

## PNEUMATIKUS PRÓBATEST GYORSÍTÓ TERVEZÉSI KÉRDÉSEI A LÉGFEGYVEREK ANALÓGIÁJÁN

### DESIGN QUESTIONS OF AN EXPERIMENTAL PNEUMATIC ACCELERATOR ON THE ANALOGY OF AIR GUNS

Porkoláb Péter<sup>1</sup>, Gonda Viktor<sup>2</sup>, Varga Péter<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- és Gyártástudományi Intézet, 1081 Budapest, Népszínház utca 8.

<sup>1</sup>[pp.porkolab@gmail.com](mailto:pp.porkolab@gmail.com)

<sup>2</sup>[gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu](mailto:gonda.viktor@bgk.uni-obuda.hu)

<sup>3</sup>[varga.peter@bgk.uni-obuda.hu](mailto:varga.peter@bgk.uni-obuda.hu)

#### Abstract

During the Taylor impact test, a cylindrical metal specimen is collided to an anvil with high velocity. Analyzing the deformation of the specimen, high strain rate behavior of the material can be extracted. We design a pneumatic accelerator for the test, which can be modeled as a high power gas gun, considering the analogy of an air gun. We calculate the necessary initial gauge pressure and barrel length of the accelerator, using a sample with given size and mass at desired velocity by applying equations of internal ballistics of air guns.

**Keywords:** Taylor test, pneumatic accelerator, air gun, internal ballistics.

#### Összefoglalás

A Taylor-teszt során egy hengeres alakú fém próbatestet adott sebességgel fálnak lövünk, a próbatest deformációjából becsülhető a dinamikus alakítási szilárdság. A vizsgálathoz pneumatikus gyorsítót tervezünk, ami egy viszonylag nagyméretű és -teljesítményű ún. gázágyú, ami egy légfegyverhez hasonlítható. Az adott méretű és tömegű próbatestet a kívánt sebességre gyorsító pneumatikus készülék szükséges kezdeti túlnyomását és csőhosszát a légfegyverek belballisztikájára érvényes összefüggések segítségével határozzuk meg.

**Kulcsszavak:** Taylor-teszt, pneumatikus gyorsító, légfegyver, belballisztika.

#### 1. A Taylor ütközési vizsgálat

A fémes szerkezeti anyagok nagy sebességű és nagymértékű alakváltozása létrejöhethet lövedékek becsapódásakor, járművek ütközésekor, vagy nagy sebességű képlékeny alakításkor, például robbantásos vagy elektrodinamikus alakításkor. Ilyenkor a képlékeny alakváltozási sebesség mértéke  $>10^3 \text{ s}^{-1}$  nagyságrendű is lehet. Az ún. Tay-

lor ütközési vizsgálattal egy hengeres alakú próbatestet fálnak lövünk, a deformált geometriából becsülhető a dinamikus alakítási szilárdság [1].

#### 2. A Taylor-vizsgálatról a légfegyverek analógiáján

A Taylor ütközési vizsgálathoz használt berendezés része a próbatest gyorsító, ami a hengeres próbatestnek jelentős mozgási

energiát ad, valamint az üllő, amire nagy sebességgel becsapódik a próbatest. A teszt a próbatest deformációjának vizsgálatával eredményeket szolgáltat a nagysebességű alakváltozási folyamatokról. Működési elv alapján a pneumatikus kialakítású gyorsító az egyik lehetséges változat.

A pneumatikus gyorsítót egy viszonylag nagyméretű és -teljesítményű légfegyvertől az különbözteti meg, hogy műszaki célokra tervezték és rendeltetésszerűen csak e célokra használható, valamint ergonómiai kialakítása is ennek megfelelő.

A légfegyverek sűrített gáz segítségével gyorsítják a lövedéket a csőben, működési elvük alapján két csoportba sorolhatók: lövés közben sűrítő, más néven rugós, és sűrített gázt tartalmazó tartállyal rendelkező légfegyverek [2].

Rugós légfegyverek esetén a lövés során egy megfeszített rugóval egy dugattyút gyorsítunk, ami a dugattyúházban lévő levegőt összsűriti, így létrehozva a lövedéket a csőben gyorsító túlnyomást [2].

Sűrített gázt tartalmazó tartállyal rendelkező légfegyverek esetén a lövés során egy szelep nyitásával a tartályból sűrített gázt juttatunk a lövedék mögé, aminek túlnyomása a lövedéket a csőben felgyorsítja. Változatai (a megnevezések a légfegyveres szakirodalomban és közösségben egyaránt használt kifejezések):

- CO<sub>2</sub>-os légfegyverek: 8, 12, és 88 grammos CO<sub>2</sub> patron tartalmazza a sűrített gázt;

- Pre-Compressed Air, azaz PCA légfegyverek: lövés előtt a dugattyú hátrahúzásával levegőt engedünk a léghengerbe, amit a dugattyú visszatolásával sűrítünk;

- Pre-Charged Pressair, azaz PCP légfegyverek: 100-300 ml térfogatú, 200-300 bar nyomású sűrített levegőt tartalmazó tartály található a légfegyveren [2].

A pneumatikus gyorsító modellezhető a légfegyverek belballisztikájával. A ballisztika a mechanika része, a hajított testek mozgását vizsgáló tudományág, ami az

összes löfegyverre kiterjedően vizsgálja a lövéssel összefüggő kérdéseket a lőpor égésének kezdetétől – esetünkben: rugós légfegyverek esetén a dugattyú elindulásának, sűrített gázt tartalmazó tartállyal rendelkező légfegyverek esetén a szelep nyitásának pillanatától - a lövedék megállásáig. A belső ballisztika (vagy belballisztika) a lövés folyamatának első, a fegyver csővében lejátszódó szakaszával foglalkozik, amelyben a nyugalomban lévő lövedék a torkolati sebességre gyorsulva elhagyja a fegyver csövét [3].

### 3. A pneumatikus gyorsító és a légfegyverek néhány tervezési kérdése

A pneumatikus gyorsító tervezésénél a kiinduló adatok a próbatest geometriája és sebessége. A hengeres próbatest méreteit esetünkben 8 mm-es átmérővel és 25 mm hosszal határoztuk meg. A próbatest torkolati sebességét szakirodalomban közölt eredmények alapján maximum 300 m/s-ban határoztuk meg. A berendezés tervezése során a következő anyagokhoz számoljuk a szükséges nyomás értékét: volfrám, ólom, réz, vas és alumínium. Így biztosítható, hogy a berendezéssel bármilyen műszaki gyakorlatban alkalmazott anyagminőség vizsgálható legyen a követelményként kitűzött torkolati sebességgel.

A berendezés megtervezésének következő lépése az adott keresztmetszetű és tömegű próbatest maximális torkolati sebességét megvalósító kezdeti nyomás és csőhossz összetartozó értékpárok meghatározása, amik közül kiválasztható és kiválasztandó a megvalósítás szempontjából reális és optimális érték. A kezdeti nyomás és csőhossz értékeket megadó képletekhez a sűrített gázt tartalmazó tartállyal rendelkező légfegyverek belballisztikájának vizsgálatával juthatunk. Természetesen rugós légfegyverek működési elvén alapuló gyorsító is szerkeszthető, de annak tervezési számí-

tásai bonyolultabbak, valamint nem biztosítható a számítások eredményeivel összhangban lévő rugó műszaki megvalósíthatósága, míg megfelelő szelep katalógusból kiválasztható és rendelhető.

A pneumatikus gyorsító csövében a tágloló sűrített levegő gyorsítja a próbatestet a kívánt torkolati sebességre. A folyamatról a következő elfogadható egyszerűsítéseket feltételezzük:

- a levegő ideális gáz;
- a sűrített levegő táglulása izotermikus;
- a csőben a próbatestre ható légellenállás elhanyagolható;
- a csőben a próbatestre ható súrlódási erő a próbatest sebességétől független, állandó;
- a próbatest nem zömül a nyomás hatására, a súrlódási erőhöz szükséges összeszorító erőt kizárólag a próbatest súlya biztosítja (feltételezzük, hogy a csőtengely vízszintes, így a legnagyobb súrlódási erővel számolunk);
- a próbatest tökéletesen illeszkedik a csőfuratba, a sűrített levegő nem fúj le a próbatest és a csőfal közötti résen;
- a sűrített levegő gyorsítására fordított energia elhanyagolható;
- a berendezés csőve sima furatú, a próbatest huzagolás általi megforgatására nem kell energiát fordítani.

A fenti egyszerűsítések mellett a szakirodalom szerint a következő egyenlet adja meg a próbatest mozgási energiáját a csőtengely mentén elfoglalt helyzete függvényében [4]:

$$\frac{1}{2}mv^2(x) = p_0V_0 \ln\left(1 + \frac{Ax}{V_0}\right) - F_{súrl}x \quad (1)$$

ahol:

- $V_0$  [m<sup>3</sup>] a sűrített levegő kezdeti térfogata;
- $p_0$  [Pa] a sűrített levegő kezdeti nyomása, ami túlnyomás: így nem kell az egyenletben a próbatestre ható légköri nyomás hatásával számolni;

- $A$  [m<sup>2</sup>] a próbatest keresztmetszete, ami-re a sűrített levegő nyomása hat;
- $x$  [m] a próbatest helyzete a csőtengely mentén: legnagyobb értéke a csőhossz lehet;
- $v$  [m/s] a próbatest sebessége;
- $m$  [kg] a próbatest tömege;
- $F_{súrl}$  [N] az állandónak feltételezett súrlódási erő.

A próbatest mozgási energiáját megadó egyenletből levezethető a szükséges  $p_0$  kezdeti túlnyomást megadó egyenlet, ha a próbatest  $v_{\max}$  legnagyobb torkolati sebessége és a csőhossz,  $l$  adott:

$$p_0 = \frac{\frac{1}{2}mv_{\max}^2 + F_{súrl}l}{V_0 \ln\left(1 + \frac{Al}{V_0}\right)} \quad (2)$$

valamint a szükséges  $l$  csőhossz, ha a próbatest  $v_{\max}$  legnagyobb torkolati sebessége és a  $p_0$  kezdeti túlnyomás adott:

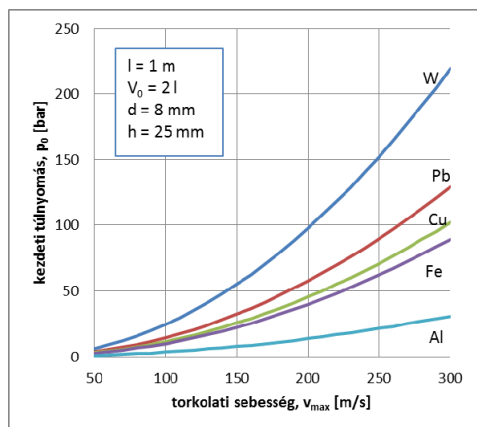
$$l = \frac{-Ap_0V_0W\left(\frac{v_{\max}^2m}{2p_0V_0} \frac{F_{súrl}}{Ap_0}\right) - F_{súrl}V_0}{AF_{súrl}} \quad (3)$$

ahol  $W$  a Lambert-féle logaritmuszorzat függvény.

A műszaki gyakorlatban tökéletesen elfogadható eredményt ad a numerikus megoldás is, amikor az (1) egyenletbe behelyettesítve adott kezdeti túlnyomás mellett több különböző csőhossz esetén kiszámítjuk a próbatest mozgási energiáját, és kiválasztjuk a próbatest kívánt mozgási energiájával megegyező, vagy ahhoz legközelebb eső csőhosszt. Megjegyzendő, hogy a gyakorlatban a tartálytérfogat a cső belső térfogatánál jóval nagyobb, ezért a tartály térfogata csak kis mértékben befolyásolja a szükséges nyomást, vagy a cső hosszának kiválasztását.

#### 4. Eredmények és következtetések

Számításaink alapján kör keresztmetszetű, 8 mm átmérőjű, 25 mm hosszú (14,3 gramm tömegű) ólom próbatest 300 m/s torkolati sebességre gyorsításához 2 literes (0,002 m<sup>3</sup>) sűrített levegős tartály (kezdeti térfogat) alkalmazásával 12,9 MPa (129 bar) kezdeti túlnyomás szükséges 1 m csőhossz esetén, a súrlódóerőt 0,014 N-ra felvéve. Különböző anyagminőségek esetén – a geometriai adatokat lekötve – a tömeget a sűrűség ( $\rho$ ) határozza meg, a vizsgált anyagoknál a számításban  $\rho_W = 19250$  kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_{Pb} = 11340$  kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_{Cu} = 8960$  kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_{Fe} = 7850$  kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_{Al} = 2700$  kg/m<sup>3</sup> sűrűségeket felhasználva a szükséges kezdeti túlnyomást ábrázoltuk az elérni kívánt torkolati sebesség függvényében az 1. ábrán.



1. ábra. A szükséges túlnyomás a kívánt torkolati sebesség eléréséhez különböző anyagú próbatestek esetén

A (2) egyenlet paramétereinek a hatása a szükséges túlnyomásra a következőképpen foglalható össze: a gyorsításhoz szükséges túlnyomás egyenesen arányos a próbatest sűrűségével és hosszával, az elérni kívánt sebesség négyzetével, valamint fordítottan arányos a gyorsító csőhosszával. Mivel a tartálytérfogat a cső belső térfogatánál jóval nagyobb, ezért a tartály térfogata csak kis mértékben befolyásolja a szükséges nyomást. A próbatest és cső belső keresztmetszeti felülete azonos, ezért a nyomás értékét ebben a modellben nem befolyásolja. A súrlódó erő felvett kis értékét változtatva ebben a tartományban csak kb. 1%-al befolyásolja a szükséges nyomás értékét.

#### Köszönetnyilvánítás

A dolgozat a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Varga Péter, Gonda Viktor, Rácz Pál: *Taylor-teszt modellezése a Johnson-Cook anyagmodell alkalmazásával: a hőmérséklet hatása*. A XX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka előadásai. Kolozsvár, Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2015. ISSN 2393-1280 p. 327-330.
- [2] Pongrácz Gábor: *Akié a választás, azé a győzelem... – Légpuskák kezdőknek – piaci körkép*. Kaliber Évkönyv, 2008. ISSN 1418-513X p. 58-59.
- [3] Kiss Á. Péter: *A gépkarabély és használata*. Budapest, Zrínyi Kiadó. ISBN 963 327 317 X p. 19. col. 1.
- [4] Mark Denny: *The Internal Ballistics of an Air Gun*. The Physics Teacher, 2011. 2. szám. ISSN 0031 921X