

KÖZETBE TELEPÍTETT GÁZTARTÓ

Bevezetés

Fejlődő gázenergia gazdálkodásunk — különösen a földgáz fokozottabb felhasználása érdekében — egyre nagyobb térfogatú gáztárolók építését igényli. A múltban kizárólag acélszerkezetű gáztartók létesültek. Alacsonynyomású gáz tárolására a teleszkópos rendszerű gáztartályokat, nagyobb (5–6 atm) nyomás esetén pedig már vastagabb falú (20–30 mm) gömb- vagy hengeralakú szerkezeteket használtak. Utóbbiak már gazdaságosabbak ugyan, azonban acélananyag szükségletük még mindig tetemes.

Az acélananyaggal való takarékoskodás, valamint a gazdaságos megoldásra való törekvés érdekében Szász Frigyes főmérnök eredeti megoldást javasolt. Elgondolásának lényege az, hogy a gáztartót kőzetbe telepíti úgy, hogy a kőzetbe vájt üreg csak vékony acéllemez bélést kap, mely a gáz diffúzióját megakadályozza és a belső gáznyomás okozta terhelést túlnyomóan a kőzet veszi fel. E megoldás főleg akkor lehet gazdaságos, ha a gázt nagy nyomáson lehet tárolni, mert ekkor a helyszükséglet és így a kőzetfejtési és bélelési munka csekély. Különösen előnyössé válik alkalmazása földgáz tárolása esetében, midőn a gáz a tárolás helyére távvezetéken, nagy nyomással érkezik és így a gáztartóba való betáplálása gépi berendezés alkalmazása nélkül közvetlenül történik.

Egy ilyen rendszerű gáztartó rendszer építését Budapesten megkezdték. A különleges feladat megoldásához a megfelelő hely kiválasztása után igen részletes mérnökgeológiai kutatásokat kellett végezni. A kőzetmechanikai jellemzők ismeretében lehetett kialakítani a szerkezeti megoldást és mivel hasonló szerkezet még nem épült, ki kellett dolgozni a méretezési eljárást. A rendszer feltételezett erőtani működésének ellenőrzésére kísérleti szakasz létesült. Az ebben ismételtén végrehajtott nyomáspróbák és ellenőrző vizsgálatok az elvi elgondolás, a szerkezeti kialakítás és a méretezési alapelvek helyességét igazolták.

A különleges szerkezet létesítésével kapcsolatos kutatási, tervezési, kivitelezési és ellenőrzési munkálatokról következőkben számolok be.

1. A létesítmény környékének geológiai ismertetése

A gáztartó helyét úgy kellett kiválasztani, hogy a gáz felhasználási helyéhez lehetőleg közel nagy szilárdságú, magas rugalmassági modulus értékkel bíró kőzet álljon rendelkezésre. Utóbbi feltételeket a nagyszilárdságú, nagy

húzószilárdságú állékony mészkő és dolomit kőzetek teljesítik a szobajöhető körzeten belül. A választás dr. Szalay Tibor geológus, a geol. tud. kandidátusa szakvéleménye alapján a Táborhegy-i dolomit kőzetre esett, mert ez a szaruköves dolomit képződmény 200 m-nél is vastagabb, miáltal az erőhatások felvételére kiválóan alkalmas, ezenkívül a mőtárgy a karsztvízszint felett helyezhető el, tehát a fejtési és építési munkákat szárazon lehet elvégezni és végül a felhasználás helyéhez közel van. A kőzet jó szilárdsági tulajdonságokkal bír úgy a terhelhetőség, mint fejtés közbeni állékonyosság szempontjából. Ez a kőzet — akárcsak a budai hegység területén a többi is — különböző irányú vetődésekkel és törésekkel át és át van járva. Ezen a területen leggyakoribb az ÉEK—DDNY törési irány, ezenkívül ÉÉNY—DDK irányú törés is előfordul. Mivel a gáztartók közel vízszintesen fekvő hosszúkás hengerek, telepítésük irányát lehetőleg a törési vonalakra merőlegesen kellett felvenni, hogy a vetők harántolása minél nagyobb szögben történhessék. Ezért tájolásuk K—NY-i irányú. A törések vonalában az erőtani egyensúly már helyreállt, azonban a mőtárgy környezetében előforduló folytonossági hiányok lezárása szükséges. A törésvonalak mentén — valószínűleg hévforrások feltörése következtében helyenkint — a dolomit elporlása következett be, néhol egészen vékony, másutt pedig több méter vastag rétegben.

2. Kőzetvizsgálati eredmények

Szerkezetünkben a kőzet igénybevétele oly természetű, hogy magas húzószilárdságú és magas rugalmassági modulus értékű anyagban gazdaságos az építkezés. Ezért a részletes vizsgálatok során főleg ezen kőzetmechanikai jellemzők gondos meghatározására kellett ügyelni.

A vizsgálatok lehetővé tételére a tervezett tartók helyén kutatótárókat hajtottak. Ezek fejtése során kitűnt, hogy a kőzet bejárathoz közeleső tömege mállott és csak mintegy 110 m-re a bejáratától kezdődött az összefüggő nagyobb szilárdságú kőzettömb.

A kivett hasábminták vizsgálata során a szilárd kőzetre következő vizsgálati eredményeket nyertük:

Törőszilárdság :	600—900 kg/cm ²
Húzószilárdság :	26— 30 „

Rugalmassági modulus :

a kisebb szilárdságú szakaszokon:

$$E = 86\ 000—140\ 000 \text{ kg/cm}^2$$

a nagyobb szilárdságú szakaszokon:

$$E = 140\ 000—480\ 000 \text{ kg/cm}^2$$

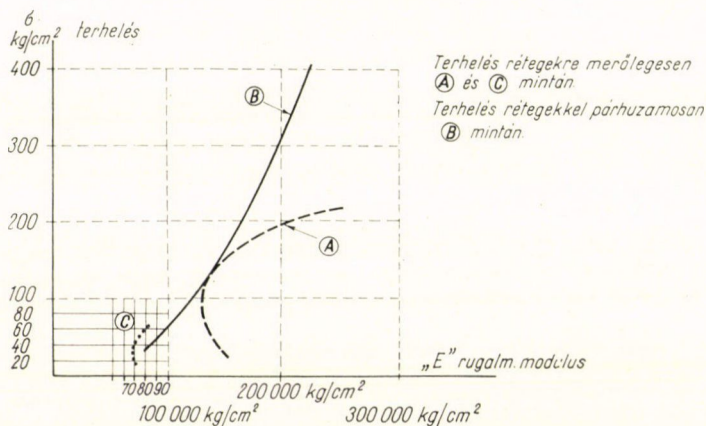
Poisson f. szám értéke :

$$m = 4,6—10$$

(értéke a terhelés növekedésével csökkent)

A kőzetbe — tehát anizotróp anyagba — telepített műtárgyaknál a rugalmassági jellemzők azonban a terhelés mérvétől, ismétlésétől és a rétegek fekvésétől függően veendő figyelembe.

Oly kőzetmintán, melynél a nyomóerő a rétegekre merőleges volt (1. ábra „A” minta) a rudalmassági modulus értéke mindaddig csökkent, amíg a rétegek egymásba nyomulva zárultak. Ezután a terhelést fokozva a rugalmassági modulus érték már emelkedik. A rétegekkel párhuzamosan terhelésnél (a. ábra „B” minta) ez a jelenség nem figyelhető meg. A terhelés ismétlése, illetve növelése során a rugalmassági modulus érték nőtt.

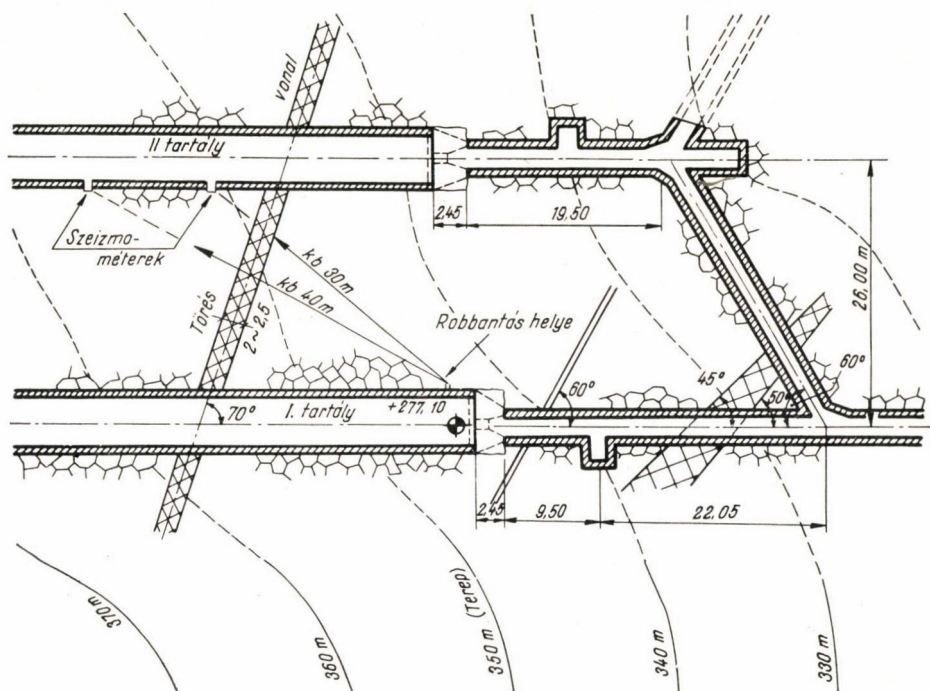


1. ábra. A kőzet rugalmassági modulusának változása a terheléstől és rétegződéstől függően

A vizsgálatok során megállapították azt is, hogy a fejtett és megfelelő szem nagyságúra zúzott kőzetanyag a betonozási munkákhoz adalékanyagul úgy keménység, mint szilárdság szempontjából kiválóan megfelel.

A szóbanforgó dolomit kőzet nem egyenletes minőségű, ezért a kőzetminták laboratóriumi vizsgálatán kívül helyszíni nyomóvizsgálatokkal és geofizikai vizsgálatokkal állapítottuk meg az eredeti fekvésű kőzet nagyobb terjedelmére vonatkozó értékeket.

Helyszíni nyomókísérlet során a kőzetben létesített fülkékben 70 cm × 70 cm alapterületű kettős támlémez hidraulikus sajtós készülékkel a szemközt fekvő kőzetfelületeken előáll és lemért benyomódásokból határoztuk meg a rugalmassági modulus értékét (1. ábra „C” minta). További vizsgálatokat végeztünk geofizikai mérések segítségével. E méréseket a Geofizikai Intézet végezte két egymással párhuzamosan futó táróban, melyek közti kőzetrétegben 30 ill. 40 m vastagságban történt a vizsgálat szeizmikus sebességmérés útján. A kőzet anyaga előzőekben „A” mintával azonos minőségű volt, közepe táján a hullámok terjedési irányára merőleges töréssel. (2. ábra) Ez a törésvonal nem jelentett folytonossági hiányt, csupán mintegy 2–2,5 m vastagságban — a kőzet mállottabb volta miatt — szilárdsága az ép kőzetrészekhez képest lényegesen kisebb volt. Mindenesetre az észlelt terjedési sebesség oly átlagértéknek volt tekinthető, mely a vetődés hatását is tartalmazza. A különböző távolságban elhelyezett szeizmométer állásokig végzett sebességmérések átlagban 2850 m/sec-értéket adtak. A mérések középhibája ± 100–200 m/sec.



2. ábra. Alaprajzi elrendezés

A longitudinális és transzverzális hullámok terjedési sebességéből ($V_1 = 2850$ m/sec, $V_t = 1545$ m/sec) meghatároztuk a Poisson-féle szám értékét, mely:

$$\frac{V_t^2}{V_1^2} = \frac{m-2}{2(m-1)}$$

összefüggésből $m = 3,43$ -ra adódott.

Ezután a

$$E = V_1^2 \frac{(m+1)(m-2) \cdot d}{m \cdot (m-1)}$$

képletből „ m ” ismeretében meghatároztuk az E rugalmassági modulus értéket, mely

$$d = \frac{t}{g} = \frac{2500 \text{ kg/m}^3}{9 \cdot 81 \text{ m/sec}^2}$$

felvételével $E = 157\,200$ kg/cm² értékre adódott, meglehetősen egyezve a „A” minta értékével, különösen ha figyelembe vesszük, hogy a vizsgálatokat a térszín alatt mintegy 80–90 m mélységben végeztük, ahol a kőzetben a geológiai nyomás (önsúly) révén mintegy 20 kg/cm² terhelés tehető fel.

A részletes vizsgálatok eredményei szerint a szóbanforgó kőzet általában a kívánt célnak megfelelő. Mivel a kialakított számítási eljárás a bélést alkotó acéllemez és a kőzet jelentősmérvű együttműködését feltételezi, sőt a terhelés legnagyobb hányadát éppen a kőzetre hárítja, szükségesnek mutatkozott egy oly kísérleti szakasz létesítése, mely éppen a gyengébb minőségű, törésekkel, vetőkkel sűrűbben átszótt szakaszon volt hivatott igazolni az elméleti rugalmasságtani alapon levezetett méretezési képletek helyességét, az acéllemez és kőzet együttműködése tekintetében.

3. Méretezési eljárás

A kísérlet elvégzése előtt a próbaszakasz *erőjátékának elméleti rugalmasságtani* alapon való meghatározását végeztük el, a vízerőtelepek nagynyomású nyomócsöveire kidolgozott eljárások továbbfejlesztésével.

Következő terhelési eseteket különböztettük meg:

a) A kivájt üreg körül *kőzetnyomásból* fellépő igénybevétel.

b) A *belső üzemi nyomás* következtében előálló igénybevétel.

c) *Járulékos hatások*, úgymint hőhatás, zsugorodás és lassú alakváltozás okozta igénybevételek.

A terhelések felvétele szempontjából az építési sorrendet és a szerkezeti kialakítást is figyelembe kell venni.

a) A kivájt üreg körül *kőzetnyomásból fellépő igénybevétel* a *Kirsch—Föppl* féle rugalmassági egyenletek (1), valamint teljes geosztatikai nyomás figyelembevételével

$$\text{a vállakban: } \dots\dots\dots \sigma_t = 2,75 \sigma_z$$

$$\text{a főtében és talpban pedig: } \sigma_t = -0,25 \sigma_z$$

ha a Poisson féle szám értékét $m = 5$ -re vesszük fel.

A kísérleti szakasznál levő átlagosan 110 m-es takarás mellett és $\gamma = 2500 \text{ kg/m}^3$ feltételezésével a geosztatikai nyomás:

$$\sigma_z = 27,5 \text{ kg/cm}^2$$

ami azt jelenti, hogy a vállakban a szelvény szélén $\sigma_t = 75,6 \text{ kg/cm}^2$ érintő irányú nyomófeszültség, a főtében és talpban pedig $6,9 \text{ kg/cm}$ - húzófeszültség áll elő.

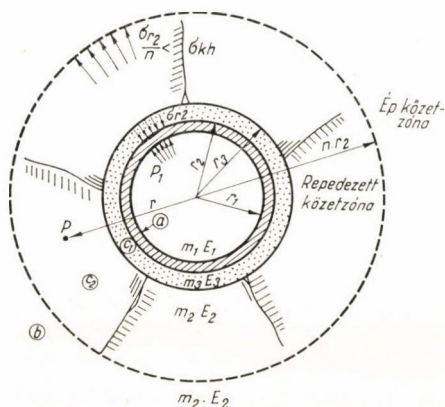
Ezen erőhatásokra a kőzet állékonynak mutatkozott és az elkészített betongyűrű biztosításon több év alatt sem mutatkozott káros repedés. Ezzel kapcsolatban azonban utalnunk kell azokra az elméletekre is, melyek a kőzetnyomás kialakulásánál a takarást nem veszik teljes mértékben figyelembe. (2)

Az acéllemez beépítésekor a kőzetnyomás felvétele már megtörtént, mert a beton bélésgyűrű, mely ezt a terhelést a kőzettel együtt felveszi jóval előbb megépül, mint az acéllemez. Az acéllemez igen vékony falvastagsági mérete miatt nem is lenne alkalmas nyomóerők felvételére a horpadásveszély miatt. Kétségtelen azonban, hogy az ismételt belső túlnyomás terhelések és tehermentesítések következtében az acéllemez kőzettel való együttműködése miatt a főté és vállak lényeges kőzetnyomás különbsége és ezzel együtt fellépő alakváltozás következtében az acéllemezben is várhatók a kőzetnyomásból eredő feszültségkülönbségek. Ezek meghatározása is a helyszíni kísérlet feladata volt.

b) A belső nyomásból származó feszültségek meghatározása külön tanulmány tárgyat képezte (3). Ennek részleteire nem térhetünk ki, így csak a kiinduló adatokat és a számítás végeredményeit ismertetem.

A belső túlnyomást a kísérlet fokozatos terhelésének megfelelően 2,5 kg/cm² nyomáslépcsőkben vettük fel és meghatároztuk, hogy különböző kőzetrugalmassági modulus értékeknél milyen feszültség adódik a 6 mm-es acéllemezben.

A számításoknál használt képleteket úgy határoztuk meg, hogy a belső nyomás fellépésekor feltételeztük azt, hogy a műtárgy körül közvetlenül elhelyezkedő kőzetzóna nem képes húzófeszültségeket felvenni, hanem a húzóerők felvétele kisebb részben az acéllemezrel, nagyobb rész pedig a távolabbi, ép (repedezetlen) kőzetzóna révén történik. (3. ábra)



3. ábra. Erőtani számításoknál alkalmazott jelölések

Az ép kőzetzóna határát a:

$$\frac{\sigma_{r_2}}{n} < \sigma_{kh} \text{ feltétel szabja}$$

meg, azaz a kőzetben fellépő radiális és tangenciális feszültség legyen kisebb, mint a kőzet húzási határfeszültsége.

Az ábrában szereplő értékek:

$$r_1 = 2,56 \text{ m} \qquad v = 6 \text{ mm falvastagság}$$

$$r_2 = 2,566 \text{ m} \qquad r_3 = 2,89 \text{ m}$$

Rugalmassági modulusok:

$$E_1 = 21 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (acél)} \quad E_3 = 2,1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (beton)} \quad E_2 \text{ változó (kőzet)}$$

$$m_2 = m_3 = 5 \sim 10$$

$$m_1 = 3,33 \text{ (acél)}$$

$$\sigma_{kh} = 3,0 \text{ kg/cm}^2 \text{ (kőzet húzási határfeszültsége)}$$

$$\sigma_{r_2} = \frac{A}{B \cdot D \cdot X + J} \quad (\text{az ép kőzetzóna határán fellépő sugárirányú feszültség})$$

ahol $A = 2(m_1 - 1) p_1 \cdot r_1^2$ (p_1 belső túlnyomás, üzemnyomás)

$$B = \frac{m_1^2}{m_1 + 1} \cdot \frac{E_1}{E_2}$$

$$C = \frac{m_2 + 1}{m_2}$$

$$D = r_2^2 - r_1^2$$

$$E = (m_1 - 2) r_2^2$$

$$F = m_1 \cdot r_1^2$$

$$G = \frac{E_2}{E_3} \log \frac{r_3}{r_2}$$

$$J = B \cdot D(C + G) + E + F$$

$$X = \log n \frac{r_2}{r_3} \quad \text{ahol } n \text{ a repedezett kőzetzóna határát}$$

kifejező szám, melyet próbálgatással határozzunk meg:

$$n \cdot \sigma_{rh} = \sigma_{r_2} \quad \text{határfeltételből.}$$

A σ_{r_2} meghatározása után nyerjük az acéllemezben fellépő érintőirányú húzófeszültség értékét, következő képlet alapján:

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot K_1^2 \cdot \sigma_{r_2} - (1 + K_1^2) \cdot p_1}{K_1^2 - 1}$$

$$K_1 = \frac{r_2}{r_1}$$

Az m_2 érték 5–10-ig terjedő változása a végeredményt csak 1%-on belüli értékkel változtatja.

c) *A járulékos igénybevételek hatását egy sugárirányban bekövetkező elmozdulással, illetve ezzel azonos helyettesítő nyomással fejezzük ki.*

Az elmozdulás értéke:

$$\Sigma \delta = \delta_{t,a} + \delta_{b1} + \delta_\epsilon$$

A helyettesítő nyomás értéke

$$p' = \frac{E_1 \cdot \Sigma \delta \cdot v}{r^2}$$

ahol

$$\delta_{t,a} = \delta_t + \delta_L$$

$$\delta_t = v_t \frac{1}{E_2} \cdot \frac{m_2 + 1}{m_2} \cdot r_2 \cdot \sigma_{r_2} \quad (\text{az első terhelések okozta maradó alakváltozás a kőzet lassú alakváltozásából})$$

$$\delta_L = v_1 \frac{1}{E_2} \frac{m_2 + 1}{m_2} \cdot r_2 \cdot \sigma_{r2} \quad (\text{a lassú alakváltozás értéke})$$

$$\delta_{b1} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot p_1 \left(\sqrt[3]{i_{k\max}} - \sqrt[3]{i_{ki}} \right) (r_3 - r_2)$$

a betongyűrű lassú alakváltozása

p_1 üzemnyomás

$i_{k\max}$ lassú alakváltozás időtartama (36 hónap)

i_{ki} a beton bedolgozása és a szerkezet üzembehelyezése közt eltelt idő (16 hónap)

δ_ε 0,01 cm-re felvett építési pontatlanság, azaz az acéllemez mögött injektálás után is megmaradó rés mértékéül felvett érték.

A hőmérsékletváltozás hatását nem kell figyelembe venni, mert a műtárgyban 11–12 C° körüli állandó hőmérséklet uralkodik.

A számítások eredményeit a következő táblázat tartalmazza.

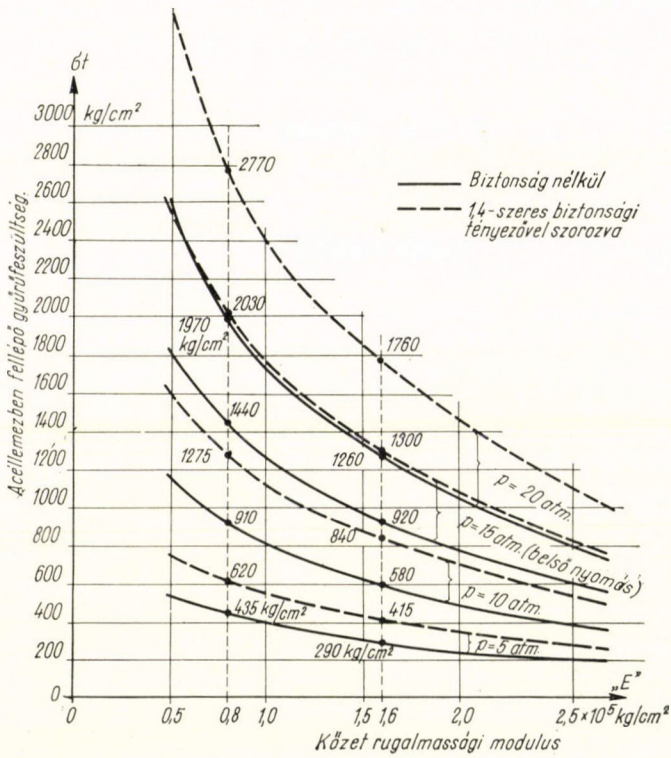
Táblázat a különböző terhelési lépésekre és különböző közetrugalmassági modulus értékekre meghatározott acéllemez-feszültség értékekről

Belső üzemnyomás p_1	Közet rugalmassági modulus E_2 kg/cm ²	Járulékos hatásoknak megf. rés $\Sigma \delta$ cm	Járulékos hatásokból származó igénybev. kg/cm ² $\sigma_t = E_1 \frac{\Sigma \delta}{r_1}$	Üzemnyomásból szárm. igénybev. $\sigma_{t,r} = r_1$	Acéllemezben fellépő fesz. bizt. nélk. kg/cm ² $\Sigma \sigma_t$	Acéllemezben fellépő fesz. biztonsággal $1,4 \times \Sigma \sigma_t$ ill. bizonyít. tényezővel növelve
5,0 kg/cm ²	$0,5 \times 10^5$	0,02790	229,0	297,2	526,2	736,68
	$1,0 \times 10^5$	0,02632	215,8	167,2	383,0	536,20
	$1,5 \times 10^5$	0,02393	196,2	113,2	309,4	433,16
	$2,0 \times 10^5$	0,02030	166,6	81,2	247,8	346,92
	$2,5 \times 10^5$	0,01555	127,6	60,2	187,8	262,92
10,0 kg/cm ²	$0,5 \times 10^5$	0,04341	356,1	786,8	1143,0	1602,0
	$1,0 \times 10^5$	0,04171	342,2	457,0	799,2	1110,0
	$1,5 \times 10^5$	0,03721	305,3	328,5	633,8	887,0
	$2,0 \times 10^5$	0,03021	248,0	247,1	495,1	694,5
	$2,5 \times 10^5$	0,02091	171,4	199,9	371,3	520,3
15,0 kg/cm ²	$0,5 \times 10^6$	0,05941	488,4	1329,6	1817,9	2544,0
	$1,0 \times 10^6$	0,05671	465,5	791,6	1257,1	1760,0
	$1,5 \times 10^6$	0,05031	412,6	561,6	974,2	1363,0
	$2,0 \times 10^6$	0,04001	328,2	431,6	759,8	1063,0
	$2,5 \times 10^6$	0,02621	215,0	371,6	586,6	822,0
20,0 kg/cm ²	$0,5 \times 10^6$	0,07447	610,8	1958,8	2569,6	3600,0
	$1,0 \times 10^6$	0,07162	588,1	1136,8	1724,9	2413,0
	$1,5 \times 10^6$	0,06341	521,0	808,8	1329,8	1860,0
	$2,0 \times 10^6$	0,04974	408,2	639,8	1048,0	1466,0
	$2,5 \times 10^6$	0,03158	259,0	518,8	777,8	1090,0

A végrehajtott számítások szerint az acéllemezben főleg gyűrűfeszültségek lépnek fel. Úgy a hosszirányú feszültségek, mint a homloklapok igénybevételei nem számottevőek.

A táblázatban szereplő σ_t értékeket a 4. ábrán tüntettük fel.

A számítás eredményei azt mutatják, hogy azonos kőzetminőség mellett az üzemnyomás változásával az acéllemez igénybevétele közel arányosan változik. Viszont a kőzet rugalmassági modulus értékének csökkenésével rohamosan növekszik az acéllemezben fellépő feszültség, ami különösen a gyengébb kőzetminőségnél döntő jellegű és azt mutatja, hogy csak a kifogástalan és nagyszilárdságú, magas rugalmassági modulus értékkel bíró kőzet használható fel e célra.



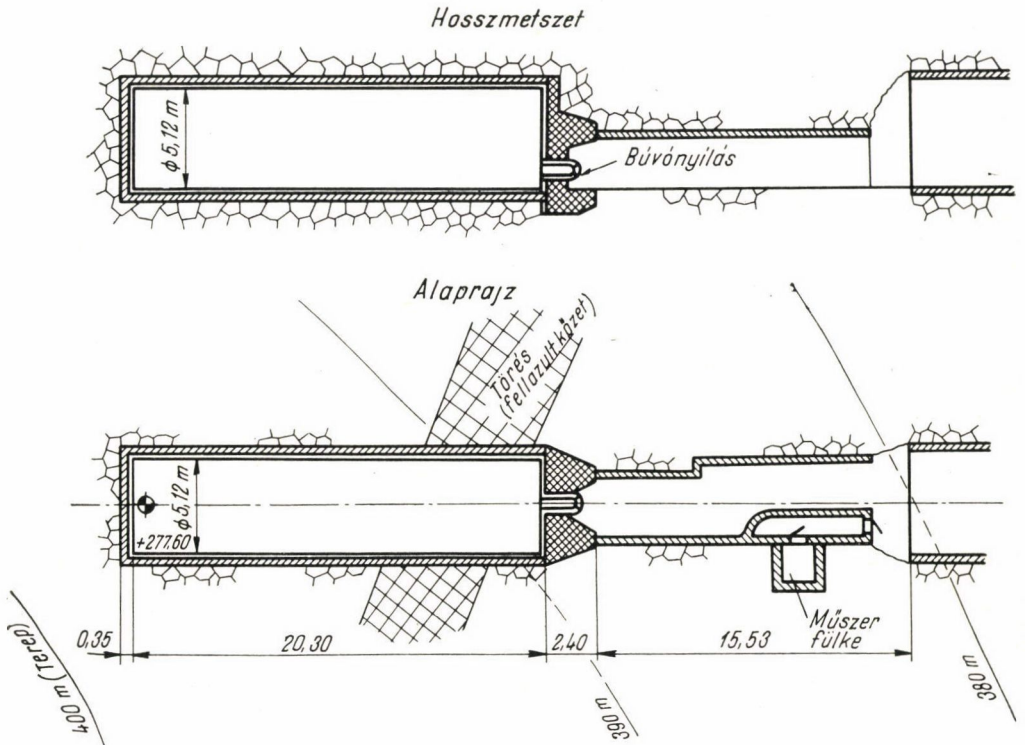
4. ábra. Acéllemez belésben számítással meghatározott feszültség értékek

4. A kísérleti szakasz építése

A kísérleti szakasz építése során figyelembe vettük azt az építési technológiát, amit a nagyobb hosszban való kiépítés helyes munkamódszere kíván. Eszerint a kőzetfejtési, betonbélés készítési és acéllemez belés építési munkákat lehetőleg külön kell választani, nemcsak a kivitelezés során szükséges eltérő munkamódszerek és különböző gépek alkalmazása miatt, hanem a kivitelező vállalatok munkaterületeinek lehető elkülönítése céljából is.

A kőzet maga a fejtés során általában állékonynak mutatkozott, csupán biztonsági okokból készült fa feszítőműves főtebiztosítás. A jövesztés robbantással történt. A kőzetfejtési munkálatokhoz csatlakozóan a beton bélelési munkálatok készültek. A munka meggyorsítására, valamint zsaluzó és állvány-

anyag megtakarítása érdekében a kőzetfalhoz csatlakozó betonbélést előregyártott beton idomokkal terveztük. Ezek 28 cm vastagságban 19,5–21,5 cm ékalakúan szélesedő mérettel készültek úgy, hogy egy idom súlya 37 kg, azaz még kézi erővel emelhető volt. A beton bélés ezen idomokból teljes körgyűrűt képezett, melynek belső átmérője 5230 mm. Ez a bélés hivatott felvenni a kőzetnyomásból származó erőhatásokat, egyúttal pontosan elhatárolt munkahelyet ad az acéllemez szerelése számára. A kőzetben mutatkozó vetőknél, illetőleg ezek környékén előfordult mállottabb kőzetretegeknél a betonbélés

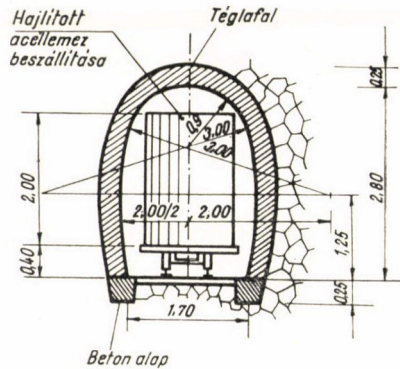


5. ábra. Kísérleti szakasz elrendezése

vasbeton gyűrűkből készült. Ilyen a kísérleti szakasz első harmadánál is előfordult. A vékonyabb rést mutató vetőknél a hézagot betonnal, úsztatottköves betonnal vagy cementhabarcs besajtolással töltötték ki. A kivétel során az előregyártott idomok előállítási költsége magasnak mutatkozott úgy, hogy a körgyűrű alsó része későbbiekben csömöszölt betonból, míg a felső negyede előregyártott idomokból készült az állványra jutó terhelés csökkentése és a mielőbbi kiszaluzási lehetőség érdekében. A hátúr kitömedékelése, valamint a bélés kellő megszilárdulása után, a betongyűrű kőzethez való teljes mértékű felfekvése érdekében cementhabarcsot sajtoltak be.

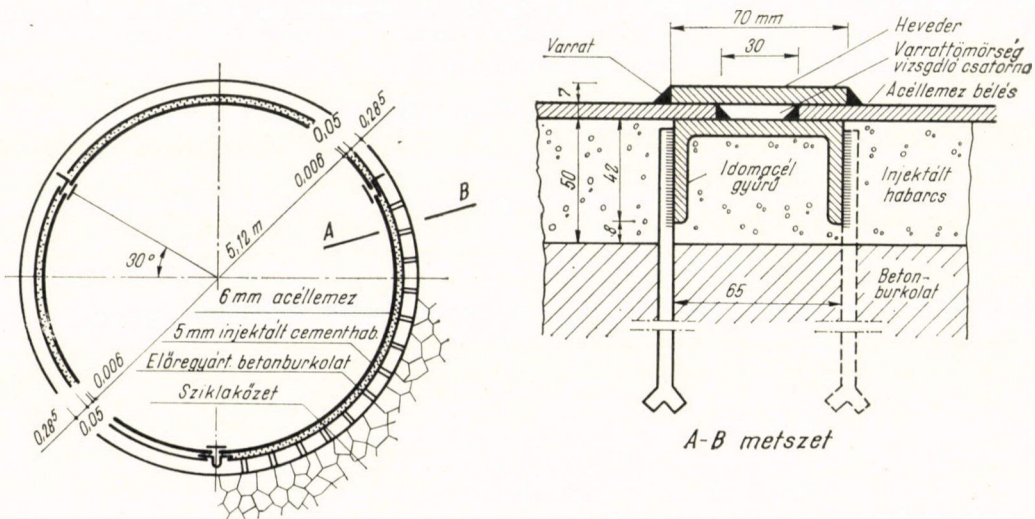
A kísérleti szakasz hosszát úgy választottuk, hogy az acéllemezben a gyűrűfeszültségek kialakulhassanak, ezért hosszát az átmérő négyszeresére

vettük fel. A végfal függőleges lezárású. A homlokfal, mely a töltéshez és ürítéshez szükséges csővezetéseket és búvónyílást tartalmazza, ugyancsak függőleges, és ék alakú vasbeton tömbbel csatlakozik a környező kőzethez, mely biztosítja a homlokfalra jutó terhelés átadását (5. ábra). Ez a tömb azonban

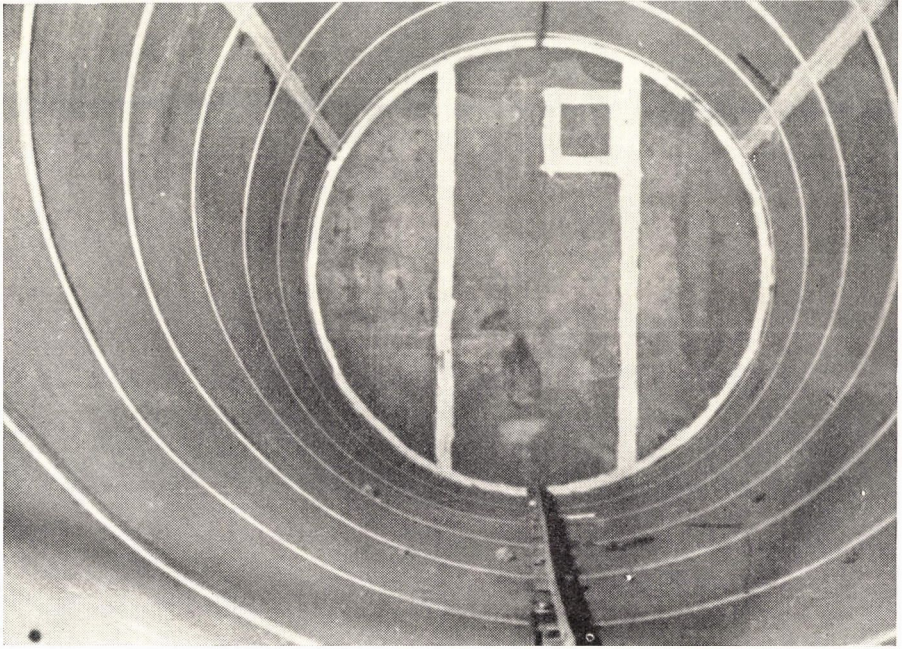


6. ábra. Bejárati táró keresztmetszete

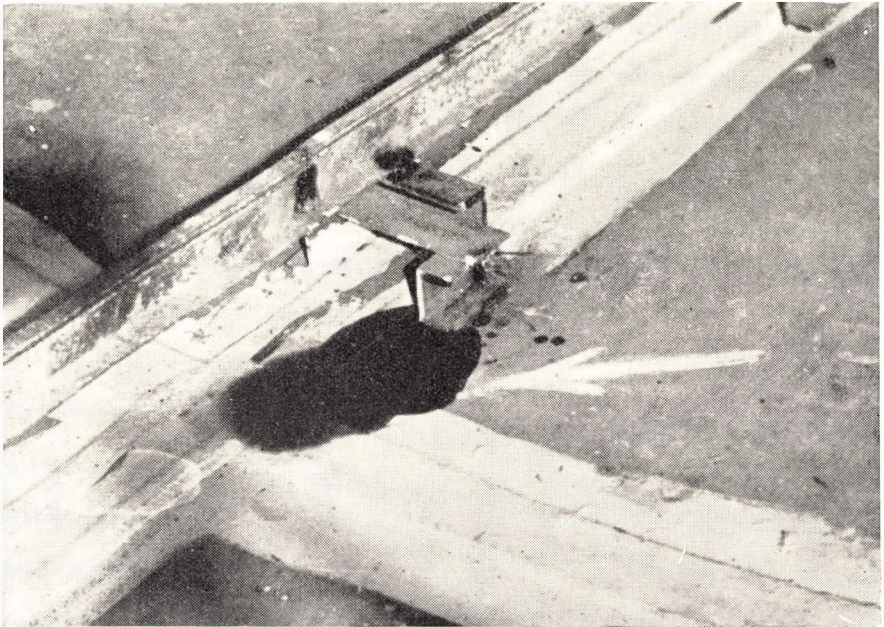
csak a vasszerelési munkák befejezése után készült, hogy a nagyméretű acél burkoló lemezeket be lehessen szállítani. E célból a bejárati tárot egyúttal szállító folyosónak képezték ki. Mivel ez a töltő és ürítő vezetékek végleges elhelyezését is szolgálja, a kőzetminőségtől függően $\frac{1}{2}$, ill. 1 téglavastag téglafal burkolást nyert. Patkó alakú kiképzése és 2,00 m/2,80 m belméretei lehetővé tették a 2 m széles, közel 5,5 m hosszú hajlított acéllemezek élükre állított helyzetben való beszállítását különleges alacsonyra szerkesztett pórkocsin (6. ábra).



7. ábra. Keresztmetszet és részletek

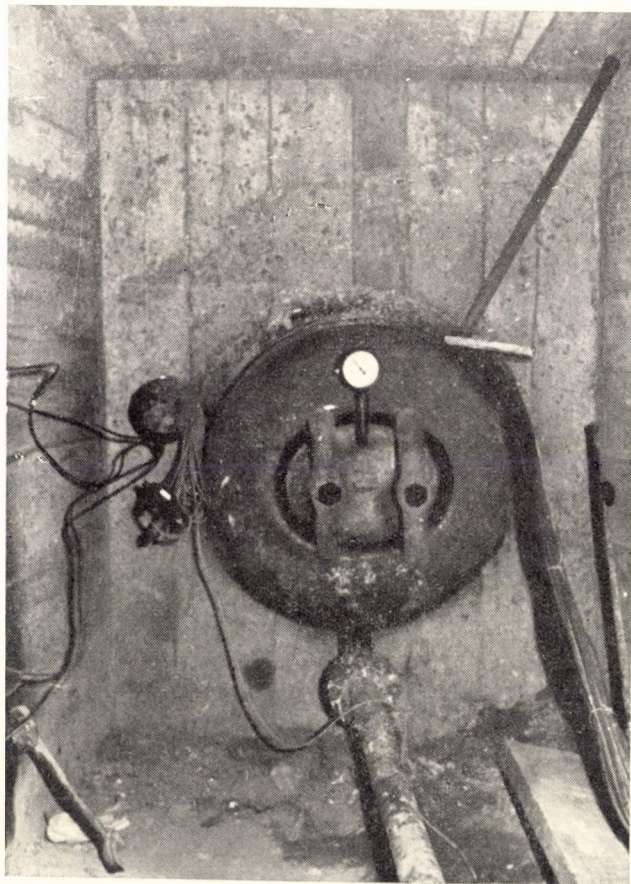


8. ábra. A kész kísérleti szakasz



9. ábra. Varrat-tömörtség vizsgálat

Az acéllemezes bélés 6 mm vastag 2000 mm × 5337 mm méretű. A 36.24.12 S minőségű acél középlemezekből készült. Mivel ez a burkolat a gáztartó tömörségét hivatott biztosítani, elkészítését különös gondossággal és pontossággal kellett végezni. Az egyes lemezeket elektromos ívhegesztéssel kapcsolták. Ezért a varratok hosszának csökkentése érdekében lehetőleg minél



10. ábra. Búvónyílás

nagyobb lemezek alkalmazására kellett törekedni. A lemezburkolat 2000 mm széles lemezekből készült, úgy, hogy 3 db 5337 cm hosszú lemez képez egy teljes gyűrűt (7. ábra). Az acélburkolatot úgy alakítottuk ki, hogy a varratok állapotát, gázbiztos tömörségét üzem közben is bármikor ellenőrizni lehessen. Erre a célra Szász Frigyes újítását képező tömörségvizsgáló csatornarendszer szolgál. Ennek kialakítására minden hegesztési varrat mögött egy kb. 30 mm × 6 mm méretű csatornát képeztünk ki. Az így kiképzett csatornák egymással

összefüggenek és az egész felületet behálózzák. 10 m-ként egymástól elválasztva és a tartályon kívülre vezetett csővel, illetőleg ezen felszerelt érzékeny feszítőmérővel állandóan ellenőrizhető, hogy a belső nyomás hatására nincs-e átszivárgás és nem létesül-e nyomás a vizsgáló csatorna rendszerben. Ez a csatorna rendszer egyúttal a varratok elkészülte utáni ellenőrzésre is felhasználható, midőn a csövön keresztül besajtolt petróleummal a lemeszelt varratokon a hibásodás könnyen felfedezhető. (8, 9. kép).



11. ábra. Észlelőfülke bejárata. Háttérben a kísérleti szakasz buvónyílása

Az acéllemez bélés pontos kivitelezése, valamint a tömörségvizsgáló csatorna elkészítésének lehetővé tételére a homlokfaltól kiindulva egymástól 2030 mm távolságban 65 mm-es U idomacél gyűrű készül. Ez a gyűrű biztosítja a lemezek pontos felfekvését, egyúttal a varratömörtség vizsgáló csatorna hátsó falát képezi (7. ábra). Ehhez hegesztik a lemezeket. A lemezek széleit átfedő 70 mm széles heveder zárja le a szóban forgó gyűrűalakú csatornát. E heveder varratai igen gondos kivitelben készülnek, mert ezek biztosítják a gáztömörséget. A hosszanti csatornák számára végigfutó szögvas váz készül, a homloklapokon pedig 120 mm-es I tartókból, mindegyikhez azonban éppúgy vizsgálócsatorna kialakításával csatlakoznak a béléslemezek. Az idomacél váz, melyre a lemezeket hegesztik, kb. 50 mm-el áll beljebb a betonbéléshez képest. A lemez és betongyűrű közti rés kiinjektálása cementhabarccsal történt. Az injektálás előtt azonban a béléslemezt behorpadás ellen ideiglenes ducolással meg kellett támasztani. A bejárat felőli homlokloldalon 700 mm belső átmérőjű búvócső készült 300/400 mm-es búvónyílással (10. kép). A kísérlettel kapcsolatban szükséges mérések elvégzésére észlelő fülkét létesítettek (11. kép).

A kísérleti szakasz építése során az 5. ábrán feltüntetett vető helyén kiviteli hiba következtében főteomlás következett be. Ennek boltozatos helyreállítása és a keletkezett űr kőrakattal, majd injektálással való kitöltése sikeres volt. Nem volt teljesen kielégítő a vaslemez és betongyűrű közé történő injektálás. Részben a habarcsanyag ülepedése, részben pedig a víz elszivárgása, valamint a szilárduló habarcsanyag zsugorodása miatt helyenként vékony lég-táskák maradtak, melyek utólagos kiinjektálása műszakilag nehéz feladatot okozott. Ennek elkerülésére továbbiakban valószínűleg prepakt beton alkalmazására térünk át.

5. Nyomáspróbák ismertetése

A tervek szerint kivitelezett mintegy 416 m³ belső térfogatú kísérleti tartályt először *víznyomáspróbanak* vetették alá. Ez a próba főleg biztonsági célokat szolgált, ezért az előírt 15 atm üzemi túlnyomás másfélszeres értékéig — 22 atmoszféráig — vették igénybe a tartályt, mely a nyomáspróba alatt kifogástalanul működött és a víz leeresztése után azon semmiféle változás vagy szerkezeti meghibásodás nem volt észlelhető.

A tartály kiszáritása után került sor a *légnnyomáspróba* lebonyolítására. A tervek szerint a tartály három keresztmetszetében elhelyezett 8-8, valamint a homloklapokon elhelyezett elektromos észlelőszervek (tepic) segítségével kívántuk az alakváltozások mérését végrehajtani. A mérőműszert a kísérleti szakasz előtt épített műszerfülkében helyeztük el. Az elektromos észlelőszervek és a műszer közt 10—30 m hosszú kábeleket fektettek. A belső nyomás előállítására légkompresszort alkalmaztak.

A kísérlet elvi megfontolásának helyessége mellett azonban részben az első ízben alkalmazott elektromos ellenállásmérő műszer hibái, részben pedig az alkalmazott légkompresszorok teljesítményének elégtelen volta miatt az első próbák nem sikerültek.

A további kísérletek lefolytatására az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Alagútépítés és Földművek tanszéke kapott megbízást. Dr. Széchy Károly akadémikus egyetemi tanár vezetésével a tanszék, valamint az Ütügyi Kutató Intézet Hídosztálya az előkészítést igen gondosan hajtotta végre. Megfelelő teljesítményű légkompresszor biztosításával, valamint az elektromos alapmérések rendkívüli gondossággal való végrehajtásával a próba eredményes lebonyolítását biztosították.

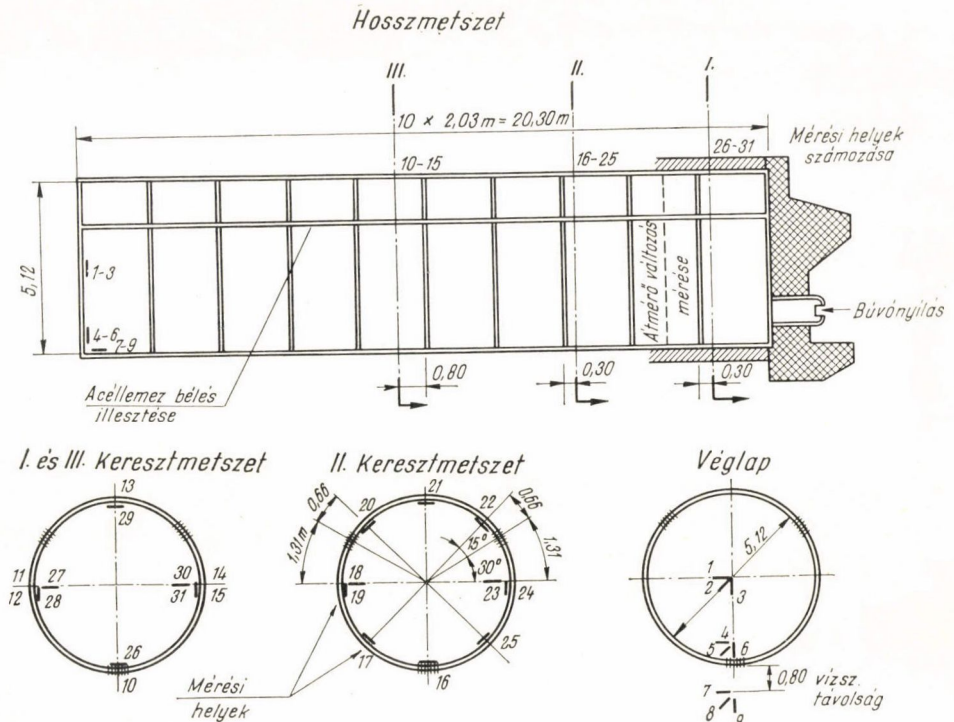
A tanszék által végrehajtott mérések során 3 keresztmetszetben 17 Huggenberger BL 350 típusú tepiccel mérték a gyűrűfeszültséget, 7 elemmel pedig a hosszirányú és további 7 elemmel pedig a homloklapokban fellépő feszültségeket (12. ábra). A belső nyomást különböző terhelési lépcsőkben fokozták, illetőleg csökkentették, ezenkívül többszörös terhelésismétlést alkalmaztak.

Az üzennyomás a légnnyomást biztosító kompresszor, valamint az áramellátás adottságai miatt 14,3 atm túlnyomásig volt fokozható. A mérések eredményeiből megállapíthatjuk, hogy a feszültségi ábrák (13. ábra) asszimmetrikusak. A gyűrűfeszültség értéke a főtében és talpon lényegesen nagyobb, mint a váll-keresztmetszetekben. Azonkívül a két váll-keresztmetszet sem mutat azonos feszültségeket, mert a baloldali vállfeszültség értékek magasabbak.

A feszültségi ábrák azt mutatják, hogy a feszültségek a nyomás növekedésekor bizonyos kezdeti határon túl arányosan növekedtek mindhárom

keresztmetszetben, viszont az első 3 atm nyomásig a mért feszültségek aránylag jelentősebb mértékben növekedtek. Ennek oka az, hogy az építési pontatlanság és a kőzet fejtés közbeni lazulása a feltételezettnél jóval nagyobb mérvű lehetett, és az acéllemez és kőzet együttműködése csak a terhelés fokozódó növekedésével következik be.

Ha a gyűrűirányú feszültségek átlagértékeinek változását a belső nyomás változásának függvényében ábrázoljuk (14. ábra) úgy feltűnő, hogy a főtében

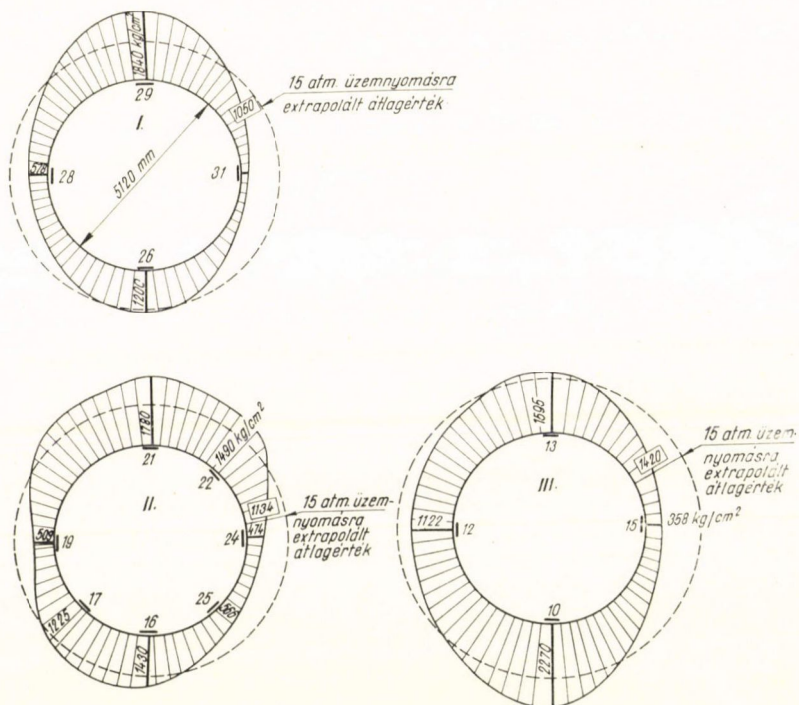


12. ábra. Feszültségmérő elemek elrendezése

és talpban fellépő feszültségek átlaga az alacsony terhelésnél szinte érintőlegesen indul ki az ún. kazánképlettel számítható azon arányos feszültségváltozás egyeneséből, mely azzal a feltételezéssel számolható, hogy az acéllemez önhordó és nem támaszkodik a kőzetre. Viszont a terhelés növekedésével a kőzet jelenléte egyre jobban kidomborodik és megközelíti azt az együttműködést, amit elméleti úton előre meghatároztunk. Ez gyakorlatilag annyit jelent, mintha az acéllemez és kőzet ill. betongyűrű közt egy 0,7 mm-es rés lenne és a kőzet csak akkor kezd az acéllemezzel együttműködni, ha a kezdeti terhelések hatására az acéllemezben ennek megfelelő nyúlás bekövetkezett.

Ennek alapján dr. Széchy Károly akadémikus egy oly összetett számítási mód alkalmazását javasolja, melynél a kezdeti rés hatására mintegy 600 kg/cm-feszültség értékig a vaslemez csak egymaga vesz részt a teherviselésben, ezen érték felett pedig az elméleti rugalmasságtan alapján meghatározott összefüg-

gések vehetők figyelembe, azonban a kezdeti értékkel szuperponálva. Ez gyakorlatilag egyezik a számításokban felvett 1,4-szeres bizonytalansági tényezővel meghatározott értékkel, a rosszabb kőzet minőségre vonatkoztatva. Feltételezhető azonban, hogy az építési mód tökéletesítésével és az építési pontosság fokozásával a felvett 600 kg/cm^2 kezdeti feszültség érték lényegesen leszorítható lesz, ami gazdaságossági szempontból ill. a szerkezet nagyobb biztonságá érdekében fontos.



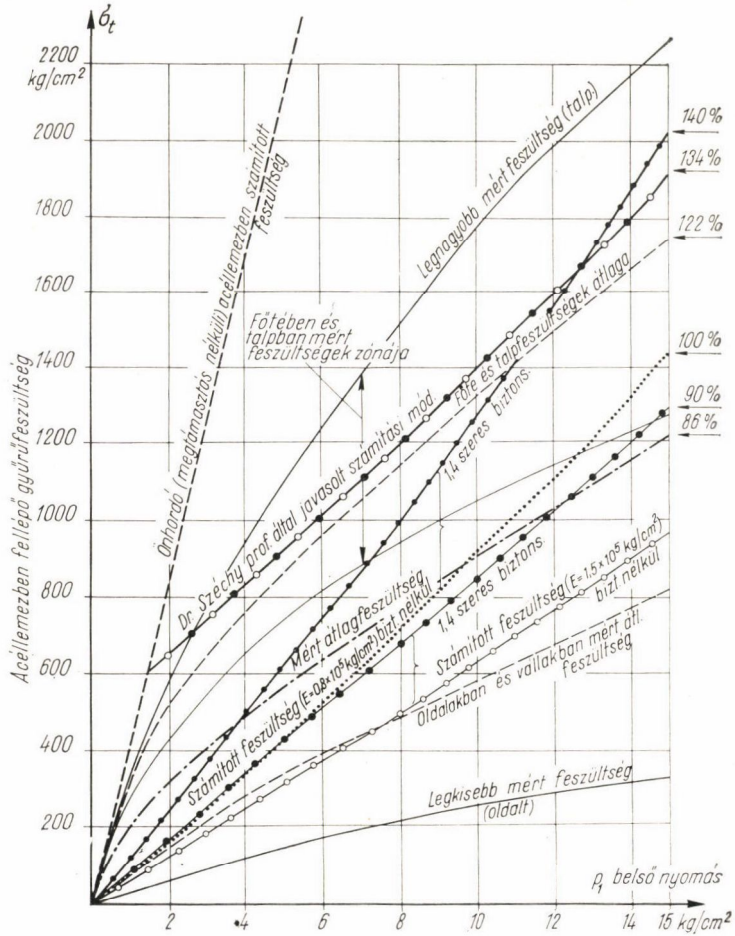
13. ábra. Gyűrűfeszültségek eloszlása. 14,3 atm. belső túlnyomásnál mérve

Egyébként ami a gyűrűfeszültség ábra vállak magasságában kialakuló asszimetriáját illeti, az eltérés a 26 m tengelytávolságban épített második tartály lazító ill. feszültség szuperponáló hatásával magyarázható.

A főtében és talpban, valamint a vállakban mutatkozó gyűrűfeszültség különbség azzal magyarázható, hogy a fejtés okozta fellazulás mérve a főtében és talpban fellépő húzófeszültségek miatt nagyobb. A geoztatikai nyomás vállban mutatkozó nyomófeszültsége ill. főtében mutatkozó húzófeszültsége is valószínűleg közrejátszik az ismételt terhelések következtében előálló feszültség átrendezésének révén.

A hosszirányú, valamint homloklapokon fellépő feszültség a mérések szerint nem volt számottevő. Még megemlítendő, hogy a mérések átlagos hibája $\pm 100 \text{ kg/cm}^2$ -re volt tehető, azonban egyes kiugró értékeknél $200\text{--}400 \text{ kg/cm}^2$ hiba is feltételezhető, aminek a főoka a mérőhely nagy páratartalmában kereshető.

Az átmérő alakváltozásának mérése nem járt kellő eredménnyel. A függőlegesen mért 7 mm és vízszintesen mért 6 mm-es érték nagyobb, mint a feszültségmérés eredményeiből meghatározható 4 ill. 3 mm-es érték. Oka valószínűleg a műszer pontatlansága.



14. ábra. Kísérleti szakasz 6 mm-es acéllemezében számított és mért feszültségek összehasonlítása

6. Kísérleti eredmények összefoglalása

A mérési eredmények, valamint a szerkezet tüzetes átvizsgálása után megállapítható, hogy a dolomit kőzetbe telepített kísérleti gáztartó a 15 atmoszférát megközelítő belső túlnyomást a rugalmas alakváltozások feszültségi határain belül jól kibírta. Plasztikus jellegű alakváltozás az acéllemezben nem lépett fel.

Az átlagos gyűrűfeszültség érték ($\sigma_1 = 1420 \text{ kg/cm}^2$) ugyan eléggé jól egyezik a tervező által a rosszabb kőzetviszonyok esetére ($E = 0,8 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$) számított értékkel, azonban a kiviteli munka pontatlanságai (kőzetlazítás a főtében, injektálási hiányosságok, stb.) és a kőzetminőség változása miatt a gyűrűfeszültségek eloszlásában — az elméletileg kimutatható egyenletes eloszláshoz képest — eléggé nagy eltérések mutatkoztak. Ezekből a hibákból származó eltérések gondosabb munkával és kisebb szerkezeti javításokkal kiküszöbölhetők és a gyűrűfeszültségek csúcserőértékei teljes biztonsággal a megkívánt $\sigma = 1600-1700 \text{ kg/cm}^2$ felső határ alá szoríthatók.

A kőzetnyomás és önsúly hatásának figyelembevétele még további tanulmányozást igényel, azonban a várható eredmény a szerkezet alkalmazhatóságát és biztonságát nem érinti.

A mérési eredmények a tervező által kialakított elméleti rugalmassági számítási módszert általánosságban igazolták. Az építési pontatlanságból származó háttér hézagok hatásának nagyobb mérvű figyelembevétele ajánlatos, azonban az acéllemez önmagában való feszültségfelvétele révén. A kezdeti hibából számított értékekből kiindulónan lehet tervező által kidolgozott elméleti rugalmasságtani módszert alkalmazni.

Előadottakat összefoglalva megállapítható, hogy a szerkezet alkalmazása már az eddig elvégzett próbaterhelések és feszültségmérések alapján is biztonsággal megvalósítható.

Kiértékelés

Az elvégzett kísérlet bebizonyította a szerkezet alkalmazhatóságát és sikerrel koronázta azt a rengeteg fáradságot, amit a beruházó, felügyeleti szervek, közreműködő szakértők, újító és tervezők az eljárás kialakítása, valamint megvalósulása során befektettek. A kísérlet számos építési technológiai és tudományos eredményt nyújtott így elvégzése feltétlenül indokolt

Különböző rendszerű gáztartók acélananyag szükséglete

Gáztartó rendszer	100 000 m ³ névleges tározókapacitású gáztartó acélananyag szükséglete	Megjegyzés
Teleszkópos (nedves) rendszerű kisnyomású	1700 tonna	Irodalomból átvett adat (4)
Dugattyús (száraz) rendszerű kisnyomású	1210 tonna	Irodalomból átvett adat (4)
Gömb-vagy henger alakú, közepes nyomású (5—6 atm.)	700 tonna	Hazai példák alapján
Kőzetbe telepített nagynyomású (15 atm)	400 tonna	Terv és kivitelezett kísérleti szakasz alapján

volt. Az elért eredmény biztos támpontot nyújt a létesítmény további kiépítéséhez. Ezenkívül lehetővé tette, hogy a még nem alkalmazott különleges szerkezettel számos elméleti és gyakorlati probléma megoldásához közelebb kerüljünk.

Az elvégzett munka gazdaságosságának alátámasztására még bemutatom a régebbi rendszerrel épülő és új rendszer szerint megvalósuló gáztartó típusok acélanyag szükségletét 100 000 m³ névleges tárolt gáztérfogatra vonatkozóan. A beruházási költségek szempontjából is kedvezőek a kőzetbe telepített gáztartók, azonban mivel hazánkban utóbbi évtizedekben ily nagy térfogatú gáztartályok nem épültek, pontos összehasonlítás nem tehető, csupán közelítő gazdaságossági számításokkal lehet kb 5–6%-os megtakarítást kimutatni a kőzetbe telepített tartályok javára.

Az acélanyag igény szempontjából tehát legkedvezőbb a kőzetbe telepített nagynyomású gáztartó. Gazdaságossága különösen az új termelői árrendszer bevezetése után válik még inkább nyilvánvalóvá.

IRODALOM:

1. TERZAGHI, K. RICHART: F. E. Stresses in rock about cavities. Geotechnique. 1952. 2.
2. BENDEL, L.: Ingenieurgeologie. Wien. Springer. 1949.
3. KOVÁCSHÁZY, F.: Berechnung von in Gestein gebetteten Druckrohren und Behältern. Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae. Tomus XVIII. Fasc. 3–4. Budapest. 1957.
4. PETERMANN, A.: Gasbehälter in Stahlbeton. Berlin. VEB. Verlag. 1957. 240. oldal.