

GABONASILÓKBA TELEPÍTETT TÁVHOMÉROK ELMÉLETI ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

Halász István – Orosz Árpád***

RÖVID KIVONAT

A gabonasilókban a tárolt anyag hőmérsékletének emelkedése károsodást ill. minőségromlást okoz, ezért a hőmérséklet ellenőrzésére a cellafödémekre ún. csokábelekkel fölfüggesztett és a gabonába belógó elektromos hőérzékelőket (távhoméroket) alkalmaznak. A beépített távhomérok működése közben kezdetben többször előfordult, hogy a fölfüggesztés ill. a tartó – vagy födém szerkezet a fölfüggesztő erő hatására meghibásodott. Jelen dolgozatban a kidolgozott mérési módszerrel, a természetes nagyságban végrehajtott kísérletek eredményeiről ill. a javasolt számítási eljárásról számolunk be.

1. BEVEZETÉS

A gabonasilókban a tárolt anyag hőmérsékletének emelkedése károsodást ill. minőségromlást okoz, ezért a hőmérséklet ellenőrzésére a cellafödémekre ún. csokábelekkel fölfüggesztett és a gabonába belógó elektromos hőérzékelőket (távhoméroket) alkalmaznak. Az így kialakított automatikus mérőrendszer a gabona hőmérsékletének folyamatos mérésével lehetővé teszi, hogy technológiai beavatkozással, átforgatással, azaz szellőztetéssel a károsodást megakadályozzák.

A beépített távhomérok működése közben kezdetben többször előfordult, hogy a fölfüggesztés ill. a tartó – vagy födém szerkezet a fölfüggesztő erő hatására meghibásodott. Az ezekre vonatkozó vizsgálatok rámutattak arra, hogy a korábbiaknál pontosabb és megbízhatóbb módszerek alkalmazására van szükség, ugyanis az elméleti számításokat megnehezítik, és kétségesé teszik az anyagállandók, sűrűlási tényezők, ill. az ürítés közbeni silónyomás – növekedés mértékének és hatásának bizonytalanságai.

A tervezés számára szükséges viszonylag egyszerű, de ugyanakkor kellő biztonságot szolgáló módszer kidolgozásához ezért elengedhetetlenül szükségesek a természetes nagyságban végrehajtott mérések.

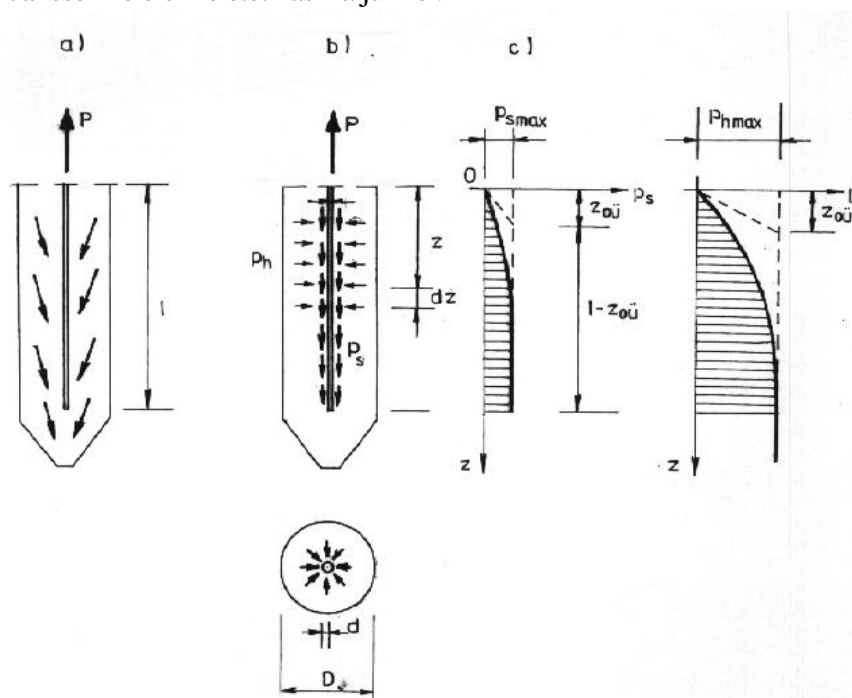
Jelen dolgozatban egy ipari megbízás keretében, (a Szolnok Megyei Gabonaforgalmi és Malomipari Vállalat megrendelésére) a Vasbetonszerkezetek Tanszéke Laboratóriumában kidolgozott mérési módszerrel, a természetes nagyságban végrehajtott kísérletek eredményeiről ill. a javasolt számítási eljárásról számolunk be.

* okl. mérnök, a musz. tud. kandidátusa, ny. tud. főmunkatárs, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

** okl. mérnök, a musz. tud. kandidátusa, ny. egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

2. A FELFÜGGESZTŐ ERŐ ELMÉLETI SZÁMÍTÁSA

A cellafödémhez függesztett távhoméroré a 2.1. ábra szerint vázolt nyomások működnek, ugyanis a tárolt anyag ürítés közben lefelé mozog (2.1.a. ábra), ezt a hatást a b. ábra szerinti silónyomásokkal lehet figyelembe venni. A vizsgálathoz a legelterjedtebb Janssen-féle elméletet használjuk fel.



2.1. ábra

A 2.1. ábra jelöléseivel

- D - a cella belső átmérete
- μ - a cellafal és a tárolt anyag közötti súrlódási tényező
- μ_t - a távhoméro és a tárolt anyag közötti súrlódási tényező
- d - a távhoméro átmérete
- l - a távhoméro bemerülési hossza
- g - a távhoméro folyóméter súlya
- $k = \frac{p_h}{p_v}$ - a vízszintes és függőleges nyomás viszonya
- F - a cella keresztmetszeti területe
- K - a cella kerülete

A silócellában fellépő vízszintes nyomás a Janssen féle elmélettel

$$p_h = p_{h,max} \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right)$$

$$\text{itt } z_0 = \frac{F}{K\mu k}$$

a határmélység, amely körcella esetében

$$z_0 = \frac{D'_b}{4\mu k} \quad \text{és} \quad (1)$$

$$p_{h,max} = \gamma z_0 k \quad (2)$$

a legnagyobb vízszintes nyomás, $z = \infty$ mélységben.

A távhoméro felületére ható súrlódó nyomás:

$$p_{s,t} = \mu_t p_h = \mu_t p_{h,max} \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right) \quad (3)$$

A távhoméroben keletkezo húzóero a dz magasságú elemi részen

$$d P_t = p_{s,t} K_t dz = \mu_t K_t p_h dz, \quad (4)$$

a teljes erot a $z = l$ hosszon végzett összegzéssel kapjuk meg, azaz

$$P_t(z) = \mu_t K_t \int_z^l p_{s,t} dz$$

ami behelyettesítések után

$$P_t(z) = \mu_t K_t p_{h,max} \int_z^l \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}}\right) dz \quad (5)$$

Az integrálást végrehajtva:

$$P_t(z) = \mu_t K_t p_{h,max} \left[z + z_0 e^{-\frac{z}{z_0}} \right]_0^l$$

ill. az integrálási határok behelyettesítése után

$$P_t(z) = \mu_t K_t P_{h,max} \left[l + z_0 e^{-\frac{l}{z_0}} - z - z_0 e^{-\frac{z}{z_0}} \right] \quad (6)$$

a $z = 0$ helyen.

$$P_t^0 = \mu_t K_t z_0 k \gamma \left[l - z_0 e^{-\frac{l}{z_0}} \right] \quad (7)$$

Magas cellákban, ha $l \geq 3,5 z_0$

$$P_t^0 = \mu_t K_t z_0 k \gamma (l - z_0) \quad (8)$$

Körcellában:

$$P_t = \mu_t K_t k \frac{D_b}{4\mu k} \gamma (l - z_0) = \frac{\mu_t}{\mu} \frac{d\pi D_b}{4} \gamma (l - z_0) = \frac{\mu_t}{\mu} d D_b \gamma 0,8 (l - z_0) \quad (9)$$

bevezetve a

$$c = \frac{\mu_t}{\mu}$$

tényezőt, a húzóerő a

$$P_t = c d D_b \gamma 0,8 (l - z_0) \quad (10)$$

összefüggéssel számítható.

3. A FÜGGESZTO EROK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

Az 1. fejezetben fölvetett problémák tisztázására és a 2. fejezetben kidolgozott elméleti módszer ellenőrzésére – az említett ipari megbízás keretében – az általunk készített eromérokkal és a kidolgozott módszerrel laboratóriumi és természetes nagyságú kísérleteket végeztünk.

3.1. A függeszto kábelek

A vizsgálati módszer kidolgozásához és a függesztoero megbízható helyszíni mérésére alkalmas érzékelő jellemzőinek meghatározásához laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk a gyakorlatban alkalmazott felfüggeszto kábeleken.

Kétféle speciális kábelt u.n. „silóhoméro – csokábel”-t – vizsgáltunk:

- az importból származó, és a DANFOS homérokhöz használt 32 db ϕ 1,36 – 1,42 mm elemi szálból álló, 16 mm átméroju, kemény muanyaggal borított kábelt, és
- a SASAD Tsz. Muszeripari Ágazat által gyártott 30 db ϕ 1,41 – 1,50 mm – es elemi szálaból álló 20 mm átméroju, lágy muanyaggal bevont hazai kábelt.

A szakítópróbák eredményeinek értékelése alapján a

- DANFOS Electric által gyártott csokábel – minták átlagos szakítóereje $F_{sza}=76,77$ kN – ra, az átlagos szakítószilárdság pedig $\sigma_{sza} = 1581$ N/mm²-re adódott. Az elemi szálak össz. felülete: $\Sigma A_e=48,56$ mm²
- a SASAD – típusú csokábelek átlagos szakítóereje $F_{sza}=66,70$ kN volt, az átlagos szakítószilárdság pedig – az egyedileg vizsgált elemi szálak szakítópróbái alapján - $\sigma_{sza}=1634$ N/mm² – re adódott.

Amint látható ez a maximális ero ami a kábelek elszakadása esetén felléphet olyan nagy, amelyet – az ilyen hatásra eredetileg nem méretezett földécek – károsodás nélkül nem képesek hordani.

Az elméleti megfontolások is azt mutatják, hogy a fellépo húzóerok lényegesen kisebbek. A földmerülo bizonytalanságok tisztázását és a tényleges helyzet megismerését szolgálják a helyszíni vizsgálatok.

3.2. Az eroméro cella és a vizsgálati módszer ismertetése

A függeszto kábelek muszaki jellemzoinak ismeretében, a távhomérok elhelyezkedésének egyedi körülményeit is figyelembe véve, olyan eroméroket terveztünk, amelyek a szükséges mérési tartományban kello érzékenységgel bírnak, a függeszto erovel arányos jeleik elektromosan továbbíthatók, elhelyezésükhöz nem kell a homéroket kivenni a tárolt anyagból (vagy a cellát leüríteni) és nem igénylik az alkalmazott felfüggesztési mód átalakítását.

Mindezen igényeket és még egyéb – itt föld nem sorolt – igényeket is kielégítik az 1. ábrán bemutatott eroméro cellák.



1. ábra: Eroméro cellák

A hengeres – cső alakú cellák két féldarabból állnak, amelyek az alkotó mentén, a csőfal teljes vastagságában egymáshoz illeszkednek. Az összeillesztés utáni, mindenkor azonos – helyzetüket, és együttlétezésüket, a csőfalban antimetriusan elhelyezett acél – csapok, valamint az illeszkedő felületektől 90°-kal elfordított, ugyancsak két féldarabból álló és csavarokkal összeszorítható peremgyuruk biztosítják.

Az erovel arányos fajlagos alakváltozást mindkét féldarabban 3–3 db alkotó-, és gyuruirányban működő Kyowa gym. nyúlásmérő bélyeg (strain gauge) érzékeli és alakítja át villamos jellé. Egy – egy cellán tehát 12 db bélyeg van.

Az egymástól 120°-ra lévő 3 – db azonos irányú bélyeg sorba van kötve és az így kialakított 4 csoport pedig az ismert „teljes – híd” (u.n. Wheatstone – híd) kapcsolásban van. Ezzel az elrendezéssel az esetleges külpontosság kompenzálható, a hőmérsékletváltozás hatása kiküszöbölhető, a cella érzékenysége pedig $\varepsilon_l = \varepsilon_l 2(1 + \mu)$ mértékben növelhető.

A mérés technikában ismereteink szerint még nem alkalmazott egyedi ötlet alapján – a Tanszék laboratóriumában – készült eroméró cellák muszaki jellemzői a következők:

belso átmérő:	30 mm
A dolgozó keresztmetszet	
külso átmérője:	40 mm
A szorítógyuruk külso átmérője:	90 mm
Teljes magasság:	100 mm
Mérési intervallum:	0 – 100 kN között
Érzékenység:	0,4% (az aktuális méréshatárra vonatkozóan)

Az ismertett mérőátalakítók a szokásos elektromos mérőerosítokhoz („mérő – hidakhoz”) közvetlenül csatlakoztathatók, a mért adatok a vizsgálat során figyelemmel kísérhetők és akár analóg, akár digitálisan rögzíthetők.

A helyszíni vizsgálataink során Hottinger gym. KWS 3050 DA typ. digitális kijelzésű vivofrekvenciás hidat használtunk.

3.3. A függesztő erők helyszíni mérése

A tartókábelek fölfüggesztési helyén átadódó tényleges eróket a tárolás különböző fázisaiban (töltés, tartós tárolás, ürítés, átforgatás), minden esetben úgy mértük, hogy az eroméró cella belső furatán átmenő kábel eredeti befogó szerkezete a cella tetejére támaszkodott, a cella pedig az alátámasztásra ült föl. A cellákat úgy építettük be a mérés helyére, hogy a lehorgonyzó fejet, szorító bilincsel megfogtuk és kétoldalt elhelyezett Lucas – típusú hidraulikus mérő – emelovel kb. 120 – 150 mm –rel megemeltük, a két féldarabbal közrefogtuk és az eromérot összeszereltük. Az eromérok alá, beépítéskor egy – egy félig „sliccelt” acéllemezt is elhelyeztünk egyrészt azért, hogy a lemezbe csavarozható kengyelek segítségével a cellák kiszereelését megkönnyítsük, másrészt azért, hogy a későbbiek során a kábel följobbhúzásához szükséges erő (az u.n. fölszakító erő) mérését a cella beépítése nélkül is lehetővé tegyünk.

Helyszíni vizsgálataink során egy teljes töltési és ürítési ciklus alatt folyamatosan mértük a fölfüggeszto ero változását, a többi esetben pedig az ürítéskor és az u.n. forgatáskor (az ürített anyag egyideju visszatöltésekor) fellépo húzóeroket. Minden cellabeépítéskor és hosszabb ideig feltöltve tartott cellákban is, fölszakító ero méréseket is végeztünk.

3.4. A mért adatok

A mért adatokat a 3.4. táblázatban foglaltuk össze.

3.4. táblázat: Összesítő táblázat a silóhomérok függeszto kábeleire ható húzóerok mért értékeiről

Megjegyzés: Az I. és II. jelu mérések két - egymás után következő - év terményein történtek.

A tárolt anyag és a mérés kori állapot	Vasbeton silók (D=7,5 m)				Acél siló (D=9,0)		
	SASAD-kábel		DÁN-kábel		SASAD-kábel	DÁN-kábel	
	ø20mm; h=30m		ø16mm; h=30m		ø20mm; h=15m	ø16mm; h=15m	
	I. mérés	II. mérés	I. mérés	II. mérés	I. mérés	II. mérés	
	[kN]						
Búza:							
töltés	9,917		5,604			6,891	3,894**
ürítés	10,289		5,695	5,687		7,347	4,067**
forgatás			-	4,981		-	
fölszakítás			6,505	5,728		-	
hosszabb tömörödés után		11,900*					
Borsó (egész)	(h=30m)	(h=23m)	(h=28m)				
töltés							
ürítés	8,643**	7,100	4,545	3,408		5,400**	
forgatás	7,936**	6,519	4,958	3,284		4,500**	
fölszakítás		12,622	6,198	3,491			
Kukorica:							
töltés					3,470		
ürítés	5,264**		3,000**		3,759	3,636	
forgatás					3,305		
fölszakítás							
hosszabb tömörödés után						3,946	

* A SASAD kábel végén a PVC bevonat mintegy 30 cm hosszon hullámosan gyurodött volt

** Interpolált értékek

Azokban az esetekben amikor egy folyamat (töltés, ürítés forgatás) közbeni függőleges – erő változását kísértük figyelemmel, a mért adatok közül csak az észlelt legnagyobb értéket tüntettük fel a 3.4. táblázatban.

A termények esetleges minőségváltozásából adódó eltérések észlelésére a második (II. jelu) mérésorozatot az első (I. jelu) mérések után, egy év múlva végeztük. A mérések tehát két – egymás után következő – év terményein azonos körülmények között történtek.

A méréseket két féle kábelben (SASAD és DÁN), háromféle anyaggal (búza, kukorica, borsó) és vasbeton ill. fémsilókban végeztük, a helyi adottságoknak megfelelő kombinációban.

4. A SZÁMÍTOTT ÉS MÉRT EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A mezőgazdasági termékekre a szakirodalomban található anyagjellemzőket búza, borsó és kukorica esetében az alábbi táblázatban adjuk meg.

Anyag	Anyagjellemzők			
	kN/m ³	φ °	μ_t	μ_i
búza	8,0	30°	0,414	0,325
borsó	8,0	30°	0,349	0,268
kukorica	8,0	30°	0,414	0,325

A mért és számított húzóerők

Vasbeton siló D=7,5m	P [kN]				
	SASAD		DÁN		
	mért	szám.	mért	szám.	gyári
búza	7,35	7,41	4,1 ^x	4,26	nincs ^x
borsó	5,4	5,70	--	3,0	nincs
kukorica	3,95	4,23	--	2,10	nincs

^x D = 9,0 m l = 20 m esetén $p_{\max} = 7,50$ kN

A c tényezők értékei a mérési eredmények alapján

Vasbeton siló	c tényező	
	SASAD	DÁN
búza	0,55	0,40
borsó	0,45	0,30
kukorica	0,30	0,20

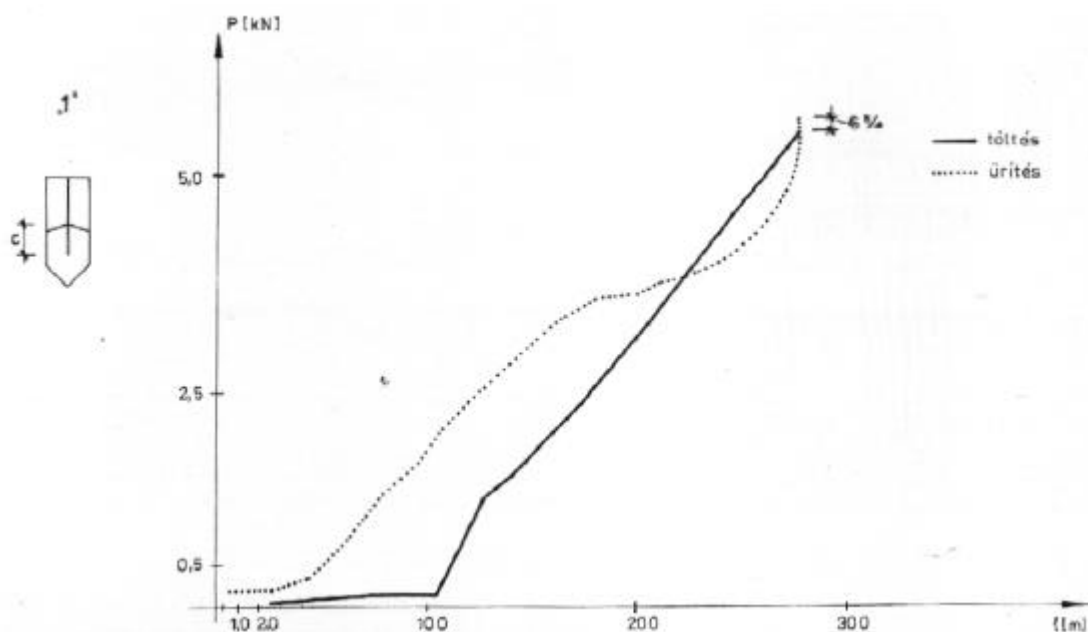
Fémiló	c tényező	
	SASAD	DÁN
búza	0,75	0,5
borsó	0,55	0,4
kukorica	0,45	0,25

A 7,5 m átméروju vasbeton, ill. a 10 m átméروju fémilókban végrehajtott mérések alapján meghatározott c tényezővel, a 10. képlet segítségével a gyakorlat számára elegendő pontossággal számítható a távhőerőben keletkező húzóerő.

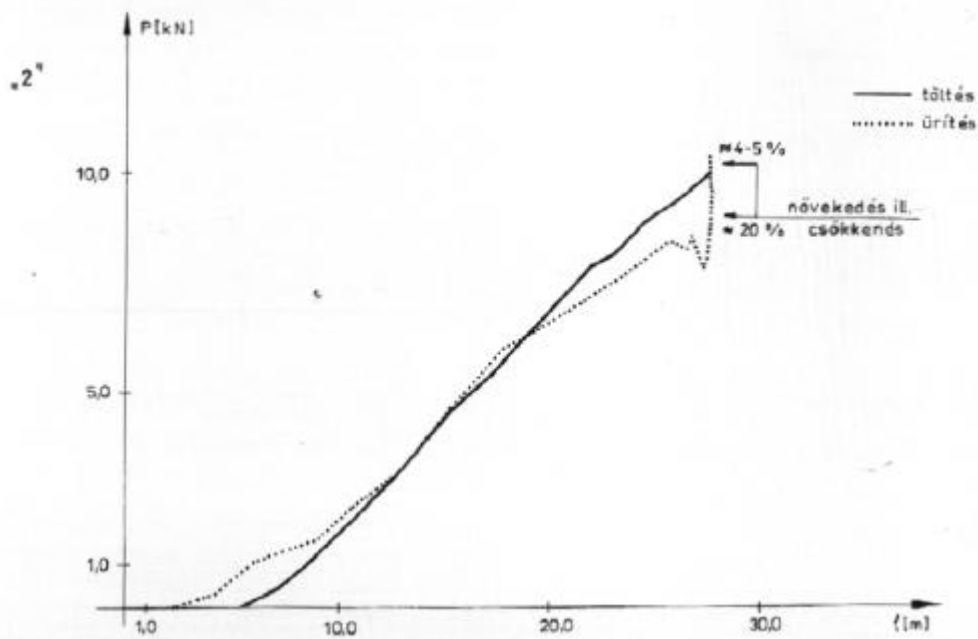
Megjegyezzük, hogy a SASAD homérokön néhány esetben a burkolat összegyürodött, hullámosodott, így az átméرو megnövekedése miatt a számítottnál nagyobb húzóerőket mértünk. Ez a jelenség arra figyelmeztetett, hogy a burkolatot nem szabad lágy anyagból készíteni és a gyártási technológiát javítani kell.

5. A MÉRÉSEK TAPASZTALATAI, JAVASLATOK

A teljes betárolási és ürítési folyamat során mért húzóerők változását a 5.1.-5.3. ábrák mutatják.



5.1. ábra



5.2. ábra

A diagramokból megállapítható, hogy:

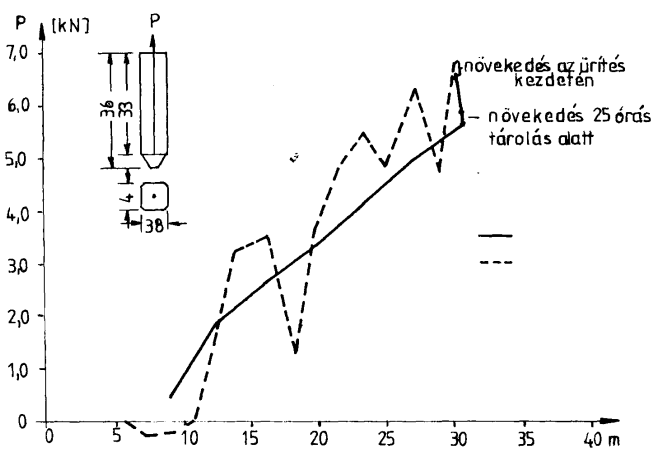
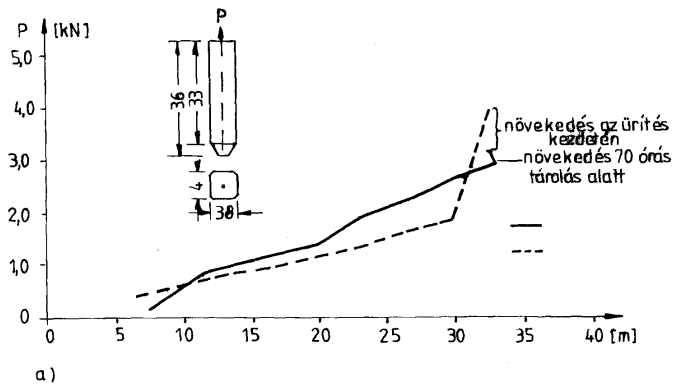
- a betárolás alatt a kezdeti értéktől eltekintve a húzóero lineárisan változik,
- az ürítés során a húzóero a betárolási érték alatt ill. felett hullámos változást mutat,
- az ürítés megkezdésekor a betárolás során mért húzóero mintegy 10 % - al megnövekszik majd lecsökken, ennek oka feltehetően a nyugalmi és mozgó sűrűlódás közötti különbség,
- a dániai kísérletek szerint a betárolás után egy nappal a húzóero mintegy 10%-os növekedése tapasztalható.

A nyugalmi állapotban a távhoméro megemelése, a tárolt anyagból való fölhúzása során a húzóero mindig –mintegy 10%-kal – nagyobb, mint az üzemelés alatt mért legnagyobb érték. A legnagyobb húzóero kísérleti meghatározásához tehát a továbbiakban nincs szükség a teljes betárolási és ürítési folyamat alatti mérésekre, elegendő a befüggesztett távhoméronek a tárolt anyagból való meghúzásához szükséges erő mérése. A távhomérot tartó szerkezeti elem méretezése során célszerű figyelembe venni azt, hogy a silókban tárolt anyag a mezogazdaság átalakulása, fejlődése során megváltozhat, ezért a felfüggesztést a várható legnagyobb húzóerőre kell méretezni.

A távhoméro felfüggesztésének vizsgálatához a gyakorlat számára az alábbi közelítő módszert javasoljuk.

Az „ideális” mezogazdasági terméknek a silónyomás számításához szükséges jellemzői legyenek, ürítési állapotban

$$\begin{aligned} \gamma &= 10 \text{ kN/m}^3 \\ \mu &= 0,24 \\ k &= 1,0 \end{aligned}$$



5.3. ábra

ezekkel körcella esetében

$$z_0 = \frac{D_b}{4 \mu k} = \frac{D_b}{4 \times 0,24 \times 1,0} \cong D_b$$

a 10. sz. képlet, $c=0,5$ esetén

$$P_{t,max} = 4 d D_b (l - D_b)$$

alakra egyszerűsödik.

$$(d = 0,016 \text{ m}, \quad D_b = 7,32 \text{ m}, \quad l = 28 \text{ m})$$

$$P_{t,max} = 4 \times 0,016 \times 7,32 (28,00 - 7,32) = 9,7 \text{ kN}$$

Négyszög alakú siló esetén

$$D = \frac{4 a b}{2(a + b)}$$

A távhoméro – kábel által a cellafödémre átadódó mértékadó húzóero számítására az alábbi összefüggést javasoljuk

$$H_M = 1,3 G_{\text{ö}} + 1,4 P_h$$

itt $G_{\text{ö}}$ - a távhoméro és kábel önsúlya,
 P_h - a tárolt anyag ismert jellemzoi alapján számított húzóero,
1,3 és 1,4 – biztonsági tényezok.

Abban az esetben, ha ismert a fölszakító ero, akkor P_h – helyett a ténylegesen mért értéket kell behelyettesíteni.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a gabonasilókban elhelyezett homérok fölfüggeszto kábeleiben fellépo húzóerok elméleti és kísérleti vizsgálatával foglalkozik. A tárolt anyag jellemzoiinek ismeretében egyszeru számítási módszert javasol a siló - födémet terheló húzóero meghatározására.

A szerzodok által kidolgozott módszerrel, valóságos körülmények között különböző üzemi állapotokban (töltés, ürítés, tárolás) végzett kísérletek mérési eredményei alapján meghatározták a fölfüggeszto eronek azt a szélsó értékét, amelyre a tartószerkezetet méretezni kell. Javaslato adnak ezen eronek a valóságos körülmények közötti egyszeru mérési módszerére.

7. IRODALOM

- [1] Orosz Á.: Megjegyzések a silónyomás számításához, *BME Tudományos Közlemények Beton és Vasbeton Ünnepi Kiadvány*, 1975. 85 – 109. old.
- [2] Orosz Á.: Megjegyzések a silónyomás számításához vasbeton gabonasilók esetében, *BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei*, 1998. 173 – 180.
- [3] Halász I. – Orosz Á.: Silónyomás mérések laboratóriumi modellen, *BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei*, 2000. 95 – 110. old.
- [4] Halász I. – Orosz, Á.: *Szakovélemény a silókban alkalmazott távhomérokben keletkezett húzóerok meghatározására végzett mérésekrol*, BME Vasbetonszerkezetek Tanszékén készült szakovélemény 1984.