

# OPTIKAI FESZÜLTSEGVIZSGÁLÓ BERENDEZÉS A KŐZETMECHANIKÁBAN ELŐFORDULÓ ÜREGEK KÖRÜLI FESZÜLTSEGMEZŐ VIZSGÁLATÁRA

SELMECINÉ NAGY MELINDA\*

A talaj- és kőzetmechanika témaköréhez tartozó optikai feszültségvizsgálatok modellanyagául többnyire a zselatint használják. A zselatinnal történő modellezéshez egy házi tervezésű és kivitelezésű, függőleges irányú, szórt fényű feszültségoptikai berendezés készült. A dolgozat e berendezés részletes leírását, valamint a kikísérleztet zselatinanyag jellemzőit és előállításának módját, továbbá egy — a berendezésen végrehajtott — kísérletet ismerteti.

## 1. Bevezetés

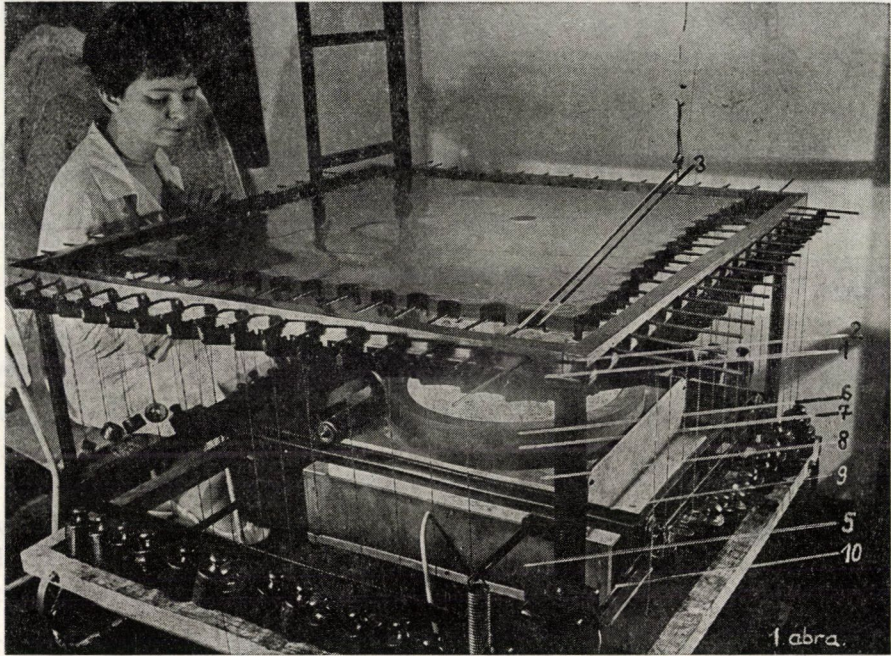
A talaj- és kőzetmechanika témaköréhez tartozó optikai feszültségvizsgálatok modellanyagául többnyire a zselatint használják, nagy optikai érzékenysége, valamint könnyű és olcsó beszerezhetősége miatt. A tulajdonképpeni modellanyagot a szilárd állapotú kereskedelmi zselatinból víz és glicerin megfelelő százalékos hozzáadásával állítják elő és lágy (kocsonyás) állapotban tábla alakban használják. A nagy víztartalmú zselatin olyan lágy, hogy függőleges helyzetben csak két üveglap közé téve terhelhető és vizsgálható. Ilyen helyzetben az alábbi nehézségek, problémák jelentkeznek:

- körülményes a terhelés megvalósítása;
- a zselatinmodell nem elhanyagolható önsúlyterhelést okoz;
- a két függőleges támasztóüveglap és a modell között jelentős súrlódás lép fel, valamint azokon a tartományokon, ahol a zselatinmodell az üveglaphoz tapad, az optikai képen sötét folt jelentkezik.

A súrlódás csökkenthető és a terhelésráadás megoldása egyszerűbb, ha vízszintes terhelőkeretben vizsgáljuk a zselatinmodellt. A letapadás kiküszöbölhető, ha a zselatintábla paraffinolaj — vagy a jobban bevált ultrás desztilláltvíz — rétegen úszik. A nagy rugalmasságú és nagy optikai aktivitású zselatinnal a kőzet- és talajmechanikában előforduló primer, szekunder és terciér feszültségmező jó eredménnyel vizsgálható [8]. A nagy alakváltozásra való hajlama révén a zselatinból készült modelleken deformációvizsgálatok is könnyen végezhetőek [1], [2].

\* Selmeciné Nagy Melinda 3532 Miskolc, Ságvári u. 5

A talaj- és kőzetmechanikai vizsgálatok zselatinnal történő modellezéséhez Dr. Kapolyi László kísérleti -és berendezés-építési tapasztalatainak felhasználásával egy házi tervezésű és kivitelezésű feszültségoptikai berendezés készült (1. ábra). Ez a berendezés függőleges irányú, szórt fénnel dolgozik, a terhelés iránya vízszintes. A berendezéssel síkfeszültségi állapot vizsgálható [3]. A tárgyasztal (1) és a terhelőkeret (2) vízszintes helyzetű. A



1. ábra Optikai feszültségvizsgáló berendezés zselatin modellanyag használatára

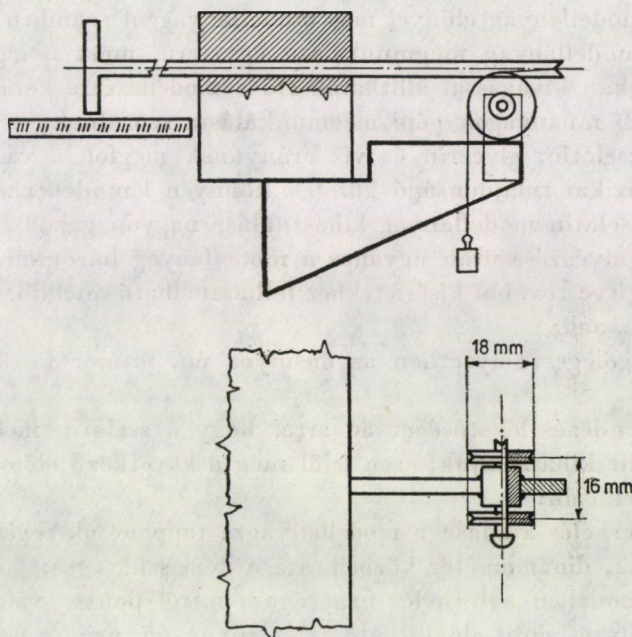
tárgyasztal 5 mm vastagságú tükörüveg, amelynek mérete  $1000 \times 1000$  mm, hasznos (átvilágítható) területe pedig  $930 \times 930$  mm. A terhelőkeret nagysága  $1040 \times 1040$  mm, keresztmetszete  $30 \times 30$  mm. A terhelés ráadása 4 oldalon, oldalanként összesen 16 db félhenger alakú papuccsal (3) ellátott súlyterhelésű terhelőrúddal (4) valósítható meg. A terhelőrudak hossza 200 mm, átmérője  $\varnothing 4$  mm, egymástól való távolságuk 60 mm. A terhelőkeret és a rudak anyaga kemény krómbevonattal ellátott acél.

A terhelést a modellanyagra közvetlenül átadó félhengerek (papucskok) átmérője  $\varnothing 35$  mm, magassága 25 mm. A papucs anyaga 1 mm vastag sárgarézlemez.

A berendezés fényforrását 6 db fehér 20 W-os F 6-os típusú fénycső alkotja.

Közeliítőleg monokromatikus zöldszínű fény 1 mm vastag zöld plexi-lemezzel állítható elő. A fényforrással egybe van építve a polarizátort (6) és a  $\lambda/4$  lemezt (7) tartó forgatható tárcsa, amelyeken fokbeosztás van. A polarizátor és a  $\lambda/4$  lemez átmérője  $\varnothing 425$  mm (a londoni H. S. B. Meakin-cég terméke).

A fényforrást és a szűrőket tartalmazó szekrény (8) a vízszintes síkban két-, egymásra merőleges irányban sineken (9, 10) eltolható. Így a tárgyasztal bármely tartománya átvilágítható.



2. ábra Az Optikai feszültségvizsgáló berendezés teherátadó szerkezetének vázlata

A fényképezés felülről történik, egy állítható magasságú állványról. Kisfilmes, Practica típusú fényképezőgéppel fényképezünk.

Az analizátort és a másik  $\lambda/4$  lemezt a fényképezőgép lenszéje elé szűrő-előtétként szereljük fel.

A kísérlet során 25 mm vastag modell használata bizonyult megfelelőnek.

A zselatinmodell öntőformája hőálló dekoritlemezzel bevont, 25 mm vastag keményfából készült. Mérete:  $950 \times 1000 \times 25$  mm.

A zselatin, glicerin és víz különböző arányú összetételéből, különböző keménységű modellanyag állítható elő [4] [5]. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen az MTA Bányászati Munkaközösségében kikísérletezett zselatinanyag két szélső (legkeményebb, leglágyabb) állapotának jellemzői:

Összetétel	Keverési arány	$E$ kp/cm <sup>2</sup> rug. mod.	$S$ $\frac{\text{kp/cm}^2}{\text{rendszer/cm}}$ fesz. opt. áll.
Zselatin + + glyc. + víz	3,5 kp + + 3,5 lit + 20 l.	0,994	0,0382
Zselatin + + glyc. + víz	7,5 kp + + 5 lit + 20 lit.	8,343	0,3190

A zselatin modellanyag előnyei más modellanyaggal szemben a következők:

— a modellanyag megmunkálása egyszerű, mert a lágy (kocsonyás) modellanyagban kivágással állíthatók elő a modellezésre kerülő üregek, míg a keményebb műanyagok gépi megmunkálásra szorulnak;

— a zselatin, glicerin és víz arányának megfelelő változtatásával a különböző fizikai tulajdonságú közetek könnyen lemodellezhetők;

— a zselatin modellanyag kihasználása nagyon gazdaságos, mert egy-egy kísérlet elvégzése után ugyanaz a modellanyag három-négy alkalommal újra átmelegítve további kísérletekhez felhasználható anélkül, hogy tulajdonságai romlanának;

— függőleges helyzetben az önsúlyos ún. primer feszültségállapot is vizsgálható.

A berendezés lehetőséget ad arra, hogy a zselatin modellanyag ezen tulajdonságait kihasználjuk, ezen felül még a következő előnyös tulajdonságokkal rendelkezik:

— a terhelés átadása a modellanyagra tappancsok segítségével áttételen történik, dinamométer közbeiktatása nem szükséges;

— a modellen a terhelés nagysága pontról pontra változtatható, így vízszintes helyzetben is előállítható az önsúlyos, ún. primer feszültségállapot;

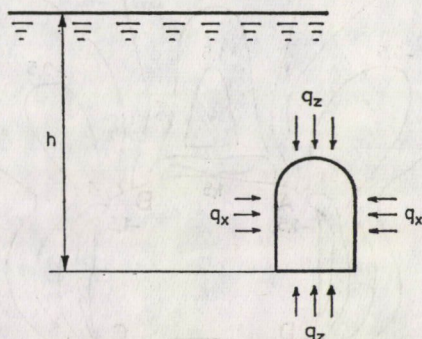
— egy-egy kísérlet alkalmával maximálisan  $860 \times 860$  mm méretű modellanyag vizsgálható, így az üregek környezetében a feszültségek alakulása minden irányban jól nyomon követhető.

## 2. A modellanyag előállítása

Először a kimért zselatint feloldjuk az előírt mennyiségű,  $60^\circ\text{C}$  hőmérsékletű vízben. Amikor sima folyadékot kapunk, hozzáöntjük a kívánt mennyiségű glicerint, és  $70^\circ\text{C}$ -os vízfürdőben 2,5 óráig melegítjük. A formába való kiöntés  $40 \div 50^\circ\text{C}$  közötti hőmérsékleten történik. A zselatinnak a formához való tapadását paraffinolajjal akadályozzuk meg oly módon, hogy kiöntés előtt a formát vékony, egyenletes vastagságú paraffinolajréteggel vonjuk be. Ily módon elérhető, hogy a tárgyasztalra való áthelyezéskor (formából történő

kiöntéskor) nagy zselatintábla is szépen leválik a formáról és ugyanakkor felülete tükörsima lesz. A vékony paraffinréteg növeli a modellanyag átlátszóságát is.

Példaként a 3. ábrán—[6] alapján—egy boltozatos vágat környezetében kialakuló feszültségek optikai modellvizsgálatát mutatjuk be.



3. ábra Egyszerű közetmechanikai eset:  $h$  mélységben kialakított vágatra ható erő

A talp és főte felőli oldalról a vágat környezetét egyenletesen megoszló  $q$  erőrendszer terheli.  $q_z$  értéke az ismert

$$q_z = z \cdot \gamma \quad (1)$$

összefüggésből adódik, ahol  $z$  = a vágat távolsága a felszíntől,  $\gamma$  = a közet térfogatsúlya  
A függőleges erőrendszer hatására egyenletesen megoszló  $q_x$  vízszintes erőrendszer alakul ki.  $q_x$  a Poisson-szám segítségével számítható:

$$q_x = \frac{q_z}{k-1}, \quad (2)$$

ahol  $k$  a közet kvázi Poisson-száma. A fenti képletben  $q_z$  és  $q_x$  az üregnyitás előtti ún. primer feszültségállapot főfeszültségei.

Az üreg körül kialakuló feszültségmező vizsgálatához a modellre  $p_z$  és  $p_x$  egyenletesen megoszló erőket alkalmazunk. Ezek arányosak  $q_z$  és  $q_x$  értékével. A legegyszerűbb idealizált esetben  $k = \infty$ , és így  $p_x = 0$  adódik. A modellenél alkalmazott terhelés  $0,5 \text{ kg/6 cm}$ , ebből  $p_z = -0,0333 \text{ kg/cm}^2$ -re adódik.

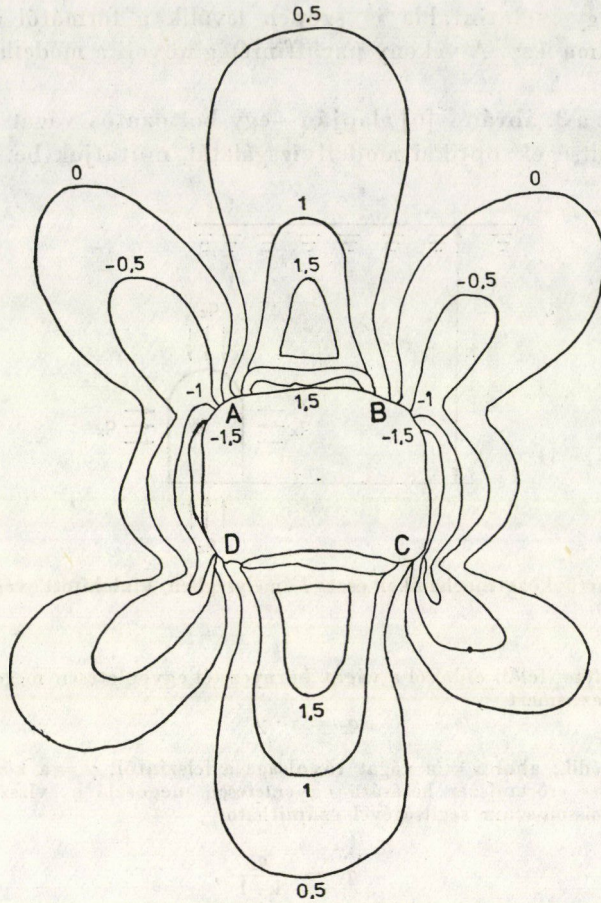
A szelvény (vágat) két egymásra merőleges tengelyének mérete:  $5 \times 7,5 \text{ cm}$ . A modellanyag mérete:  $85 \times 85 \times 2,5 \text{ cm}$ . A modellanyag jellemzői: feszültségoptikai állandója — amellyel a modellanyag optikai aktivitását jellemzik — nátriumgőzlámpa sárga fényére

$$S = \frac{0,0392 \text{ kp/cm}^2}{\text{rendszám/cm}}, \text{ rugalmassági modulusa: } E = 0,994 \text{ kp/cm}^2.$$

A 4. ábrán az izokrómok az állandó főfeszültségkülönbségek geometriai helyét mutatják a vágat környezetében. Az alakváltozás és a feszültségállapot tengelyszimmetrikus, így az izokróm ábra is az. A vágat belső, szabad (megtámasztás nélküli) felülete mentén — szekunder feszültségállapotról lévén szó— az egyik főfeszültség nagysága zérus. Kérdés, hogy nyomó- vagy húzóigénybevétel van-e a vágat felülete mentén. Erre egyértelmű választ az élpróba segítségével kapunk [7].

Esetünkben a főte és talp felőli oldalon húzás (+), a két függőleges oldalon pedig nyomás (–) uralkodik. Különböző rendszámokra a főfeszültségértékek különbségét a

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{S}{d} m; \quad (3)$$



4. ábra A főte és talp felőli oldalról egyenletesen megoszló erőrendszerrel terhelt boltozatos vágat izokrómvonalai

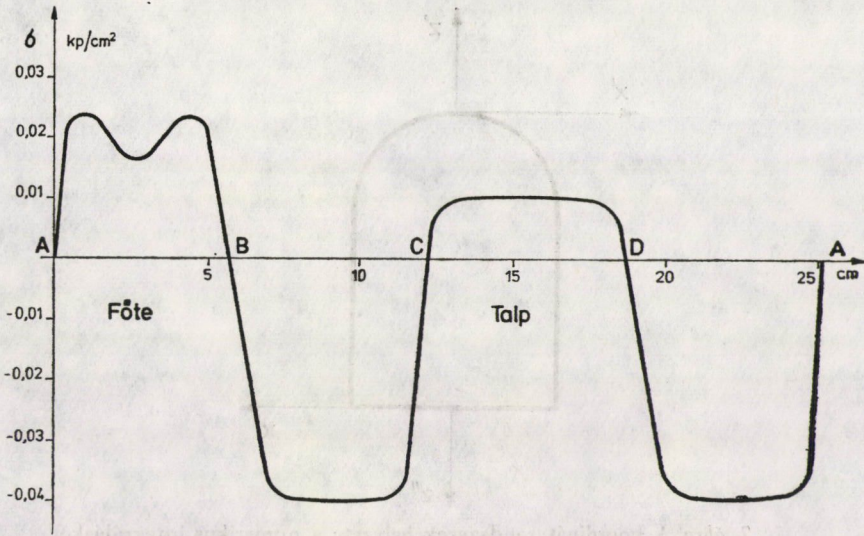
képlettel számíthatjuk, ahol

- $S$  – feszültségoptikai állandó
- $m$  – rendszám
- $d$  – modell vastagsága.

Esetünkben  $\sigma_1 - \sigma_2 = 0,0153$  m. A vágat kerületén kialakult tangenciális feszültségeket az 5. ábrán láthatjuk.

A modell többi részére a feszültegeloszlás meghatározásához a Frocht-módszer segítségével (de kis változtatással) numerikus grafikus integrálást végezhetünk a főte és a talp szimmetriavonalában. A változás lényege a következő: A  $z$  tengely mentén végzett integrálás-kor a  $\Delta z$  metszeteket az izokrómok sűrűségének megfelelően választjuk. Sűrűbb izokrómnál kisebbre, ritkábbaknál nagyobbra. Az izoklinákat  $15^\circ$ -onként vesszük fel, az  $x$  metszékeket az integrálási úttól ( $0^\circ$ -os izoklina) a  $15^\circ$ -os izoklináig mérjük. Ezekkel a módosításokkal a pontosság romlása nélkül jelentős számítási munka takarítható meg. A számításnál felhasznált képletek [7] alapján:

$$\tau_{z\alpha} = -\frac{S \cdot m}{2d} \sin 2\alpha 15^\circ, \quad (4)$$



5. ábra Tangenciális feszültségek lefutása a vágat kerülete mentén

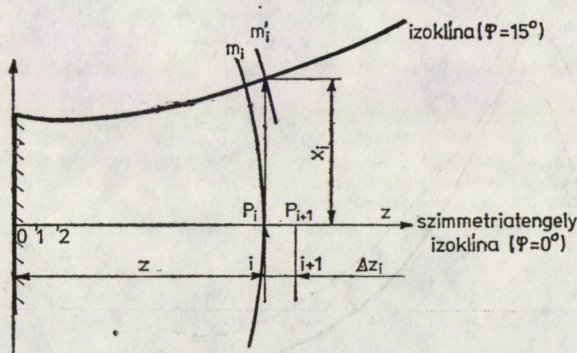
$$\sigma_{z_i} = - \sum_{k=1}^i \left( \frac{\Delta \tau_{zx_i}}{x_i} \right) \Delta z_i, \quad (5)$$

$$\sigma_{x_i} = \frac{S \cdot m_i}{d} + \sigma_{z_i}, \quad (6)$$

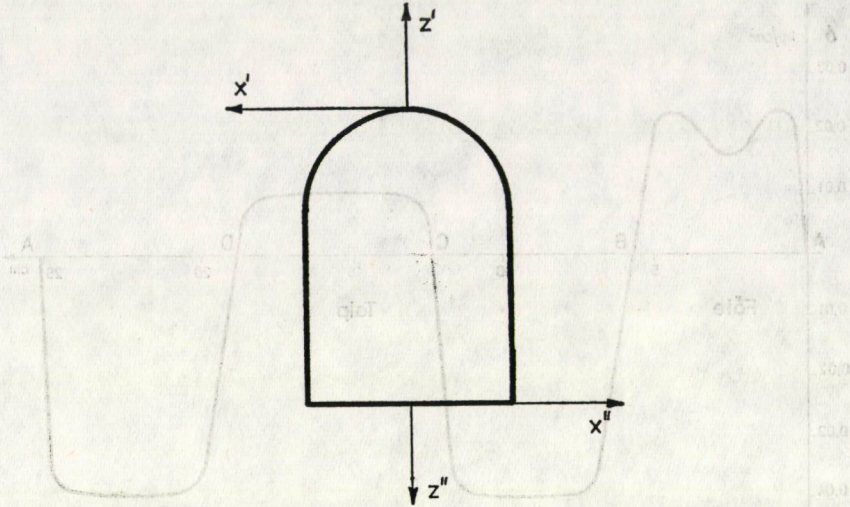
ahol  $\tau_{zx_i}$ -t a  $15^\circ$ -os izoklinán számítjuk,  $x_i$  a szimmetriatengely és a  $15^\circ$ -os izoklina közötti metszék,  $\sigma_{z_i}$  és  $\sigma_{x_i}$  a főfeszültségek értéke a szimmetriatengelyen levő  $p_i$  pontban. Az előbbieket megértését a 6. ábra könnyíti meg.

A számítást a főte és a talp szimmetriavonalában természetesen külön-külön koordináta-rendszerekben végeztük, amint ez a 7. ábrán is látható. A számítás eredményeképpen a  $\sigma_x$  és  $\sigma_z$  feszültségek lefutása a főte és a talp szimmetriavonalában a 8., 9. ábrán látható.

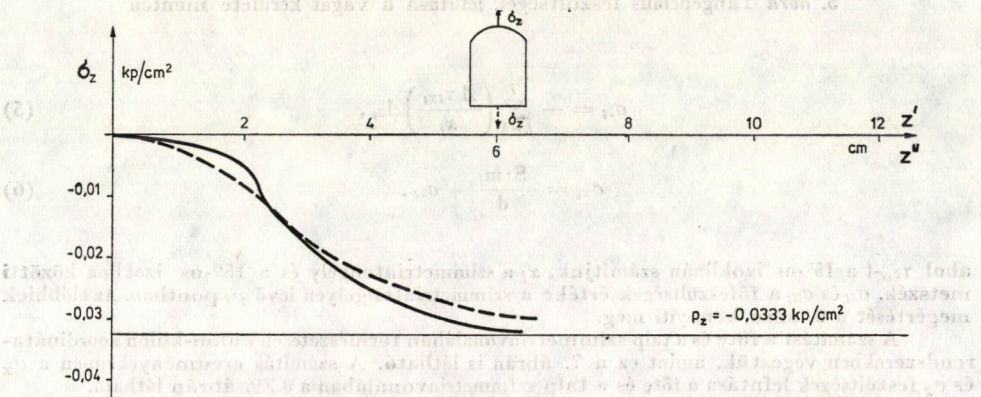
A diagramokból derül ki az a kézenfekvő tény, hogy a vágattól távol a feszültségek kiegyenlítődnek és egyre inkább a primer feszültség értékét veszik fel.



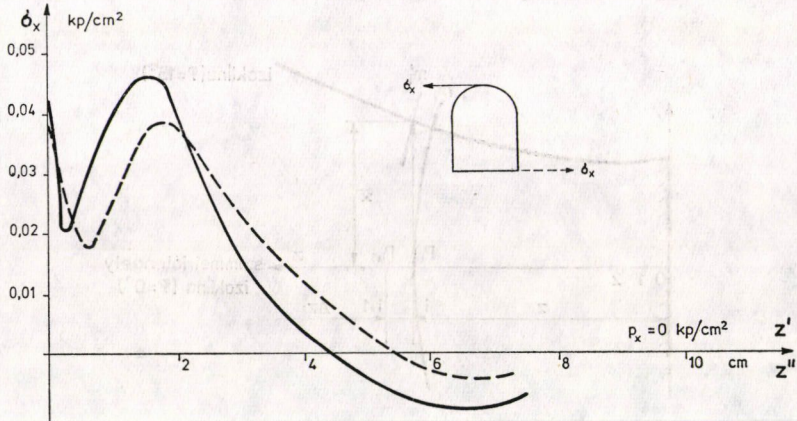
6. ábra Vázlat a numerikus integrálás szemléltetésére



7. ábra A koordinátarendszerek helyzete a numerikus integráláskor



8. ábra Ortogonális feszültségek a szimmetriatengelyen



9. ábra Axiális ( $\sigma_x$ ) Axiális feszültségek a főté és a talp szimmetriavonalában

## IRODALOM

1. WOLF, H.: Spannungsoptik. Springer-Verlag Berlin (Göttingen) Heidelberg 1961
2. FÖPPL—MÖNCH: Praktische Spannungsoptik. Springer-Verlag Berlin (Göttingen) Heidelberg 1959
3. KUSKE, A.: Einführung in die Spannungsoptik. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft M.B.H. Stuttgart 1959
4. BOITEAUX, H.: Élasticité. Photoélasticimétrie. Hermann C<sup>re</sup> Editeurs. Paris 1940
5. PIRARD, A.: La Photoélasticité. Dunod, Éditeur Paris, 1947
6. SAVIN, G. N.: Stress Concentration around Holes. Pergamon Press Oxford, London. New York. Paris 1961
7. THAMM—LUDVIG—HUSZÁR—SZÁNTÓ: A szilárdságtan kísérleti módszerei. Műszaki Könyvkiadó. Budapest 1968
8. KAPOLYI L.: Bányabiztosító szerkezetek hatásának vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Tatabánya 1967

**Photoelasticity Test Instrument for the Investigation of a Stress Field around Cavities in Rock Mechanics.** — For photoelastic studies of stresses in the field of soil and rock mechanics gelatine is mainly used as a model material. For the model tests a home-made vertical instrument for photoelastic analysis with diffused light, was constructed. The construction of the instrument, the properties of the experimentally developed model material and the method of its production are given in detail by presenting a test as an example, carried out with the measuring instrument in question.

**Spannungsoptisches Meßgerät für die Untersuchung der Spannungsfelder um die in der Gesteinsmechanik befindlichen Hohlräume.** Für die spannungsoptischen Untersuchungen auf dem Gebiet der Boden- und Gesteinsmechanik wird meistens Gelatine als Modellstoff verwendet. Für das Modellieren mit Gelatine wurde ein in eigener Regie angefertigtes, vertikales spannungsoptisches Meßgerät mit Streustrahl verwendet. Es folgt auch eine ausführliche Beschreibung des Meßgeräts, der Eigenschaften des experimentell entwickelten Modellstoffs und dessen Fertigungsmethode sowie eines mit dem Meßgerät durchgeführten Versuches.