

Különböző típusú sportszőnyegek csúszási ellenálló képességének vizsgálata

Tomin Márton^a, Kmetty Ákos^{a,b}

^aBudapesti Műszaki és Gazdaságtudomány Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

^bMTA—BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Absztrakt

A polimer habok olyan kétfázisú rendszerek, amelyben statisztikus eloszlású, változó méretű gázbuborékok találhatók a polimer mátrixban. Különleges szerkezetüknek köszönhetően kiemelkedő ütés csillapítási képességgel rendelkeznek, amely miatt autóiipari, csomagolóipari és sportszergyártóiipari alkalmazásuk is elterjedt.

A sportszőnyegként funkcionáló polimer habstruktúrák elsődleges feladata a sportolók egészségének védelme a szőnyegre történő landolás csillapításával. Egyes sportágakban (pl. birkózás, cselgáncs) azonban az ütés csillapító képesség önmagában nem elegendő, hiszen a rossz tapadási tulajdonságok is súlyos sportsérülésekhez vezethetnek. A birkózásban például az alsó végtagok (boka, térd) sérülései teszik ki az összes sportbaleset 30 %-át, és ezek jelentős hányada kapcsolatba hozható a sportcipő és sportszőnyeg közötti rossz tapadással.

A téma fontossága ellenére a sportmatracok felületének csúszási ellenálló képessége jelenleg egy kevésbé kutatott terület, a sportszőnyegekre vonatkozó szakirodalmak elsősorban csupán a polimer habok energiaelnyelő képességét vizsgálják.

Kutatómunkánk során egy olyan mérési módszert fejlesztettünk ki, amelyet alkalmazva lehetőség nyílik a polimer habok felületének csúszási ellenálló képességét a sportszőnyegekre jellemző igénybevételek figyelembevételével minősíteni. Vizsgálatainkat a szergyártóiiparban is használt, kereskedelmi forgalomban kapható, különböző cellaszerkezetű és sűrűségű gyengén térhálósított polietilén és etilén-vinil acetát habokon végeztük. Mérési eredményeinkkel rámutattunk a habsűrűség és csúszás megindításához szükséges erő közötti kapcsolatra, valamint részletesen elemeztük a húzott test tömegének tapadási viszonyokra gyakorolt hatását. Külön foglalkoztunk továbbá a gyakorlatban sokszor problémát okozó nedves felületek vizsgálatával, amelyet a polimer habok felszínére permetezett fiziológiás sóoldat segítségével modelleztünk.

Kulcsszavak: sportszőnyeg, polimer hab, csúszás, súrlódási együttható


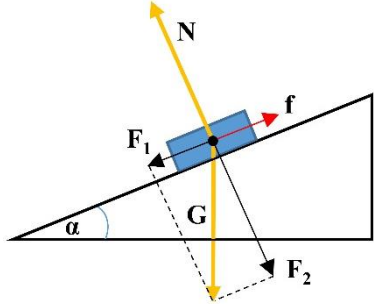

1. Bevezetés

A polimer habok sportban történő alkalmazása egyre inkább elterjedt köszönhetően azok számos előnyös tulajdonságának és sokoldalú alkalmazhatóságának [1, 2]. A síbakancsok belső rétegeként például etilén-vinil acetát (EVA) habokat használnak a jobb hőszigetelő képesség biztosítása céljából [3], míg a különböző védőruházatokban (pl gerincprotektor) egyszerre használják ki a habok rugalmasságát, ami növeli a felhasználói komfortérzetet, illetve a kiemelkedő energiaelnyelő képességet, amely segíti az esetleges baleset során a becsapódási energia megfelelő eloszlását [4, 5]. A motor- és kerékpár sportágakban használt bukósisakok elsődleges feladata szintén az ütések csillapítása és ezáltal a maradandó egészségkárosodás megelőzése [6, 7]. Elsősorban védelmi funkciót töltenek be a sportszőnyegként alkalmazott habstruktúrák is, amelyeknek a szőnyegre történő landolás során kell minimalizálni a sportolóra

ható terheléseket [8]. Egyes sportágakban (pl. birkózás, cselgáncs) azonban az ütécscillapító képesség önmagában nem elegendő, hiszen a rossz tapadás is súlyos sportsérüléseket okozhat (pl. boka- és térdficamok) [9, 10].

A különböző felületek csúszási ellenállóképességét alapvetően háromféle mérési módszer segítségével lehet minősíteni, amelyek fő jellemzőit az 1. táblázat összegzi.

1. táblázat – Felületek csúszási ellenálló képességének lehetséges mérési módszerei [11-13]

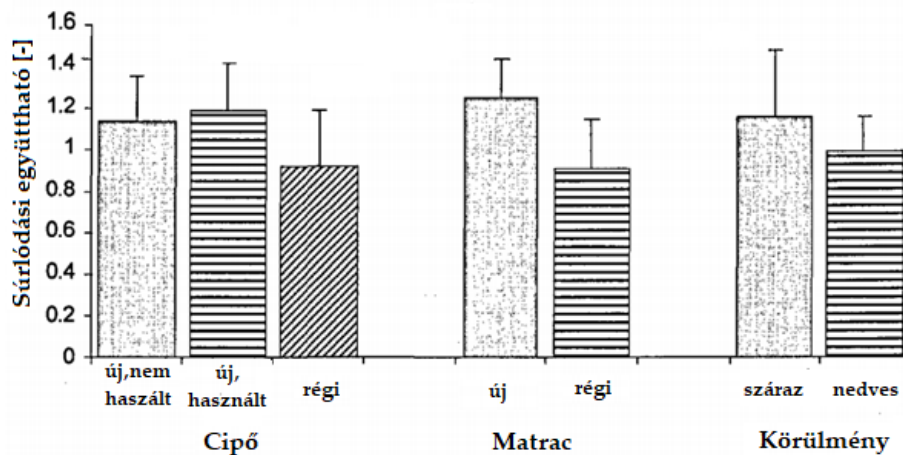
SRT inga	Lejtős vizsgálat	Sík húzási teszt
		
<p>Az eredetileg vízszintes helyzetből induló inga a sportfelülettel való érintkezést követően a gumiból készült súrlódó fej és a mérendő felület közti súrlódás függvényében adott, mérhető szögben/ magasságban tér ki. A matrac csúszási ellenállása arányos az inga helyzeti energia vesztésével.</p>	<p>Adott tömegű és felületi tulajdonságú testet helyezünk a vizsgálandó felületre, majd növeljük a felület vízszinteshez helyzethez képest mért dőlésszögét mindaddig, amíg a felületre helyezett test mozgásnak nem indul. A mozgás kezdetekor mért dőlésszögből következtethetünk a felület súrlódási együtthatójára.</p>	<p>Adott tömegű és felületi tulajdonságú testet húzunk a vizsgálandó matracra és rögzítjük a húzáshoz szükséges erőt. A húzott test tömegének, valamint a húzáshoz szükséges erő ismeretében meghatározható a statikus és kinetikus súrlódási tényező.</p>

A rendelkezésre álló mérési módszerek ellenére kevés a polimer habból készült sportszőnyegek ilyen jellegű vizsgálatára vonatkozóan fellelhető szakirodalom. A sportfelületek kapcsán eddig megjelent kutatások elsősorban az amerikai futballra fókuszálnak, és a pályák műfü borításának csúszási jellemzőit elemzik a sportcipők felületi tulajdonságainak függvényében [14-16].

Sportszőnyegekre vonatkozóan az SRT ingával az EN12503 [17] szabványban, valamint a Nemzetközi Judo Szövetség (IJF) tatami szőnyegre vonatkozó előírásában [18] találkozni, ahol ilyen berendezéssel minősítik a judo szőnyegek aljának csúszási ellenállóképességét. Az előírás 15-ös értéket definiál meg minimum határértékként. A sportmatracokra vonatkozó szabvány és az IJF előírása ellenére azonban nem találkozni a sportszőnyegek szempontjából releváns kutatási eredménnyel. A módszert alkalmazó cikkek nagy része közlekedési (utak és járdák) alkalmazásokra fókuszál. Chu és társai [19] a járdák felületi érdességét csiszolással módosították és SRT ingával végzett méréseik rámutattak arra, hogy a csiszolás iránya szignifikánsan befolyásolja az adott felület csúszási ellenállását. Szintén különböző alapanyagú (bauxit, gránit, cement) járdák vizsgálatával foglalkoztak Liu és társai [20], akik egy általuk fejlesztett végeeselemes modell validálásához végeztek SRT ingás méréseket száraz és nedves felületen egyaránt. A nedves közeget víz felületre történő permetezésével biztosították. Ezen eredményekből a sportmatracok csúszási ellenállására nem lehet következtetni, azonban a nedves mérési körülmények alkalmazása a matracok esetében lehetőséget biztosítana a sporttevékenység közben fellépő izzadás hatásának modellezésére.

A téma feltáratlanságát jól mutatja, hogy a lejtős vizsgálat kapcsán a fontosabb tudományos adatbázisokban egyáltalán nem találni sportszőnyegek minősítésére vonatkozó sportágspecifikus előírást vagy kutatási eredményt, míg a sík húzási teszt kapcsán összesen egy jelentősebb publikáció áll rendelkezésre.

Ebben Newton és társai [9] új és használt sportcipőket és sportszőnyeget alkalmazva vizsgálták a cipő és szőnyeg közötti statikus súrlódási tényező változását száraz és az izzadtság modellezése céljából 0,9 % NaCl-ot tartalmazó sóoldattal nedvesített közegben. A vizsgálatok során a nehezített, így összesen 100 N súlyú cipőre a talajjal párhuzamos irányban fejtettek ki egyre növekvő erőt mindaddig, amíg a cipő csúszni kezdett, ily módon meghatározva a csúszást megelőző időpillanatban fennálló súrlódási együtthatót. Vizsgálataik rámutattak, hogy a határfelület nedvesítése a súrlódási együtthatót 14%-kal csökkentette a száraz esetekhez képest, valamint az új szőnyeg és új cipő alkalmazása a súrlódási együttható 36%-os, illetve 28%-os növekedését eredményezte (1. ábra).



1. ábra – Súrlódási együttható a cipő és a matrac tulajdonságainak függvényében [9]

Fontos azonban kiemelni, hogy a kutatásban sem a sportszőnyeg, sem a sportcipő alapanyaga nincs feltüntetve, így a cipő és sportszőnyeg életkorának súrlódási viszonyokat befolyásoló hatásán túl további, anyagtulajdonságokra visszavezethető összefüggések kimutatása nem lehetséges, így ezek vizsgálata potenciálisan új tudományos eredményeket indukálna [9].

Kutatásunkban ennek megfelelően a sportszergyártóiparban is használt, különböző cellaszerkezetű és sűrűségű polimer habok csúszási ellenálló képességét minősítettük sík húzási tesztet alkalmazva. A mérési módszer kidolgozásakor törekedtünk a sportszőnyegek jellemző igénybevételek figyelembevételére, és a valós felhasználási körülmények modellezésére. Az eredmények alapján részletesen elemeztük a húzott test tömegének, a vizsgált hab sűrűségének, valamint a nedvesített felületnek súrlódási együtthatóra gyakorolt hatását.

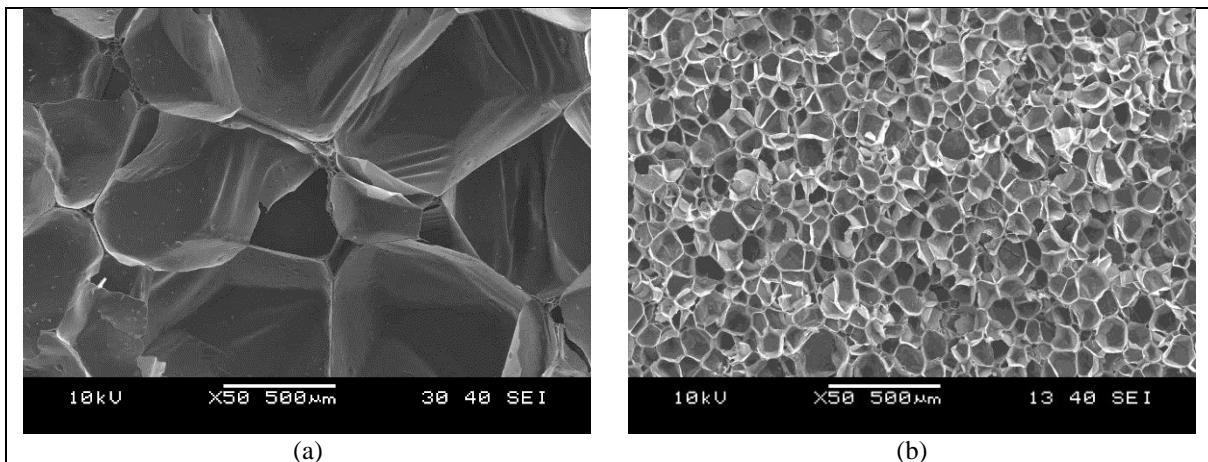
2. Vizsgált anyagok

A vizsgálatokhoz kereskedelmi forgalomban kapható, különböző sűrűségű és vastagságú gyengén térhálósított polietilén (XPE) (gyártó: Polifoam Kft., Budapest), valamint etilén-vinil-acetát habokat (gyártó: UFM Bt., Mosonmagyaróvár) használtunk. A minták sűrűségét, vastagságát, valamint átlagos cellaátmérőjét összegzi a 2. táblázat.

2. táblázat – Vizsgált minták sűrűsége, vastagsága és átlagos cellaátmérője

Jelölés	Sűrűség [kg/m ³]	Vastagság [mm]	Átlagos cellaátmérő [μm]
EVA_100	98,1 ± 0,6	10,1 ± 0,1	63 ± 22
EVA_150	148,3 ± 1,8	10,0 ± 0,2	62 ± 28
XPE_30	27,6 ± 0,5	51,3 ± 0,4	622 ± 151
XPE_50	45,9 ± 0,8	50,0 ± 0,1	500 ± 138
XPE_70	69,6 ± 0,8	49,4 ± 0,3	464 ± 108
XPE_30_PVC	XPE 30 mintával megegyező jellemzők (PVC takaróval fedett hab)		

A cellaátmérők meghatározásához a mintákat folyékony nitrogénbe mártva kriogén töretfelületeket hoztunk létre és azokról mikroszkópi felvételeket készítettünk egy JEOL JSM 6380LA típusú pásztázó elektronmikroszkópot (SEM) alkalmazva. A 2. ábra az XPE_30 és EVA_100 minták SEM képét mutatja. A többi minta a két bemutatott mintájával azonos jellegű cellaszerkezettel rendelkezett. Látható, hogy az XPE és EVA alapanyagból gyártott minták egyaránt zárt-cellás habszerkezetek, azonban az EVA habok adott térfogaton jóval több, kisebb méretű cellát tartalmaznak.



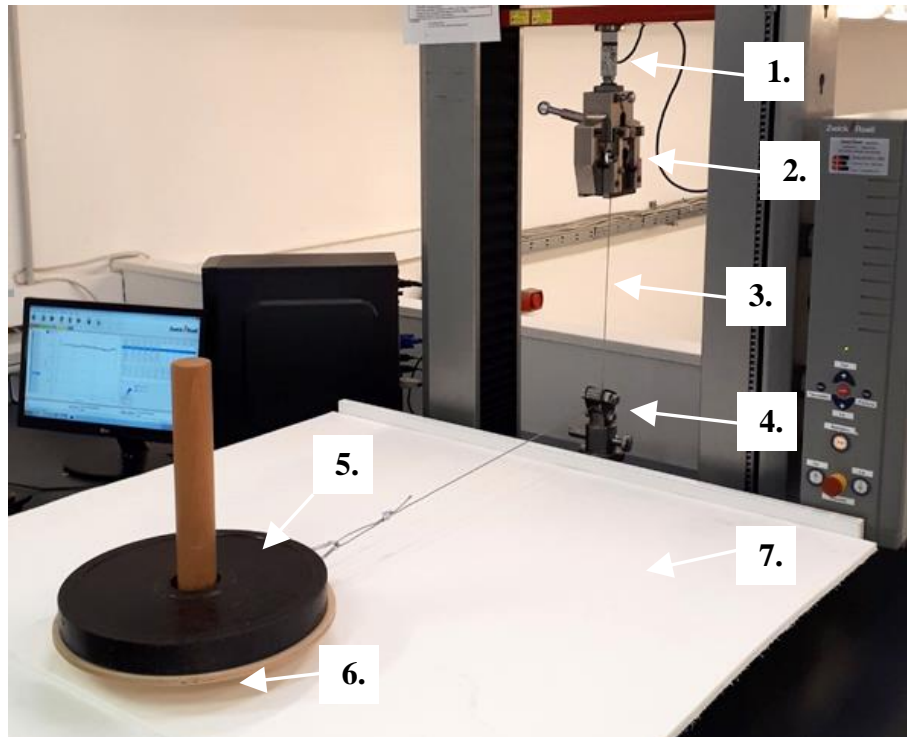
2. ábra – A vizsgált XPE_30 (a) és EVA_100 (b) habok jellegzetes elektronmikroszkópi képe

Fontos továbbá kiemelni, hogy a 30 kg/m³ névleges sűrűségű XPE hab esetében vizsgáltuk a habra helyezett poli(vinil-klorid) (PVC) takaró réteg súrlódási tulajdonságokra gyakorolt hatását is, mivel számos sportágban (pl. birkózás, Ju Jitsu, kevert harcművészetek) a versenyeken a sportszönyegetek ilyen borítással használják.

3. Vizsgálati módszerek

A habok csúszási ellenállóképességét egy 5kN-os méréshatárú erőmérő cellával felszerelt, Zwick Z005 típusú számítógéppel vezérelt univerzális szakítógéppel vizsgáltuk. A mérési elrendezés (3. ábra) kialakításakor törekedtünk a sportmatracokra jellemző igénybevétel modellezésére a húzott test anyagának és felületének tekintetében. Ennek

érdekében egy Teach-Line Platen Press 200E típusú préssel 150 bar hidraulikus munkahengerre vonatkozó nyomás és 210°C hőmérsékletet alkalmazva BASF Elastollan 1170 a10 típusú termoplasztikus poliuretánból (TPU) egy 8 mm vastag lapot préseltük, amely 70 shore A keménységgel rendelkezik, és a sportcipők talpának szimulálása szolgált. A préselés előtt az anyagot Faithful WGLL-125 BE típusú szárítógépben 80°C-on 3 órán keresztül szárítottuk.



3. ábra – Alkalmazott mérési elrendezés: 1 – erőmérő cella, 2 – befogó, 3 – drótkötél, 4 – kötéltvezető csiga, 5 – súlytárcsa, 6 – TPU lap, 7 – vizsgált minta

A préselt lap területe 105x105 mm, amely megegyezik egy 42^{2/3}-os méretű férfi sportcipőtálp sportszönyeggel legtöbbször érintkező felső részének területével. A sportcipő méretét Jurca és társai [21] kutatása alapján választottuk, akik 1200847 személy lábának 3D vizsgálatából megállapították, hogy az európai férfi láb átlagosan 270 mm hosszú, ami 42^{2/3}-os EU méretnek felel meg.

A lapot a szakítógéppel segítségével 200 mm/perc sebességgel húztuk a vizsgált minta felszínén, és rögzítettük a húzáshoz szükséges erőt a húzott test tömegének függvényében. A húzott test tömegét a rúdra helyezett tárcsák segítségével változtattuk, és a méréseket három különböző tömeg (1,1 kg; 3,1 kg és 8,9 kg) esetében végeztük el. A rögzített erőértékek, valamint a húzott test súlyának ismeretében meghatároztuk a minták tapadási súrlódási együtthatóját (1):

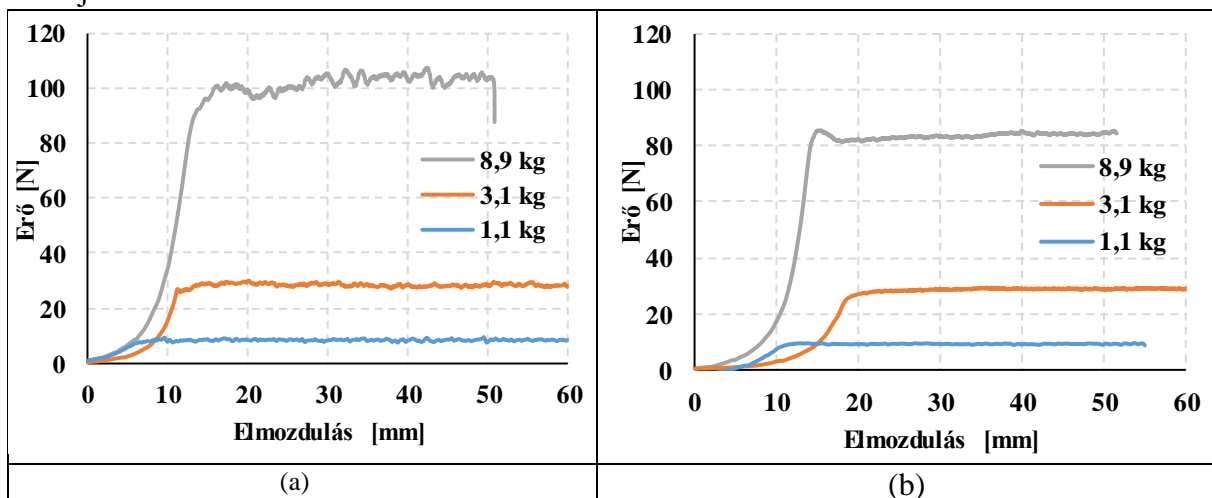
$$\mu = \frac{F}{G} \quad (1)$$

ahol F [N] a csúszás megindítása előtt rögzített maximális erő, G [N] a húzott test súlya, míg μ [-] a súrlódási együttható.

Mivel a gyakorlatban sokszor okoz problémát, hogy a sportolók izzadsága csúszósabb körülményeket okoz, így a nedves felületek vizsgálatával is foglalkoztunk. amelyet a minták felszínére permetezett fiziológiás sóoldat segítségével modelleztünk. Ezen vizsgálat az XPE_30 és az XPE_30 PVC mintákon végeztük el.

4. Eredmények

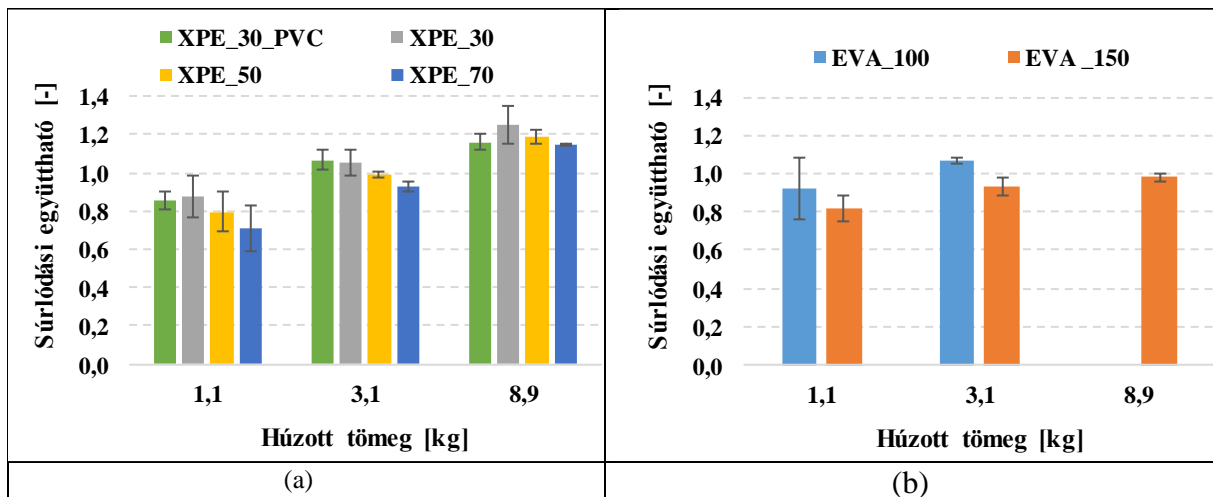
A mérések során a testet mindig állandó sebességgel húztuk mindaddig, amíg az mozgásnak nem indult. A vizsgálat kezdeti szakaszában az erő folyamatosan növekedése volt megfigyelhető, majd egy bizonyos értéket meghaladva a test csúszásnak indult, így a mért erőértékek állandóvá vált. A mérések során rögzített jellegzetes erő-elmozdulás görbéket a 4. ábra mutatja egy-egy gyengén térhálósított polietilén és etilén-vinil-acetát habminta esetében. A többi minta viselkedésének jellege megegyezett a bemutatott, azonos alapanyagból gyártott mintájával.



4. ábra – Különböző tömegű testek húzása során rögzített jellegzetes erő-elmozdulás görbék: XPE_70 (a) és EVA_150 (b) minták esetében

Jól látható, hogy a vizsgált hab típusától függetlenül a test tömegének növelése a mozgás megindításához szükséges erő növekedését eredményezte. Megállapítható továbbá, hogy az XPE minták esetében nincs különbség a tapadási és csúszási viszonyok között, tehát a statikus és kinetikus súrlódási együttható megegyezik. A 8,9 kg tömeg XPE habokon való húzása során a kapott görbe jellege eltér, hiszen a csúszási szakaszban lokális erőmaximumok figyelhetők meg. Ennek oka, hogy a húzott test súlya a test alatt található cellákat már nagymértékben összenyomta, ami a nagyméretű cellák révén akadozva csúszást eredményezett. Ezzel szemben az EVA mintánál a nagyobb húzott tömeg esetén a csúszás megindításánál egy globális erőmaximum figyelhető meg, majd a görbe további szakasza már egyenletes. Ennek oka, hogy ez a hab kisebb cellamérettel, és ezáltal finomabb felülettel rendelkezik az XPE habokhoz viszonyítva, így a tapadási súrlódás legyőzését követően már nem tapasztalható az akadozva csúszás jelensége.

Még fontosabb információkkal szolgál a súrlódási együttható változása a habsűrűség, valamint a húzott test tömegének függvényében (5. ábra).



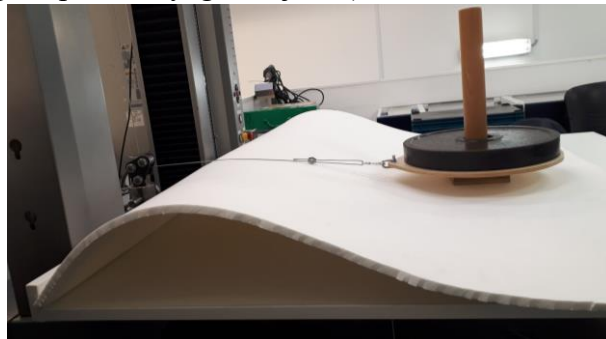
5. ábra – A vizsgált minták statikus súrlódási együtthatója a húzott test tömegének függvényében: gyengén térhálósított polietilén (a) és etilén-vini-acetát habok (b); EVA_100 8,9 kg terhelési tömeg esetén az ébredő tapadás mértéke meghaladja a habszerkezet merevségét

A habsűrűség hatásával kapcsolatban a hab típusától függetlenül megállapítható, hogy a sűrűség növekedésével csökken a mért súrlódási együttható. Ennek oka, hogy a nagyobb sűrűségű habok jellemzően több kisebb méretű cellát vagy vastagabb cellafalakat tartalmaznak, ami nagyobb szilárdságot eredményez. Ezáltal a minták kevésbé deformálódnak a ráhelyezett test súlya alatt, így a mozgás megindításához szükséges erő is kisebb lesz.

A húzott tömeg hatása szintén hasonló jelenséggel hozható összefüggésbe. A nagyobb tömeg a hab felszínére helyezve nagyobb statikus terhelést eredményez, és ezáltal a hab jobban deformálódik. A nagyobb benyomódás hatására a mozgás megindításához nagyobb erő szükséges, ami a statikus súrlódási együttható növekedésében mutatkozik meg.

Mivel az XPE_30 mintára helyezett PVC borítás a legkisebb és a legnagyobb tömeg esetében csökkentette, míg a középső terhelési szinten növelte a súrlódási együtthatót, a borítást hatására vonatkozóan nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni.

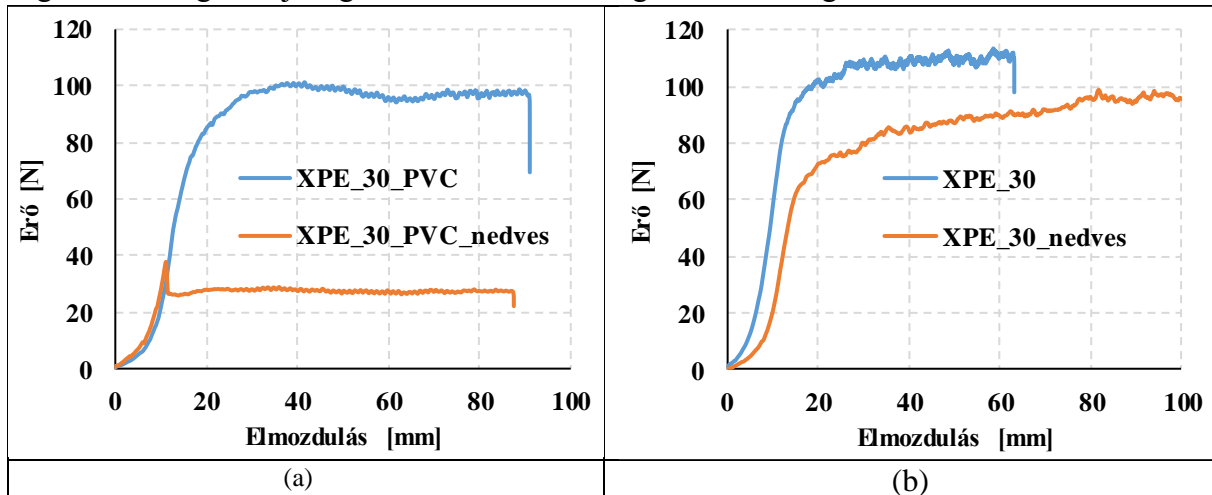
Ezzel szemben rendkívül hasznos információkkal szolgál az EVA_100 minta 8,9 kg-os terhelés szinten mutatott viselkedése, amely alapján nem sikerült a súrlódási együtthatót meghatározni. Ennek oka, hogy a tömeg növelése olyan szintű deformációt okozott a cellaszerkezetben, hogy az ébredő tapadási súrlódás meghaladta a hab meghajlításához szükséges erőt, így a vizsgált sportszönyeg behajlott (6. ábra).



6. ábra – EVA_100 minta meghajlása a túl nagy tapadás hatására

A bemutatott jelenség alapján feltételezzük, hogy bármely hab típus esetén a hab szilárdságának függvényében meghatározható egy terhelésre vonatkozó maximális limit, amely felett az ébredő tapadás mértéke meghaladja a habszerkezet merevségét.

Kutatómunkánk utolsó részében az izzadtság csúszási ellenálló képességre gyakorolt hatásával foglalkoztunk, amit a felületre permetezett fiziológias sóoldat segítségével modelleztünk. Ezen méréseket az XPE_30 és PVC borítással ellátott XPE_30_PVC mintákon végeztük. A rögzített jellegzetes erő-elmozdulás görbéket összegzi a 7. ábra.



7. ábra – Felület nedvesítésének hatása a sportszőnyeg csúszási ellenálló képességére: PVC takaróval fedett (a) és PVC borítás nélküli eset (b)

Látható, hogy a PVC borítással ellátott minta esetében a felületre permetezett nedvesség jelentősen csökkentette a húzáshoz szükséges erőt, amelynek eredményeképp a csúszási súrlódási együttható az eredeti 28 %-ára csökkent. Ebből kifolyólag a gyakorlatban a sportolók izzadása nagymértékben növeli a megcsúszásból fakadó sportsérülések kialakulásának valószínűségét.

Ezzel szemben a nedvesség hatása a PVC borítás nélküli minta esetében kevésbé egyértelmű. Habár mind a statikus, mind a kinetikus súrlódási tényező csökkent, látható hogy a test felületen történő mozgása során a húzáshoz szükséges erő fokozatosan növekedett és lassan megközelítette a száraz mintánál mért erőértékeket. Ennek elsődleges oka, hogy a habok felszínén a nedvességet a felületi árkok elvezetik, illetve a sérült cellák abszorbeálják.

5. Összefoglalás

Kutatásunkban sportszőnyegként funkcionáló gyengén térhálósított polietilén és etilénvinil-acetát habok felületének csúszási ellenálló képességét vizsgáltuk. Kísérleteink alapján rámutattunk a habsűrűség és a súrlódási együttható közötti kapcsolatra, valamint részletesen elemeztük a húzott test tömegének hatását. Eredményeinkből megállapítható, hogy a húzott tömeg növelése a polimer hab cellaszerkezetének nagyobb mértékű deformálódását, és ezáltal a súrlódási együttható növekedését eredményezi. További fontos következtetés, hogy a sportolók izzadtsága a sportszőnyegek csúszási ellenálló képességét szignifikánsan csökkenti, ami megnöveli a csúszásból származó boka- és térsérülések kialakulásának valószínűségét. Mivel a sportszőnyegek felületének csúszás ellenálló képessége egy rendkívül fontos, azonban kevésbé kutatott tulajdonság, így eredményeink hasznos információval szolgálhatnak a sportszergyártóiparban tevékenykedő mérnökök, valamint a szőnyegetek napi szinten használó sportolók és sportszakemberek számára.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal- NKFIH K-132462 számú pályázatának, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és a Nemzetközi Birkózó Szövetség (United World Wrestling) támogatásával készült.

A szerzők köszönik a vizsgálatokhoz használt habminták biztosítását a Polifoam Kft.-nek és az UFM Bt.-nek.

7. Források

- [1] Jenkins M.: *Materials in Sports Equipment*. Woodhead Publishing, Cambridge (2003).
- [2] Mills N.: *Polymer Foams Handbook: Engineering and Biomechanics Applications and Design Guide*. Elsevier Science, Oxford (2007).
- [3] Colonna M., Moncalero M., Nicotra M., Pezzoli A., Fabbri E., Bortolan L., Pellegrini B., Schena F.: Thermal Behaviour of Ski-boot Liners: Effect of Materials on Thermal Comfort in Real and Simulated Skiing Conditions. *Procedia Engineering*, 72, 386-391 (2014).
- [4] Signetti S., Nicotra M., Colonna M., Pugno N. M.: Modeling and simulation of the impact behavior of soft polymeric-foam-based back protectors for winter sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22, S65-S70 (2019).
- [5] Nasim M., Brasca M., Khosroshahi S., Galvanetto U.: Understanding the impact properties of polymeric sandwich structures used for motorcyclists' back protectors. *Polymer Testing*, 61, 249-257 (2017).
- [6] Di Landro L., Sala G., Olivieri D.: Deformation mechanisms and energy absorption of polystyrene foams for protective helmets. *Polymer Testing*, 21, 217-228 (2002).
- [7] Mosleh Y., Vander Sloten J., Depreitere B., Ivens J.: Novel Composite Foam Concept for Head Protection in Oblique Impacts *Advanced Engineering Materials*, 19, 1700059 (2017).
- [8] Mills N., Lyn G.: Design and performance of Judo mats. in 'The Engineering of Sport' (eds.: M. Hubbard, R. D. Mehta and J. M. Pallis) ISEA, Sheffield, Vol 5, 495-502 (2004).
- [9] Newton R., Doan B., Meese M., Conroy B., Black K., Sebastianelli W., Kramer W.: Interaction of wrestling shoe and competition surface: Effects on coefficient of friction with implications for injury. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports*, 1, 157-66 (2002).
- [10] Hewett T. E., Pasque C., Heyl R., Wroble R.: Wrestling injuries. *Med Sport Sci*, 48, 152-178 (2005).
- [11] Inteszt Méréstechnika Kft.: Súrlódási és Csúszási ellenállást mérő készülék (<https://www.inteszt.hu/adatlap/epitoipari-vizsgalat/betonvizsgalok/megszilardult-beton-vizsgalok/surlodesi-es-csuszasi-ellenallast-mero-keszulek-srt-inga-a113>).
- [12] Gálos M., Terjék A.: Megcsúszással szembeni ellenállás értékelése súrlódási tényezővel. *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika*, 291-296 (2011).
- [13] <https://www.instron.com.br/pt-br/testing-solutions/by-test-type/peel-tear--friction/astm-d1894> (2021.03.23.).
- [14] Bowers K. D. J., Martin R. B.: Cleat-surface friction on new and old AstroTurf. *Med Sci Sports*, 7, 132-5 (1975).
- [15] Keene J. S., Narechania R. G., Sachtjen K. M., Clancy W. G.: Tartan Turf on trial. A comparison of intercollegiate football injuries occurring on natural grass and Tartan Turf. *Am J Sports Med*, 8, 43-7 (1980).
- [16] Torg J. S., Stilwell G., Rogers K.: The effect of ambient temperature on the shoe-surface interface release coefficient. *Am J Sports Med*, 24, 79-82 (1996).
- [17] BS EN 12503 - Sports mats (<https://doi.org/10.3403/BSEN12503>).
- [18] I.J.F. Tatami Regulation (<https://www.ijf.org/ijf/documents/3>)

- [19] Chu L., Cui X., Zhang K., Fwa T. F., Han S.: Directional Skid Resistance Characteristics of Road Pavement: Implications for Friction Measurements by British Pendulum Tester and Dynamic Friction Tester. *Transportation Research Record*, 2673, 793-803 (2019).
- [20] Liu Y., Fwa T. F., Choo Y. S.: Finite-Element Modeling of Skid Resistance Test. *Journal of Transportation Engineering*, 129, 316-321 (2003).
- [21] Jurca A., Žabkar J., Džeroski S.: Analysis of 1.2 million foot scans from North America, Europe and Asia. *Scientific Reports*, 9, 19155 (2019).