Az akna telepítési helye, az aknamező alakja és kiterjedése

ZAMBÓ JÁNOS okl. bányamérnök, a műszaki tudományok doktora, egyetemi tanár (Műszaki Egyetem, Sopron)

д-р Замбо Янош горный инженер, доктор технических наук, профессор (Горный Институт г. Шопрон) :
МЕСТО ЗАЛОЖЕНИЯ ШАХТНОГО СТВОЛА, ФОРМА И РАЗМЕРЫ ШАХТНОГО ПОЛЯ

Dipl. Bergingenieur *Dr. János Zambó*, Doktor der technischen Wissenschaften, Univ. Prof. :
Der Aufschlagspunkt des Schachtes, die Form und Ausdehnung des Schachtfeldes.

Dr. János Zambó, Mining Engineer, Doctor of Technical Sciences, Univ. Prof. :
Location of shafts, form and spreading of minefields.

Dr. János Zambó, ingénieur des mines, docteur ès sciences techniques, professeur de l'université :
Lieu d'établissement du puits, la forme et l'expansion du champ minier.

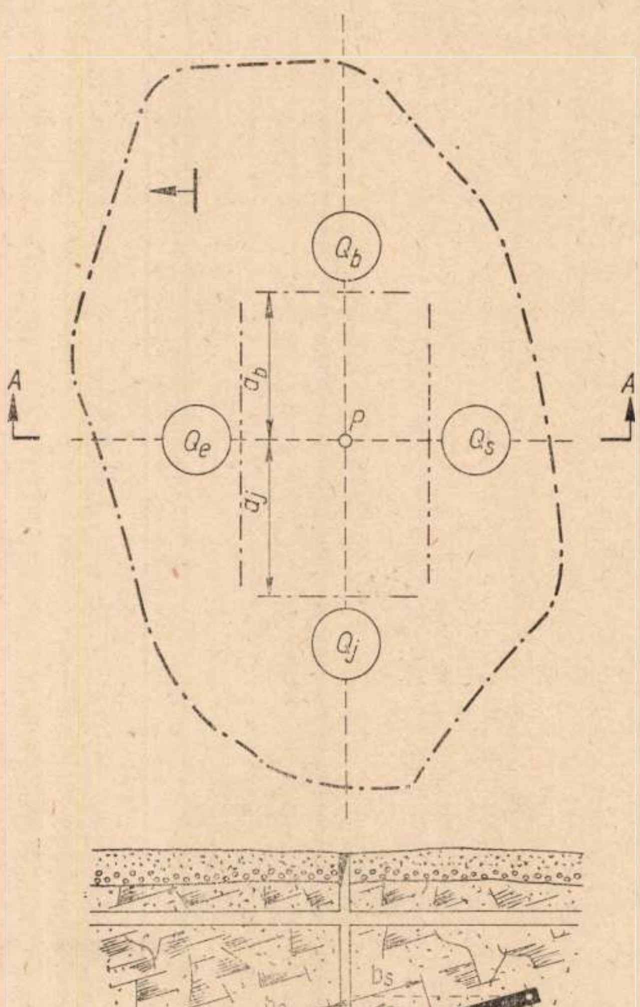
Az akna telepítési helye, az aknamező alakja és kiterjedése már régóta sarkalatos problémája a bányaművelésnek. Ennek ellenére numerikus vagy analitikus vizsgálati módszer hosszú időn keresztül nem alakult ki. Csak az 1920-as évek óta találkozunk az első ilyen kezdeményezésekkel a szovjet irodalomban. Ez a megindult vizsgálat szinte napjainkig megszakítás nélkül folyik. A fejtegetések és a tanulmányok sora jelent meg[1], a kérdés gyökeres megoldása azonban még mindig hiányzik. Rövid tanulmányunknak az a célja, hogy az átfogó és általános érvényű megoldáshoz közelebb jussunk.

Vizsgálatainkban a *lapos dőlésű* településeket elválasztjuk a *meredek* dőlésűektől. Meredek dőlésűnek tekintjük a települést, ha a főfeltárási rendszerben főkeresztvágatokkal nyitjuk meg az egyes szinteket.

Lapos dőlésű település *szabálytalan* alakú aknamezejének tetszőleges P pontjában legyen a szállító és egyben beszálló akna. Közvetlen mellette van a légakna. A telepítés tehát *centrális*. A szabálytalan alakú aknamező kitermelhető ásványvagyona (Q) csapásban jobb- (Q_j) és baloldali (Q_b), dőlésben siklós (Q_s) és ereszkés részre (Q_e) tagozódik, azaz :

$$Q = Q_j + Q_b = Q_s + Q_e \qquad (1)$$

Az ásványvagyon egyes részeit az aknán átmenő dőlés-, illetve csapásvonal különíti el *(1. ábra)*. A kitermelhető ásványvagyon egyes részeinek dőlés-, illetve csapásmenti súlyvonala, valamint az akna közötti távolság a_j, a_b, illetve b_s, b_e.



1. ábra

Legyen egyelőre a szabálytalan aknamező kiterjedése és ásványvagyona adott, azaz változatlan. Vizsgáljuk meg, *hol van az akna optimális helye* a költségek függvényében? Csak azokat a költségeket vesszük számításba, amelyek az akna helyével feltétlen összefüggésben vannak. Ezek a következők : *a bányaszállítás, a személyközlekedési időveszteség, a vízemelés, a szellőztetés, a fenntartás és a beruházás költségei.* Ezeknek az aknaüzem egész élettartamára vonatkoztatott összköltsége egységes formula szerint fejezhető ki :

$$K = (Q_j a_j + Q_b a_b) \Sigma ck_c + Q_s b_s \Sigma ck_s + Q_e b_e \Sigma ck_e + Qb_a (\Sigma ck_a + k_b) \sin \alpha + D \qquad (2)$$

[1] *L. D. Sevjakov:* Mélyművelésű bányaüzemek tervezési alapelvei. 303—307 old. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat. Budapest. 1951.

A c-koefficiens értéke a bányaszállításnál $\frac{1}{1000}$, a személyközlekedés időveszteségénél $\frac{2}{qv_e}$, a vízemelésnél, a szellőztetésnél és a fenntartásnál, $\frac{2}{q_0}$. A q egy főre egy műszak alatt eső ásványmennyiség t-ban, a bányaüzem egész élettartamára vonatkoztatott átlagos érték. v_c a személyközlekedés sebessége csapásmentén[2] (m/óra). q_0 az akna napi átlagos termelése t-ban.

A k-értékek fajlagos költségeket jelentenek: a k_c csapás-, a k_s sikló-, a k_e ereszke-, a k_a aknairányú mozgás, illetve mozgatás fajlagos költsége. A bányaszállításnál a k 1 tkm költsége, a személyközlekedésnél egy óra munkadíja, a vízemelésnél az egész aknamező egy napi átlagos vízmennyiségének 1 fm hosszban való mozgatásának költsége, a szellőztetésnél 1 napi levegőszükségletnek 1 fm hosszban való mozgatási költsége, a fenntartásnál pedig 1 fm vágatnak 1 napi fenntartási költségét jelenti. A k_b 1 fm aknapárnak kihajtási költsége 1 t kitermelhető ásványvagyonra vonatkoztatva.

α a telep dőlésszöge. D az akna helyétől függő olyan beruházás, amely az akna helyét rögzítő paraméterekkel nem hozható matematikai összefüggésbe. A tetszőleges helyre telepített akna b_a távolságra van a dőlésben legmagasabb ponttól.

A személyközlekedési időveszteség vonatkozásában érvényesek az alábbi összefüggések:

$$k_s = k_c \frac{v_c}{v_s} \quad \text{és} \quad k_e = k_c \frac{v_c}{v_e} \tag{3}$$

ahol v_s a siklós, v_e az ereszkés járás műszak előtti és utáni átlagos sebessége. A $\frac{v_c}{v_s}$ és a $\frac{v_c}{v_e}$ arány a dőlésszög függvénye.

Az aknamező lefejtésénél feltételezzük a jobb- és baloldal, illetve a siklós és ereszkés rész arányos lefejtési ütemét. Ennek megfelelően történik az egy napi levegőmennyiség szétosztása, illetve ilyen arányban tevődik össze a napi teljes vízmennyiség is.

Keressük most az összköltség minimumát az akna helyének függvényében. A b_a és a b_s közötti összefüggést fejezzük ki a következőképpen:

$$b_a = \vartheta b_s$$

A ϑ értéke minden konkrét esetben egyértelműen megadható, lemérhető. Képezzük ezután K-nak a_j, a_b, valamint b_s, b_e szerinti parciális differenciálhányadosát:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial a_j} &= Q_j \Sigma c\, k_c \\ \frac{\partial K}{\partial a_b} &= -Q_b \Sigma c k_c \\ \frac{\partial K}{\partial b_s} &= Q_s \Sigma c k_s + \vartheta Q (\Sigma c k_a + k_b) \sin \alpha \\ \frac{\partial K}{\partial b_e} &= -Q_e \Sigma c k_e \end{aligned} \tag{4}$$

Írhatjuk tehát:

$$Q_j \Sigma c k_c - Q_b \Sigma c k_c = 0,$$

illetve

$$Q_s \Sigma c k_s + \vartheta Q \sin \alpha (\Sigma c k_a + k_b) - Q_e \Sigma c k_e = 0 \tag{5}$$

A két negatív előjel értelemszerűen következik, mivel az a_b és b_e ellentétes oldalon van, mint az a_j, illetve a b_s.

Ezekből, valamint az (1) egyenletből következik, hogy az akna optimális helyen van, ha kielégül a két alábbi feltételi egyenlet, feltételezve, hogy a c és k értékek a jobb- és baloldalon azonosak:

$$Q_j = Q_b = \frac{Q}{2} \tag{6}$$

illetve

$$\frac{Q_s}{Q_e} = \frac{\Sigma c k_e - \vartheta (\Sigma c k_a + k_b) \sin \alpha}{\Sigma c k_s + \vartheta (\Sigma c k_a + k_b) \sin \alpha} \tag{7}$$

Az első egyenlet az aknamezőt végérvényesen osztja két egyenlő részre, a második egyenlet szerinti megosztás először csak megközelítő. A vízemelés és a szellőztetés k_s, illetve k_e értéke ugyanis függvénye az Q_s-nek, illetve a Q_e-nek. Elvileg ugyanez vonatkozik a bányászállításra, a személyközleke-

[2] A q és a v_c értékekre vonatkozó részletesebb ismertetést korábbi, a „*A beszálló akna helye és a személyközlekedés időveszteségé*" c. tanulmányunkban már részletesebben elemeztük. (Bányászati Lapok. 1957. 3. sz.)

désre és a fenntartásra is. Ezeknek a hatása azonban gyakorlatilag elhanyagolható. Ezért az egyszerűbb eljárás érdekében az első lépésben a Q_s és Q_e arányát csak becsüljük, és ennek megfelelően kalkuláljuk az első lépés k_s, illetve k_e értékét. Ha az első lépésben számított arány nem egyezik meg a becsült aránnyal, újabb lépésre, esetleg lépésekre van szükség. Az újabb lépésnél már az előző lépés számított arányának megfelelően kalkuláljuk a k_s, illetve a k_e értékét. Gyakorlatilag legfeljebb két-három lépésre van csak szükség. A k-értékek változása ugyanis általában nem lényeges. Például a személyközlekedés átlagos sebessége bizonyos mértékig függ a megjárandó út hosszától. Az út növekedésével az átlagos sebesség csökken. Érezhetőbb ez a hatás már a vízemelés és a szellőztetés tekintetében. Az arányos termelés alapján ugyanis a k-érték kalkulálásában nem mindegy, hogy az egész aknamezőt milyen megközelítő arányban osztjuk siklós és ereszkés részre.

Az eddigi egyenletekből adódnak az alábbi összefüggések is:

$$Q_s = Q \frac{\Sigma ck_e - \vartheta(\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha}{\Sigma ck_s + \Sigma ck_e} = \omega_s Q \tag{8}$$

továbbá

$$Q_e = Q \frac{\Sigma ck_s + \vartheta(\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha}{\Sigma ck_s + \Sigma ck_e} = \omega_e Q \tag{9}$$

Az ω_s és ω_e között a két utóbbi egyenlet alapján a következő összefüggés is érvényes:

$$\omega_s = 1 - \omega_e \tag{10}$$

A lehozott összefüggések nem veszik tekintetbe a D tagot. Ennek szerepét minden egyes esetben külön kell mérlegelni. A mérleg egyik oldalán áll az optimális ponttól való eltérés következtében előálló költségnövekedés, a másikon a D-ben foglalt beruházás, esetleg üzemköltség csökkenése. Előfordulhat például, hogy valamely külszíni pontban, illetve helyen kedvezőbb az építkezés földmunkája, vagy rövidebb a vasúti csatlakozás stb., mint az akna számított optimális helyén. Ilyenkor tehát az akna eltolódásából keletkezett fajlagos termelési költség növekedését vetjük össze a beruházási megtakarítás amortizációjával.

Legyen az aknamező *derékszögű négyszög alakú,* és az átlagos csapás az egyik oldallal (A) párhuzamos. Ez esetben az optimális pontot az alábbi két feltételi egyenlet határozza meg:

$$Q_j = Q_b = \frac{Q}{2} = \frac{ABM\gamma\zeta}{2} = \frac{AB\delta}{2} \tag{11}$$

és

$$\frac{Q_s}{Q_e} = \frac{b_s}{b_e} = \frac{\omega_s}{\omega_e} \tag{12}$$

M a település vastagsága, γ a térfogatsúlya, A az aknamező csapás-, B a dőlésmenti oldala, ζ a kitermelhetési együttható, azaz a ténylegesen kitermelhető és a nyers ásványvagyon hányadosa. A továbbiakban a ζ-t az egész aknamezőben állandónak tételezzük fel.

Kimutatható továbbá az is, hogy

$$b_s = \omega_s \frac{B}{2}$$

$$b_e = \omega_e \frac{B}{2} \tag{13}$$

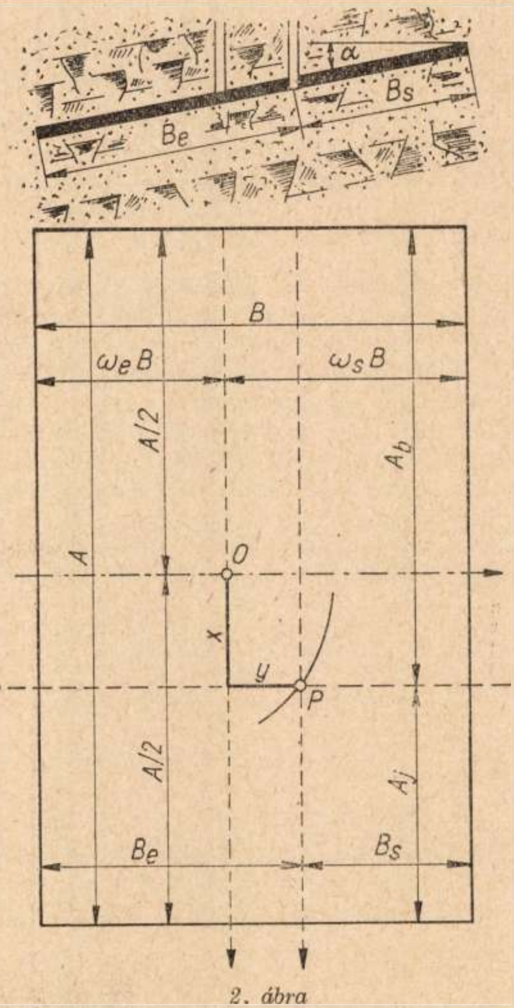
illetve

$$a_j = a_b = \frac{A}{4}$$

A derékszögű négyszög alakú mező esetében:

$$\omega_s = \frac{\Sigma ck_e - 2(\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha}{\Sigma ck_s + \Sigma ck_e} \tag{14}$$

$$\omega_e = \frac{\Sigma ck_s + 2(\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha}{\Sigma ck_s + \Sigma ck_e} \tag{15}$$



2. ábra

Ha a derékszögű négyszög alakú adott aknamezőben az akna nem az optimális (O), hanem tetszőleges (P) helyen van, az összköltség következőképpen fejezhető ki: *(2. ábra)*

$$K_P = \left\{ (A_j^2 + A_b^2) \frac{B}{2} \Sigma ck_c + A \frac{B_s^2}{2} \Sigma ck_s + A \frac{B_e^2}{2} \Sigma ck_e + ABB_s (\Sigma ck_a + k_b) \sin\alpha \right\} \delta + D \tag{16}$$

Az optimális pontban pedig:

$$K_0 = \left\{ \frac{A^2}{4} B\Sigma ck_c + \frac{A}{2} B^2 (\omega_s^2 \Sigma ck_s + \omega_e^2 \Sigma ck_e) + AB^2 \omega_s (\Sigma ck_a + k_b) \sin\alpha \right\} \delta + D \tag{17}$$

Az ábra szerint a P pont koordinátái x és y. Érvényesek tehát a következők:

$$A_j = \frac{A}{2} - x \text{ és } A_b = \frac{A}{2} + x \tag{18}$$

valamint

$$B_s = \omega_s B - y \text{ és } B_e = \omega_e B + y \tag{19}$$

Helyettesítsük a (18) és (19) alatti egyenleteket a (16) összefüggésbe, majd osszuk el az így kapott egyenletet K_0-val, szorozzuk meg 100-zal, és helyettesítsük be ω_s és ω_e (14), (15) egyenlet szerinti értékét. Eredményül kapjuk:

$$\eta\% = \frac{100}{K_0} \left\{ B\Sigma ck_c x^2 + \frac{A}{2} (\Sigma ck_s + \Sigma ck_e) y^2 + AB (\Sigma ck_a + k_b) \sin\alpha\, y \right\} \delta + 100 \tag{20}$$

Az utóbbi összefüggés az η százalék szerinti *ellipszissereget* jelent. Az egyedi ellipszisek tengelyei szintén az η függvényében egymással párhuzamosan dőlésirányban eltolódnak. Ha az y-os tagtól eltekintünk, egyközpontos ellipszissereget kapunk, amelynek szokványos alakja:

$$\frac{x^2}{\frac{\eta - 100}{100\,\delta} \frac{K_0}{B\Sigma ck_c}} + \frac{y^2}{\frac{2(\eta - 100)}{100\,\delta} \frac{K_0}{A(\Sigma ck_s + \Sigma ck_e)}} = 1 \tag{21}$$

Az ellipszis geometriai helye mindazoknak a pontoknak, amelyekbe telepített aknához tartozó, az akna helyétől függő költségek azonosak. Az optimális helyhez viszonyított százalékos költségnövekedés annál nagyobb mértékű, minél jobban közeledünk a szélek, főleg a sarkok felé.

A bemutatott törvényszerűséget kifejező összefüggés természetes bizonyos elhanyagolást rejt magában. Nem veszi ugyanis tekintetbe azt, hogy az akna helyének is függvénye a k-érték. Gyakorlatilag is észrevehető módon jelentkezik ez erősen vizes bányáknál. Az ellipszisek torzulása azonban általában nem számottévő, az általános tájékozódás lehetősége pedig így is megvan. Elsősorban erre törekedtünk.

Az optimális pont ismeretében keressük meg most már az *aknamező optimális méreteit adott napi termelési kapacitás mellett.* Olyan összefüggést kell felírnunk, amely magában foglalja az aknamező méreteitől függő költségeket és ezeket a teljes beruházás költségeivel kell szembeállítanunk. Az aknamező méreteitől függ a bányaszállításnak, a személyközlekedésnek, a vízemelésnek, a szellőztetésnek, a fenntartásnak az aknamezőre vonatkoztatott költsége. Az optimális pontra telepített aknában lebonyolódó szállítás, személyközlekedés, levegőmozgatás esetleges fenntartás költségei általában függetlenek az aknamező méreteitől adott napi kapacitás mellett. Az aknában történő vízemelésre ez már nem mondható el. Az aknaüzem egész élettartamára vonatkoztatott átlagos, az időegységre eső vízmennyiség ugyanis már függvénye az aknamezőnek még adott napi kapacitás esetében is. Ettől a tényezőtől azonban egyelőre tekintsünk el, és csak az aknamezőre vonatkozó összköltségeket írjuk fel általános formában, feltételezve, hogy az akna optimális pontban van:

$$K_0' = Q \left\{ \frac{a_j + a_b}{2} \Sigma ck_c + \omega_s b_s \Sigma ck_s + \omega_e b_e \Sigma ck_e \right\} + D_t \tag{22}$$

A kitermelhető ásványmennyiségre vonatkoztatott fajlagos költség pedig:

$$k_0 = \frac{a_j + a_b}{2} \Sigma ck_c + \omega_s b_s \Sigma ck_s + \omega_e b_e \Sigma ck_e + \frac{D_t}{Q} \tag{23}$$

A Q függvényében a k_0-nak van egy minimum-értéke, a hozzá tartozó Q érték pedig optimális. Az aknamező optimális méreteit explicit alakban csak akkor lehet megadni, ha a Q és az a_j, a_b, b_s, b_e közötti összefüggés matematikailag határozott formában kifejezhető. Megtehető ez derékszögű négyszög alakú aknamező esetében. Ekkor ugyanis

$$k_0 = \frac{A}{4} \Sigma ck_c + \frac{B}{2} (\omega_s^2 \Sigma ck_s + \omega_e^2 \Sigma ck_e) + \frac{D_t}{AB\delta} \tag{24}$$

Az aknamezőnek akkor van optimális mérete, ha k_0 minimum. Képezzük tehát a k_0-nak előbb A-, majd B-szerinti parciális differenciálhányadosát, és tegyük egyenlővé nullával:

$$\frac{\partial k_0}{\partial A} = \frac{\Sigma ck_c}{4} - \frac{D_t}{A^2 B \delta} = 0$$
$$\frac{\partial k_0}{\partial B} = \frac{\Sigma ck_s}{2}\omega_s^2 + \frac{\Sigma ck_e}{2}\omega_e^2 - \frac{D_t}{AB^2\delta} = 0 \qquad (25)$$

A két utóbbi egyenlet alapján megadhatjuk *az aknamező optimális méreteit:*

$$A_0 = 2\sqrt[3]{\frac{D_t}{\delta}\frac{\omega_s^2\,\Sigma ck_s + \omega_e^2\,\Sigma ck_e}{(\Sigma ck_c)^2}} \qquad (26)$$

illetve

$$B_0 = \sqrt[3]{\frac{D_t}{\delta}\frac{\Sigma ck_c}{(\omega_s^2\,\Sigma ck_s + \omega_e^2\,\Sigma ck_e)^2}} \qquad (27)$$

Az így számított méretek csak az első lépést jelentik. Ha ugyanis például a vízemelés k-értékének kalkulációjánál az előzetesen felvett méretek az optimális méretektől lényegesen különböznek, a kalkulációt az első lépésben számított mérték figyelembevételével meg kell ismételnünk. Esetleg több lépésre is szükség lehet. Elvileg tehát fokozatosan közelítő eljárást követünk, gyakorlatilag többnyire a második lépésben már kielégítő pontosságot érünk el. Célravezető, ha a k-érték másodszori, esetleg többszöri kalkulációját a földalatti szállítás tekintetében is elvégezzük. A tkm költsége ugyanis függvénye az úthossznak is. Megtehető ez a másodszori, esetleg többszöri k-érték kalkuláció a légellátás, sőt a fenntartás és a személyközlekedés vonatkozásában is, mert ezek is — az utóbbi kettő ugyan lényegesen kisebb mértékben — függnek a súlyvonalaknak az aknától mért távolságától. A korrigálást több lépésben elvégezni azonban rendszerint nem célravezető, mert a bizonytalanság ilyen értelmű csökkentése már kisebb méretű, mint magának a kalkulációnak a bizonytalansága.

Érdemes feljegyezni az *optimális méretek arányát* is:

$$\lambda = \frac{B_0}{A_0} = \frac{1}{2}\frac{\Sigma ck_c}{\omega_s^2\,\Sigma ck_s + \omega_e^2\,\Sigma ck_e} \qquad (28)$$

Az arány független a beruházástól, a mélységtől, nagymértékben, csaknem kizárólagosan függ ellenben a dőlésszögtől. Szélső esetben, ha $\alpha = 0°$, és ekkor $\omega_s = \omega_e = \frac{1}{2}$, $k_c = k_s = k_e$, az optimális arány: $\lambda = 1$. Minél nagyobb a dőlés, az aknamező csapásban annál inkább elnyúlik.

Erősen vízveszélyes üzemekben nem hanyagolható el az aknamező kiterjedésétől függő azon hatás, mely az aknában való vízemelésnél jelentkezik. Minél nagyobb ugyanis az aknamező, azonos szállítási kapacitás mellett, annál nagyobb az akna egész élettartamára vonatkoztatott és az időegységre eső vízmennyiség. Természetesen ebben szabályszerűség nincs. A gyakorlat igen gyakran azt mutatja, hogy a nagyobbmérvű vízbetörések az üzem kezdeti idejében jelentkeznek. Az előbb említett átlagos vízmennyiség ilyen esetekben már kevésbé függvénye az aknamező kiterjedésének. Legtöbb esetben a vízbetöréseket el lehet cementálni vagy elzárni. Ez viszont a vízemelés említett hatásának nagyságrendjét csökkenti. Ha e hatást mégis vizsgálni akarjuk, csak elméleti jelentősége lehet. Még elméletileg is csak bizonyos feltételezéssel fogható meg a probléma. Nevezetesen azzal, hogy e hatást μABk_v taggal vesszük számításba. Ez azt jelenti, hogy az átlagos napi egy t-ra vonatkoztatott vízemelési költség μ szerint proporcionális a derékszögű akna méreteivel, illetve ásványvagyonával. Adjuk ezt a tagot a (24) egyenlet jobboldalához:

$$k_0 = \frac{A}{4}\Sigma ck_c + \frac{B}{2}(\omega_s^2\,\Sigma ck_s + \omega_e^2\,\Sigma ck_e) + \frac{D_t}{\delta AB} + \mu ABk_v \qquad (29)$$

A szélsőérték keresés ismert módszerét követve az *aknamező optimális méreteit* (A_0, B_0) az alábbi két egyenletből számíthatjuk:

$$\frac{\Sigma ck_c}{4} + \mu Bk_v - \frac{D_t}{A^2 B\delta} = 0 \qquad 30)$$

és

$$\frac{\Sigma ck_s}{2}\omega_s^2 + \frac{\Sigma ck_e}{2}\omega_e^2 + \mu Ak_v - \frac{D_t}{AB^2\delta} = 0 \qquad (31)$$

A $\lambda = \frac{B_0}{A_0}$ ez esetben is változatlan, azaz

$$\lambda = \frac{1}{2} \frac{\Sigma ck_c}{\omega_s^2 \Sigma ck_s + \omega_e^2 \Sigma ck_e} \tag{32}$$

Jelöljük az AB-t T-vel. Ezeknek megfelelően írható:

$$\mu k_v T^2 + \frac{1}{2} \sqrt{\Sigma ck_c \frac{\omega_s^2 \Sigma ck_s + \omega_e^2 \Sigma ck_e}{2}} \sqrt{T}\, T - \frac{D_t}{\delta} = 0 \tag{33}$$

Az utóbbi egyenlet alapján *fokozatos közelítéssel* viszonylag gyorsan számíthatjuk az optimális T, illetve A_0 és B_0 értékeket.

A derékszögű négyszög alakú aknamező megismert összefüggéseinek érzékelése érdekében vegyünk fel egy konkrét esetet. Az adatok a következők: $A = 2500$ m, $B = 1300$ m, $M = 6$ m, $\gamma = 1{,}4$ t/m³, $\zeta = 0{,}85$, $\alpha = 8°$, $q_0 = 1500$ t/nap, $q = 1{,}4$ t/mü, $v_c = 3800$ m/óra.

A c és k értékeket táblázatba foglaltuk *(1. táblázat)*

1. táblázat

	c	k csapásban c	k siklóban s	k ereszkében e	k aknában a	$k_a \sin \alpha$
Bányaszállítás	$\frac{1}{1000}$	3,60	2,50	4,70	2,20	0,31
Személyközlekedés	$\frac{2}{1{,}4 \cdot 3800}$	12,00	14,34	17,21	2,10	0,29
Vízemelés	$\frac{2}{1500}$	0,18	0,09	11,60	7,40	1,03
Szellőztetés	$\frac{2}{1500}$	2,40	2,55	2,64	1,50	0,21
Fenntartás	$\frac{2}{1500}$	1,36	1,72	1,63	0,12	0,02

Az adatok kalkulálásánál első lépésben a B_s-t 750 m-nek vettük fel.

A személyközlekedés[3] esetében a

$$\frac{k_s}{k_c} = 10\hat{\alpha}^2 + 1 = 1{,}195$$

továbbá

$$k_e = 1{,}2\, k_s$$

A ck szorzatokat ugyancsak táblázatba foglaljuk össze *(2. táblázat)*

2. táblázat

	k c	k s	k e	k a (sin α)	Jegyzet
Bányaszállítás	0,00360	0,00250	0,00470	0,00031	$Q = 23{,}205$ mill. t.
Személyközlekedés	0,00451	0,00539	0,00647	0,00011	$k_b = 0{,}00023$
Vízemelés	0,00024	0,00012	0,01547	0,00137	$k_b \sin \alpha = 0{,}00003$
Szellőztetés	0,00320	0,00340	0,00352	0,00028	$\delta = 7{,}14$
Fenntartás	0,00181	0,00229	0,00217	0,00003	$D = 20$ mill. Ft
					$D_t = 160$ mill. Ft
Σ	0,01336	0,01370	0,03233	0,00210	

[3] L.: „A beszálló akna helye és a személyközlekedés időveszteségé." c. tanulmányt. Bányászati Lapok. 1957. 3. szám.

Az akna optimális helyét meghatározzák az alábbiak:

$$A_j = A_b = \frac{A}{2} = 1250 \text{ m}$$

$$B_s = \omega_s B = \frac{0{,}03233 - 2\,(0{,}00210 + 0{,}00003)}{0{,}01370 + 0{,}03233}\,1300 = 0{,}6098 \cdot 1300 = 793 \text{ m}$$

$$B_e = B - B_s = 1300 - 793 = 507 \text{ m},$$

illetve

$$\omega_e = 1 - \omega_s = 0{,}3902$$

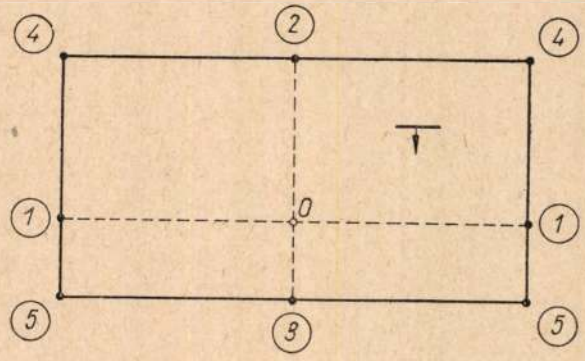
Mivel az első lépésben felvett B_s (750 m) és a számított B_s (793 m) között nincs lényeges különbség, a *ck* értékek újrakalkulálására, így a második lépésre sincs gyakorlatilag szükség.

Számítsuk ki az optimális pontra vonatkoztatott, az akna helyétől függő fajlagos költséget, ha az aknamező adott:

$$k_0 = \frac{A}{4}\Sigma ck_e + \frac{B}{2}(\omega_s^2 \Sigma ck_s + \omega_e^2 \Sigma ck_e) + B\omega_s(\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha + \frac{D}{AB\delta}$$

A megfelelő értékek behelyettesítése után kapjuk:

$$k_0 = 17{,}42 \text{ Ft/t}$$



3. *ábra*

A *3. ábrán jellegzetes* pontokat vettünk fel. Az optimális ponthoz viszonyított költségnövekedés mértékét táblázatosan tüntettük fel *(3. táblázat)*.

3. táblázat

A pont jele	A pont koordinátái		η %	Ft/t	Ft	Δ Ft
	x	y			millió forintban	
0	0	0	100	17,42	404	0
1	1250	0	148	25,78	598	194
2	0	+793	174	30,31	703	299
3	0	—507	120	20,90	485	81
4	1250	+793	222	38,67	897	493
5	1250	—507	168	19,27	679	275

Az egyes jellegzetes pontok esetén a százalékos költségnövekedést a (20) egyenlet szerint számítottuk. A táblázat többi adatai értelemszerűen adódnak. Megállapítható, hogy a szélső helyzetekben tekintélyes költségnövekedés lép föl.

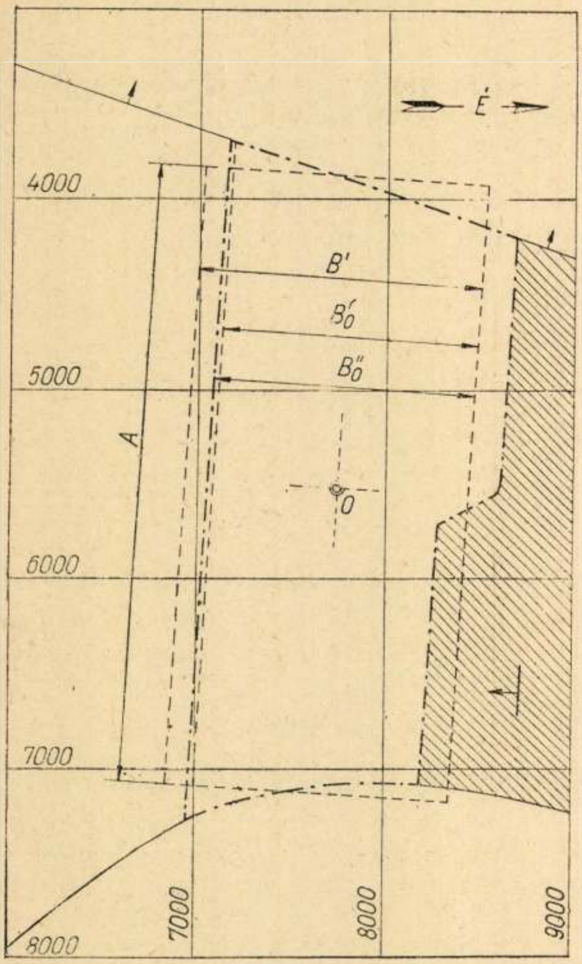
Példánkban az aknamező kiterjedése az átlagos napi termelés adott volt. Továbbra is adott marad az átlagos napi termelés, változik ellenben az aknamező mérete. Az optimális méretek a (26), illetve (27) egyenlet szerint a következők:

$$A_0 = 2\sqrt[3]{\frac{160 \cdot 10^6}{7{,}14}\,\frac{0{,}6098^2 \cdot 0{,}01370 + 0{,}3902^2 \cdot 0{,}03233}{0{,}01336^2}} = 2160 \text{ m}$$

illetve

$$B_0 = \sqrt[3]{\frac{160 \cdot 10^6}{7{,}14}\,\frac{0{,}01336}{(0{,}6098^2 \cdot 0{,}01370 + 0{,}3902^2 \cdot 0{,}03233)^2}} = 1440 \text{ m}$$

Az első lépésben kalkulált k-értékek $A = 2500$ m és $B = 1300$ m aknamező méretekre vonatkoznak. Az optimális méretek (A_0 és B_0) ezektől, ha nem is számottevő mértékben, de mégis eltérnek. A második lépésben az egyes k-értékeket már az első lépésben számított A_0 és B_0 méreteknek megfelelően kellene kalkulálnunk. Az új kalkuláció azonban azt mutatja, hogy számottevő eltérés csupán a vízemelés k-értékeiben jelentkezik. A relatív eltérés 4—5%-os csökkenés. Ez rendszerint kisebb, mint a becslési középhiba. Gyakorlatilag tehát esetünkben a második lépés alkalmazására nincs szükség. Ha az első lépés megközelítő k-értékeinek, illetve az aknamező megközelítő méreteinek becslésében durva hibát követünk el, a további lépésekre szükség van. Ilyenkor természetesen minden lépésben tekintetbe kell venni az akna megváltozott optimális helyét is.



4. ábra

Előfordul, hogy a *derékszögű négyszög alakú aknamező egyik oldala természetes határok révén adott,* csak a másik változtatható szabadon. Ha a csapásmenti kiterjedés (A) adott, a dőlésmenti optimális méret a (25) egyenletpár második összefüggéséből számítható:

$$B_0 = \sqrt{\frac{2\,D_t}{\delta A\,(\omega_s^2\,\Sigma ck_s + \omega_e^2\,\Sigma ck_e)}} \tag{34}$$

Ha a dőlésmenti méret adott, a csapásmenti optimális kiterjedés:

$$A_0 = 2\sqrt{\frac{D_t}{\delta B \Sigma ck_c}} \tag{35}$$

Ha erősen vízveszélyes üzemről van szó és így az aknában való vízemelés hatása nem hanyagolható el, az utóbbi összefüggéseink a (31) és (30) egyenletek alapján a következőképpen alakulnak:

$$B_0 = \sqrt{\frac{2\,D_t}{\delta A\,(\omega_s^2\,\Sigma ck_s + \omega_e^2\,\Sigma ck_e + 2\,\mu A k_v)}} \tag{36}$$

illetve

$$A_0 = 2\sqrt{\frac{D_t}{\delta B\,(\Sigma ck_c + 4\,\mu B k_v)}} \tag{37}$$

Gyakorlatilag nincsen derékszögű aknamező. Ezek az összefüggések mégis gyakorlatilag is felhasználhatók, mert az aknamező tényleges alakja igen gyakran megközelíti a derékszögű négyszög alakját, tehát vele helyettesíthető. Máskor a mező megközelítő kiterjedését lehet vele célszerűen megállapítani. A megközelítő méretek birtokában már a további eljárás lényegesen megrövidül.

A *4. ábrán* az aknamező északi határa adott régebben lefejtett terület által. Nyugaton nagyobb vető szab természetes határt. Keressük meg az aknamező negyedik határának optimális helyét. A feladat megoldásában igénybevesszük a derékszögű négyszög alakú aknamező összefüggéseit. Ez esetben ugyanis az általános alakú mező megközelítően derékszögű négyszögű mezővel helyettesíthető.

Az adatok a következők: $A = 3240$ m, $M = 5$ m, $\gamma = 1{,}42$ t/m³, $\zeta = 0{,}85$, $\alpha = 6°$, $q_0 = 1500$ t/nap, $q = 1{,}4$ t/mű, $v_e = 3800$ m/óra, $\delta = 6{,}035$, $D_t = 200$ millió forint.

Az első lépésben vegyük fel a dőlésmenti oldalt B'-t 1500 m-nek. Ilyen adatok mellett az első lépés kalkulált $\Sigma' ck$-értékei az alábbiak:

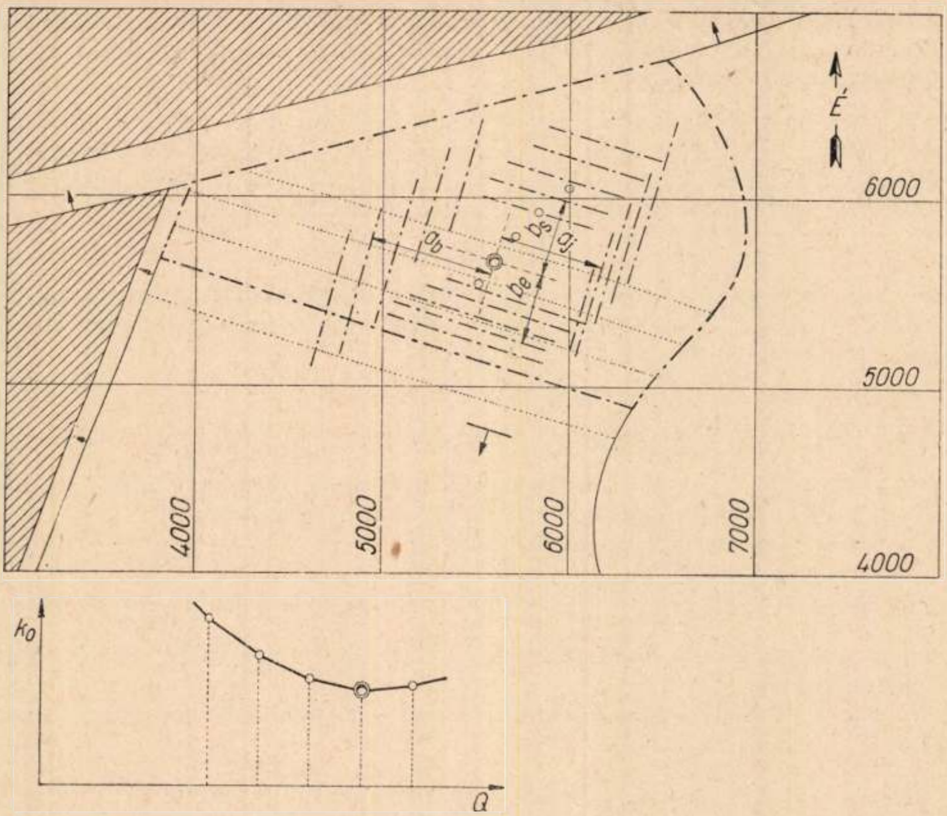
$$\Sigma' ck_s = 0{,}0145,\quad \Sigma' ck_e = 0{,}0303 \text{ és } (\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha = 0{,}0036$$

Az ω_s' és ω_e' értéke számítható:

$$\omega_s' = 0{,}5156 \text{ és } \omega_e' = 0{,}4844$$

A (34) egyenlet szerint:

$$B_0' = \sqrt{\frac{2\cdot 2\cdot 10^8}{6{,}035\cdot 3240\,(0{,}5156^2\cdot 0{,}0145 + 0{,}4844^2\cdot 0{,}0303)}} = 1365 \text{ m}$$



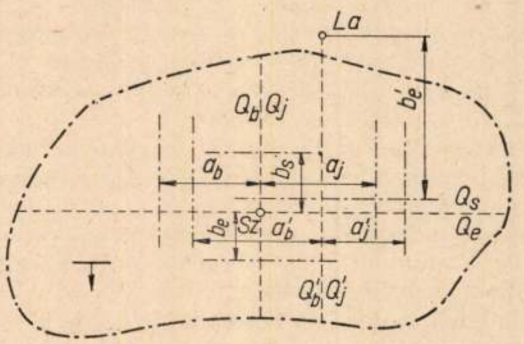
5. ábra

A pontosság fokozása érdekében végezzük el a második lépést is. A k-értékeket most már az A és B_0 méreteknek megfelelően kalkuláljuk. Jelentősebb változást csak a vízemelés tekintetében jelentkezik. A második lépésben :

$$\Sigma''ck_s = 0{,}0142,\ \Sigma''ck_e = 0{,}0294 \text{ és } (\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha = 0{,}0036$$

$$\omega_s'' = 0{,}5092 \text{ és } \omega_e'' = 0{,}4908$$

Ezekből számított $B_0'' = 1380$ m már végleges marad, mert nem tér el lényegesen az előbbi lépésben számított értéktől. Látható viszont az is, hogy a második lépés már csak jelentéktelen változást hozott.



6. ábra

Az utóbbi példánkban nem vettük tekintetbe a szénterület teljes kiterjedését. Természetesen akkor járunk el helyesen, ha az egész ismert területet befedjük aknamezőkkel úgy, hogy hasonló eljárással egymás mellé sorakoztatjuk őket. Ha az utolsó aknamező a kelleténél nagyobbra vagy kisebbre adódik, a felesleget vagy hiányt elosztjuk az aknamezőkre, vagy a napi termelési kapacitást változtatjuk meg úgy, hogy minden aknamező optimális méretű legyen.

Felvetődik az optimális napi termelési kapacitás kérdése is. Itt ezzel külön nem foglalkozunk. Természetesen az ilyen irányú vizsgálatnak csak akkor van értelme, ha a geológiai viszonyok nem határolják el a napi termelési kapacitást.

Igen gyakran előfordul, hogy a szóban forgó terület még megközelítően sem helyettesíthető derékszögű négyszög alakú aknamezővel. Ilyen esetben az eljárás lényegesen hosszabb. Mivel szabálytalan alakról van szó, a (22) egyenletet kell felhasználnunk az optimum megkeresésében.

Az *5. ábra* szerint az aknamezők sorozatát kell felvennünk. Mindegyikre vonatkozóan kijelöljük az akna optimális helyét. Ezután meghatározzuk mindegyikre az a_j, a_b, b_s, b_e és a Q értéket. Ugyanígy kell kalkulálnunk a Σck_c, Σck_s, Σck_e és a $(\Sigma ck_a + k_b) \sin\alpha$ értékeit is. Ezek birtokában a (22) egyenlet alapján a Q függvényében ábrázolható már a k_0 változása. Amelyik Q-hoz a minimális k_0 tartozik, az szabja meg az aknamező optimális méreteit.

Előfordul, hogy az egyik akna, rendszerint a légakna távolabb esik a szállító aknától, azaz a telepítés nem központos, hanem *diagonális*. A *6. ábra* szerint a légaknát dőlésben felfelé a határra telepítettük. A szállító akna (*Sz*) a behúzó, a légakna (*La*) a kihúzó. Mivel a levegő kihúzása nem közvetlenül a szállító akna mellett történik, a (2) egyenlet is megváltozik, két részre szakad:

$$K = K_1 + K_2$$

A K_1-ben szerepelnek azok az összetevők, amelyek csak a szállítóaknára vonatkoznak, a K_2-ben azok, amelyek felerészben a szállító, felerészben a légaknával kapcsolatosak. Ez esetben a szellőztetési és a fenntartási összetevők kapcsolatosak mindkét aknával.

A K_1-t a (2) egyenlet szerint fejezzük ki:

$$K_1 = (Q_j\, a_j + Q_b\, a_b)\, \Sigma_1\, ck_c + Q_s\, b_s\, \Sigma_1\, ck_s + Q_e\, b_e\, \Sigma_1\, ck_e + \vartheta_1\, Qb_s\, (\Sigma_1\, ck_a + k_{1b}) \sin\alpha + D \qquad (37)$$

Megjegyezzük, hogy a $\Sigma_1\, ck$-értékekben a szellőztetés és a fenntartás most nem szerepel. Ugyanúgy a $(\Sigma_1\, ck_a + k_{1b}) \sin\alpha$ összetevő is csak a szállító aknára vonatkozik.

A K_2-t az ábra alapján fejezhetjük ki éspedig:

$$K_2 = \frac{1}{2}\left\{(Q_j\, a_j + Q_b\, a_b)\, \Sigma_2\, ck_c + (Q_j' a_j' + Q_b' a_b')\, \Sigma_2' ck_c + Q_s\, b_s\, \Sigma_2\, ck_s + Q_e\, b_e\, \Sigma_2\, ck_e + Q\vartheta_2\, b_e\, \Sigma_2' ck_e\right\} \qquad (38)$$

ahol a $\Sigma_2\, ck$ csak a szellőztetés és a fenntartás összetevőit foglalja magában. Az egyenletben $b_e' = \vartheta_2\, b_e$ helyettesítést alkalmaztunk.

Az adott helyen rögzített légakna a szállító akna optimális helyének két feltételi egyenletét is megváltoztatja:

$$Q_j \left(\Sigma_1\, ck_c + \frac{1}{2}\Sigma_2\, ck_c\right) + Q_j' \frac{1}{2}\Sigma_2' ck_c = Q_b \left(\Sigma_1\, ck_c + \frac{1}{2}\Sigma_2\, ck_c\right) + Q_b' \frac{1}{2}\Sigma_2' ck_c \qquad (39)$$

illetve

$$\frac{Q_s}{Q_e} = \frac{\Sigma_1\, ck_e + \frac{1}{2}(\Sigma_2\, ck_e + \vartheta_2\, \Sigma_2' ck_e) - \vartheta_1 (\Sigma_1\, ck_a + k_{1b}) \sin\alpha}{\Sigma_1\, ck_s + \frac{1}{2}(\Sigma_2\, ck_s - \vartheta_2\, \Sigma_2' ck_e) + \vartheta_1 (\Sigma_1\, ck_a + k_{1b}) \sin\alpha} \qquad (40)$$

Diagonális telepítés esetén is megoldható tehát a szállító akna optimális helye. Az ide vonatkozó összefüggések alapján az aknamező optimális méretei is megkereshetők azzal a módszerrel, amelyet a központos telepítésnél követtünk. Derékszögű négyszög alakú aknamező esetében az optimális méretek természetesen explicit alakban is kifejezhetők.

„*A beszálló akna helye és a személyközlekedés idővesztesége*" c., már említett tanulmány szerint a beszálló akna optimális helye nem változik akkor sem, ha az aknamezőben *folytonossági hiány* van, ha *több részletből* tevődik össze, ha az *átlagos csapás megváltozik*. A beszálló akna esetében követett módon a szállító aknára vonatkozóan is kimutatható, hogy *az akna optimális helyét meghatározó feltételi egyenletek általános érvényűek.*

Ahogy a beszálló akna esetében feltételeztük, hogy a kérdéses pontra a legrövidebb csapás-, illetve dőlésmenti úton jutunk el, úgy itt is az összköltség és a fajlagos költség összefüggései ezzel a feltétellel érvényesek. Ha ez valamilyen okból kifolyólag még megközelítően sincs meg, az összköltség és a fajlagos költség összefüggését minden konkrét esetben értelemszerűen kell felírni, és ennek megfelelően határozhatjuk meg az aknamező optimális méreteit. Maga az eljárás teljesen analóg azzal, amelyet az említett tanulmányban megismerhettünk.

Az aknamező területén belül *mesterséges folytonossági hiány* is lehetséges. Ilyen az *akna védőpillére,* ha valamilyen oknál fogva nem fejthető le. Eddigi összefüggéseink feltételezték, hogy az akna védőpillére is lefejthető.

Ha az akna védőpillére nem fejthető le, az akna új optimális pontja eltolódhat ahhoz az optimális ponthoz viszonyítva, amelyet az eddigi összefüggések szerint állapítottunk meg még akkor is, ha az akna védőpillérét mint folytonossági hiányt, foltot kezeljük, vesszük tekintetbe. Az optimális pontba telepített akna védőpillérében lekötött ásványvagyon ugyanis nem szükségszerűen a legkisebb. Ha az aknát dőlésben felfelé eltoljuk, a pillér lekötött ásványvagyona csökken. Természetesen ezt az eltolást az optimális ponton áthaladó dőlésvonal mentén végezzük el.

Egészen általános alakú aknamező esetében az eltolás (y) függvényében könnyen számítható az akna helyével összefüggő költségnövekedés, ΔK_n egyszerűen diagramba foglalható. Ugyanígy az eltolás függvényében követhető a védőpillérben lekötött ásványvagyon mennyiségének csökkenése is (ΔQ_p).

Jelöljük az aknamező optimális méreteinek és a megadott napi kapacitásnak megfelelő és 1 t-ra eső beruházási költséget k_p-vel. Induljunk ki továbbá abból, hogy az aknapillér csökkenésével a csökkentett mennyiségre eső beruházási költség ($\Delta Q_p\, k_p$) mint megtakarítás jelentkezik. Az eltolásnak csak akkor van helye, ha van olyan y-érték, amelynél

$$\Delta Q_p\, k_p > \Delta K_n \tag{41}$$

Ha a

$$\Delta K = \Delta Q_p\, k_p - \Delta K_n \tag{42}$$

függvény görbéje az y-tengely fölött a pozitív oldalon vagy részben a pozitív oldalon halad, a $+\Delta K_{max}$-hoz tartozó y_{max}-értékkel toljuk el az aknát.

Derékszögű négyszög alakú aknamező esetében a ΔK_n-nek y szerinti változását a (20) egyenlet alapján lényegesen egyszerűbben végezhetjük el ($x = 0$):

$$\Delta K_n = \left\{\frac{A}{2}(\Sigma ck_s + \Sigma ck_e)\, y^2 + AB\,(\Sigma ck_a + k_b)\sin\alpha\; y\right\}\delta \tag{43}$$

Ennek az összefüggésnek a felhasználásakor az aknapillérnek, mint folytonossági hiánynak a hatásától eltekintünk. Gyakorlatilag ez az esetek túlnyomó részében megengedhető.

Ha az eltolás révén az aknapillérben bekövetkezett ásványmennyiség csökkenését is kifejezhetjük y függvényében, az esetleges eltolás mértéke matematikailag is kifejezhető. Ez csak szabályos alakú aknapillér esetében lehetséges (kör, ellipszis, négyszög). A gyakorlatban a szabályos forma ritka, ezért a grafikus megoldás vezet csak célhoz.

A különböző településekben elütő módon hat az aknapillér helye. Az esetek túlnyomó részében, elsősorban a lapos dőlés miatt nincs szükség az eredeti optimális pont eltolására.

Vizsgáljuk meg most, *milyen hatással van az aknapillér az aknamező optimális méreteire?* A folthatás elvének alkalmazásával a kérdés egyszerűen oldható meg. Általános esetben a kitermelhető ásványmennyiségre vonatkoztatott összköltség a (22) egyenlet analógiájára fejezhető ki:

$$K_0 = Q\left\{\frac{a_j + a_b}{2}\Sigma ck_c + \omega_s b_s \Sigma ck_s + \omega_e b_e \Sigma ck_e\right\} -$$
$$- \{(Q_{pj}\, a_{pj} + Q_{pb}\, a_{pb})\,\Sigma_p\, ck_c + Q_{ps}\, b_{ps}\,\Sigma_p\, ck_s + Q_{pe}\, b_{pe}\,\Sigma_p\, ck_e\} + D_t \tag{44}$$

ahol a p-index az aknapillérre vonatkozik.

Ha az összefüggést Q—Q_p-vel osztjuk, fajlagos költséget kapunk. A további eljárás már ismeretes. Hasonlóan járhatunk el derékszögű négyszög alakú aknamező esetében is.

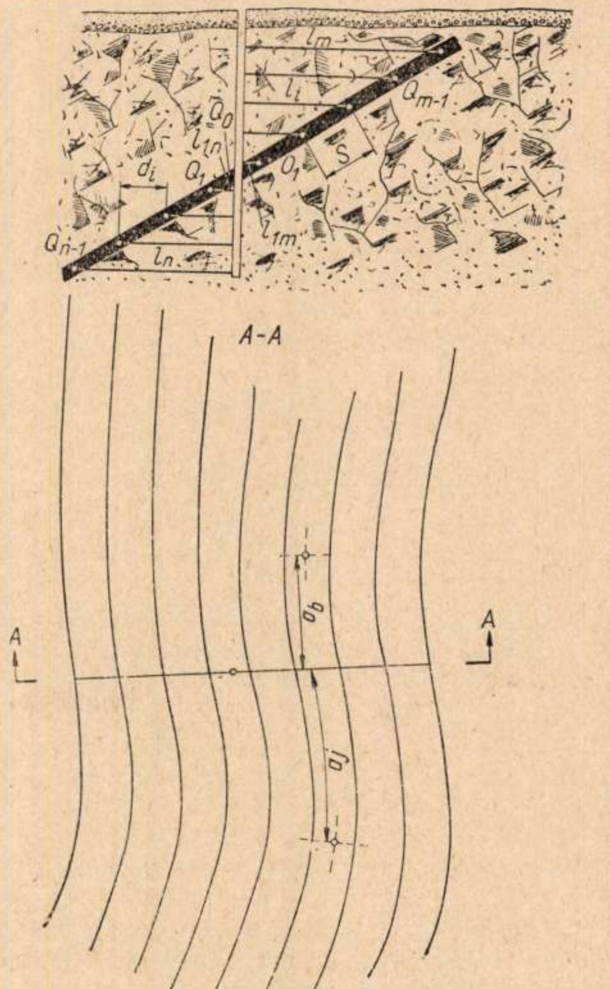
Ha a település nem rendkívüli módon vastag, és nem fekszik nagyon mélyen, az optimális méretek meghatározásánál a ki nem fejthető aknapillérnek a folthatásában jelentkező szerepétől gyakorlatilag el is tekinthetünk. Legfeljebb azt tehetjük, hogy a mező számított méreteit a pillérben lekötött ásványvagyonnak megfelelően megnöveljük.

*

Térjünk most rá a *meredek dőlésű települések* vizsgálatára.

Legyen az aknatelepítés *centrális*. Induljunk ki először abból, hogy az *aknapillérben levő ásványkincs is lefejthető.* Az egymáshoz közel fekvő két aknából főkeresztvágatokkal nyitjuk meg a település szintjeinek ásványvagyonát. A szintmagasság adott. Legyen az egyszerűség kedvéért csak egy település. A főkeresztvágatot a településig hajtjuk ki, a csapásmenti főfolyosók a településben haladnak.

A bányaszállítás a szint alsó folyosóján bonyolódik le, és vizsgálatainkban csak a termelvény szállítására szorítkozunk. A szinten belül a személyközlekedés úgy történik, hogy a felső, azaz légvágaton közelítjük meg a munkahelyet, és a szállító vágaton hagyjuk el. A fakasztott vizet az alsó, azaz a szállító vágaton vezetjük el. A levegő a szállítóvágaton érkezik a munkahelyre és a légvágaton távozik. A fenntartás egyaránt vonatkozik a szállító és légvágatra.



7. ábra

Tartsuk szem előtt a 7. *ábra* jelöléseit és írjuk fel azoknak a költségeknek az összegét, amelyek az akna telepítési helyével összefüggésben vannak.

$$K = \sum_{1}^{m-1} \{(Q_{ij} a_{ij} + Q_{ib} a_{ib}) \Sigma c_i k_{ic} + Q_i l'_i \Sigma c_i k_{ik}\} +$$
$$+ \sum_{1}^{n-1} \{(Q_{ij} a_{ij} + Q_{ib} a_{ib}) \Sigma c_i k_{ic} + Q_i l'_i \Sigma c_i k_{ik}\} + \tag{45}$$
$$+ (Q_{oj} a_{oj} + Q_{ob} a_{ob}) \Sigma c_o k_{oc} + Q_o l'_{1n} \Sigma c_o k_{ok} + D$$

Q_i a szint kitermelhető ásványvagyonát jelenti, ebből Q_{ij} a főkeresztvágattól jobbra, Q_{ib} balra esik. l'_i a keresztvágatok hosszával fejezhető ki. Az a_{ij} és a_{ib} a Q_{ij} és Q_{ib} ásványvagyon dőlésmenti súlyvonalának a főkeresztvágattól mért távolsága. A k_{ic} a csapás, a k_{ik} a keresztvágat mentén jelentkező költségtényező. Az l'_i és az l'_{1n} értékek az l_i és l_{1n}-értékekből a 4. *táblázat* szerint nyerhetők.

4. táblázat

	l'_i		l'_{1n}
	fedőben	feküben	
Bányaszállításnál	l_i	l_{i+1}	l_{1n}
Személyközlekedésnél	$\frac{l_i + l_{i+1} + d_i}{2}$	$\frac{l_i + l_{i+1} + d_i}{2}$	$\frac{l_{1n} + l_{1m} + d_0}{2}$
Vízemelésnél	l_i	l_{i+1}	l_{1n}
Szellőztetésnél	$\frac{l_i + l_{i+1} + d_i}{2}$	$\frac{l_i + l_{i+1} + d_i}{2}$	$\frac{l_{1n} + l_{1m} + d_0}{2}$
Fenntartásnál	$\frac{l_i + l_{i+1} + d_i}{2}$	$\frac{l_i + l_{i+1} + d_i}{2}$	$\frac{l_{1n} + l_{1m} + d_0}{2}$

d_i a szinttávolság vízszintes vetülete.

Ha a külszín közel szintes, az aknában a személy és anyagmozgatás független az akna helyétől, meredek településnél ezt a hatást nem kell tehát figyelembe venni.

Az akna optimális helyének két feltételi egyenlete ezek után könnyen felírható az előzőkben megismert módszer szerint.

Az első feltételi egyenlet:

$$\sum_{1}^{m-1} Q_{ij} \Sigma c_i k_{ic} + \sum_{1}^{n-1} Q_{ij} \Sigma c_i k_{ic} + Q_{oj} c_o k_{oc} = \sum_{1}^{m-1} Q_{ib} \Sigma c_i k_{ic} + \sum_{1}^{n-1} Q_{ib} \Sigma c_i k_{ic} + Q_{ob} c_o k_{oc} \tag{46}$$

A második feltételi egyenlet:

$$\sum_{1}^{m-1} Q_i \Sigma c_i k_{ik} = \sum_{1}^{n-1} Q_i \Sigma c_i k_{ik} + Q_o \Sigma' c_o k_{ok} \tag{47}$$

ahol $Q_o \Sigma' c_o k_{ok}$ csak a víz és a termelvény mozgatására vonatkozik az első fekükeresztvágatban.

Ha a c_i és a k_i értéke minden szinten azonos, és az első fekükeresztvágatra vonatkozó $Q_o \Sigma' c_o k_{ok}$ elhanyagolható, a két feltételi egyenlet egyszerűbb:

$$\sum_{1}^{m-1} Q_{ij} + \sum_{1}^{n-1} Q_{ij} = \sum_{1}^{m-1} Q_{ib} + \sum_{1}^{n-1} Q_{ib} \tag{48}$$

illetve

$$\sum_{1}^{m-1} Q_i = \sum_{1}^{n-1} Q_i \tag{49}$$

Ha pedig az ásványvagyon minden szinten azonos (Q, illetve Q_j és Q_b), és emellett az egyes szintek ásványvagyonai egyenletesek és a dőlésvonal mentén elmozgatva térbelileg is egybevágók, akkor az első feltételi egyenlet:

$$Q_j = Q_b = \frac{Q}{2} \tag{50}$$

a második:

$$m = n \tag{51}$$

A meredek dőlésű települések esetében még egy harmadik követelmény is van: a főkeresztvágatok összhossza minimum legyen. *A főkeresztvágatok összhossza akkor minimum, ha a fedőben és a feküben kihajtott főkeresztvágatok száma azonos.*[4] A település zöménél az akna optimális helyének második és harmadik feltételi egyenlete megegyezik. Ahol az egyezés nincs meg, ott a két feltételi egyenlet optimális kompromisszumát keressük meg hasonlóan ahhoz az eljáráshoz, amelyet a lapos dőlésű településeknél az aknapillér hatásával kapcsolatban láthattunk. Természetesen csak az eljárás elvében van hasonlatosság.

Az aknamező optimális méreteinek megállapítása a meredek településeknél általában egyszerűbb, mint a lapos dőlésűeknél. A dőlésmenti méret ugyanis rendszerint adott. Szénelőfordulásoknál az a mélység szabhat határt, ameddig gazdaságosan termelhetünk, ércteléreknél az ércesedés megszűnése vagy gyengülése jelölheti ki a mélységet. Nagy mélységekben ritkán előfordul, hogy a szállítás technikai vagy gazdaságossági okból megkívánja a kétlépcsős szállítást. Ezzel a problémával most nem foglalkozunk.

Egyszerűen belátható, hogy az aknamező optimális csapásmenti kiterjedéseinek meghatározásában csak a szintek csapásmenti folyosóiban való személyközlekedés és anyagmozgatás, valamint az akna teljes beruházása szól bele, e kettőt kell egymással szembeállítani.

Adott aknakapacitás (q_0) és *szinttávolság* (S) esetén a csapásmenti kiterjedéstől függő fajlagos költség az alábbi általános formában:

$$k_0 = \frac{1}{\Sigma Q} \sum_{1}^{N} (Q_{ij} a_{ij} + Q_{ib} a_{ib}) \Sigma c_i k_{ic} + \frac{D_t}{\Sigma Q} \tag{52}$$

A k_0-érték minimumát szabálytalan kifejlődés esetén lépésről lépésre számított értékek esetleges grafikus ábrázolásával határozhatjuk meg.

Szabályos előfordulásokban az optimális csapásmenti kiterjedés (A_0) közvetlenül is kifejezhető. Írjuk fel előbb a fajlagos költséget:

$$k_0 = \frac{A}{4} \frac{\sum_{1}^{N} \Sigma c_i k_{ic}}{N} + \frac{Dt}{NSA\delta} \tag{53}$$

A k_0-értéknek akkor van minimuma, ha:

$$A_0 = 2 \sqrt{\frac{D_t}{S\delta \sum_{1}^{N} \Sigma c_i k_{ic}}} \tag{54}$$

Ha a k-értékek az egyes szinteken azonosak vagy gyakorlatilag megegyeznek:

$$A_0 = 2 \sqrt{\frac{D_t}{\delta B \Sigma ck_c}} \tag{55}$$

ahol $B = NS$. Természetesen az utóbbi egyenletünk szükségszerűen megegyezik a lapos települések analóg összefüggésével, azaz a 35. egyenlettel.

Állapítsuk meg példa kedvéért az aknamező csapásmenti optimális kiterjedését csapásban több km-re elnyúló teléres ércelőfordulás esetében.

Az adatok a következők: $D_t = 120 \cdot 10^6$ Ft, $S = 50$ m, $N = 9$, $\delta = 11{,}0$. A ck_c-érték a bányaszállításnál 0,0044, a személyközlekedésnél 0,0036, a csapásmenti vízmozgatás költséget nem igényel, a szellőztetésnél 0,0019, a fenntartásnál $0{,}0001 \cdot \Sigma ck_c$ tehát 0,01. A kalkulált ck_c-értékek az első lépésben 3000 m-re felvett csapásmenti kiterjedésre vonatkoznak. Ugyanakkor feltételezzük, hogy a ck_c értékek minden szinten gyakorlatilag azonosak, helyesebben átlagot jelentenek. Ezek alapján az optimális csapásmenti méret az első lépésben:

$$A_0 = 2 \sqrt{\frac{120 \cdot 10^6}{11{,}0 \cdot 9 \cdot 50 \cdot 0{,}01}} = 3115 \text{ m.}$$

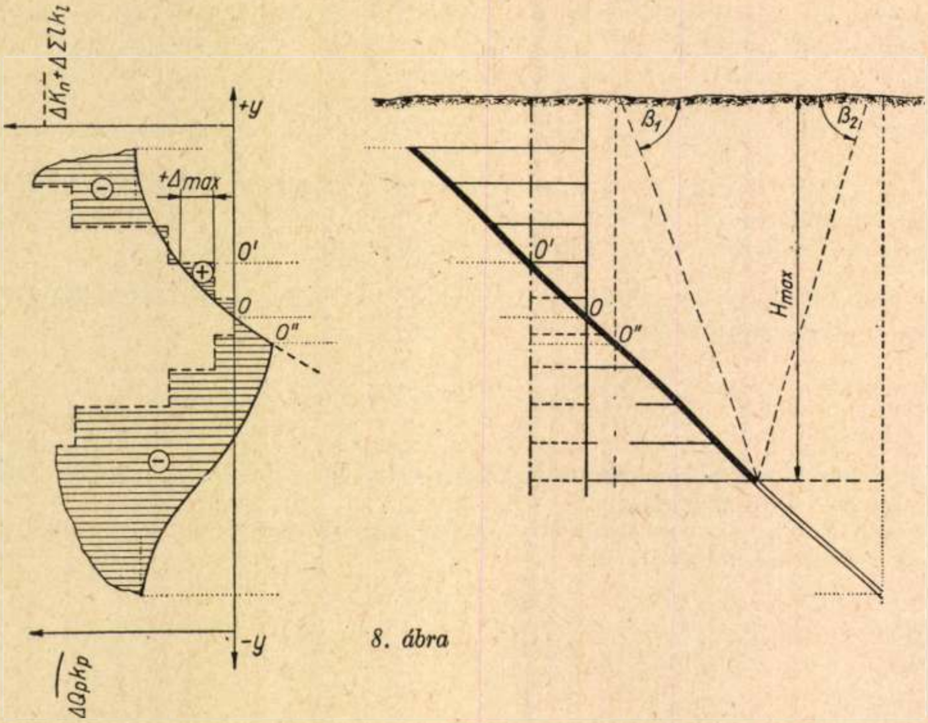
A második lépésre már gyakorlatilag nincs szükség.

Ha a meredek település erősen vízdús, a lapos településhez hasonlóan itt sem hanyagolható el az aknában való vízemelés hatása. A probléma megoldása teljesen a lapos dőlésű telepeknél bemutatott összefüggés (37. egyenlet) analógiájára történik.

[4] A tétel általános igazolása „*Az akna helyének kiválasztása*" c. tanulmányban található meg. Bányászati Lapok. 1957. 2. sz.

Különösen *többtelepes előfordulásokban* gyakran hajtjuk ki a csapásmenti főfolyosókat a *feküben* vagy a *telepek között*. A szinten tehát a főkeresztvágatokon kívül több keresztvágat is van. Ilyen esetben az akna telepítési helyével összefüggő összköltség egyenletében a keresztvágatokban lebonyolódó forgalom nem játszik szerepet. Ez a körülmény a főkeresztvágatok összhosszát sem érinti, tehát nincs hatással a harmadik feltételi egyenletre sem. *Mindhárom feltételi egyenlet általános érvényű.*

A keresztvágatok rendszere nincs összefüggésben az aknamező méreteivel. Ilyen rendszerben is csupán a csapásmenti forgalom szabja meg a csapásmenti kiterjedést, ha itt is adottnak tekintjük a dőlésmenti méretet. Ilyen feltétel mellett az optimális méreteket kifejező összefüggés általános érvényű.



8. ábra

Ha az akna illetve az aknák védőpillére nem fejthető le, a három feltételi egyenlettel egyértelműen vagy kompromisszumosan meghatározott optimális pont dőlésben felfelé, a fekü felé elmozdulhat. A vizsgálatot hasonlóan végezhetjük el, mint a laposdőlésű telepeknél. A lényeges különbség abban van, hogy a meredek telepeknél a főkeresztvágatok összhosszának megváltozása, megnövekedése is szerepet játszik. A (41) egyenlőtlenség meredek telepek esetében a következő:

$$\Delta Q_p\, k_p > \Delta K_n + \Delta \Sigma l\, k_l \tag{56}$$

ahol $\Delta \Sigma l$ a főkeresztvágatok összhosszának az a növekedése, amely az akna helyének eltolása révén jön létre az eltolás mértékének, y-nak függvényében. k_l 1 fm főkeresztvágat kihajtási költsége. Az egyenlőtlenség jobboldala az eltolás mértékében általában ugrásszerűen növekszik y_1, y_2, ... y_x értékeknél. A főkeresztvágatok összhossza ugyanis csak akkor növekszik, ha a fedőben és a feküben kihajtott főkeresztvágatok számában változás áll be. Az y_1, ... y_x eltolások tehát azok, amelyeknél ez a számszerű változás van.

A

$$\Delta = \Delta Q_p\, k_p - \Delta K_n - \Delta \Sigma l\, k_l \tag{57}$$

összefüggésnek y szerinti változását a *8. ábra* szemlélteti. A pillérhatás nélkül megállapított optimális pontot (O) dőlésben eltoljuk arra a helyre (O') ahol a $+\Delta_{max}$ jelentkezik. A két görbe ($\Delta Q_p\, k_p$ és $\Delta K_n + \Delta \Sigma l\, k_l$) közötti különbség az eredeti optimális pontban nulla, nincs különbség, míg az újban (O') a pozitív különbség a legnagyobb. A O'' jelzett pontba telepített akna esetén legnagyobb a védőpillér ásványvagyona, a fekübe illetőleg távol a fedőbe telepített aknák pillérében nincs, illetve csak műveléstechnikailag számításba nem jöhető ásványvagyon van. H_{max} a művelés mélységi határát, β a határszöget jelenti.

Az akna telepítési helyének, az aknamező alakjának és kiterjedésének matematikai analízise mellett nagyon fontos a közgazdasági analízis is. Ezzel az utóbbi problémával tanulmányunkban nem foglalkoztunk. A teljesség kedvéért szükség lesz még arra is, hogy az amortizáció kérdését is behatóbban vizsgáljuk. Tanulmányunkban a proporcionális amortizációval számoltunk. Használata lényegesen leegyszerűsíti az összefüggéseket. A nehézség ilyen forma mellett a D és D_t értékek megadásában van, illetőleg ezek kalkulálásában kell különös gonddal eljárnunk.