

FEJTÉSI RÉZSÜKNÉL ELŐFORDULÓ RÉTEGCSÚSZÁSOK

Farkas József- Kabai Imre

Bevezetés

A külfejtéseknél a rézsűállékonyság kérdése alapvetőnek mondható. A természetes talajokban létesített bevágásrézsűk állékonyságának vizsgálata a geotechnika egyik legnehezebb, legösszetettebb feladata. Különösen igaz ez a külfejtésekre, hiszen ott gyakran 40-50 m - de előfordul, hogy 80 m-es mélységű generálrézsűk állékonyságát kell vizsgálni.

Általában két kérdés tisztázása alapvető a vizsgálatoknál:

- a csúszás szempontjából mértékadó nyírószilárdság meghatározása;
- az állékonysági vizsgálat legmegfelelőbb módszerének kiválasztása.

A feladat nehézségét növeli az is, hogy a hazai külszíni szénfejtéseknél többségében agyagrészsűk csúsznak meg; az agyagok nyírószilárdsága pedig közismerten a talajmechanika egyik legkevésbé megnyugtató módon megválaszolt kérdése.

A csúszólap helyzete

Helyszíni megfigyeléseink, vizsgálataink alapján a visontai külfejtéses bányatér rézsűinél a legtöbb esetben síkcsúszás következett be; a térszínhez legközelebb lévő csúszólap igen gyakran a negyedkorú és a pannon rétegek határán, vagy annak közelében haladt. Rendkívül érdekes és figyelemre méltó, hogy a csúszások minden esetben szürke, vagy valamilyen szürkés

■ BME Geotechnikai Tanszék

árnyalatú, vizzáró agyagréteg felszínén következtek be.

Helyszíni megfigyeléseink szerint a csúszások szempontjából kritikus réteghatáron néhány cm, esetleg csak néhány mm vastag, igen gyakran világossárga, sárgásfehér plasztikus agyagsáv halad, amely elsősorban vegyi hatások következtében alakult ki. Többnyire agyagásványszemcsékből képződött aggregátum. A kritikus réteghatáron - tapasztalataink szerint - a különböző hatásokra bekövetkező változások, ásványbomlások mértéke lényegesen meghaladja a felette, illetve alatta lévő rétegeket. A vékony sáv általában nagyobb víztartalmú és lágyabb, mint az alatta és felette lévő zóna.

Valamennyi rétegcsúszásnál időszakos jellegű vizszivárgást is észleltünk a csúszólap által követett réteghatáron.

A kritikus agyagok talajfizikai és ásványtani jellemzői

Megvizsgáltuk a kritikus réteghatárok közelében lévő agyagok fizikai jellemzőit. Hasznos útbaigazítást ad a talaj viselkedésére vonatkozóan, illetve a talajtulajdonságok bizonyos fokú megítélését teszi lehetővé a Casagrande-féle képlékenységi grafikon /1. 1.ábra/. Az ábra - néhány visontai csúszás vonatkozásában - azt mutatja, hogy a csúszólap alatti és feletti, továbbá a réteghatárról vett minták tartományai jól elkülönülnek. A réteghatáron talált agyagsávból /csúszólap helyéről/ vett mintáknak volt a legnagyobb a folyási határa és a plasztikus indexe. Valamivel kisebb értéket adtak a csúszólap alatti szürkés árnyalatú, vizzáró agyagból vett minták. A legkisebb értékeket a csúszólap feletti agyagokra kaptuk.

Az említett talajok fázisos összetételét a 2.ábrán látható háromszögdiagram szemlélteti. A csúszólap feletti és alatti agyagból, valamint a réteghatáron lévő kritikus agyagsávból vett minták tartományai itt is jól elkülönülnek. A csúszó-

lapról vett minták voltak a leglazábbak, ami természetesen a nyírószilárdság itteni kisebb értékében is jelentős szerepet játszik. A csúszást okozó agyagok általában bentonitosak, hézag-tényezőjük nagy. Erre mutat példát a 3.ábra, amelyen a visontai K.II.bánya mozgásvizsgálatainál kapott eredményeink láthatók. Itt a rétegcúszást okozó agyagok 50 %-ának hézag-tényezője nagyobb volt $e = 1,2$ értéknél.

A csúszólapok környezetében lévő agyagok ásványi összetételének vizsgálatát - felkérésünkre - Dr.Bidló Gábor egyetemi adjunktus végezte el termoanalitikai módszerrel, deviatográf-fal.

A K.I.bánya keleti fejtési rézsűjén éppen "elindul" egyik csúszás vizsgálata során kapott eredményeket - példaképpen - az 1.táblázatban adjuk meg. Itt a csúszólap feletti és alatti pannon rétegek között szignifikáns különbség volt az agyagásvány minőségét illetően, mert míg a felső rétegben illit volt az agyagásvány, addig a csúszólap alatti és a csúszólapról vett mintákban montmorillonitot találtunk. A csúszólapról vett minták montmorillonitja "degradált", bontott volt.

1.táblázat

ásványi összetétel

talajminta	szerves anyag %	agyagásvány %
csúszólap feletti sárga pannon agyag	0,3	illit: 40
réteghatár /csúszó- lap/	1,2	montmorillonit:90
csúszólap alatti szürke pannon agyag	0,5	montmorillonit:62

A nyírószilárdság vizsgálata

A rézsűállékonysági vizsgálatok során alapvető jelentőségű a

csúszólapon feltételezhető legkedvezőtlenebb nyírószilárdság megítélése. A visontai vizsgálataink során a nyírószilárdsági paramétereket általában konszolidált gyors közvetlen nyírókísérlettel vagy triaxiális nyomókísérlettel határoztuk meg.

Közvetlen nyírókísérleteink során a nyírószilárdsági csúcsérték mellett - többször megismételt nyirással /nagyobb elmozdulást szimulálva/ - a reziduális /vég/ szilárdság értékét is vizsgáltuk. Az eredményeket a 2.táblázatban összegezzük.

2.táblázat

A nyírószilárdsági paraméterek értékei

talajminta	\bar{Q}_{cs}^0	C_{cs} kN/m ²	\bar{Q}_{cs}^0	C_r kN/m ²
csúszólap feletti agyag	5-26	40-180	4-15	20 - 90
réteghatár	6,5-15	13-43	6-11	5-23
csúszólap alatti agyag	4-25	20-142	4-12	39-90

Ezt szemlélteti a 4.ábra is. Mivel a réteghatár feletti és alatti agyagokban is magas volt az agyagásványtartalom /40-90%/ , a belső surlódási szög értékei nem nagyon különböznek egymástól. A réteghatáron a kohézió viszont kisebb, mint az alatta, illetve felette lévő agyagokban.

A triaxiális vizsgálatokat is a csúszások helyszínén mélyített kutatógödörökből vett mintákon végeztük. Ahhoz, hogy valóban a réteghatár menti nyírószilárdságot kapjuk meg, olyan tengelyszög alatt kellett a mintavevő hengert beszúrni, illetve a nagytérű készülék hengeres mintáit kifaragni, hogy a nyomókísérlet során a kialakuló csúszólap vízszintessel /az első főfeszültség síkjával/ bezárt szöge: $\alpha = 45^\circ + 0/2$ megegyezzen a réteghatár mintán belüli dőlésszögével. A minták hossz-tengelyének dőlésszögét tehát a rétegdőlés / ξ / alapján állapítottuk meg: $\beta = 45^\circ - \bar{Q}/2 + \xi$.

A triaxiális kísérletek során $d = 3,8$ cm átmérőjű és $h=7,5$ cm magas, valamint $d=10$ cm átmérőjű és $h=20$ cm magasú talajmintákat vizsgáltunk. Az eredmények azt mutatták, hogy a minta mérete jelentős mértékben befolyásolja a laboratóriumi kísérlettel kapott nyírószilárdság értékét.

Az egyik - egymás mellől kiszúrt, illetve kifaragott - mintapárral elvégzett triaxiális nyomókísérlet sorozat eredményét az 5. ábra mutatja be. Látható, hogy a nagyátmérőjű mintákon - konszolidált gyors kísérlettel $v=0,5$ mm/perc/ - kapott nyírószilárdság kb. $2/3 - 3/4$ -e $/60-75\%$ -a/ a kisátmérőjű mintákon kapott szilárdsági értékeknek.

A kísérletsorozatok eredményeit, a meghatározott nyírószilárdsági paraméterek összetartozó értékpárjait a 6. ábra szemlélteti. A nagymintákon kapott nyírószilárdság értékek lényegesen kisebbek. Különösen a kohézió csökkenése szembevetendő.

Az időtényező szerepe a rétegcsőszásásoknál

A megfigyelések szerint a visontai rétegcsőszások általában nem hirtelen következtek be. A gyors, jelentős elmozdulással járó felszínmozgást legtöbb esetben bizonyos mértékű - többek között a talajfizikai, reológiai jellemzőktől, geológiai, hidrogeológiai, klimatikus és terhelési viszonyoktól függő - lassú deformáció, kúszási folyamat előzi meg. Ezért a "kritikus" agyagok réteghatárán lévő nyírószilárdság elemzésénél megvizsgáltuk a feszültség-alakváltozás-idő kapcsolatát, az időtényező szerepét is.

A kúszási kísérleteket triaxiális mérőcellában, konstans nyírófeszültségek mellett végeztük. A 7. ábrán - példaképpen - a visontai K-II. bánya egyik "csőszásveszélyes" helyéről vett /a kritikus réteghatárt is tartalmazó/ agyagmintákon - $\sigma_3=100$ kN/m² cellanyomás mellett - végzett kúszási

vizsgálatok eredményeit mutatjuk be. Az egyes kísérleteknél a mintára átadott állandó nagyságú függőleges terhelésből számítható nyirófeszültség τ nagysága a nyirószilárdsági csúcserték τ_{cs} / 40-100 %-a volt. Nyirószilárdsági csúcsertékek a $v=1$ mm/perc sebességű triaxiális kísérletek alapján kapott Coulomb-egyenes pontjait tekintettük. A mérési eredményeket elektronikus úton regisztráltuk. A fundamentális nyirószilárdságot a 8.ábrán bemutatott módon határoztuk meg "extrapolálással"; amikoris a törésig eltelt idő függvényében ábrázoltuk a τ/τ_{cs} hányadosokat.

Az állékonyság vizsgálata

Jól ismert, hogy a rézsűállékonysági vizsgálat igen összetett feladat. Olyan módszert, amely mindenféle hatást számításba tudna venni és tökéletesen megbízható eredményt tudna szolgáltatni nem ismerünk.

A talaj sajátos természete, a térben és időben állandóan változó volta miatt az állékonysági vizsgálati módszerek finomításuk ellenére is csak bizonyos valószínűséggel lesznek érvényesek. Ahhoz, hogy egy rézsű állékonyságát valamelyest is megbízhatóan ellenőrizzük, illetve adott geológiai és geometriai kötöttségek mellett a rézsű hajlását, vagy magasságát meghatározzuk, a következő megbízható adatokra lenne szükségünk:

- a valószínűen várható csúszólap helyzete,
- a csúszólap mentén rövid ideig, illetve tartósan érvényesülő nyirószilárdság,
- a gazdaságos termelés, illetve a gazdaságos kockázatvállalás érdekében helyesen megválasztott biztonsági tényező.

A nyirószilárdság kérdését már elemeztük, a gazdaságos kockázatvállalás kérdését itt nem tárgyaljuk. Ezért csak az állékonysági vizsgálat szempontjából fontos, csúszólap alakra

térünk ki.

A visontai külfejtési bányák területén bekövetkezett kisebb nagyobb csúszások azt bizonyították, hogy a kialakult csúszólapok a térszínről közel függőlegesen indulnak el és egy "un" "gyenge sikot" elérve közel vízszintesen folytatódnak és így egy összetett csúszólapot alkotnak.

E csúszólap típus kialakulását a terület sajátos geológiai körülményei determinálják. Nevezetesen a csúszólap nagymélységű közel függőleges szakaszainak a kialakulása, a negyedkori rétegek sajátos függőleges tagozódásának az eredménye, amit valószínűen a jégkorszaki klimaváltozások hoztak létre.

A területet alkotó laza üledékes talajokban lévő kicsiny nyírószilárdságú felületek az un. "gyenge sikok" szintén a geológiai keletkezés körülményeivel függ össze. A kisebb-nagyobb anomáliáktól eltekintve a "gyenge sikok" északnyugatról délkelet irányba lejtnek és a vízszintessel maximálisan mintegy $0 - 6^{\circ}$ -ot zárnak be.

A gyakorlati tapasztalatok alapján az említett csúszólap típus jellemző általában az egyes fejtési szeletek rézsűire, valamint több szelet generálrézsűjére és azok tönkremenetelére.

A függőleges tagozódási síkok kialakulására vonatkozó megbízható megfigyelési - mérési - adatokkal és ezen alapuló statisztikai értékelésekkel még csak kis mennyiségben rendelkezünk, de nagyon valószínű, hogy ezek nem egyszer egész fejtési szeleteket, akár $15 \div 20$ m vastagságú rétegeket is átharántolhatnak.

A függőleges repedéseket végül is a fejtés hatására bekövetkező expanziós mozgások és ennek hatására kialakuló húzófeszültségek hozzák létre, mivel a talajok a sajátos rideg tu-

lajdonságaik miatt a húzófeszültségeknek csak igen rövid ideig képesek ellenállni. Ezt a fejtési rézsűkön bekövetkező csúszások kifejlődésének a mechanizmusai is bizonyítják. De az anyag ilyen rideg viselkedését igazolták a nagytérű / $d=10$ cm, $h=20$ cm/ háromtengelyű nyomókísérleteink is /l. 9. ábra/.

A 9. ábra a nyugalmi nyomás tényezőjének a meghatározásához tartozó kísérleteinket, valamint a törés állapotához tartozó főfeszültségek tartományait tartalmazza. A kísérleteink szerint a kívánt kompressziós feszültségállapot előállítása után igen kis feszültség- és alakváltozás / $\epsilon_z \approx 4-6\%$ fajlagos alakváltozás/ azonnal előidézte a törés állapotot, függetlenül attól, hogy a minta nyílt-vagy zártrendszerben került-e vizsgálatra. A fejtést követő expanziós elmozdulásokat a talajtömeg korábbi feszültségállapota és fizikai tulajdonságai határozzák meg. A fejtési anyagok fizikai tulajdonságai nagyon változatosak. Még egyazon rétegben is igen eltérő feszültség és alakváltozási tulajdonsággal kell számolni mind vízszintes, mind függőleges irányban.

Korábbi kompressziós vizsgálatok eredményeit szemlélteti a 10. ábra; amelyből kiderül, hogy a különböző rétegek mennyire eltérő módon akkumulálják, illetve maradó alakváltozás révén mennyire nyelik el a külső energiát.

A fejtést követő expanziós mozgások megfigyelésére igen örövendetesen, már történtek hazai próbálkozások, de azok még koránt sem elegendőek egy pontosabb mozgásmechanizmus leírásához és a mozgási folyamat jellegzetes határaihoz tartozó egzakt számítási módszer kidolgozásához.

Hazai mérésekből és külföldi mérési tapasztalatokból is az a következtetés vonható le, hogy mintegy / $2-2,5/H$ távolságig észlelhetők expanziós mozgások a rézsű körömpontja mögött mielőtt a csúszások bekövetkeznének. Maguk a csúszólapok

viszont a körömpont mögött /0,5-1,0/ H távolságon belül alakulnak ki, ahol H a rézsű magassága.

Természetesen mindaddig amíg elegendő számú mérési megfigyelési adat nincs, meg kell elégednünk a közelítő állékonysági vizsgálatokkal is.

Az ismertetett körülmények mérlegelésével olyan számítási módszert dolgoztunk ki, amelynél az összetett csúszólappal határolt merev testre ható erők egyensúlyát számítottuk. A számítás elvét a 11.ábra szemlélteti. A számításnál két határértéket vizsgálhatunk:

- az expanziós mozgás megindulásának a folyamata a nyírószilárdság csúcserékének a feltételezésével,
- a nagy expanziós mozgást követően a nyírószilárdság reziduális értékének a feltételezésével, illetve a csúszási kísérletekből kapott fundamentális nyírószilárdság alapján.

Az előbbi a rövid ideig nyitvatartott rézsűk, az utóbbi a tartósan nyitvatartott rézsűk állékonyságánál jöhet számításba.

Az expanziós mozgást követően az aktív földnyomás számítása a triaxiális feszültségállapot alapján meghatározott nyírószilárdsági paraméterek valószínűen várható legkedvezőtlenebb átlagértéke alapján történt / $\phi_{\min} \approx 17^\circ$, $c_{\min} \approx 25$ kPa/.

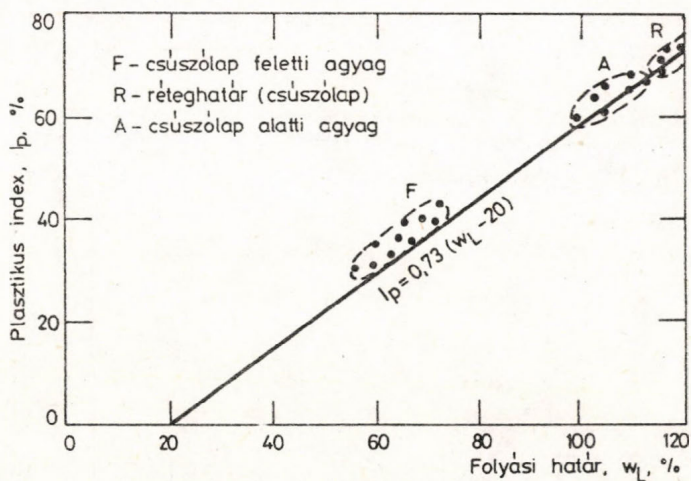
Az ismertetett elvek alapján az egyensúlyi határhelyzetben lévő rézsűk adatait a 12.ábra szemlélteti, a nyírószilárdsági paraméterek szélsőértékeinek a figyelembevételével.

Miután a 12.ábra az egyensúlyi határhelyzethez tartozó rézsűk magasságának és hajlásának az összefüggését adja, ez alkalmas a rézsű állékonyságának az egyszerű ellenőrzésére.

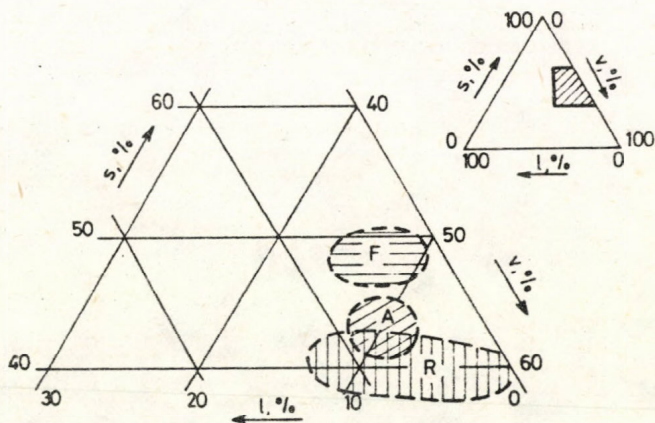
E célból a grafikonon feltüntettük a K.-I. és K.-II. bányában bemért és lecsúszott rézsűket is.

A bemutatott vizsgálatokra alapozott ellenőrző számítások többé kevésbé igazolták a közelítő feltevések helyességét.

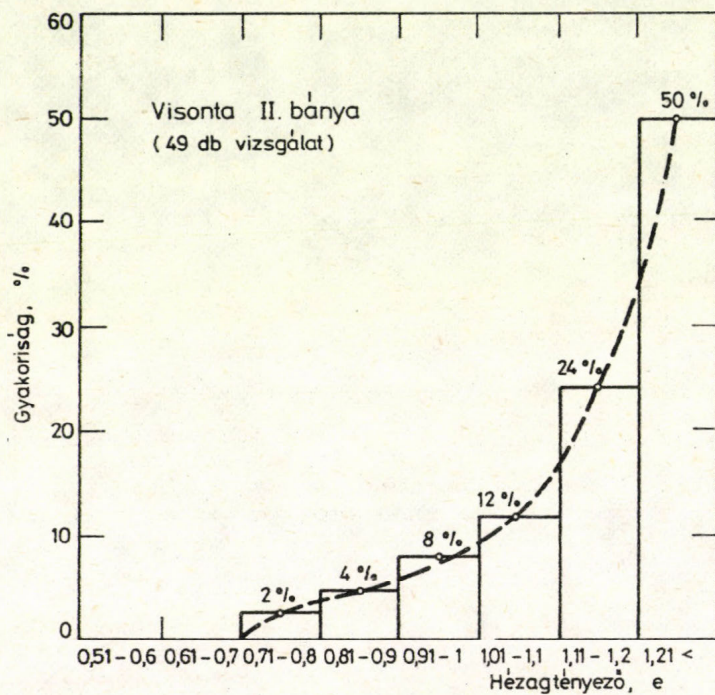
Ugy véljük, hogy a fejtési rézsűk rendszeres megfigyelése és mérése, valamint azok statisztikai értékelése további fontos adalékot szolgáltatna a rézsűállékonysági vizsgálatokhoz.



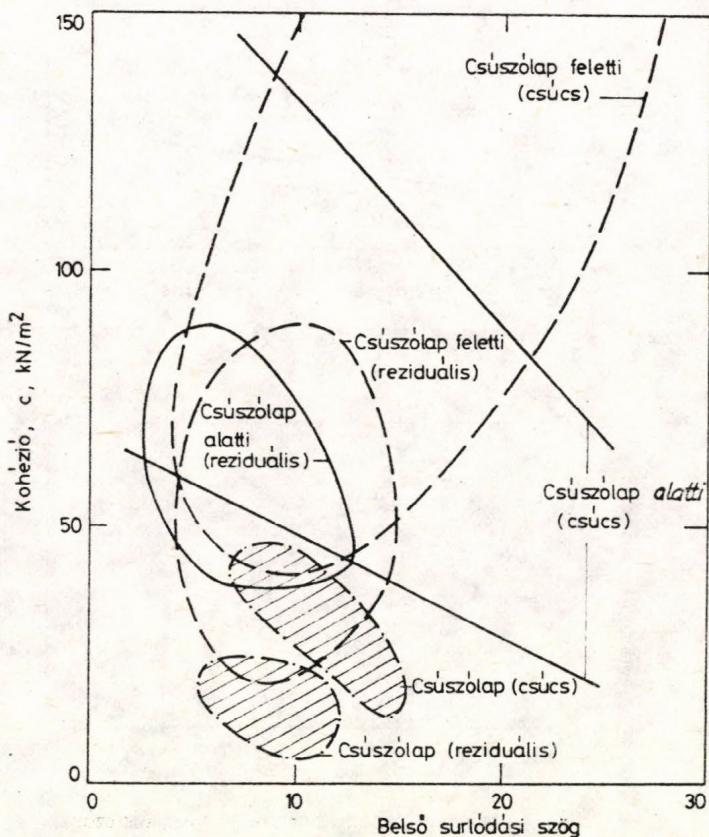
1. ábra A csúszólap környezetében lévő talajok tartományai a Casagrande-féle képlekenységi grafikonban



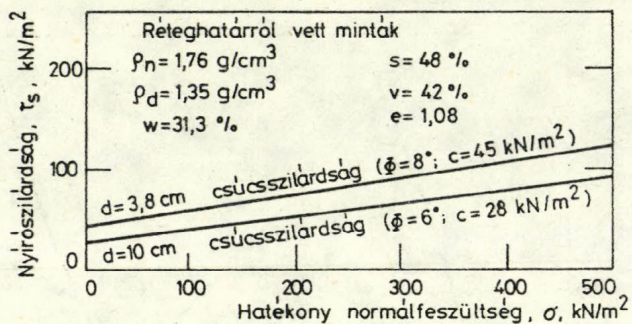
2. ábra A csúszólap környezetében lévő talajok fázisos összetétele



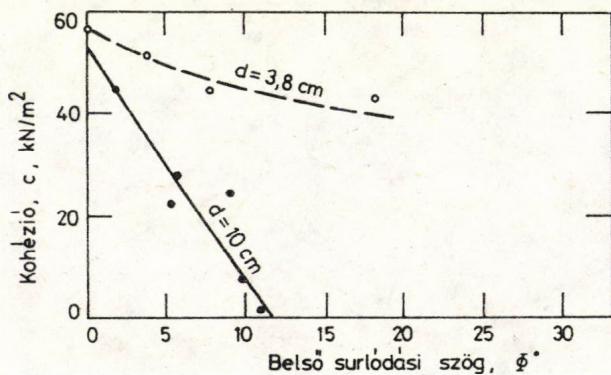
3. ábra Bentonitos agyagok hézagtényezőinek gyakorisági eloszlása



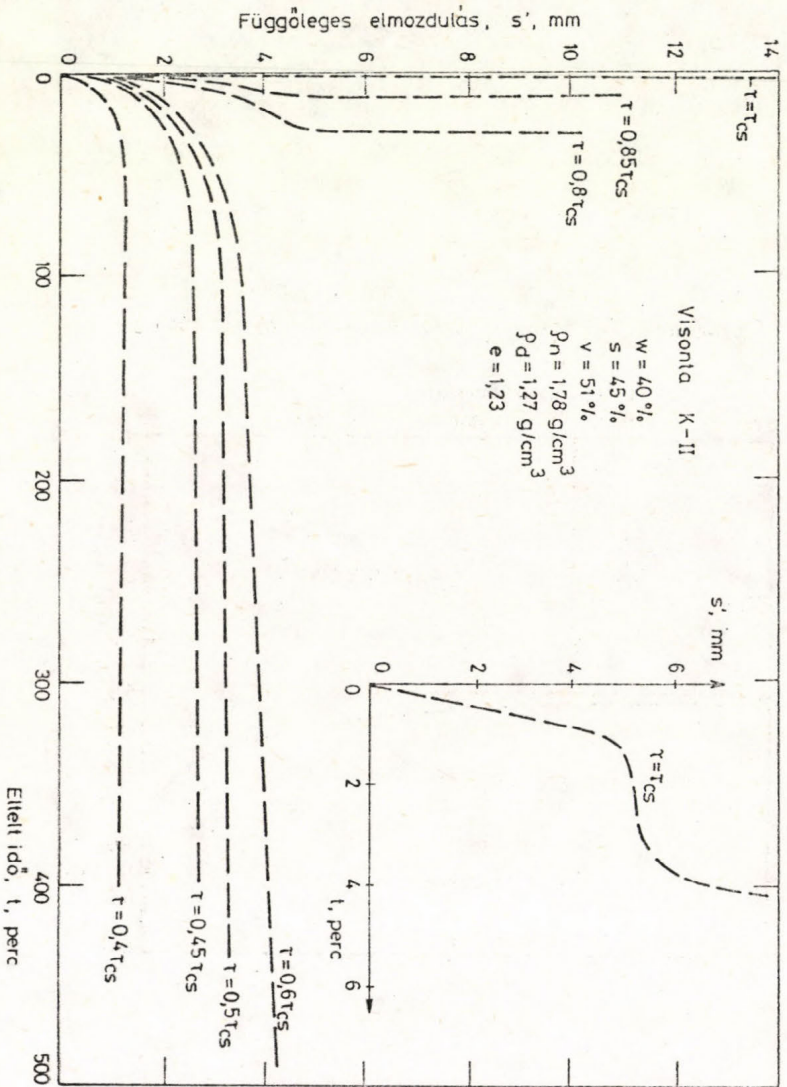
4. ábra A csúszólap környezetében lévő agyagok összetartozó nyírószilárdsági csúcs-és reziduális paramétereinek tartományai (Visonta)



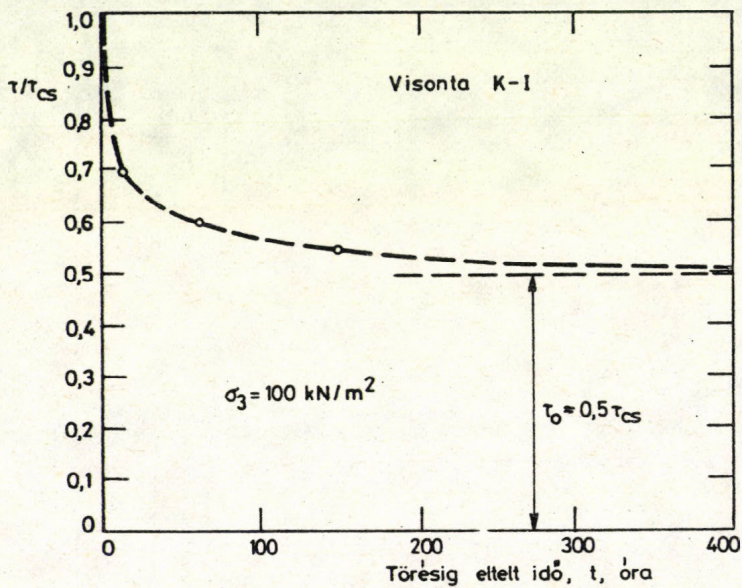
5. ábra A kísérleti mintaméret hatása a nyírószilárdságra



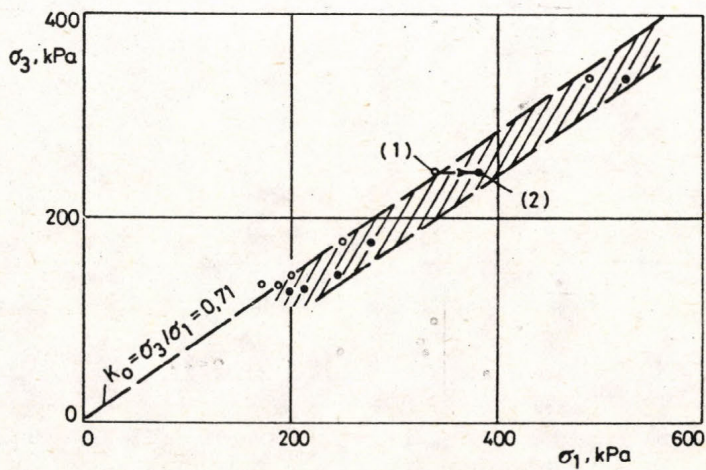
6. ábra A nyírószilárdsági paraméterek változása különböző triaxiális mintaméreteknél



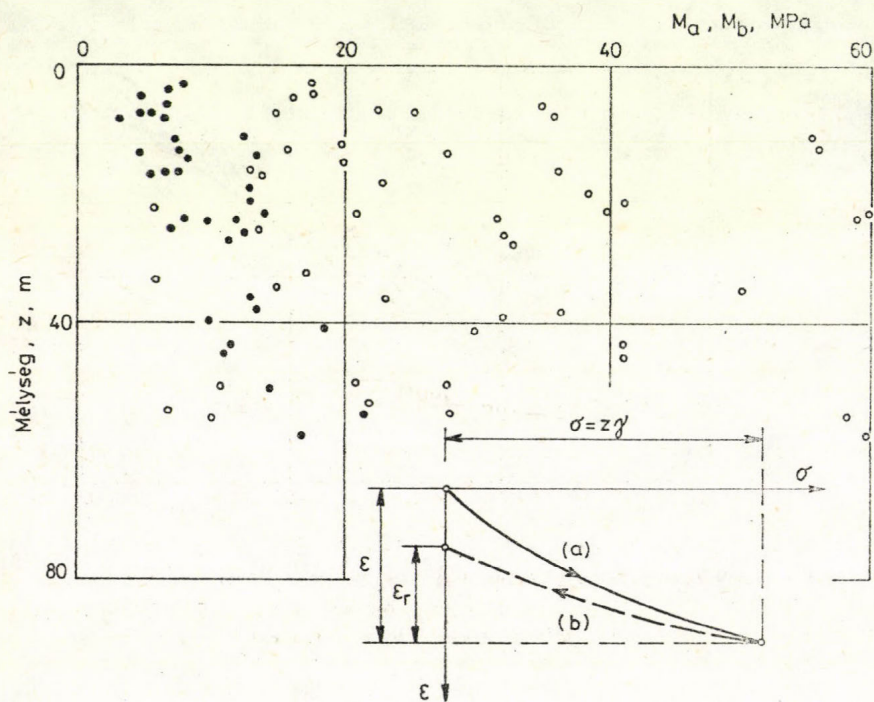
7. ábra Az egyik küszabí vizsgálat eredménye ($\sigma_3 = 100 \text{ kN/m}^2$)



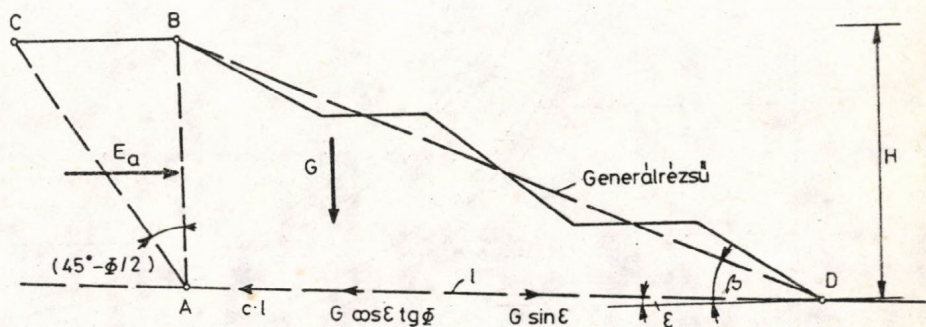
8. ábra A fundamentális nyírószilárdság meghatározása



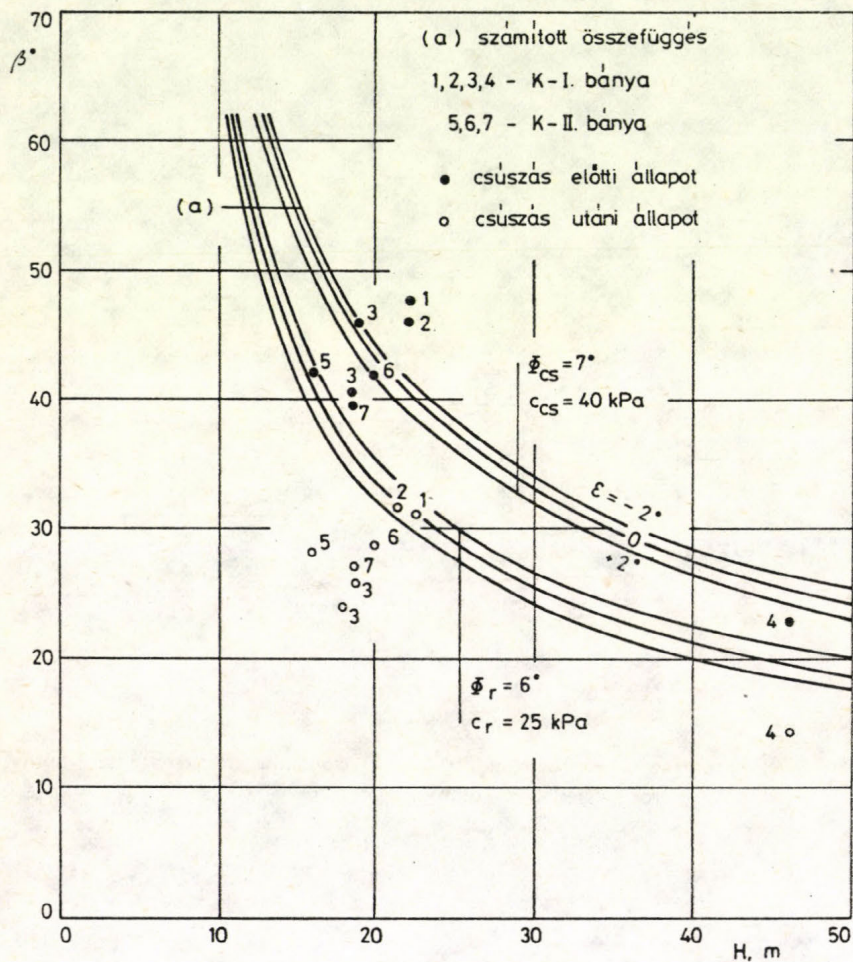
9. ábra Nagyátmérőjű triaxiális nyomókísérletek eredményei
 (1) - főfeszültségek K_0 (un nyugalmi) állapotban
 (2) - főfeszültségek törésállapotban



10. ábra A terhelés (a) és visszaterhelés (b) alapján számított összenyomódási modulusok ($M_a = z\gamma/\epsilon$; $M_b = z\gamma/\epsilon_r$)



11. ábra Az egyensúlyi határhelyzet vizsgálata a merev testre ható erők egyensúlya alapján



12. ábra Határegyensúlyi állapothoz tartozó rézsűk geometriai adatai

LAYER SLIPS AT MINING SLOPES

József FARKAS-Imre KABAI

At surface minings stability of 40-80 deep general slopes is to be examined in each case separately. Determination of shearing strength important from the aspect of slipping and selection of the most suitable method of stability examination are of essential importance at the examinations. Plane slips have generally taken place - very often in critical layer limits at Visonta surface mining. The article deals with values of shearing strength parameters measured on the critical layer limits and of other soil physical characteristics, examining peak and residual values of strength parameters, as well as fundamental shearing strength to be determined by creeping experiments. It presents result of - complex gliding plane - slope stability examination done by application of shearing strength values obtained in this way. It shows points representing slipped slopes, too on the diagram. Measurements on the spot have proved correctness of suppositions made during the calculations.

Measurements and observations on the spot of expansive movements following mining are indispensable for elaboration of the exact calculation methods.

СДВИГ СЛОЕВ, ВСТРЕЧАЮЩИЙСЯ У ОТКОСОВ ВЫРАБОТКИ

ФАРКАШ Й. — КАБАИ И.

У карьеров необходимо исследовать устойчивость основных откосов глубиной порядка 40–80 м. В случае испытаний основным является определение прочности на срез, нормативного с точки зрения сдвига и выбор наиболее соответствующего метода испытания на устойчивость. У карьера в Вимонта происходили обычно плоские сдвиги — очень часто на критических границах слоев. Статья занимается параметрами прочности на сдвиг, измеренных на критических границах слоев и величинами других физико-механических характеристик грунтов, рассматривая пиковые и остаточные величины прочностных параметров, а также фундаментальную прочность на сдвиг, определяемую испытаниями на ползучесть. Излагает результаты испытания — комбинированной линией скольжения — откосов на устойчивость, проведенных с использованием полученных таким образом величин прочности на срез. На графике изображаются также и точки оползания откосов. Натурные измерения подтвердили правильность предположений, сделанных в ходе расчетов.

Натурные измерения, наблюдения экспансионных смещений, следующих за выработкой, непременно необходимы для разработки точных методов расчета.