

BÁNYÁSZATI LAPOK

AZ ORSZÁGOS MAGYAR BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI EGYESÜLET FOLYÓIRATA

94. évfolyam

8. szám

1961. augusztus

A vágatpillér szélességéről

Dr. ZAMBÓ JÁNOS okl. bányamérnök, a műszaki tudományok doktora, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja, Kossuth-díjas egyetemi tanár (Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc)

Dr. Zambó János горный инженер, профессор, член-корреспондент АН ВНР, лауреат Кошшутской премии:

О ШИРИНЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Dipl. Berging. Dr. Dr. János Zambó, Univ. Prof.:

Über die Breite der Streckenpfeiler

Dr. Dr. János Zambó, Mining Engineer, Univ. Prof.:

About the width of entry-pillars

Dr. Dr. János Zambó, ingénieur des mines, prof. d'université:

Sur la largeur des piliers protecteurs des galeries

A szállító- és légvágatok pillérének méretezésével a bányászati szakirodalom nem foglalkozott. Ennek több oka is van. Mechanikai szempontból rendkívül bonyolult az a rendszer, amellyel a vágatpillérek méretezése megfogható lenne. A vágatpillérben ugyanis rendkívül összetett feszültségi mező keletkezik a kétfoldali fejtések hatására. A fejtések térbeli helyzetében, időbeli mozgásában nincs szabályszerűség. Matematikai—mechanikai formulával nem írható le a fedőrétegek omlásának tér- és időbeli lezajlása. Az egzakt mechanikai formulák feltételezik az anyag egyenműségét. Ez a követelmény elvileg sohasem, gyakorlatilag elfogadható formában is csak ritkán elégül ki.

A fentiekből következően a bányászat számára nem akad más lehetőség, mint az, hogy a vágatpillérek szélességi méretét tapasztalati úton szabja meg. Amikor tehát ezzel a kérdéssel kissé elméleti síkon kívánunk foglalkozni, nem a mechanikai méretezésre gondolunk, hanem az a célunk, hogy egészen megközelítő módon bepillantsunk ebbe a bonyolult rendszerbe és így megkönnyítsük a tapasztalati méretezés néhány problémájának megoldását.

Tapasztalatból tudjuk, hogy a vágatpillérek szélessége függvénye a mélységnek, a fedőkőzetek tilároltságának, omlaszthatóságának, a vágatok környékén elhelyezkedő kőzetek fizikai-mechanikai tulajdonságainak, a telepek művelési módjának.

A pillér igénybevétele két részből tevődik össze. Az eredeti geoztatikai feszültségi állapotra halmozódik rá az a feszültségi mező, amely a fejtési térségek létesítése következtében lép fel.

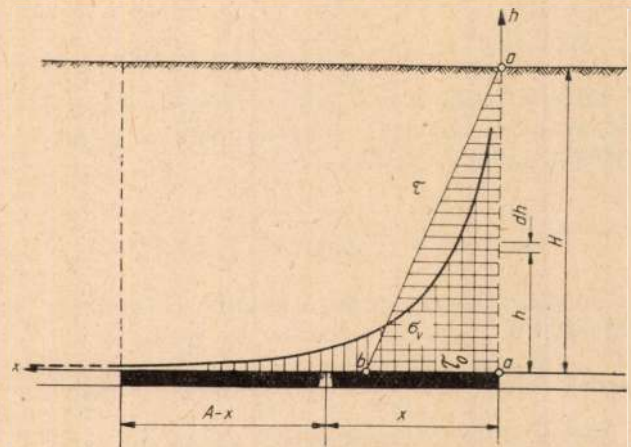
Egyszerűen úgy szoktuk kifejezni, hogy a pillérekben az eredeti nyomáson kívül megjelenik a fejtések áthárított nyomása is. A gyakorlatból azt is tudjuk, hogy ez az áthárított nyomás térben és időben igen nagy mértékben változhat.

Előfordul, hogy a szállító- és légvágatok a fejtések áthárított nyomásának hatására tönkremennek, erősen megrongálódnak. Ilyen esetekben felmerül a kérdés, elkerülhető-e a vágatok tönkremenetele vagy megrongálódása a pillérszélesség megnövelésével, illetve milyen mértékben kellene a pillérszélességet megnövelni, hogy a nagymérvű rongálódás elkerülhető legyen?

Bevezetésképpen elméleti jellegű vizsgálatra van szükség, hogy az áthárított nyomás alakulásáról képet kapjunk. Bizonyos fokig rugalmasságtani alapokon indulunk el. A rendszer könnyebb vizsgálata érdekében egyszerűsítésekhez folyamodunk.

Tételezzünk fel szintes vagy közel szintes telepet, benne egy vágatot (1. ábra). A telep H mélységben fekszik. A vágatpillér szélessége az egyik oldalon x , a másik oldalon $A - x$. A fedőkőzetek egyneműek, izotrop anyagot tételezzünk fel. Ilyen feltételek mellett keressük az áthárított nyomás alakulását a telep síkjában az x függvényében.

Az $a - a$ függőleges siktól jobbra eső telep-rész lefejtése közben minden bizonnyal létezik egy



1. ábra

olyan állapot, amikor az áthárított nyomás a maximumot éri el. Ebben a helyzetben az $a - a$ síkban a maximális nyírófeszültségek (τ) keletkeznek. Az egyszerűség kedvéért fogadjuk el, hogy az $a - a$ síkban a nyírófeszültség felfelé haladva a távolsággal proporcionálisan csökken. A maximális nyomásáthárítás esetében a közvetlen fedő első számottevő padjában a nyírófeszültség eléri a nyírószilárdságot ($\tau = \tau_0$). Ezzel tulajdonképpen lerögzítettük az $a - a$ sík nyírófeszültségi állapotát.

A telep fedőjében a fedőlaptól h magasságban jelentkező nyírófeszültség kifejezhető:

$$\tau = \tau_0 \frac{H-h}{H} = \tau_0 - \frac{h}{H} \tau_0$$

A további szigorú rugalmasságtani vizsgálat helyett egyszerűsítéssel élünk. Az $a - a$ síkban síkminti terhelést képzelünk el. Úgy is elképzelhetjük, hogy az $a - a$ függőleges síktól a lefejtett terület felé eső fedőösszletet eltávolítjuk és helyébe léptetjük az $a - a$ síkban ható nyírófeszültségeket, mint külső terhelést. Az is természetes, hogy a függőleges síkot választjuk az egyszerűség kedvéért a terhelte síknak és nem azt a felületet, amelyen a nyírás bekövetkezik. Mivel feszültségek átkoordinálásáról van szó, a feszültségileg ismertnek feltételezett síkot célszerűen választhatjuk meg.

Az is természetes, hogy az ilyen átkoordinálásnál meg kell vizsgálni az összes lehetséges feszültségeket. Így szintes irányú normálfeszültség is felléphet ezen a síkon a behajlás mértékétől függően. Mivel a beállható húzó- és nyomófeszültségek átkoordinálása részben kiegyenlíti ezek hatását, másrészt a nyíróerőkhöz képest ebben az átkoordinálásban nem játszanak lényeges szerepet, ezért a normális feszültségek hatásával most nem foglalkozunk.

h magasságban a síkban egy vonalmenti differenciális terhelés a következőképpen fejezhető ki:

$$dp = \tau dh = \left(\tau_0 - \frac{h}{H} \tau_0 \right) dh$$

Ez a differenciális vonalterhelés az x -tengelyen az x helyen létrehoz egy differenciális nyomófeszültséget. A vonalterhelés következtében fellépő nyomófeszültségeket *Boussinesq* szerint fejezzük ki x és h függvényében [1]:

$$d\sigma_v = 2 \frac{2}{\pi} \tau_0 \left(1 - \frac{h}{H} \right) \frac{h^3}{(h^2 + x^2)^2} dh$$

Mivel h értéke 0 és H között változik, a vertikális nyomófeszültség x függvényében a következőképpen fejezhető ki:

$$\sigma_v = \frac{4}{\pi} \tau_0 \int_0^H \left(1 - \frac{h}{H} \right) \frac{h^3}{(h^2 + x^2)^2} dh$$

Az integrálás elvégzése, a határok behelyettesítése után a következő eredményre jutunk:

$$\sigma_v = \frac{2}{\pi} \tau_0 \left(\ln \frac{x^2 + H^2}{x^2} + 3 \frac{x}{H} \operatorname{arctg} \frac{H}{x} - 3 \right)$$

Ismert, hogy a vonalterhelés (p kg/cm vagy

t/m) következtében h mélységben és a terhelés vetületétől oldalirányban x távolságra ébredő nyomófeszültség (σ_v) a

$$\sigma_v = \frac{2}{\pi} p \frac{h^3}{(x^2 + h^2)^2}$$

összefüggéssel fejezhető ki. A mi esetünkben ennek a kétszeresét kellett számításba venni, mert a feszültségeloszlás nem kettő, hanem csak egyoldalas.

Az $a - a$ síkban tulajdonképpen felület mentén ható terhelésről van szó. Ismeretes azonban, hogy a felület mentén és a felületre ható terhelések következtében fellépő feszültségek eloszlása ugyanazon összefüggések szerint történik, csak a tengelyrendszert kell megfelelően megválasztani. Mind-ebből következik, hogy a félvégtelen kontinuum kerületének esetünkben a szintes telep fedőlapja is tekinthető. Mivel az $a - a$ függőleges síktól a kifejtett terület felé eső részen feszültségeloszlás nem lehetséges, azért kellett a másik oldalon a kétszeressel számolni.

A fenti feltételek mellett a megoldás helyes, ha az $a - a - b$ terület megegyezik a h ordináta, a σ_v görbe és az x abszcissa által bezárt területtel. Azaz:

$$\begin{aligned} \tau_0 \int_0^H \left(1 - \frac{h}{H} \right) dh &= \frac{1}{2} H \tau_0 = \\ &= \frac{2}{\pi} \tau_0 \int_0^\infty \left(\ln \frac{x^2 + H^2}{x^2} + 3 \frac{x}{H} \operatorname{arctg} \frac{H}{x} - 3 \right) dx \end{aligned}$$

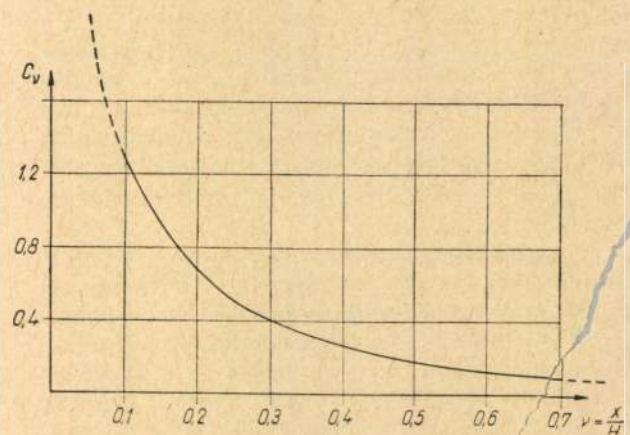
Az integrálás elvégzésével és a határok behelyettesítésével meggyőződhetünk arról, hogy az egyenlőség fennáll.

Jelöljük a $\frac{x}{H}$ viszonyt v -vel. Ennek megfelelően a σ_v a következőképpen fejezhető ki:

$$\sigma_v = \frac{2}{\pi} \tau_0 \left(\ln \frac{1+v^2}{v^2} + 3v \operatorname{arctg} v - 3 \right) = c_v \tau_0$$

ahol c_v a v függvénye. A 2. ábrán a v függvényében a c_v értéke leolvasható. Ezek szerint bármilyen $\frac{x}{H}$ viszonyhoz tartozó σ_v könnyen meghatározható, mert a diagramról levehető c_v értéket τ_0 -val kell szorozni.

Eddig a pillérré háruló feszültségek alakulá-



2. ábra

sánál nem vettük számításba, hogy a pillér szélessége véges. Az A pillérszélességen túl eső feszültségi mezőt vissza kell helyezni a pillérre. Nézzük meg tehát, hogy a $\frac{H}{2} \tau_0$ terhelésből származó nyomófeszültségnek hány százaléka esik az A pillérszélességre. Ez a százalék (η) az előzők

alapján kifejezhető :

$$\eta = \frac{400}{H\pi} \int_0^A \left(\ln \frac{x^2 + H^2}{x^2} + 3 \frac{x}{H} \operatorname{arctg} \frac{H}{x} - 3 \right) dx$$

Az integrálás elvégzése után az alábbi eredményre jutunk :

$$\eta = \frac{400}{H\pi} \left(A \ln \frac{A^2 + H^2}{A^2} + 2 H \operatorname{arctg} \frac{A}{H} + \frac{3}{2} \frac{A^2 + H^2}{H} \operatorname{arctg} \frac{H}{A} - \frac{3}{2} A - \frac{3}{4} H\pi \right)$$

Az egyszerűség kedvéért jelöljük az $\frac{A}{H}$ viszonyt μ -vel.

Ennek megfelelően írhatjuk :

$$\eta = \frac{400}{\pi} \left\{ \mu \ln \frac{1 + \mu^2}{\mu^2} + 2 \operatorname{arctg} \mu + \frac{3}{2} (1 + \mu^2) \operatorname{arctg} \mu - \frac{3}{2} \mu - \frac{3}{4} \pi \right\}$$

Láthatjuk tehát, hogy az η % csak a μ viszony szám függvénye.

A 3. ábra η változását mutatja μ függvényében. A görbe segítségével könnyen megállapíthatjuk, hogy a terhelés $\left(\frac{H}{2} \tau_0\right)$ hány százalékát (100- η) kell utólag még a pillérre szétosztani.

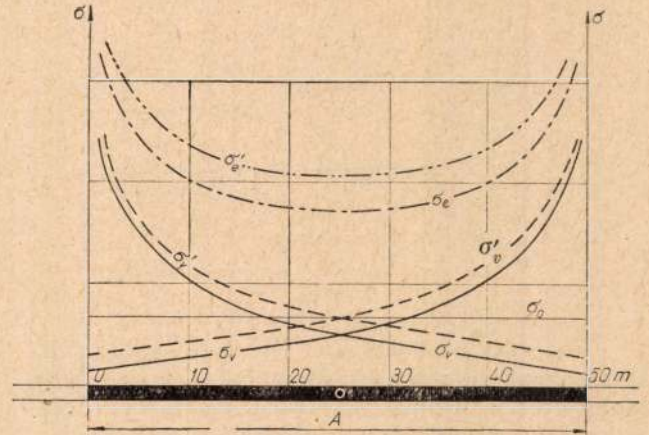
A 4. ábrán a vízszintes telep főtésíkjában jelentkező vertikális nyomófeszültségek alakulását láthatjuk abban az esetben, amikor a pillér két oldalán egyforma áthárítás jelentkezik. σ_0 az eredeti geoztatikai vertikális nyomófeszültséget jelenti és $H\gamma$ értékkel fejezhető ki. σ_v az áthárított vertikális nyomófeszültség abban az esetben, amikor a pillér véges szélességét még nem vesszük tekintetbe. Ezt figyelembe véve a σ'_v görbéket kapjuk. A σ_0 és σ_v , illetve σ'_v görbék eredő görbéje a σ_e , illetve σ'_e görbe. A $\sigma'_e - \sigma_v$ különbséget a következő összefüggés szerint számítjuk :

$$\Delta\sigma_v = \sigma'_v - \sigma_v = \frac{100 - \eta}{100 A} \frac{H}{2} \tau_0,$$

azaz egyenletes elosztásról van szó.

A 4. ábra a lehető legkedvezőtlenebb esetet tünteti fel. Ez a gyakorlatban csak ritkán fordul elő. Csak akkor következhet be, ha a pillért mindkét oldalán egyazon időben közelíti meg a fejtés. A leggyakoribb az az eset, amikor az egyik

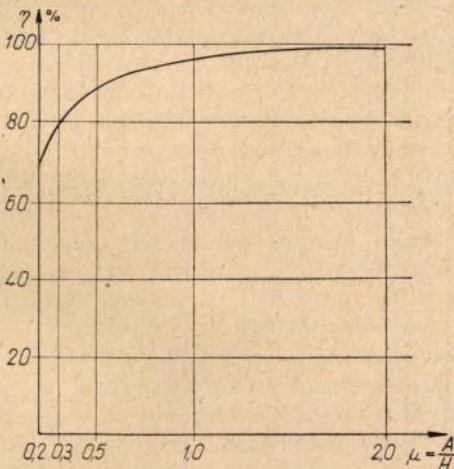
oldal fejtése megelőzi a másikat. Amikor a fejtések még csak az egyik oldalról közelítik meg a pillért, akkor a $\Delta\sigma_v$ számítására nincs szükség.



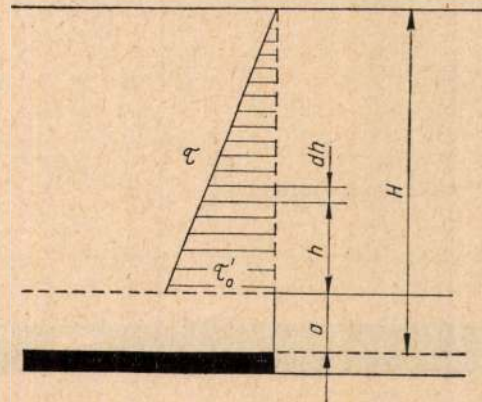
4. ábra

A 4. ábrán felvázolt szimmetrikus terhelés tehát csak ritkán jön létre. Természetesen a fejtési viszonyoktól függő aszimmetrikus terhelés is a fentiek alapján könnyen felvázolható.

A felvázolt szimmetrikus helyzet leginkább akkor jön létre, ha a fedőben vastagpados szilárd réteg van. A fentiekből az is következik, hogy az áthárított feszültségek nagyarányú megnövekedése is ilyen esetben következhet be. Ez érthető, mert a szilárd réteg nyírószilárdsága is nagymérvű lehet. Ilyen kőzetekben a nyírószilárdság



3. ábra



5. ábra

eléri a nyomószilárdság 1/8—1/10-ed részét. A pillér két oldalán viszonylag nagyobb területek lefejtése szükséges ahhoz, hogy a nyírófeszültség elérje a nyírószilárdságot. Ilyen körülmények között gyakrabban előfordulhat, hogy a pillér két oldalán egyidőben vagy közel egyidőben következnek be a maximális áthárítás.

Előfordulhat, hogy a közvetlen fedőben jól omló rétegek helyezkednek el, fölöttük vastag-

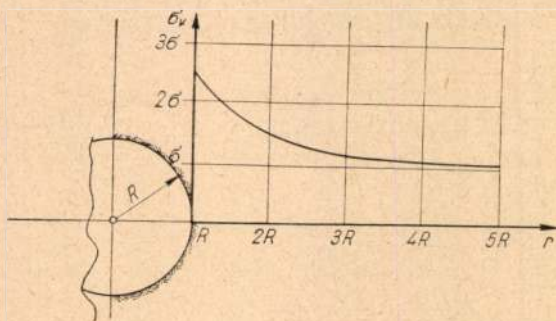
pados szilárdabb réteg következik (5. ábra). Ilyen esetben összefüggéseink az alábbiak szerint módosulnak:

$$\sigma_v = \frac{4}{\pi} \tau'_0 \int_0^{H-a} \left(\frac{H}{H-a} - \frac{h+a}{H-a} \right) \frac{(h+a)^3}{[x^2+(h+a)^2]^2} dx$$

A megoldás az előzők analógiájára egyszerűen fejezhető ki:

$$\sigma_v = \frac{2}{\pi} \frac{\tau'_0}{H-a} \left\{ H \ln \frac{x^2+H^2}{x^2+a^2} + \frac{H^3+Hx^2}{x^2+H^2} - \frac{Hx^2+a^3}{x^2+a^2} + 3x \left(\operatorname{arctg} \frac{H}{x} - \operatorname{arctg} \frac{a}{x} - 3(H-a) \right) \right\}$$

Természetesen, ha $a = 0$, akkor visszkapjuk az eredeti összefüggést. τ_0 ebben az esetben a közvetlen fedőrétegek fölött levő vastagpados réteg nyírószilárdságát jelenti.



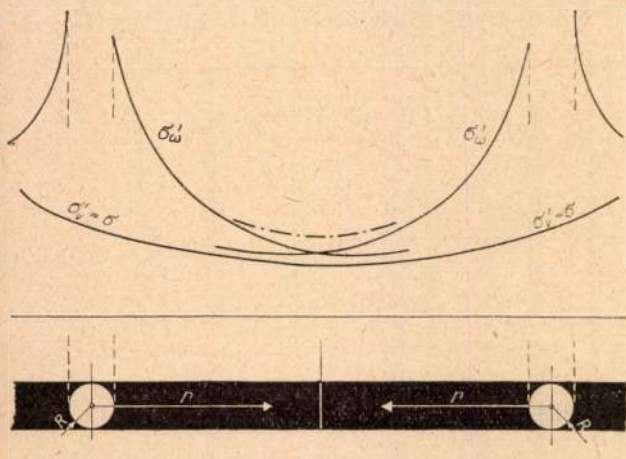
6. ábra

Eddig a vágatpilléren belül a nyomófeszültségek eloszlását úgy vizsgáltuk, hogy nem voltunk tekintettel a bennük kihajtott vágatokra. Természetesen a vágatok környékén az ismert módon jön létre a feszültségek eloszlása.

Egy földalatti szintes körszelvényű folyosó középpontján átmenő síkon a vertikális nyomófeszültségek változását az alábbi összefüggés írja le:

$$\sigma_a = \frac{\sigma}{2(m-1)} \left\{ m \frac{r^2+R^2}{r^2} + (m-2) \frac{r^4+3R^4}{r^4} \right\}$$

A matematikai rugalmasságtan elvein felépülő összefüggésben σ az eredeti, a folyosó kihajtása előtt érvényes vertikális nyomófeszültség, m a Poisson-féle szám, R a folyosó szelvé-

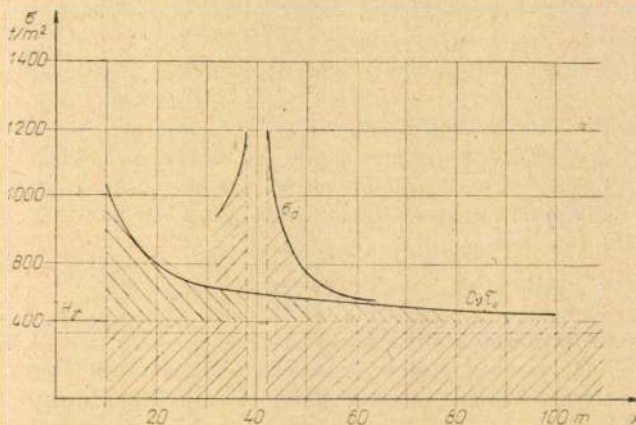


7. ábra. (σ'_v helyett σ'_a olvasandó)

nyének sugara, r a folyosó középpontjának távolsága a szintes síkban a kérdéses ponttól. A 6. ábra a hazai viszonyokra jellemzően mutatja a görbe lefutását.

A 7. ábrán a védőpillérben két körszelvényű folyosó látható. A pillérre ható eredeti vertikális nyomófeszültség $\sigma_0 = H\gamma$. A fejtések következtében a $\sigma'_v = \sigma$ -ra módosul, majd a folyosók nyitása újabb módosulást hoz létre.

A legutóbb felírt σ'_a összefüggés homogén eredeti feszültségmezőt tételez fel. Esetünkben a $\sigma'_v = \sigma$ által leírt feszültségmező nem homogén, hanem változó. Így a legutóbbi összefüggésnek az alkalmazása csak közelítés lehet. A változó



8. ábra

σ'_v -nek azt az értékét vesszük figyelembe, amelyik a folyosó tengelyében jelentkezik.

Vegyünk egy konkrét példát. 200 m mélységben szintes településünk van. A fedőrétegek átlagos térfogatsúlya 2,3 t/m³, a közvetlen fedőben vastag pad van, nyírószilárdsága 250 t/m². Szerkesztjük meg az áthárított nyomófeszültségek görbét úgy, hogy a pillérnek csak egyik oldalán vannak fejtések.

A 8. ábrán elsőnek az eredeti geosztatikai vertikális nyomófeszültség vonalát ($H\gamma$) rajzoljuk meg. Erre szuperponálódik a fejtések áthárított vertikális nyomófeszültsége ($c_v \tau_0$). Ennek a görbének a szerkesztése a 2. ábrán látható $v - c_v$ görbe alapján egyszerű: a távolságnak (x) megfelelő arányhoz tartozó c_v értéket a diagramról levehetjük, ezt pedig τ_0 -al szorozzuk. Ezt a műveletet több pontban elvégezve, a nyert adatokat felrakva a $c_v \tau_0$ görbét kapjuk.

Ha a fejtési határtól ($x = 0$) például 40 m-re egy körszelvényű folyosónk van, akkor ennek környékén újabb feszültségmódosulások követ-

keznek be. Most is csak a szintes síkban fellépő vertikális nyomófeszültséget keresve az alábbi összefüggést alkalmazhatjuk:

$$\sigma_d = \frac{H\gamma + \tau_0 c_v |_{x=40}}{2(m-1)} \left\{ m \frac{r^2 + R^2}{r^2} + (m-2) \frac{r^4 + 3R^4}{r^4} \right\}$$

m esetünkben 4-gyel egyenlő. Ismételten le kell rögzítenünk, hogy a σ_d számítása csak közelítő, mert a $H\gamma + c_v \tau_0$ terhelés nem egyenletes, nem homogén. Az inhomogenitás figyelembevétele azonban gyakorlatilag megoldhatatlan feladatot jelent.

A bemutatott példa tájékoztatást ad afelől, miként alkothatunk magunknak képet a feszültségek alakulásáról. Így esetünkben megállapíthatjuk, hogy a folyosó közvetlen oldalában az eredetileg ható 460 t/m² vertikális nyomófeszültség helyett kereken 1200 t/m² vertikális nyomófeszültséggel kell számolnunk.

Az elméleti levezetések, de a gyakorlati példa alapján is néhány fontos és gyakorlati következtetés vonható le.

1. Lazább, könnyebben omló fedőrétegek esetében a pillérek kisebb igénybevételt szenvednek a fejtések következtében. A vastagpados, nagyobb nyírószilárdsággal rendelkező fedőközetek esetén a pillérek igénybevétele rendkívüli módon megnőhet.

2. A lehetőség szerint ajánlatos a pillér szélességét úgy méretezni, hogy az $\frac{x}{H} = \nu$ arány 0,2—0,3-nál kisebb ne legyen. Különösen vastagpados fedő esetében kell erre ügyelni. Ha a ν 0,2—0,3-nál kisebb, a folyosó körül igen nagy-mérvű feszültségkoncentráció jön létre.

3. A megadott diagram segítségével minden esetben tájékozódást kaphatunk a várható viszonyokról, a várható igénybevételről. Ha ismerjük a folyosó környékén a kőzetek szilárdsági viszonyait, ezeket összevethetjük a várható igénybevétellel. Az összevetés alapján előre megállapítható, hogy csak rugalmas alakváltozás várható-e, vagy a kőzetek plasztikus állapotba kerülnek-e? Ennek megfelelően lehet megtervezni a biztosító szerkezetet, illetve ennek ismeretében tudjuk a legmegfelelőbbet kiválasztani.

4. Szilárdabb, vastagpados fedő esetében egymáshoz közeleső többtelepes előfordulásokban a fővonalakat célszerű akkor kihajtani, amikor már a legfelső telep le van fejtve. Más szóval: a felső telep lefejtése mezőbe előrehalad, és ezt követi az alatta levő telepben a fővonal kiépítése.

Mint már említettük, a bemutatott elméleti összefüggések nem felelnek meg mindenben a matematikai rugalmasságtan szigorú szabályai-

nak, ezért csak megközelítő jellegűek. A szigorú szabályok betartása a pillérek esetében megoldhatatlan feladatokat jelentene, és ugyanakkor nem lenne értelme, mert nincs meg az anyagnak izotrop rugalmassága.

Ezek után joggal vetődik fel a kérdés, van egyáltalán értelme az ilyen és ehhez hasonló vizsgálatoknak? Természetesen van, de mindezt kellő kritikával, illetve kellő szemlélettel kell kezelni. Az ilyen vizsgálatok nagy vonalakban meg tudják mutatni a várható viszonyokat, belőlük gyakorlati következtetések vonhatók le, sőt a gyakorló bányász számára tudnak segítséget adni mindennapi munkájában. Természetesen helytelen lenne azt hinni, hogy az elméletileg szabályos görbék a gyakorlatban is olyanok. Korántsem. A természet sohasem produkál geometriailag szabályos dolgokat.

Rövid eszmefuttatásunk alapján megállapítható, hogy az egzakt méretezésnek akadályai vannak. A hozzávetőleges tájékozás megszerzésében is nagy körülményekkel kell eljárni és ez is csak úgy sikerül gyakorlatilag elfogadható módon, ha bizonyos elhanyagolásokkal élünk. Itt kell még egyszer kihangsúlyozni azt is, hogy vizsgálataink csak szintes vagy közelszintes ($\alpha < 10-12^\circ$) településekre vonatkoznak.

Nyugat-Németországban az áthárított nyomás megállapítására nagy költséggel méréseket végeztek el. Ebből a témakörből több közlemény is jelent meg. A mi elméleti vizsgálataink témájához legközelebb esik *Jacobi* közleménye [3]. Érdemesnek mutatkozik az elméletileg számítható adatokat a mért adatokkal összevetni. Ehhez azonban bizonyos adatok beszerzésére van szükség (τ_0). A kérdéses területre hozzávetőlegesen érvényes τ_0 -val számolva a mért és számított áthárított nyomások nagyságrendileg megegyeznek.

IRODALOM

1. *Boussinesq*: Application des Potentiels á l'Étude de l'Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Paris. Gauthier—Villard. 1885.
2. *Krupár Géza*: A földalatti vágatok, fejtések egymásra való kölcsönös hatása és annak gyakorlati jelentősége, különös tekintettel a vékony szén-telepek egyes fejtésmódjaira. Bányászati és Kohászati Lapok 1934. 303—315, 336—344, 361—370 p.
3. *Jacobi, O.*: Der Druck auf Flöz und Versatz. Glückauf 1960. H. 7. 409—418 p.