4) \quad Q = \frac{\text{Const}}{a^{2,21}}$$



4. ábra. Az átlagminőség változásának izovonalai 0,1 Cu % határfémtartalomváltozás esetén
Fig. 4. Isolines of the variation of average quality at a limiting metal content of 0,1 Cu %



5. ábra. Az átlagos Fe-tartalom változása az átlagos Cu-tartalom függvényében
Fig. 5. Variation of the average Fe content as a function of average Cu content

függvénnyel közelíthető, ahol Q az érc mennyiségét, a pedig az átlagfémtartalmat jelenti. A készletszámítás során kapott mennyiségi és minőségi adatok ezt a függvényt igen jól közelítik.

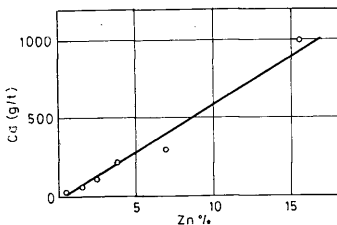
A (4) függvény azt jelenti, hogy ha a termelt érc átlagminősége pl. a réz világpiacon árának növekedése következtében 0,9-szeresre csökkenthető a tervezetthez képest, akkor az érc mennyisége $1/0,9^{2,21} = 1,26$ -szorosára növekszik. Ha pedig a kitermelhető érc mennyiségét kívánjuk kétszeresre növelni, akkor azt az átlagminőség $1/2^{2,21} = 0,73$ -szorosára történő csökkentésével érhetjük el.

Összefüggések a fő- és járulékos alkotók között

A sok változatban elvégzett készletszámítás lehetővé tette a gazdaságosság szempontjából döntő fontossággal bíró főbb alkotók (Cu, Pb, Zn) és az ezekhez kapcsolódó, hasznosítás szempontjából szintén figyelemre méltó, de a gazdaságosságot már csak kisebb mértékben befolyásoló ún. járulékos alkotók (Fe, Mo, Ag, Cd) közötti összefüggések meghatározását is.

A rézérccek pirittartalmának vizsgálata céljából meghatároztuk az érc átlagos Cu- és Fe-tartalma közötti összefüggést (5. ábra). Figyelembe véve a kalkopiritben és más kőzetalkotókban levő vastartalmat is, a rézérc százalékos pirit-tartalma a $Py \% = 6,8 + 7,7 Cu \%$ összefüggés alapján számolható. Tekintettel arra, hogy a Cu- és Fe-tartalmak között igen szoros korrelációs kapcsolat van, a termelés során az Fe-tartalom a Cu-tartalmak alapján jól tervezhető.

Ha nem a készlet egészére vonatkozó fémtartalmak, hanem az egyes fúrás minták Cu- és Fe-tartalmai közötti összefüggést vizsgáljuk, arra a következtetésre jutunk, hogy a viszonylag gyengébb minőségű porfiroz érc Cu és Fe elemzési értékei között általában szorosabb kapcsolat van, míg a jobb minőségű szkarnos érceknél az Fe-tartalmak az átlagos tendencia mellett igen szeszélyesen változnak.



6. ábra. A polimetallikus ércék Zn és Cd tartalmai közötti összefüggés
Fig. 6. Relationship between the Zn and Cd contents of polymetallic ores

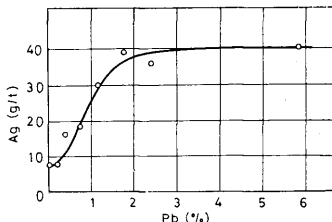
A rézércék molibdén-tartalmának vizsgálata azt mutatta, hogy a porfirós ércék Mo-tartalma nagyobb, a szkarnos ércéké pedig kisebb. Adott típusú érc esetén viszont a nagyobb Cu-tartalom mellett tendenciaszerűen általában nagyobb Mo érték adódott. Ebben a kérdésben azonban még további vizsgálatokra van szükség, mivel a Mo elemzések terén a számos erőfeszítés ellenére sokáig nem sikerült az elemzési módszerek összhangját megteremteni, illetve a valóságos értékeket leginkább biztosító eljárásokat meghatározni.

A polimetallikus ércenél a flotációs dúsítás során a Zn-kel együtt kinyerhető Cd és a Pb koncentrációjában dúsuló Ag-tartalmakat vizsgálva a 6. és 7. ábrán látható összefüggéseket nyertük. Megjegyzendő, hogy a Zn- és Cd-tartalom közötti összefüggés közel azonos a Gyöngyösoroszi körzetében levő polimetallikus ércekre meghatározható összefüggéssel.

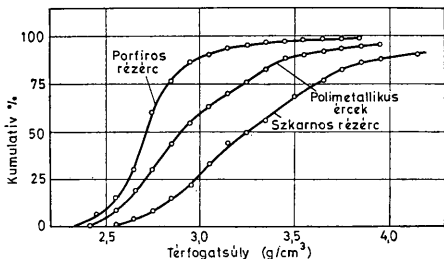
Az előzőekben ismertetett összefüggések további pontosításával elérhetővé fog válni, hogy a későbbiekben a járulékos alkotókra vonatkozó elemzések száma csökkenthető lesz, mivel a tervezéshez és a termeléshez szükséges pontossággal a főbb alkotók ismeretében a megfelelő becslés elvégezhető.

Az érc térfogatsúlyának vizsgálata

Az érces szakaszokra meghatározott térfogatsúly adatok zöme 2,5 és 4,0 g/cm³ között változott, vagyis a szokatlanul nagy térfogatsúlyok gyakorisága mellett az adatok szórása is viszonylag nagyknak mondható. Még az egyes



7. ábra. A polimetallikus ércék Pb és Ag tartalmi közötti összefüggés
Fig. 7. Relationship between the Pb and Ag contents of polymetallic ores



8. ábra. A térfogatsúlyok eloszlása
 Fig. 8. Distribution of specific weights

füröllyükakra vonatkozó átlagos térfogatsúlyok között is nagy eltérések adódtak. Ezért az egész érces területre jellemző átlagos térfogatsúly használatától el kellett tekinteni és a szokásosnál részletesebben kellett megvizsgálni a térfogatsúlyok alakulását, s az abból adódó hibalehetőségeket.

A sokirányú vizsgálat többek között rámutatott arra is, hogy a térfogatsúlyok a Cu-, Fe-, illetve a Pb-, Zn-tartalom függvényében csak kismértékben változnak, s a térfogatsúlyokban levő viszonylag nagyobb eltérések fő okát elsősorban a különböző területeken levő és a területekre átlagosan jellemző közettípusokban kell keresni. Ilyen módon sikerült olyan részterületeket kialakítani, melyeken belül a térfogatsúlyok már kevésbé szórtaak és szabályos eloszlásfüggvényekkel jellemezhetőek. A térfogatsúlyok eloszlását a főbb érc-típusok esetén a 8. ábra tünteti fel.

Bizonyítható volt az is, hogy az egyes részterületeken belül a térfogatsúlyok 2,2 g/cm³ feletti értékeinek logaritmusai normális valószínűségi eloszlást követnek, vagyis a térfogatsúly növekedését befolyásoló 2,2 g/cm³-nél nagyobb faj-súlyú kőzetalkotók közel lognormális eloszlásúak.

A viszonylag nagyobb térfogatsúly értékek a nehezebb kőzetalkotók nagyobb gyakoriságán túlmenően részben az érchordozó kőzetek tömörségének, igen kis porozitásának (a nedvességtartalom 0,5%-nál kisebb) is tulajdonítható.

A térfogatsúlyok részletes vizsgálatával és megfelelő figyelembevételével elérhető volt, hogy az ebből adódó hibalehetőség a készletekben csak ±0,55%.

A készletszámítás pontosságával kapcsolatos megfontolások

A 250 × 250 m-es, igen ritka hálóban telepített fúrások alapján nem lehet a művelendő érces góccokat, tömböket körülhatárolni, geometrizálni, hiszen a fúrások a művelendő érceteknek még 5%-át sem harántolták. Így a készletszámítás során is csak statisztikus módszereket, a matematikai statisztikából ismert reprezentatív mintavétel kiértékelési módszereit lehetett alkalmazni.

Hangsúlyozni kell azonban, hogy a statisztikus módszer nem feltétlen eredményez „pontatlanabb” becslést a készlet mennyiségére vagy átlagminőségére vonatkozóan, mint más módszerek.

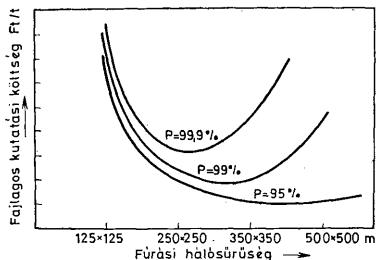
A pontosság csupán a fúrások számától függ, vagyis attól, hogy elegendő számú adat, információ álljon rendelkezésre. A recski előfordulás kiértékelése során arra a következtetésre jutottunk, hogy egy terület készleteinek meghatározásához 32–36 db. fúrás szükséges ahhoz, hogy a figyelembe vett területre becsült érckészlet 2/3-ánál nagyobb készlet valószínűsége 95%-nál nagyobb legyen, illetve a becsült készlet 80%-nál nagyobb készlet valószínűsége 85%-nál nagyobb legyen. Természetesen a statisztikus módszerekkel meghatározott készletek pontos térbeli elhelyezkedése nem állapítható meg; csak a térbeli elhelyezkedésre utaló tendenciákra, törvényszerűségekre, a készletek térbeli eloszlására lehet következtetéseket levonni.

A készletszámítás során azt tételeztük fel, hogy a fúrólyukakban észlelt produktivitás mértéke jellemzi az egész előfordulást, vagyis hogy a műrevaló ércetek ugyanolyan gyakorisággal töltik ki a teret, mint amilyen gyakorisággal a fúrólyukak műrevaló érces szakaszokat harántoltak.

A terület egészére vonatkozó hatásos becslés érdekében az egyes fúrólyukakban észlelt produktivitást a Boldirev módszerrel kijelölt sokszögek területére kivétítve volt célszerű figyelembe venni. Ez azonban nem jelentheti azt, hogy az egyes sokszögekre egyenként is hasonló pontossággal határozható meg a készletek mint a terület egészére. Ezért az egyes fúrólyukak köré szerkesztett sokszögek nem alkothatnak önálló készletszámítási tömböket, azok csak számítási segédletként vehetők figyelembe.

Hasonlóan az érces szakaszok sem vetíthetők ki a fúrólyuk köré szerkesztett ún. hatásterületre, mintha az érces testek hasáb, vagy „korong” alakúak lennének, még akkor sem, ha ilyen feltételezés mellett is ugyanolyan készletadatok adódnak. Erre a körülményre azért kell felhívni a figyelmet, mivel még a recski hintett ércelőfordulás értékelésével kapcsolatban is felvetődtek olyan téves nézetek, melyek a teleszerű előfordulásra jellemző körülmények (pl. telepkiékelődés) figyelembevételét javasolták a készletszámítás, a megbízhatóság, illetve a kategorizálás során.

A recskihez hasonló hintett ércelőfordulások esetén nincs értelme pl. a fúrólyukban harántolt érces telepek kiékelődéséről beszélni, viszont meg kell jegyeznünk, hogy a kitermelhető készletek becslésének helyessége a figyelembe vett adatok számán túlmenően elsősorban attól függ, hogy a fúrólyukakban



9. ábra. A p valószínűséggel meghatározható készletre jutó fajlagos kutatási költség alakulása a fúrási hálósűrűség függvényében

Fig. 9. Variation of the specific exploration cost corresponding to the ore reserves determinable with p probability as a function of borehole spacing

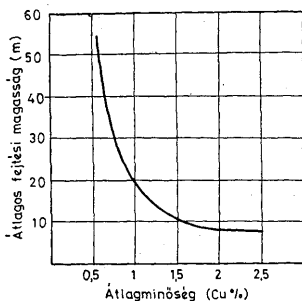
vonallal mentén meghatározható művelési feltételek (pl. minimális művelési vastagság) mennyire közelítik a tényleges feltételeket (pl. minimális üregméret). Ezt a kérdést azonban csak a részletes bányászati kutatás során lehet pontosabban vizsgálni.

A kutatási adatok statisztikai kiértékelése alapján megvizsgáltuk az optimálisan szükséges fúrási hálósűrűséget is. A 9. ábrán feltüntettük a kutatási költség és a p valószínűséggel meghatározható készlet hányadosának alakulását a hálósűrűség függvényében. Az ábráról látható, hogy a 95%-os biztonsággal megkutatott készletekre vonatkozóan a fajlagos költség minimuma kb. az 500×500 m-es hálósűrűségnél, míg a 99,9%-os igen nagyfokú biztonsággal megkutatott készletekre vonatkozóan 250×250 m-es hálósűrűségnél van.

Tehát az érces területen található készletek összességének meghatározására már az 500×500 m-es hálósűrűség is megfelelő. A 250×250 m-es hálósűrűség már nemcsak a terület egészére, hanem bizonyos részterületekre vonatkozóan is megfelelő információkat nyújt. Megállapításunkat alátámasztja az a körülmény is, hogy a különböző hálósűrűségek feltételezése alapján több változatban utólag elkészített készletszámítások eredményeiben a legnagyobb eltérés $\pm 7\%$ -os volt. Tehát már az 500×500 m-es fúrási hálózat eredményei alapján indokolt és megalapozott volt az előfordulás gazdasági értékelése, s a kutatóakna létesítése.

Az optimális termelési kapacitás és az optimális ércminőség együttes meghatározása

Az optimális bányászati termelési kapacitás meghatározása igen sokoldalú vizsgálatot igényel még abban az egyszerű esetben is, ha a hazánkban elterjedt gyakorlatnak megfelelően a vizsgálat csupán a bányászatra korlátozódna, s adottnak tételeznénk fel a művelethez szükséges érc mennyiségét és minőségét. A recski mélyszinti rézércelőfordulással kapcsolatos gazdaságossági vizsgálatoknál azonban csak akkor járunk el helyesen, ha a vizsgálatok körét kibővítve, a bányászathoz csatlakozó ércelőkészítő műből, kohóból, kénsvagyárból, elektrolízis



10. ábra. Az átlagos fejtési magasság alakulása az átlagos Cu-tartalom függvényében
Fig. 10. Variation of average working face height as a function of average Cu content

üzemből, kiszolgáló és segédleéítványokból álló teljes vertikum kölcsönhatásainak figyelembevételével, komplex módon határozzuk meg az optimális kapacitást.

Mint azt az előzőekben már láttuk, a műrevaló érc mennyisége és minősége sem tételvezhető fel állandónak, mivel azok, valamint a határfémtartalom és a termelési költségek között szoros összefüggés áll fenn. (1., 2., 3. ábrák.)

A termelési költségek viszont döntően a termelési kapacitástól, az üzem élettartamát befolyásoló ércmennyiségtől és a termelési koncentrációtól függnék.

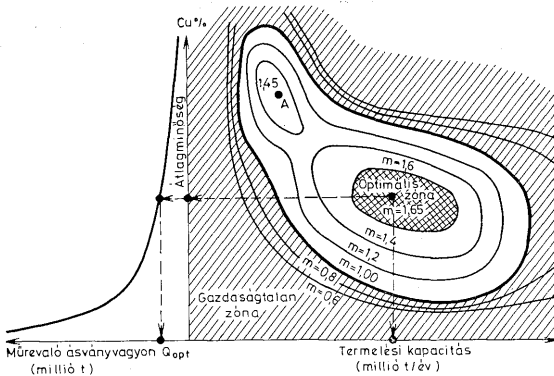
A 10. ábrán az érc átlagminőségének függvényében tüntettük fel a fejtési üregek átlagos magasságát. Látható, hogy gyengébb minőségű érc termelése esetén a fejtési üregek mérete és így a termelési koncentráció növelhető.

Végső soron tehát a termelési költségek a termelési kapacitástól és az átlagminőségtől függnék, s így ezek optimális értékét együtt kell meghatározni.

Ezt indokolja a vertikum komplex vizsgálata is, hiszen a termelt érc minősége és mennyisége együttesen határozzák meg a továbbfeldolgozó üzemek kapacitását, azok fajlagos költségeit és a végtermékek után járó árbevételt is.

Az optimális kapacitás és az optimális Cu-tartalom kijelölése céljából meg kell határozni az egységnyi költségre jutó árbevétel, vagyis az m műrevalósági mutató izovonalait a kapacitás és a termelt érc minőségének függvényében. A 11. ábrán egy ilyen izovonalas diagramot tüntettünk fel, melyen a számszerű értékek torzítottak, s csak az alkalmazott módszer könnyebb megértését szolgálják.

Az $m = 1$ értékek vonalán kívüli, az ábrán vonalkázással megjelölt terület jelzi a gazdaságtalan kapacitás és ércminőség zónáját, a maximális m értéket adó pont pedig az optimális kapacitást és Cu-tartalmat jelöli ki. Látható, hogy az optimum körzetében viszonylag szabadon választhatunk, mivel az m értéke itt alig változik, tehát egy optimális zóna jelölhető ki. Megállapíthatjuk azt is,



11. ábra. Az optimális termelési kapacitásnak, a műrevaló érc minőségének és mennyiségének együttes meghatározása
Fig. 11. Determination of the optimum of output capacity and of the quality and quantity of workable ore combined

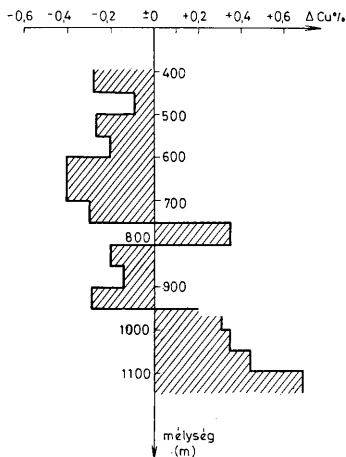
hogy az optimálisnál jobb minőségű érc termelése esetén növekszik az érc fajlagos termelési költsége, melyet csak részben ellensúlyoz a nagyobb fémtartalom. Ezért az izovonalak a nagyobb fémtartalmak felé záródnak.

Ugyanígy a kisebb fémtartalmak felé is záródnak a vonalak, mivel egy adott Cu-tartalomnál kisebb fémtartalmú érc termelését sem a termelési kapacitás, sem a termelési koncentráció növelése nem képes ellensúlyozni.

Az optimális kapacitás meghatározásának egyik kulcskérdése a megfelelő kamatláb kiválasztása. Ennek áthidalása érdekében célszerű, ha a szóbaajóhető legkisebb és legnagyobb kamatlábak mellett meghatározzuk az $m = const$ izovonalakat, s a különböző kamatlábak esetén adódó optimumok körül kialakítható optimális zónák közös részét tekintjük optimális megoldásnak.

Rá kell mutatnunk arra a sajátos körülményre is, hogy a recski rézércelőfordulás esetén, mint azt a 11. ábra mutatja, az abszolút optimális megoldáson kívül létezik egy másik közel optimális megoldás is (az ábrán A ponttal jelöltük), ha elsősorban a szkarnos ércek kitermelését célozzuk meg. Esetünkben ez a körülmény igen előnyös lehet, mivel nem feltétlenül kell egyszerre megvalósítani az optimálisnak minősülő igen nagy termelési koncentrációnak megfelelő kapacitást, hiszen a bányászati kutatáshoz nélkülözhetetlen első két aknával már biztosítható termelési kapacitás közel optimális gazdaságosságot eredményez, ha a teljes kapacitás megvalósításáig az átlagosnál jobb minőségű, többnyire szkarnos ércet termelnek. Egy ilyen megoldás esetén a kapacitásbővítés anyagi feltételeit a vertikum már saját maga képes megteremteni.

Az optimális kapacitással kapcsolatos vizsgálatokból az is kiderült, hogy az érc komplex feldolgozásával és a vertikum kombinátszerű telepítésével járó



12. ábra. Az átlagminőséghez viszonyított Cu-tartalom alakulása a mélység függvényében
Fig. 12. Cu content referred to average quality versus depth

gazdasági előny azonos rézár és azonos gazdasági hatékonyság mellett 0,10 Cu %-kal gyengébb minőségű, s ezáltal jóval nagyobb mennyiségű érc művelésbe vonását teszi lehetővé.

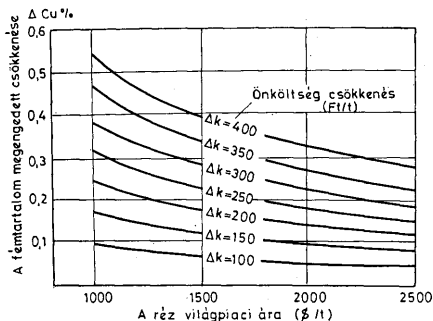
Az érc minőségének alakulása a mélység függvényében

Az átlagos minőséghez viszonyított Cu-tartalom változását a mélység függvényében a 12. ábrán tüntettük fel. Látható, hogy az átlagosnál kiemelkedően jobb minőségű szkarnos ércek a 950–1150 m mélységben helyezkednek el, s így a beruházás minél nagyobb megtérülése érdekében a művelést ebben a mélységközben kell megkezdeni. Ilyen megoldás esetén a réz világgpiaci árának esetleges időszakos csökkenése sem eredményezhet gazdaságtalan termelést.

Óhatatlanul felmerül azonban az a kérdés, hogy vajon nem lenne-e célszerűbb kisebb mélységben kezdeni a művelést, ahol esetleg nagyobb fejtési tömbök is kialakíthatók, s így a termelési költségek csökkenése ellensúlyozná a kisebb Cu-tartalmat.

A 13. ábrán feltüntettük a Cu-tartalom megengedett csökkenését a réz világgpiaci árának és az önköltség csökkenés függvényében. Látható, hogy pl. 1500 \$/t rézár esetén már 0,2 Cu % minőségromlást is csak kb. 220 Ft/t önköltségsökkenés tudna ellensúlyozni, de 2000 \$/t esetén már csak 270 Ft/t. Tehát a Cu-tartalom csökkenését csak olyan költségsökkenés tudná ellensúlyozni, mely az elképzelhető műszaki intézkedésekkel nem valósítható meg. Az is megállapítható, hogy minél nagyobb a réz világgpiaci ára, annál nehezebb ellensúlyozni a minőségromlást, vagyis annál inkább a jobb minőségű ércek művelésére kell a termelés kezdeti időszakában törekedni.

Ez az oka annak is, hogy a részletes bányabeli kutatási munkákat elsősorban a legmélyebb szintekre, az átlagosnál jobb minőségű ércek megkutatására kell koncentrálni.



13. ábra. Az ércminőség megengedett romlása a világgpiaci ár és az önköltség függvényében
Fig. 13. Admissible decrease in ore quality versus world market prices and prime cost

Irodalom — References

GAGYI PÁLFFY A.—CSEH NÉMETH J.—ZELENKA T.—LÁZÁR B.—IFJ. GAGYI PÁLFFY A.—FÉLEGYHÁZI Zs. (1969): A recski mélyszinti ércelőfordulásra telepítendő kutatóakna tervjavaslata. Kézirat
 GAGYI PÁLFFY A.—CSEH NÉMETH J.—ZELENKA T.—IFJ. GAGYI PÁLFFY A.—LÁZÁR B.: A recski mélyszinti színesérc előfordulás összefoglaló jelentése.
 GAGYI PÁLFFY A. (1971): A mélybányászat meghatározó szerepe a tudományos feladatok továbbfejlesztésében. MTA X. Osztály Közleményei 2-4.
 GAGYI PÁLFFY A. (1969): A komplex ércek értékének és művelőségének megítélése. BKL — Bányászat, 5.
 IFJ. GAGYI PÁLFFY A. (1974): Operációkutatási módszerek alkalmazása hintett rézércelőfordulások kiértékelésénél. (Matematika és számítástechnika a nyersanyagkutatásban II.) Magyarhoni Földtani Társulat
 IFJ. GAGYI PÁLFFY A. (1974): Bányüzemek optimális paramétereinek meghatározása. (in: HOSSZÚ M.: Műszaki szélsőértékfeladatok II/2.) Tankönyvkiadó
 HOSSZÚ M.—IFJ. GAGYI PÁLFFY A. (1973): Operation Research in mining: I. Conferenc on mathematical programming

Analyzing rentability and revealed regularities of the Recsk deposit

Dr. A. Gagy i Pálffy, Jr.

On account of the particular ore accumulation features of the Recsk deposit, of its significance for people's economy and of the great number of data obtained in the course of exploration work and prospecting, the present economic evaluation has had to rely on the newest scientific results, to preclude any subjectivism whatever and thus to demonstrate, in an objective and integrate form, the quantitative and qualitative parameters of the workable ore reserves to be expected under different economic and exploitation conditions and the uncertainties that may be inherent therein.

The author gives a brief account of the principal methods used for the evaluation of the deposit and the major relationships recognized in this work. He calls attention to the advantages of functionlike recording of ore reserves and presents a novel mathematical model of computer reserve estimation belonging to the field of discrete programming (formulae (1) (2)).

The relationships between ore quantity, average metal content, limit metal content, average height of face, production cost and world market prices (Fig. 1, 2, 3, and 10), representing the basis of economy calculations, are shown. The variation of the accessory constituents (Fe, Mo, Cd, Ag) as a function of the main constituents (Fig. 5, 6, 7) is expounded and conclusions are drawn as to the distribution of specific weights (Fig. 8).

The optimum of borehole spacing is defined by the minimum of specific cost corresponding to the quantity of reserves determinable with given probability (Fig. 9).

Furthermore, it is pointed out that the optimum of output capacity, the quality of workable ore and thus the quantity of ore exploitable optimally should be determined together, with a view to the junctions of the whole verticum.

As evidenced by Fig. 11, high quality skarnous ores are closely related with poorer, though more voluminous, porphyric ore accumulations which is a peculiar feature of the Recsk deposit. As a result of this peculiar feature the optimum of the output may need to be achieved step by step, as it is evidenced by Fig. 13. With a view to the rate of production achievable by the two shafts indispensable for underground exploration and prospecting work in the first step, the optimum can be fairly well approximated, if skarnous ores having a quality higher than the average are worked in the first years of exploitation.

Examining the variation of ore quality with depth, one can conclude that exploitation should be commenced in the 950 to 1150 m interval, as the lower production cost to be expected in the course of the extraction of more voluminous ore bodies at lower depths does not compensate for the decrease of value due to the lower metal content (Fig. 12, 13), and thus underground exploration and prospecting works too have to be concentrated to this interval in the initial phase of exploitation.