

EPS VAGY XPS? IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Voith Katalin

tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: katalin.voith@uni-miskolc.hu

Petrik Máté

tanársegéd, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: vegypet@uni-miskolc.hu

Spisák Bernadett

PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: spisak@uni-miskolc.hu

Szamosi Zoltán

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szamosi@uni-miskolc.hu

Szepesi Gábor

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szepesi@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A jelenlegi gazdasági életünk egyik legfontosabb kulcsszava a körkörös gazdaság. Ez annyit jelent, hogy az élet minden területén törekedni kell arra, hogy egy termék minél később váljon hulladékká. Végtermék helyett törekedni kell arra, hogy az adott termék másodlagos terméké válhasson. A termékek élettartamának a meghosszabbítása a cél, az, hogy egy eddig végtermékként, hulladékként kezelt anyag újabb esélyt kaphasson azzal, hogy az eddigi élelciklusa végén további feldolgozásra kerül. Ennek jegyében kezdtük el a kísérleteket olyan megerősített EPS anyag előállítására, ami fizikai és hőtani tulajdonságaiban fel tudja venni a piaci versenyt az XPS termékekkel, amik előállítási fajlagos költsége jóval magasabb az EPS-nél. A megerősítéshez pedig olyan anyagokat választunk, amik jelenlegi élelciklusuk szempontjából végtermékeknek, azaz hulladéknak minősülnek, mint például a műanyag szívószál. Ehhez a kutatómunkához alapvető, hogy feltérképezzük az alapanyagokat, azaz az EPS-t és az XPS-t. A cikk a szakirodalomban talált releváns információkat gyűjti össze a kétféle anyag tulajdonságait és a hozzájuk kapcsolódó szimulációs vizsgálatokat illetően.

Kulcsszavak: körkörös gazdaság, EPS, XPS, FEM szimuláció

Abstract

One of the most important keywords in our current economic life is the circular economy. This means that on all platform of life we need to intend making a product become a waste as late as possible. Instead of an end product, the goal is to return it to the economy as a basic of a new product. The aim

is to extend the lifetime of a products. Instead of generating waste, a new chance has to be given by reusing it at the end of its lifetime. Based on this thought our research work was begun with the goal of producing reinforced EPS material, which has the physical and thermal properties at least as good as the XPS that is much more expensive to produce. For reinforcement, materials have been chosen that, in terms of its current life cycle, is considered an end product, i.e. waste. The first choice are plastic straws and cutleries that will be redraw from the market. It is essential for this research work to map the raw materials, i.e. EPS and XPS. The article collects the properties of the EPS and XPS and the related simulation methods that can be found in the literature.

Keywords: EPS, XPS, Simulation, Circular economy

1. Bevezetés

Az EPS (expandált) és az XPS (extrudált) egyaránt zárt cellás merev szigetelés, amely ugyanabból az alapanyagból, polisztirol gyantából készül. Azonos kémiai összetételű polisztirol habok, de a gyártásmódjuk eltérő.

Az EPS, expandált polisztirol hab, hőre lágyuló, cellás (sejtes) szerkezetű polisztirol keményhab hőszigetelő-anyag. Kis testsűrűségű - 10 - 30 kg/m³, könnyen kezelhető anyag.

Az XPS, extrudált polisztirol hab, extrudáló-habosító eljárással készült kemény, zártcellás anyag-szerkezetű polisztirolhab. Az EPS-el ellentétben tömböt nem lehet gyártani XPS extrudált polisztirol keményhabból, csak táblát. Testsűrűsége 25 - 50 kg/m³, ami miatt a műszaki jellemzői lényegesen jobbak, mint az expandált PS haboké, viszont éppen ezért az árak is jóval magasabb.

A cikk azt kívánja megalapozni, hogy kutatásainkat érdemes-e olyan irányba terelni, amely során az EPS-t a körkörös gazdaság jegyében olyan – főleg szilárdsági – tulajdonságokkal lássuk el, ami eléri az XPS habokét. Ehhez első lépésben feltérképezzük a szakirodalomban található információkat, az EPS és XPS anyagokat és alkalmazásaikat illetően, valamint a hozzájuk kapcsolódó szimulációs vizsgálatokról, vizsgálati módszerekről kívánunk egy összefoglalást készíteni.

Az Európai Unió 2019-ben elfogadta azt az indítványt, ami az egyszer használatos műanyagok piacról történő kivonására vonatkoznak. A termékek között vannak a műanyag evőeszközök és szívószálak is – amit az EPS megerősítésére fel kívánunk használni kutatásunk során. Európában évente mintegy 25 millió tonna műanyag hulladék keletkezik, aminek csupán a 30%-a kerül újra feldolgozásra. A tengerparti hulladék 85%-t teszi ki a műanyag hulladék. Ezért született az a rendelet, aminek értelmében tilos lesz forgalomba hozni olyan egyszer használatos műanyag termékeket, amelyeket ki lehet váltani más, könnyen beszerezhető és megfizethető termékekkel. [1]

A fókuszba helyezett anyagok leggyakoribb felhasználási területe az építőipar, ezen belül a hőszigetelés egyik legelterjedtebben használt alapanyagai. Az Európai Unió 2018/844 irányelvének megfelelően a tagállamoknak törekedniük kell az energiaellátás dekarbonizálása és a végső energiafogyasztás csökkentése közötti költséghatékony egyensúly megtalálására. Cél, hogy az új építésű épületeknél is, de a felújítások során a nulla energiaigényű épületek elérése legyen az egyik fő szempont. [2][3]

2. Expandált és extrudált polisztirol mechanikai tulajdonságai

Napjaink építőipara számára az egyik legfontosabb feladat, hogy olyan épületeket hozzanak létre, amik környezetre gyakorolt negatív hatása minimális és ezzel egyidejűleg az energia hatékonysága pedig a lehető legjobb legyen. Ennek érdekében a hőszigetelés, azok anyagai és eljárastechnológiájuk előtérbe került. A leginkább hőszigeteléshez használt – természetesen egyéb anyag fajták mellett – anyagok az EPS, XPS valamint az ásványgyapot.

Ahogy azt a bevezetőben is említettük, mind az EPS, mind az XPS polisztirol hab, azonos kémiai összetétellel, viszont a nagy különbség közöttük az eljárás, amiként előállítják őket. Az EPS, angol nevén expanded polystyrene, expandált polisztirol hab, míg az XPS, angol nevén extruded polystyrene, azaz extrudálás útján előállított polisztirol hab.

2.1. EPS és megerősített EPS

Az EPS anyagok megbízható szigetelő anyagok és hosszú távon nyújtanak mind belső, mind külső védelmet az épület falai számára. Zárt cellás szerkezetének köszönhetően kiváló védelmet nyújt a nedvességgel szemben. A sűrűsége, szilárdsága és a vastagsága határozza meg hőállóságát és kompressziós terhelhetőségét. Használhatóak falak, plafonok, padlók és tetők szigetelésére is. Az 1. ábra fal szigetelésére mutat be egy gyakorlati példát.



1. ábra. EPS szigetelő lapok ház falán [4]

Az EPS szigetelő habok nyomószilárdságát vizsgálva megállapítható, hogy a hab sűrűsége befolyásolja annak mechanikai tulajdonságait. Mivel az EPS jól tömöríthető, ezért ideális a pórusos anyagában keletkező a horizontális és vertikális feszültség csökkentésére, miközben az oldalirányú elmozdulás szinte elhanyagolható nagyságú. A nyomószilárdság nagymértékben függ az anyag sűrűségétől, az anyagváltozás vagy deformáció mértékétől és az alkalmazott nyomóerő nagyságától. Amikor a feszültséget fokozatosan növeljük, több EPS buborék tűnik el és ezzel egy alacsonyabb nyomószilárdság figyelhető meg. Az EPS sűrűségének növekedése a nyomószilárdság növekedését eredményezi. A rugalmassági modulus (Young modulus) értékének növekedése figyelhető meg nagyobb sűrűségű EPS-nél és a nyomófeszültség növekedésekor. Tehát elmondható, hogy az alakváltozási sebesség növekedésekor mind a rugalmassági mutató, mind a nyomófeszültség növekszik. A rugalmassági mutatóra nagyobb hatással van az alakváltozási sebesség sűrűbb szerkezetű EPS esetén, míg a teljes minta szilárdsága a rugalmas alakváltozás helyén érzékenyebb az alakváltozás sebességére kisebb sűrűségű EPS-ek esetében, ami a buborékok sérülésével van összefüggésben. Az 1. táblázatban négy különböző sűrűségű EPS anyag tulajdonságai láthatóak. [5]

1. táblázat. EPS anyagtulajdonságok

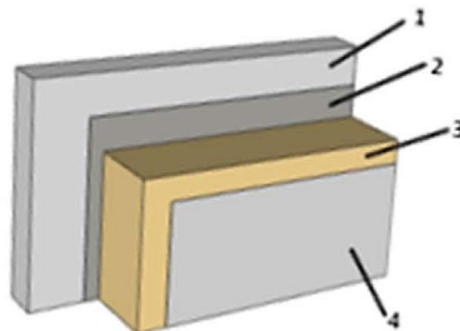
Jellemzők	EPS70	EPS100	EPS150	EPS200
Sűrűség, kg/m ³	13,5	18,0	23,0	28,0
Kiindulási rugalmassági mutató, MPa	2,5	4,0	5,0	7,5
Nyomószilárdság 10%-os tengelyirányú terhelés esetén, [kPa]	70	110	135	200

Az Európai Unióban az összes energiafogyasztás mintegy 40%-t az épületek energiafogyasztása teszi ki, ezen felül még a kibocsátott CO₂ 35%-a is a korszerűtlen épületeinknek köszönhető. A lapos tetők, mint az épület rétegződésének egyik eleme, nagy szerepet játszik a hővesztésben – természetesen az épület szerkezetének, magasságának függvényében. A lapos tetők szigetelésében az EPS lapok kiváló hőszigetelést biztosítanak, lecsökkentik a hővesztéséget. Az EPS-t nem csak lapokban lehet e célból a tető szerkezetében alkalmazni, hanem az EPS granulátumot a cementhez keverve, könnyű szerkezetű beton (2. ábra) is kiválóan ellátja ezt a hőszigetelési feladatot. [6]



2. ábra. EPS granulátumú cement korong [6]

Az épületek szigetelésével kapcsolatban nemcsak a hőszigetelési előírásokat és igényeket kell figyelembe venni, hanem a hangszigetelését is. Az EU előírások arra ösztönzik a tagállamokat, hogy odafigyeljenek a hangszigetelésre is, hiszen a környezeti zajártalom globális probléma. Ha az EPS-t megfelelő vastagságú vakolattal kombináljuk jelentős eredményeket lehet elérni. [7] Ilyen kombinált szerkezetet mutat be a 3. ábra.



3. ábra. Alapfalra felvitt EPS vakolattal
1: alapfal, 2: ragasztóanyag, 3: EPS, 4: vakolat [7]

Ha az alapfalra felrakott EPS-re felvisznek egy 5 mm vastagságú vakolat réteget, akkor azzal jelentős – 8-16 dB – hangszigetelési érték növekedést lehet elérni a 630 Hz feletti frekvencia tartományban. Ha tovább növeljük a vakolat rétegvastagságát még 5 mm-rel – tehát a vakolat réteg így 10 mm - az EPS hangszigetelő képessége megnő 5 dB-re a 630-1000 Hz-es frekvencia tartományban.

Az EPS-nek az építőiparhoz kapcsolódó, de kicsit másféle felhasználásáról számol be egy tanulmány az olaszországi útépítésekhez köthetően. Az expandált polisztirol egy hőre lágyuló anyag, amit előre feldúsított polisztirol gyöngyökből készítenek, így a kimagaslóan könnyű tömege ellenére is nagy a szilárdsága és hőszigetelő képessége. Ezeknek a tulajdonságainak köszönhető, hogy a természetes anyagok alternatívája lehet olyan építészeti projektek során, amik egyébként nagy költségvetésűek vagy időigényesek lennének, vagy akár ki sem lehetne őket vitelezni. Olaszországban már húsz éve

sikeresen alkalmazzák az EPS-t a közúti infrastruktúra területén, konkrétan utak, hídsatlakozók, könnyű töltések és utántöltések megvalósításában, de mindenekelőtt a veszélyeztetett utak – földcsuszamlás, vibráció - megépítésénél és javításánál. [8]

2.2. XPS

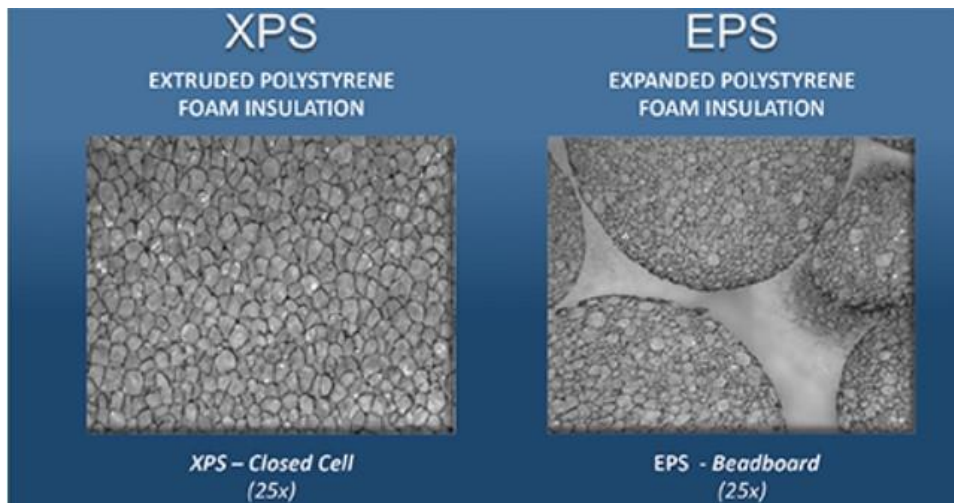
Az extrudált polisztirol hab, azaz az XPS gyártása szilárd polisztirol kristályokból kezdődik. Ezeket a kristályokat különböző adalék- és habosítóanyagokkal egy extrúderbe kerül. Ez a keverék az extrúderben ellenőrzött körülmények között magas hőmérsékleten és nagy nyomáson elnyeri végső, viszkózus folyékony műanyag állapotát. Ezt a sűrű, forró olvadékot egy folyamatos sajtolóba vezetjük. A sajtolóból kilépve habbá duzzad, elnyeri végső alakját, majd elhűlve méretre vághatóvá válik.

Az XPS cella szerkezete teljesen zárt, nincsenek benne üregek a sejtek között. Ez teszi az XPS-t ellenállóvá nyomással és nedvességgel szemben. a szerkezete homogén és nem törhető könnyen darabjaira. [9]

Az extrudált polisztirol hab jobb hőszigetelési tulajdonságokkal rendelkezik, mint az EPS, ezért az egyik közkedvelt alkalmazási területe a talaj szigetelése, ahol nemcsak a jobb hőszigetelési tulajdonsága miatt alkalmazzák inkább, mint az EPS, hanem azért is, mert a mechanikai tulajdonságai is jobbak, hisz ezek a felületek terhelés (lépés) állóak is kell legyenek.

2.3. EPS és XPS összehasonlítása

Az előző részekben külön-külön beszéltünk az EPS-ről és az XPS-ről. Ebben a részben összehasonlítjuk a két anyagot különböző szempontok alapján. Először is beszéltünk már a két anyag szerkezetéről: az EPS kis polisztirol gyöngyökből készül gőzöléssel egy öntőformában, ahol a gyöngyök megduzzadnak és összetapadnak, de közöttük rések találhatók, amik miatt a vizet könnyebben fel tudja szívni, mint az XPS, aminek teljesen zárt cellás szerkezete van. A szerkezeti különbséget a 4. ábra mutatja be. [10]



4. ábra. XPS és EPS szerkezete [10]

A 2. táblázatban összefoglaljuk az EPS és XPS néhány fizikai tulajdonságát. Az építőiparban elterjedt az R-érték fogalma, ami az egységnyi felület hő-ellenállását mutatja. [11][12]

2. táblázat. EPS és XPS fő fizikai tulajdonságai

Fizikai tulajdonság	EPS	XPS
Sűrűség, kg/m ³	34	50
Hővezető képesség, W/mK	0,035	0,030
Nedvesség felszívó képesség	5	1
R-érték (kb. 24°C-on), m ² K/W	4,1	5,0
Nyomásállóság, psi	10-25	15-100

Az XPS-nek vannak előnyei az EPS-sel szemben, mint a kisebb abszorpciós képesség és a jobb szilárdság, ez viszont a két anyag árában is megmutatkozik, hiszen az XPS termékek ára 50-80%-kal magasabbak, mint az EPS termékeké. [13]

3. Vizsgálati lehetőségek

Egy termék, anyag megfelelőségének ellenőrzésére a legelterjedtebb módszer a mérések alkalmazása, azonban napjainkban egyre jobban előtérbe helyeződik a végelemes szimulációk végzése, mivel ezzel az eljárással a modell validálását követően nincs szükség további mintadarabok elkészítésére, és eltérő terhelések mellett meghatározható az adott anyagból készült termék megfelelősége. Expandált polisztirol esetében a szimuláció során a legnagyobb kihívást az anyagmodell helyes megadása jelenti. Ennek egyik oka az, hogy a tulajdonságai függenek az alakváltozási sebességtől, illetve a polimer habok sűrűségétől, ezért az anyagmodell kialakítása nagymértékben függ a hab sűrűségétől és alkalmazási területtől. A megfelelő anyagmodell kiválasztását követően a paraméterek meghatározásához szükséges méréseket elvégezni.

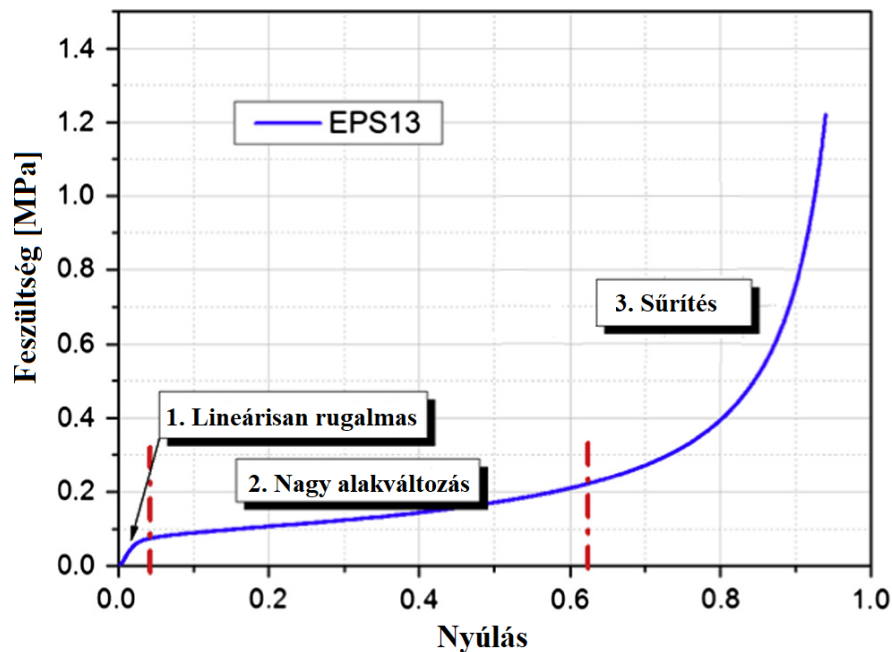
3.1. Szimulációhoz szükséges laboratóriumi mérés

Az 5. ábra egy EPS hab feszültség alakváltozás diagramját mutatja be. Az ábrából látható, hogy a görbe három részre bontható, a lineárisan rugalmas szakaszra, a nagy alakváltozási szakaszra, ahol a feszültség értéke közel konstans növekvő alakváltozás mellett és a sűrítés szakaszra, ahol kis alakváltozás mellett a feszültség gyors exponenciális növekedése figyelhető meg. Amikor egy habot összenyomunk, akkor a benne lévő golyócskák falai elkezdnek elhajolni, amely egy lineárisan rugalmas alakváltozáshoz vezet, egy kritikus alakváltozási értéket meghaladva ezek a golyócskák rugalmas kihajlás hatására összeomlanak minden egyes alkalommal, amikor ellentétes golyó falak összeérintkeznek. Ahogy a golyócskák összezáródnak a szerkezet elkezd besűrűsödni, ezáltal az anyag merevsége gyorsan növekszik. Ennek a görbének a meghatározására nyomóvizsgálat készítése szükséges.

Kvázistatikus vizsgálat esetében a mintadarab leggyakrabban alkalmazott kialakítása a hengeres próbatest [14], Bertholf és Karen [15] tanulmányában az elvégzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a laterális és az axiális inercia, illetve a súrlódás további kényszereket hozhatnak létre, amely többtengegyű feszültségi állapothoz vezethet, ezért a henger magassága és átmérője közötti optimális arányt 0.5-nek ajánlják. A hengeres kialakítás mellett még kocka, illetve téglatest alakú próbatesteket alkalmaznak [16][17].

A kvázistatikus nyomóvizsgálatokat általában több alacsony alakváltozási sebességen végzik el. A nyomóvizsgálatból származó feszültség-alakváltozás diagramból már meghatározható a rugalmassági modulus, illetve az összenyomott próbatestből megállapítható egy fontos, a későbbi szimulációs beállításoknál használt paraméter értéke, mégpedig a Poisson tényező. Az EPS habok összenyomásakor nem figyelhető meg laterális megnyúlás, amely alapján az ilyen EPS habok Poisson tényezője zérus,

az anyag térfogata nem állandó a vizsgálat során, vagyis a próbatest sűrűsége növekszik [16][18]. Kvázistatikus nyomóvizsgálat mellett még szakítóvizsgálatra, ütőpróbara, illetve dinamikus nyomó/húzó vizsgálatra lehet találni példát a szakirodalomban, azonban a végeleemes szimuláció validálásához elegendő a nyomóvizsgálat elvégzése.



5. ábra. EPS 13 Feszültség-nyúlás diagramja [14]

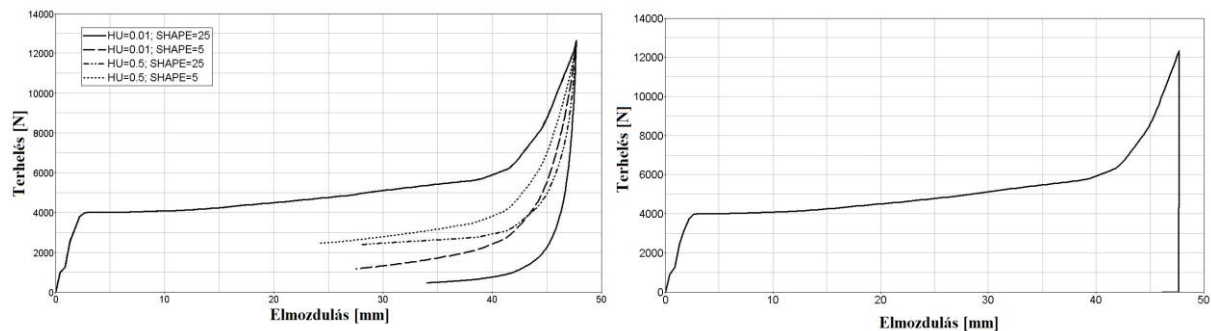
3.2. EPS végeleemes szimulációja

A szakirodalomban több példa is található PS habok végeleemes szimulációjára. A következőkben ezeknél a szimulációknál alkalmazott beállítások és eredmények kerülnek bemutatásra. Az egyik legkorábbi, ide sorolható szakcikk XPS habok 2D-s és 3D-s ütőpróba vizsgálatának szimulálásával foglalkozik [18]. A szerzők a szimulációkat ABAQUS Standard 6.2-es verziójában készítették el, ahol a kapott eredmények a kísérletek során kapott adatokat jól megközelítették.

Gerhard Slik és társai [19] már expandált polisztirol hab vizsgálatát végezték el. A kiválasztott anyag esetén az alakváltozási sebesség nem befolyásolta jelentősen az eredményeket, ezért a szimuláció során sem vették ezt figyelembe. A szimulációkat LS-DYNA szoftver segítségével készítették el, ebben a szoftverben számos hab anyagmodell alkalmazása lehetséges, ezek közül a szerzők egy nagy mértékben összenyomható, kis sűrűségű, rugalmas habra (Material Type 57) és egy kis mértékben rugalmas habra (Material Type 63) vonatkozó anyagmodellt, és kis csillapítási tényezőt alkalmaztak. A két anyagra vonatkozó terhelés elmozdulás diagramot a **6. ábra** szemlélteti ahol látható, hogy a két modell között a különbség a terhelés megszűnését követően az anyag rugalmasságában van. Az 57-es anyag esetén a terhelés megszűnésével az anyag visszanyeri az eredeti alakjának egy részét, míg a 63-as anyag esetén a terhelés megszűnésével a próbatest a deformálódott alakban marad.

Az anyagmodell kiválasztását követően háromféle szimulációt végeztek el, ütővizsgálatot, dinamikus fejet érő ütővizsgálatot, illetve dinamikus medencecsontot érő ütővizsgálatot. Az utóbbi kettő lényege az volt, hogy a deformáció ne egyirányú legyen. A feszültség alakváltozás diagramot az egysze-

rú ütővizsgálatból határozták meg, majd az anyag modell validálásához a további két vizsgálat kísérletét és szimulációját is elkészítették, amelyeknek közel azonos eredményeik voltak az első és a második vizsgálat esetében, azonban a fejet erő ütővizsgálat esetén további változtatásokra van szükség.



6. ábra. 57-es (bal) és 63-as (jobb) anyag terhelés-elmozdulás diagramja [19]

Ozturk és Anlas tanulmánya [20] is az EPS habbal foglalkozik, azonban az előzőktől eltérően ebben többszörös terhelési és tehermentesítési esetet vizsgáltak, mivel energia elnyelő komponensek esetében fontosabb annak a meghatározása, hogy egy adott elnyelt energia esetében pontosan meg tudjuk határozni a terhelés alatt a maximális elmozdulást, erőt és lassulást, mint a maradó deformációját, a feszültség nyúlás diagramját és az energia felszabadulását tehermentesítés során. Az általuk használt szoftverek az LS-DYNA és az ABAQUS. Az ABAQUS esetében a törhető hab anyagmodell alkalmazása térfogati felkeményedéssel jó megoldást adott, a kiválasztott alapanyag az EPS20 volt. Ez az anyagmodell a deviátoros feszültség és a hidrosztatikus feszültségmezőben egy elliptikus folyási felületet használ, amelyhez kettő paraméter szükséges: nyomó folyási arány (compression yield ratio), amely egytengelyű nyomás esetében a kezdeti folyáshatár és hidrosztatikus nyomásnál a kezdeti folyáshatár aránya. A második a hidrosztatikus folyáshatár arány, amely hidrosztatikus szakítóvizsgálatnál keletkező szakítószilárdság és hidrosztatikus nyomóvizsgálatnál keletkező kezdeti folyáshatár aránya. Emellett a felkeményedés számításához még szükséges a folyáshatár (σ_y) és az egytengelyű képlékeny alakváltozás (ϵ_{axial}^{pl}) meghatározása. Az ϵ_{axial}^{pl} meghatározható a nominális mérnöki alakváltozásból:

$$\epsilon_{axial}^{pl} = \ln(1 + \epsilon_{nom}) - \epsilon^{el} \quad (1)$$

Ahol ϵ_{nom} a névleges mérnöki nyúlás (nyomás esetében negatív), ϵ^{el} a rugalmas alakváltozás. Az ezzel a modellel elvégzett szimulációk az első ütés esetén az impakt/ütközési tényezőt (G) jól meghatározták, azonban több becsapódás esetében a szoftver magasabb értékeket számolt. Az LS-DYNA szoftverben végzett szimulációk során a már korábban kis sűrűségű hab anyagmodell (MAT57) alkalmazták, mivel ebben az esetben a tehermentesítés, az újratelhelés, elmozdulás görbe alakját és hiszterézisét szabályozni lehet két paraméter segítségével. Ebben az esetben egyszeres terhelésű vizsgálat névleges feszültség és alakváltozás adataira van szükség. Maga az alapmodell nem volt jól alkalmazható a többszörös terhelésnek kitétt komponensek vizsgálatára, viszont a MAT 57 anyag hiszterézis és alak tényező kalibrálásával a szimulációk pontosan előre jelezték az impakt tényező értékét a G kis és nagy növekedése esetében is. Így elmondható, hogy az LS-DYNA anyagmodellje esetében a szerzők által kialakított kalibrálási eljárás más habok esetében is alkalmazható.

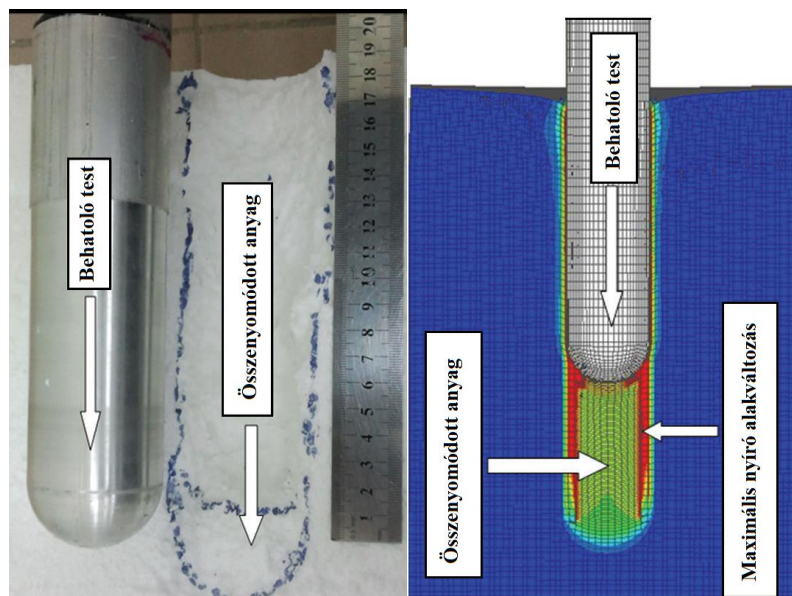
Ozturk és Anlas munkája alapján Shah és Topa [16] is ugyanezt az anyagmodellt alkalmazta a kvázisztatikus vizsgálati során az LS-DYNA szoftverben. Ehhez az öt szükséges paraméter az anyag

sűrűsége, rugalmassági modulus, Poisson tényező, feszültség nyúlás görbe, szakítófeszültség és csillapítási tényező. Emellett még ütővizsgálatokat is végeztek, amely esetében az előző anyagmodell nem volt jól alkalmazható, mivel a nyomóerő a hab csak egy kis részét éri, így a nyomó erő mellett nyíróerő is keletkezik, ezért a modellhez további kiegészítéseket adtak:

- Anyag tönkremenetele (MAT_ADD_EROSION parancs módosításával) annak érdekében, hogy a hab rideg tönkremenetele szimulálható legyen.
- Az anyagmodell továbbfejlesztése a negatív térfogati hiba elkerülése érdekében (a feszültség nyúlás görbe meghosszabbítása exponenciálisan)
- Belső kontakt alkalmazása

A szimuláció során kapott eredmények jól fedik a méréseket, ezért az elkészített modell-fejlesztések alkalmasak kombinált terhelések esetén kialakuló feszültségek és alakváltozások pontos meghatározására. Az általuk kapott eredményeket mutatja be a 7. ábra.

Krunaeva és társai [17] az EPS hab dinamikus nyomószilárdságának a meghatározásával foglalkoztak, amelyhez Shah és Topa által továbbfejlesztett anyagmodellt alkalmazták. A szimulációkat LS-DYNA szoftver segítségével végezték el, ahol az alakváltozási sebesség variálása mellett a sűrűséget és a hőmérsékleteket is változtatták. Az eredmények azt mutatták, hogy a hőmérséklet befolyásolja az EPS szilárdságát, magas hőmérsékleten (50°C) csökkenést, alacsony hőmérsékleten (-20°C) pedig szilárdság növekedést figyeltek meg. Az anyagmodellhez alkalmazott paraméterek segítségével pontosan előre tudták jelezni az EPS hab terhelését és deformációját.



7. ábra. A hab tönkremenetelének folyamata mérés és szimuláció esetében [16]

4. Összefoglalás

A jelenlegi gazdasági életünk egyik legfontosabb kulcsszava a körkörös gazdaság, ami annyit jelent, hogy egy adott termék élettartama a lehető legtovább nyújtható legyen. Társadalmunk újra nem hasznosított hulladékának a legnagyobb részét műanyagok képezik. A műanyagok újra felhasználása nagy prioritást élvez napjainkban. Az általunk kutatott műanyag szemét újra felhasználási módja a PS habok

műanyag alapú szivószalakkal történő megerősítése. A cikkben bemutatjuk az EPS és XPS anyagokat. Ismertettük ezen anyagoknak az előállításit, szerkezeti felépítéseit, mechanikai tulajdonságait és felhasználási területüket. A két anyag kémiaileg ugyan az, de a különböző eljárással történő előállítás miatt szerkezetük és mechanikai tulajdonságaik eltérőek.

Az előzőekben bemutatásra kerültek a szakirodalomban fellelhető expandált polisztirol esetén alkalmazott mérési és szimulációs tanulmányok, amelyekből megállapítható, hogy ennek az anyagnak a helyes modellezése egy igen bonyolult feladat, amelynek egyik fő oka az anyag több szakaszból álló feszültség-alakváltozás görbéje. A szimulációk során a szerzők túlnyomó többségben az LS-DYNA szoftvert használták a beépített kedvező, habokra alkalmazható anyagmodellek miatt. Emellett néhány esetben az ABAQUS-t is alkalmazták, amelynek a beépített összetörhető hab anyagmodellje kvázistatikus esetben a mérésekkel közel azonos eredményeket produkált, viszont többszörös terhelés esetén a modell nem tudta teljes mértékben visszaadni a valós értékeket, míg az LS-DYNA szoftverben található anyagmodell paramétereinek korrigálásával az ilyen típusú terhelések is szimulálhatóak voltak.

Irodalom

- [1] Single-use plastics: New EU rules to reduce marine litter
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_19_2631
- [2] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 2010/31/EU IRÁNYELVE, (2010. május 19.) az épületek energiahatékonyságáról (átdolgozás), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
- [3] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2018/844 IRÁNYELVE, (2018. május 30.) az épületek energiahatékonyságáról szóló 2010/31/EU irányelv és az energiahatékonyságról szóló 2012/27/EU irányelv módosításáról; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- [4] <https://ewistore.co.uk/working-with-expanded-polystyrene-eps-insulation> (Letöltés: 2020. 05.28.)
- [5] Khalaj, O., Siabil, S.M.A.G., Tafreshi, S.N.M., Kepka, M., Kavalir, T., Krizek, M., Jenicek, S.: The experimental investigation of behaviour of expanded polystyrene (EPS); *Materials Science and Engineering* 723 (2020) 012014 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/723/1/012014>
- [6] Gomes, R., Silvestre, J.D., de Brito, J.: Environmental life cycle assessment of the manufacture of EPS granulates, lightweight concrete with EPS and high-density EPS boards; *Journal of Building Engineering* 28 (2020); <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101031>
- [7] Miskinis, K., Dikavicius, V., Buska, A., Banionis, K.: Influence of EPS, mineral wool and plaster layers on sound and thermal insulation of a wall: a case study; *Applied Acoustics* 137 (2018) 62-68; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust-2018-03.001>
- [8] Giuliani, F., Autelitano, F., Garilli, E., Montepara, A.: Expanded polystyrene (EPS) in road construction: Twenty years of Italian experiences; *Transportation research Procedia* 45 (2020) 410-417 <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.033>
- [9] Lassen, C., Warming, M., Kjolholt, J., Jakobsen, L.G., Vrubliauskiene, N., Novichkov, B.: Survey of Polystyrene foam (EPS and XPS) in the Baltic Sea; Final report – Danish Fisheries Agency; February 2019
- [10] Woestman, J.: Selecting polystyrene foam where moisture exposure occurs; <https://www.constructionspecifier.com/selecting-polystyrene-foam-where-moisture-exposure-occurs/> (Letöltés: 2020. 05.28.)

- [11] Makai, A., Kiss, J., Mucsi, G.: The possibilities of Polystyrene waste recycling;
<https://doi.org/10.26649/musci.2016.008>
- [12] https://www.buildings.com/Portals/0/B_0609_SB_ENVELOPE_lg.jpg (Letöltés: 2020. 05.28.)
- [13] <https://akcios-hoszigeles.hu> (Letöltés: 2020. 05.28.)
- [14] Wensu, C., Hao, H., Hughe,s D., Shi, Y., Cui, J., Li, Z.-X.: Static and dynamic mechanical properties of expanded polystyrene Materials and Design 69 (2015) 170–180
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.024>
- [15] Bertholf, L., Karnes, C.: Two-dimensional analysis of the split hopkinson pressure bar system. J Mech Phys Solids 1975;23(1):1–19. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(75\)90008-3](https://doi.org/10.1016/0022-5096(75)90008-3)
- [16] Shah ,Q. H., Topa, A.: Modeling Large Deformation and Failure of Expanded Polystyrene Crushable Foam Using LS-DYNA Hindawi Publishing Corporation Modelling and Simulation in Engineering Volume 2014 <https://doi.org/10.1155/2014/292647>
- [17] Krundaeva, A. et al.: Dynamic compressive strength and crushing properties of expanded polystyrene foam for different strain rates and different temperatures Polymer Testing August 2016 <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.08.005>
- [18] Masso-Moreu, Y., Mills, N.J.: Impact compression of polystyrene foam pyramids. Int J Impact Eng 2003;28(6):653–76. [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(02\)00148-3](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(02)00148-3)
- [19] Slik, G., Vogel, G., Chawda, V.: Material Model Validation of a High Efficient Energy Absorbing Foam. 5th LS-DYNA Forum, Ulm 2006
- [20] Ozturk, U. E., Anlas, G.: Finite element analysis of expanded polystyrene foam under multiple compressive loading and unloading. Materials and Design 32 (2011) 773–780.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.025>