

A FLEXIBILIS HIDRAULIKUS TÖMLŐ KAPACITÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Fekete Tamás

egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: fekete@uni-miskolc.hu

Czupy Imre

egyetemi docens, Soproni Egyetem, Erdő- és Természeti Erőforrásgazdálkodási Intézet
9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4., e-mail: czupy.imre@uni-sopron.hu

Absztrakt

A váltakozó áramú hidraulikus rendszerek hidromotorját a hidrogenerátorral a fázistér köti össze. A fázistér feladata a hidrogenerátor által előállított hidraulikus energia továbbítása a hidromotor felé. A kutatómunka során a kísérleti berendezés átviteli tulajdonságait két különböző anyagú fázistérrel is megvizsgáltam. Az egyik esetben a fázisvezetékek merev falú acélcsövekkel, míg a másik esetben rugalmas falú flexibilis csövekkel voltak ellátva. A különböző anyagból készült fázisterek hatással vannak a rendszer átviteli tulajdonságaira. A merev falú fázisvezetékek helyettesítése rugalmas falú flexibilis fázisvezetékekkel a rendszer kapacitív ellenállásának megváltozását eredményezi. Ez a változás pedig a kapacitás növekedésével fog járni, ugyanis a merev falú fázisvezeték méretei változatlanok (üzemi körülmények között gyakorlatilag nem változik a mérete) tekinthetőek a rugalmas falú fázisvezetékkel szemben. A kísérlet eredményeként meg fogjuk tudni állapítani, hogy milyen esetben célszerű és lehetséges a flexibilis tömlők használata.

Kulcsszavak: váltakozó áramú hidraulikus hajtás, fázistér, kapacitás

Abstract

The hydromotor of alternating current hydraulic systems is connected to the hydrogenerator by the phase space. The function of the phase space is to transmit the hydraulic energy produced by the hydrogenerator to the hydromotor. During the research work, the transmission properties of the experimental equipment were also examined with two phase spaces of different materials. In one case, the phasepipes were provided with rigid-walled (steel) pipes, while in the other case, flexible-walled pipes. Phase spaces made of different materials affect the transmission properties of the system. Replacing rigid-walled phase conductors with flexible-walled phase conductors results in a change in the capacitive resistance of the system. This change will be accompanied by an increase in capacity, as the dimensions of the rigid-walled phase pipes can be considered unchanged (practically no change in size/diameter under operating conditions) compared to the flexible-walled phase line. As a result of the experiment, we will be able to determine in which case it is expedient and possible to use flexible hoses.

Keywords: alternating current hydraulic drive, phasepace, capacity

1. Bevezetés

A hidraulikus hajtásokat két nagy csoportra oszthatjuk; egyenáramú, illetve váltakozó áramú hidraulikus hajtásokra. Az egyenáramú hidraulikus hajtásoknál a folyadék a szivattyú és a munkavégző elemek (pl. hidromotor) között egy irányba áramlik, míg a váltakozó áramú hidraulikus hajtásoknál a hidrogenerátor és a hidromotor között pulzáló mozgást végez. A hajtás működésének szempontjából meg kell vizsgálni, hogy a flexibilis fázisvezeték nyomás hatására milyen alakváltozást szenved (Runlian et al., 2013), ugyanis ez nem hajtóáramként, hanem veszteségként jelentkezik a rendszerben. A méréseknél használt flexibilis fázisvezeték kialakítását az 0 mutatja.



1. ábra. A Semperit DIN EN 853 2SN DN10 típusú flexibilis hidraulikus vezeték.

A kísérleti berendezésnél felhasznált flexibilis fázisvezeték fizikai jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A Semperit DIN EN 2SN DN10 vezeték főbb paramétereit.

Belső átmérő	Külső átmérő	Munkanyomás	Repszétségi nyomás	Hajlítási sugár	Tömeg
99 mm	184 mm	330 bar	1320 bar	125 mm	0,44 kg/m

A rugalmas fázisvezeték alkalmazása esetén a növekedő belső nyomás hatására a cső átmérője megnő (Erdélyi et al., 2008). Ez nem tekinthető tisztán ohmos ellenállásnak, mint az elektrotechnikában, ugyanis az ebből keletkező veszteséget a későbbiekben (a nyomás csökkenése során) a rendszer számára visszaadja, így energiatároló (akkumulátor) szerepet tölt be a rendszerben.

2. Mechanikai vizsgálat

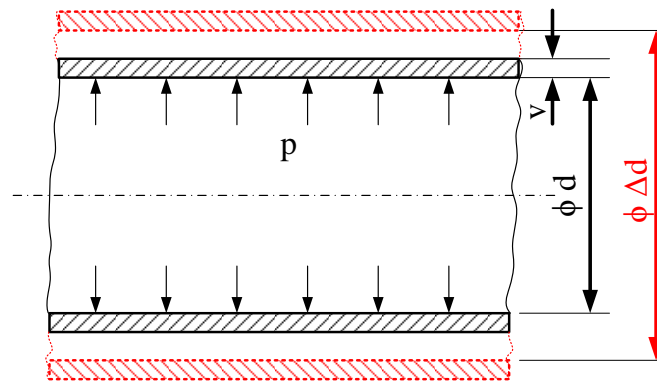
Szilárdságtani szempontból a cső üzemi nyomásra történő alakváltozása a legfontosabb tényező, hiszen szoros összefüggésben van a rendszer kapacitásával. A kísérleti berendezés hidraulikus vezetői minden esetben forgásfelületek voltak.

Ebből kifolyólag a továbbiakban csak a belső nyomással terhelt forgásfelületekkel foglalkozunk. Feltételezzük, hogy a folyadék halmazállapotú közeg nyugalomban van, valamint azt, hogy a közeg ideális, tehát belső súrlódása nincs (csúsztató feszültség nem ébred benne), így a nyomás akadálymentesen terjed a fluidumban, s az edény falára merőlegesen hat.

A szakirodalom az alábbi megállapításokat teszi:

- $A \frac{v}{r}$ (ahol v - a cső falvastagsága, r - a cső közepestes sugara) hányados az egység mellett elhanyagolható;
- az alakváltozások kicsik;

- az alakváltozások előtt a közepes felületre merőleges egyenesek az alakváltozások közben merőlegesek maradnak a megváltozott közepes felületre;
- a nyíró igénybevétel (a τ feszültségek) az egyensúlyi egyenlettől eltekintve, figyelmen kívül hagyhatóak.



2. ábra. A fázisvezetékben keletkező nyomás hatására fellépő elméleti alakváltozás.

Az alakváltozási állapotot az $\overline{\varepsilon}_x$, $\overline{\varepsilon}_y$ és $\overline{\varepsilon}_z$ fajlagos nyúlások határozzák meg. A fenti feltevések alapján:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{z}{\rho} + X = kz + X \\ \varepsilon_y &= \frac{u}{r+z} = \frac{u}{r} \left[1 - \frac{z}{r} + (\dots) \right] \approx \frac{u}{r}, \\ \gamma_{xy} &= \gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0\end{aligned}\quad (1)$$

illetve

$$\overline{\varepsilon}_x = \chi \zeta + \overline{X}, \quad (2)$$

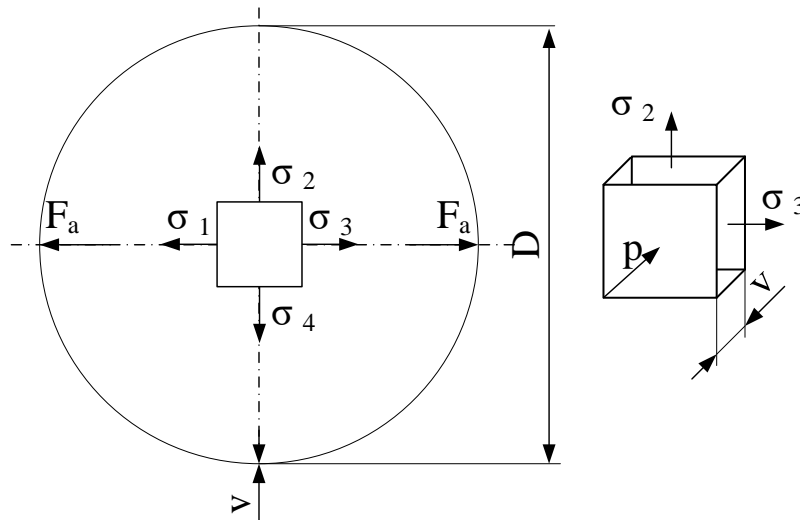
$$\varepsilon_y = \varepsilon. \quad (3)$$

A feltevésekből az következik tehát, hogy az $\overline{\varepsilon}_y$ tangenciális nyúlás a falvastagság mentén közelítően állandó, az $\overline{\varepsilon}_x$ hosszirányú nyúlás pedig lineárisan változik.

Amennyiben a készülék (tartály) zárt, akkor hosszirányú, axiális feszültség is keletkezik a forgásfelületben.

A 0 jelöléseivel a p belső nyomással terhelt hengeres tartály véglapjaira ható axiális irányú erő:

$$F_a = \frac{D^2 \pi}{4} p. \quad (4)$$



3. ábra. Belső nyomással terhelt fázisvezeték.

A keresztirányú méretváltozás esetén ismeretes, hogy a húzott rúd a húzóerő irányában megnyúlik, ugyanakkor keresztirányban rövidül.

A próbapálcákkal végzett kísérletek tanúsága szerint a hosszirányú és keresztirányú méretváltozások (fajlagos nyúlások) aránya állandó:

$$\left| \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon} \right| = \nu = \text{áll.}, \quad (5)$$

ahol

- a ν arányszám, a **Poisson-tényező** egyazon anyagminőség mellett állandó, tehát anyagjellemző. Értéke a gyakorlatban 0,25 és 0,4 közötti dimenzió nélküli szám.

A hosszanti és keresztirányú fajlagos nyúlások egymással ellentétesek, ezért:

$$\varepsilon_k = -\nu\varepsilon \quad (6)$$

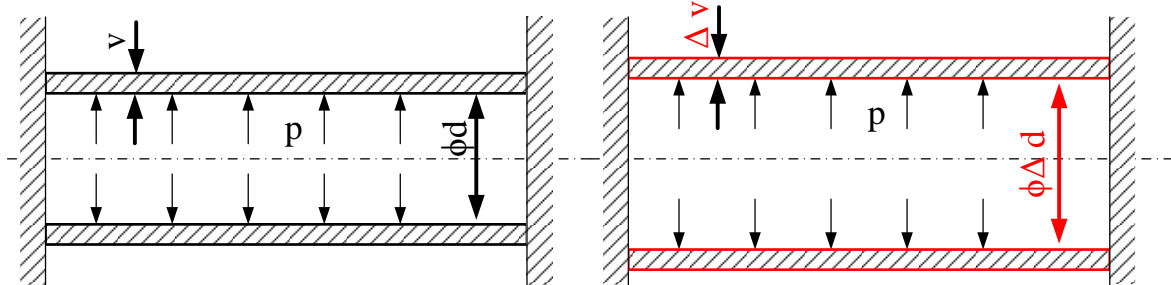
Belátható, hogy a Poisson-tényező nagyságára – a rugalmas tartományon belül – egy felső maximális korláttal rendelkezik. Tekintsünk egy egységnyi oldalélekkel rendelkező elemi kockát, és két szembenálló lapja mentén húzzuk meg. Az elemi kocka a húzás irányában megnyúlik, a rá merőleges két irányban összehúzódik. Így térfogatváltozására érvényes, hogy:

$$\Delta v \cong \varepsilon - 2\varepsilon_k = \varepsilon(1 - 2\nu) \quad (7)$$

Közelítésként felhasználtuk, hogy a fajlagos nyúlások kis értéke következtében azok szorzata elhanyagolható. Mivel a húzás miatt a kocka térfogat növekedéssel jár ($\Delta v > 0$), az (7) egyenlet jobb oldalának pozitív értéket kell felvennie, ami csak $\nu_{\max} < 0,5$ esetén lehetséges.

A kísérleti berendezésnél felhasznált fázisvezetékek esetében a hosszirányú (tengellyel párhuzamos) alakváltozás zérusnak vesszük, ugyanis a vezetékek mindkét vége meg van fogva, így kényszer szempontjából úgy kell rá tekinteni, mintha mindkét vége be lenne falazva.

A fázisvezeték alakváltozását a 0 mutatja.



4. ábra. A mindkét végén befalazott fázisvezeték alakváltozásának vázlata.

A keresztirányú alakváltozás mértéke a tehermentes állapothoz képest az üzemi nyomás hatására megnő, ezért csak a keresztirányú méretváltozást kell figyelembe venni. A keresztirányú alakváltozás térfogatváltozással jár, így arra az alábbi összefüggés írható fel:

$$\Delta V = V_0 \chi_k \Delta p, \quad (8)$$

ahol

- ΔV , a térfogatváltozás [m^3],
- V_0 , a kiindulási térfogat [m^3],
- χ_k , rugalmassági modulus reciproka $\left[\frac{1}{GPa} \right]$ és
- Δp , a nyomásváltozás [bar].

A fázisvezeték jó közelítéssel hengernek tekinthető, így annak térfogata:

$$V = \left(\frac{D}{2} \right)^2 \pi h, \quad (9)$$

ahol

- D , a hidraulikus tömlő átmérője és
- h , a hidraulikus tömlő hossza.

Tehát ebből adódik, hogy

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= \left(\frac{D_0}{2} \right)^2 \pi h \\ \Delta V &= \left(\frac{\Delta D}{2} \right)^2 \pi h \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

mert a hidraulikus tömlő hosszát változatlanoknak tekintjük, ugyanis mindkét vége meg van fogva.

Az

$$\chi_k = \frac{1}{E}, \quad (11)$$

ahol

- E , rugalmassági modulus, vagy Young-modulus [GPa].

Így a nyomásváltozás hatására a térfogatváltozás az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$\Delta V = \Delta p (V_0 \chi_k)$$

$$\left(\frac{\Delta D}{2}\right)^2 \pi h = \Delta p \left(\left(\frac{D_0}{2}\right)^2 \pi h \cdot \chi_k\right). \quad (12)$$

Majd végül a henger átmérőjének a megváltozása az alábbi képlettel meghatározható:

$$\Delta D = 2 \sqrt{\frac{\Delta p \left(\left(\frac{D_0}{2}\right)^2 \pi h \chi_k\right)}{\pi h}}. \quad (13)$$

Az elméleti vizsgálat után az alakváltozásának mértékét kísérleti úton kétféleképpen is megvizsgáltam. A vizsgálat során három különböző fázisvezetéken végeztem el a méréseket. Ebből kettő azonos típusú tömlő, még a harmadik egy másik féle, de a kialakítását tekintve azonos felépítéssel rendelkezett. A vizsgálat célja, hogy megállapítsam, hogy milyen hatással van a nyomásnövekedés a flexibilis fázisvezeték átmérőjének nagyságára.

Az első mérési elrendezést a 0 mutatja. Az egyes mérési pontok helyét a piros pontok jelzik a fehér jelölő szalagokon. A kísérlet elvégzéséhez egy BOSCH Rexroth szervó próbapadot használtunk, aminek képét az 0 mutatja. A méréseket statikus állapotban végeztem el, azaz a kívánt nyomásérték beállítása után, egy elzárószelep segítségével biztosítottam a tömlő állandó nyomásértéken tartását. A hidraulikus tömlőn tizenegy pontot jelöltem ki, és egy adott nyomásérték esetén minden egyes vizsgálati ponton ötször ellenőriztem az átmérő nagyságát. A nyomásértékeket a közel atmoszférikus nyomástól egészen 200 bar-ig változtattam, és így tíz különböző nyomáson végeztem el a kísérletet.



5. ábra. BOSCH Rexroth szervó próbapad.

Az 0 látható szervó próbapad kimeneti oldalára csatlakoztattuk a 0 látható mérési elrendezést.



6. ábra. A fázisvezeték vizsgálatának első mérési elrendezése.

A három méréssorozat értékeit a 2. táblázat, 3. táblázat és a 4. táblázat tartalmazzák (a táblázatok egyes celláiban lévő értékek öt mérés átlagértékeit mutatják). A mérés zárt rendszerben történt, így nem volt résolajvesztés.

A 2. táblázat és 3. táblázat azonos anyagú és szerkezeti tulajdonságú (egy hosszú tömlőből vágunk le kettő azonos hosszúságú csövet) hidraulikus tömlőn végzett kísérlet értékeit mutatja.

A 4. táblázat szereplő értékek egy eltérő típusú hidraulikus tömlőből készített kísérlet eredményét mutatják. Az egyes értékek szórásaitól eltekintve megfigyelhető, hogy a legnagyobb alakváltozást a rugalmas fázisvezeték a két végpont között félúton szenvedti el (6. pont). Ezt szemlélteti a 0.

2. táblázat. A hidraulikus tömlő kapacitásának első méréssorozata.

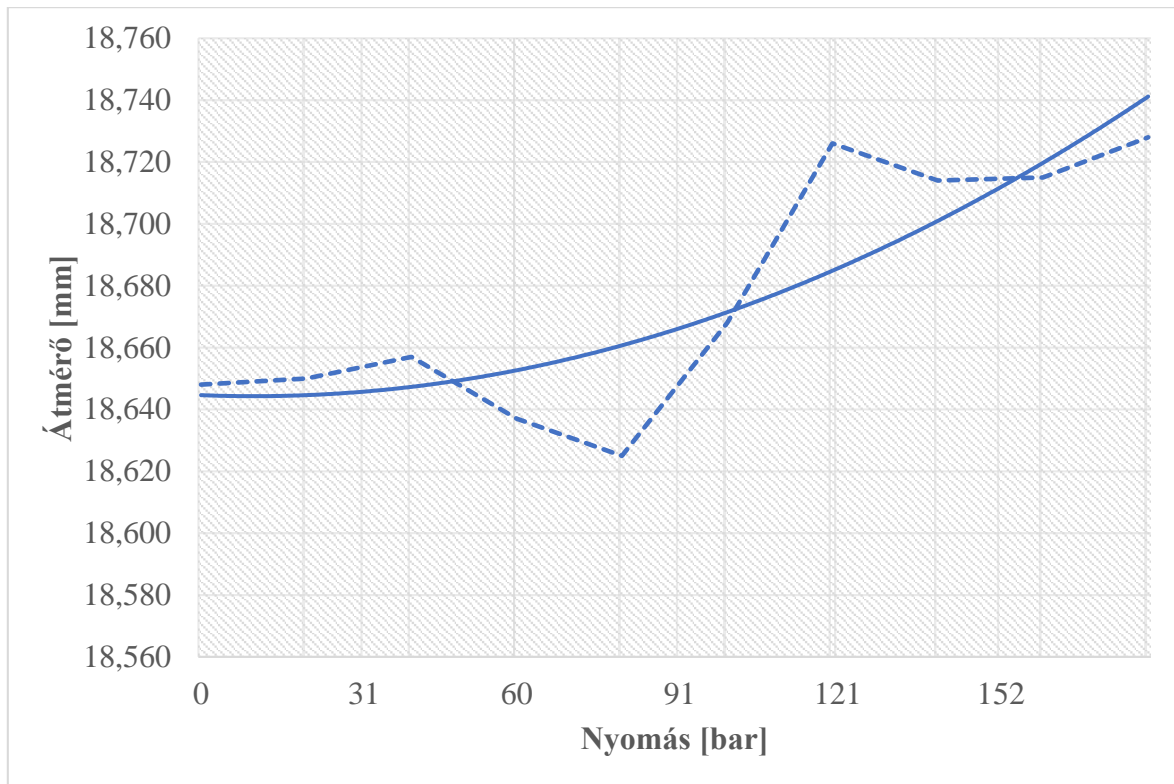
A hidraulikus tömlő kapacitás vizsgálatának átlagértékei 5 ismétlés alapján											
Nyomás [bar]	1. pont	2. pont	3. pont	4. pont	5. pont	6. pont	7. pont	8. pont	9. pont	10. pont	11. pont
"1"	18,542	18,493	18,486	18,444	18,481	18,491	18,508	18,561	18,502	18,390	18,399
10	18,552	18,493	18,500	18,439	18,498	18,460	18,601	18,561	18,591	18,430	18,429
30	18,532	18,500	18,470	18,447	18,466	18,456	18,522	18,565	18,571	18,432	18,434
50	18,529	18,502	18,488	18,443	18,485	18,461	18,559	18,637	18,608	18,499	18,452
70	18,563	18,552	18,494	18,493	18,495	18,487	18,510	18,579	18,583	18,486	18,494
100	18,651	18,553	18,537	18,507	18,508	18,502	18,534	18,605	18,560	18,515	18,465
120	18,548	18,623	18,519	18,412	18,516	18,518	18,596	18,638	18,598	18,508	18,494
150	18,591	18,517	18,517	18,454	18,501	18,562	18,611	18,569	18,580	18,526	18,485
170	18,611	18,516	18,526	18,461	18,526	18,534	18,617	18,598	18,539	18,569	18,486
200	18,569	18,519	18,526	18,434	18,522	18,504	18,580	18,571	18,607	18,508	18,484

3. táblázat. A hidraulikus tömlő kapacitásának második méréssorozata.

A hidraulikus tömlő kapacitás vizsgálatának átlagértékei 5 ismétlés alapján											
Nyomás [bar]	1. pont	2. pont	3. pont	4. pont	5. pont	6. pont	7. pont	8. pont	9. pont	10. pont	11. pont
"1"	18,639	18,697	18,690	18,658	18,748	18,696	18,705	18,766	18,687	18,683	18,677
10	18,639	18,655	18,698	18,672	18,753	18,747	18,711	18,746	18,691	18,666	18,594
30	18,665	18,701	18,732	18,666	18,756	17,819	18,666	18,711	18,590	18,622	18,577
50	18,662	18,658	18,634	18,651	18,726	18,729	18,773	18,725	18,696	18,538	18,532
70	18,618	18,676	18,707	18,654	18,747	18,753	18,701	18,705	18,654	18,650	18,627
100	18,692	18,721	18,787	18,705	18,747	18,667	18,684	18,670	18,681	18,658	18,497
120	18,663	18,685	18,697	18,703	18,806	18,809	18,711	18,722	18,734	18,698	18,623
150	18,689	18,689	18,702	18,667	18,764	18,799	18,720	18,705	18,697	18,675	18,645
170	18,651	18,630	18,691	18,700	18,733	18,760	18,680	18,719	18,702	18,689	18,625
200	18,671	18,632	18,679	18,677	18,728	18,818	18,692	18,734	18,735	18,703	18,641

4. táblázat. A hidraulikus tömlő kapacitásának harmadik mérősorozata (eltérő típusú fázisvezeték)

A hidraulikus tömlő kapacitás vizsgálatának átlagértékei (új tömlő)											
Nyomás [bar]	1. pont	2. pont	3. pont	4. pont	5. pont	6. pont	7. pont	8. pont	9. pont	10. pont	11. pont
"1"	18,703	18,653	18,647	18,703	18,722	18,648	18,660	18,714	18,707	18,657	18,634
10	18,692	18,644	18,643	18,692	18,654	18,650	18,658	18,727	18,614	18,649	18,645
30	18,680	18,660	18,652	18,715	18,654	18,657	18,642	18,731	18,663	18,649	18,694
50	18,668	18,644	18,643	18,695	18,745	18,637	18,677	18,730	18,634	18,689	18,649
70	18,686	18,652	18,663	18,665	18,698	18,625	18,645	18,745	18,618	18,677	18,654
100	18,680	18,664	18,685	18,711	18,681	18,668	18,694	18,729	18,618	18,660	18,641
120	18,681	18,653	18,655	18,751	18,705	18,726	18,680	18,744	18,628	18,728	18,668
150	18,671	18,680	18,661	18,702	18,741	18,714	18,667	18,735	18,637	18,669	18,724
170	18,685	18,663	18,666	18,730	18,741	18,715	18,715	18,760	18,655	18,686	18,717
200	18,696	18,676	18,700	18,710	18,738	18,728	18,693	18,739	18,619	18,687	18,658



7. ábra. A hidraulikus tömlő középső keresztmetszete (6. pont) átmérőjének változása a nyomás függvényében.



8. ábra. A fázisvezeték vizsgálatának második mérési elrendezése.

A második mérési elrendezést a 0 mutatja. A második mérési elrendezésre azért volt szükség, hogy a fázisvezeték átmérőjének esetleges mérési pontatlanságát kiküszöböljük. Ezen elrendezésben a kapacitást úgy mértem meg, hogy készítettem egy csapot, amin keresztül feltöltöttem adott nyomással a vezeték, majd a kívánt nyomásérték elérése után a csapot elzártam. Ezzel biztosítottam, hogy a kellő

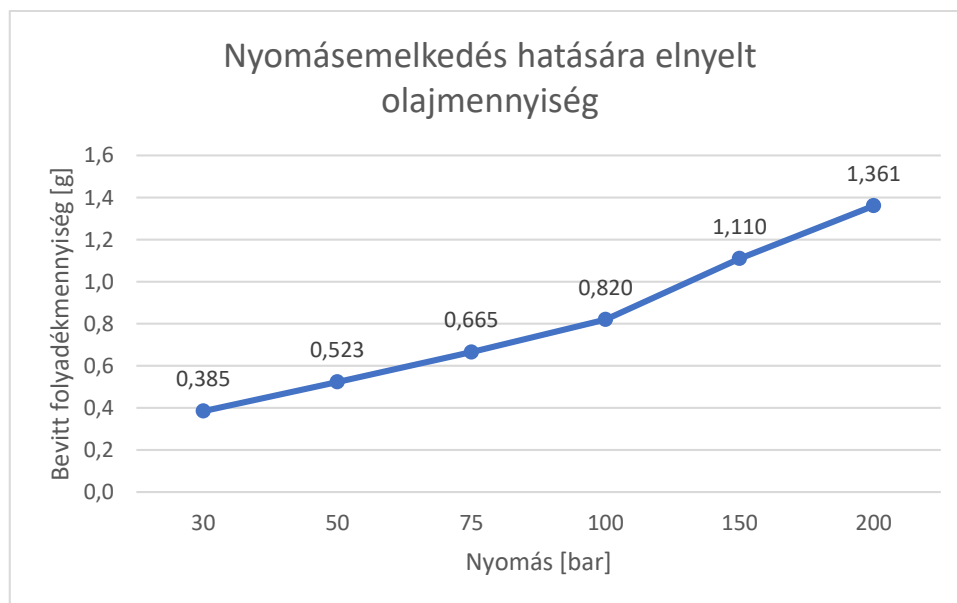
nyomás eléréséhez szükséges többlet olajmennyiség bent maradjon az elkülönített rendszerben. Ezek után a csap nyomásmentesítő ágát megnyitottam, majd a többletnyomás eléréséhez szükséges olajmennyiséget egy csövön keresztül kiengedtem az elkülönített rendszerből egy mérőedénybe. Majd a mérőedény tömegét egy precíziós mérleg segítségével megmértem. Ezt követően a hidraulikaolaj ismert sűrűsége alapján meg tudtam határozni a mennyiségét.

A fázisvezeték különböző nyomásokhoz társuló folyadékmennyiségének tömegeit az 5. táblázat mutatja.

5. táblázat. Az egyes nyomásértékeknél mért többlet folyadékmennyiség.

Nyomás [bar]	Többletnyomást okozó olajmennyiség tömege [g]					
	1. eset	2. eset	3. eset	4. eset	5. eset	Átlag
30	0,407	0,342	0,344	0,453	0,377	0,385
50	0,503	0,532	0,536	0,529	0,517	0,523
75	0,687	0,657	0,652	0,686	0,643	0,665
100	0,820	0,800	0,834	0,827	0,818	0,820
150	1,142	1,129	1,130	1,088	1,061	1,110
200	1,359	1,374	1,330	1,361	1,380	1,361

Az egyes folyadékmennyiségek tendenciáját a 0 mutatja.



9. ábra. Nyomásemelkedés hatására elnyelt olajmennyiség.

A mérésekből megállapítható, hogy a flexibilis fázisvezeték rendelkezik kapacitív ellenállással. A fázisvezeték átmérőjének változása függ a rendszerben lévő nyomástól, azaz minél nagyobb a belső nyomás, annál nagyobb átmérő érték tartozik hozzá.

3. Összefoglalás

A vizsgálatokból egyértelműen kiderült, hogy a legnagyobb alakváltozást a rugalmas fázisvezeték a két végpont között félúton szenved el. A kísérletben alkalmazott csőhossz esetén 200 báros nyomás esetén sem volt számottevő az alakváltozás mértéke, amire az elnyelt olajmennyiségből is lehet következtetni. Érdeemes lenne a kísérletet megismételni egy jóval hosszabb tömlő esetében és egy nagy alakváltozással rendelkező fázisvezeték esetében is.

Irodalom

- [1] Runlian, J., Yaohua, W., Chengfei, F., Minajun, D. (2013). The elastic-plastic deformation analysis of the hydraulic pipe under equivalent static loads. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 9(3), Sep.-Oct., 39-43. e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X. <https://doi.org/10.9790/1684-0933943>
- [2] Ponomarjov, Sz. D. (1966). *Szilárdsági számítások a gépészetben. Rezgések Ütések*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó
- [3] Erdélyi, J., Fekete, T., Lukács, J. (2008). A kontrakciós henger konstrukciós és működési tulajdonságai. *Pneumatika, hidraulika, hajtástechnika, automatizálás*, XII, 3-5.
- [4] Fekete, T. (2014). The alternating current synchronous hydraulic drive. *Annals of Faculty of Engineering International Journal of Engineering*, 12, 235-238.
- [5] Fekete, T. (2017). Alternating current hydraulic drive the possibility of applying in the automotive industry. *Vehicle and Automotive Engineering*, pp 49-57. ISBN978-3-319-51188-7 https://doi.org/10.1007/978-3-319-51189-4_5