

Lineárisan rugalmas anyagmodell pontosságának vizsgálata poliamid modellezésekor optikai mérőrendszer segítségével

Investigating the accuracy of the linear elastic material models when modelling PA6 using an optical measurement system

FILE Máté¹, HURI Dávid^{1,2}, Dr. MANKOVITS Tamás¹

1 Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4,
<https://mecheng.unideb.hu/>

2 Debreceni Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola, 4028 Debrecen, Kassai Út 26,
<https://infphd.unideb.hu/>

Abstract

For the modelling of polymers in the elastic region, many different material models are used. The simple linear elastic material model is one of these models however, it is only able to simulate the load response of these materials in the small-strain region. This work investigates the accuracy of the linear elastic material model when modelling polyamide (PA6) under quasi-static uniaxial tension. The finite element results were then compared to laboratory measurements, which were performed using the GOM Aramis full-field optical measurement system, thus the accuracy of the material model could be determined.

Keywords: finite element analysis, digital image correlation, material model fitting

Kivonat

Műanyagok rugalmas zónában történő modellezésére több különböző anyagmodell használata ismert. A lineárisan rugalmas anyagmodell is ezek közé tartozik, azonban csak egy bizonyos nyúlásértékig képes ezen anyagok terhelésre történő válaszát leírni. Jelen cikkben a lineárisan rugalmas anyagmodell pontosságát vizsgáltuk poliamid (PA6) kvázi-statisztikus egytengelyű húzásra történő modellezésekor. A végelelemes vizsgálatok eredményeit a GOM Aramis teljes-mező optikai mérőrendszer által nyújtott eredményekkel vetettük össze, így megállapítottuk a modell pontosságát.

Kulcsszavak: végelelemes szimuláció, digitális képkorreláció, anyagmodell illesztés

1. BEVEZETÉS

A Poliamid 6 (PA6) az ipar által széles körben használt alapanyag. Kompozitok mátrixaként, 3D nyomtatásban, és strukturális elemekként is helyt áll. A terméktervezés során egyre több iparágban kerül alkalmazásra a végelelemes szimuláció, így egyre feltűnőbbé válik a polimerek, például a PA6 modellezésének nehézsége. Ezen anyagok rugalmas zónában történő leírására több különböző anyagmodell ismert. A legegyszerűbb a lineárisan rugalmas anyagmodell alkalmazása, azonban ez csak kis nyúlásértékek esetén képes pontos eredményeket nyújtani [1,2]. A nagyobb, de még mindig rugalmas deformációk modellezésére a nemlineáris anyagmodellek használhatók. Ezen modellek létrehozásához feszültség-nyúlás görbékre van szükség, melyek előállítása időigényes és költséges folyamat [1,3–5]. A különböző modellezési eljárások oka a polimerek nemlineárisan rugalmas viselkedése [6,7]. Tovább nehezítik a modellezést a polimerek időfüggő tulajdonságai is, de ezek kvázi-statisztikus terhelések esetén, így strukturális elemekben sem játszanak jelentős szerepet, ezért jelen vizsgálat is úgy került felépítésre, hogy ezen tulajdonságok elhanyagolhatók legyenek [6,8].

A végelelemes szimulációk ellenőrzésére és az anyagparaméterek meghatározására széles körben kerülnek felhasználásra a teljes mezőn történő kiértékelési lehetőségük miatt a digitális képkorrelációs módszer alapján működő rendszerek [9–11]. A kamerák által kiértékelte képek közvetlenül összevethetők a végelelem modellekkel, így azok pontossága könnyen meghatározható [12,13]. Ezen cikkben tehát a

lineárisan rugalmas anyagmodell pontosságát ellenőriztük a digitális képkorrelációs módszer alapján működő GOM Aramis rendszer felhasználásával PA6 kvázi-statisztikus terhelésre történő modellezésekor.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Anyagparaméterek meghatározása

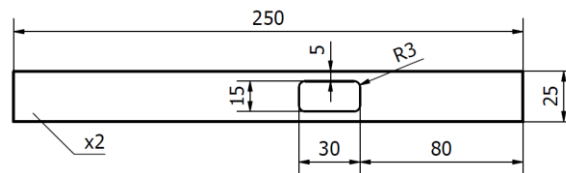
A PA6 anyagparamétereinek meghatározása az ISO 527-2 szabvány szerint történt [14]. A húzóvizsgálat során az INSTRON 68 TM-10 egytengelyű anyagvizsgáló gépet és az INSTRON AVE2 videoextenzométert használtuk fel. A mérést 5 db, egyazon 2 mm vastag lemezből kimunkált ISO 527-2 Type 1A geometriájú próbatesten végeztük el 50 mm/min sebességgel [14].



1. ábra. ISO 527-2 Type 1A próbatest

2.2. Pontosság ellenőrző vizsgálat

A pontosság ellenőrző vizsgálat elvégzéséhez egy speciális próbatest geometriát munkáltunk ki ugyanabból a 2 mm vastag poliamid lemezből. A próbatestet úgy állítottuk elő, hogy a 400 N húzó terhelés hatására a rugalmas zónában két különböző feszültségi állapot legyen megfigyelhető a méréshez felhasznált GOM Aramis Adjustable 12M optikai mérőrendszer által. A geometria a 2. ábrán látható.



2. ábra. A pontosság ellenőrzéshez felhasznált próbatest geometria

A vizsgálati módszert úgy állítottuk be, hogy a mérés elindításakor a GOM Aramis rendszer készít egy képet, majd az INSTRON 68TM-10 anyagvizsgáló géppel 400 N mértékű húzó terhelést alkalmazunk 50 mm/min sebességgel. A maximális terhelés elérésének pillanatában pedig a GOM Aramis rendszer újabb képet készít a próbatestről.

2.3. Végeselemes vizsgálat

A végeselemes szimulációk elvégzéséhez a Simcenter Femap végeselem szoftvert használtuk fel. A vizsgált lemezt síkbeli elemekkel közelítettük. A terhelést és a kényszereket úgy adtuk meg, hogy azok a lehető legjobban tükrözzék a laboratóriumi vizsgálat körülményeit. A lineárisan rugalmas anyagmodell is definiálásra került a mért értékek alapján, végül pedig egy hálókongvergencia analízist is elvégeztünk. A vizsgálat által meghatározott optimális végeselem háló adatai az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat Az optimális háló adatai

Elem típusa	membrán
Elem fokszáma, alakja	lineáris, négyszögelem
Elem mérete	0,25 mm
Elem vastagsága	2 mm
Elemek száma	52929 db

2.3. Összehasonlító vizsgálat

A numerikus szimulációt és az optikai mérőrendszert két különböző zónában kiértékelt átlagos nyúlásértékek összevetésén keresztül hasonlítottuk össze. Az első zónában kisebb nyúlásértékek, a második zónában pedig nagyobb, de még mindig a rugalmas zónába tartozó nyúlásértékek jelennek meg. A két zóna a próbatest felületén a 3. ábrán látható. Az összehasonlítás során az eltérések kiszámításának alapjául a mért értékeket választottuk ki.

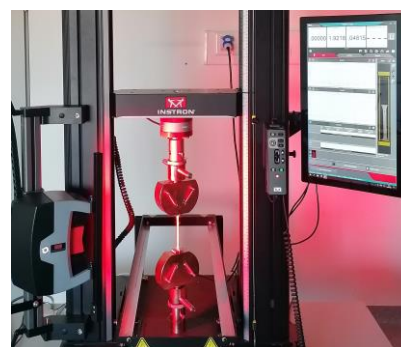
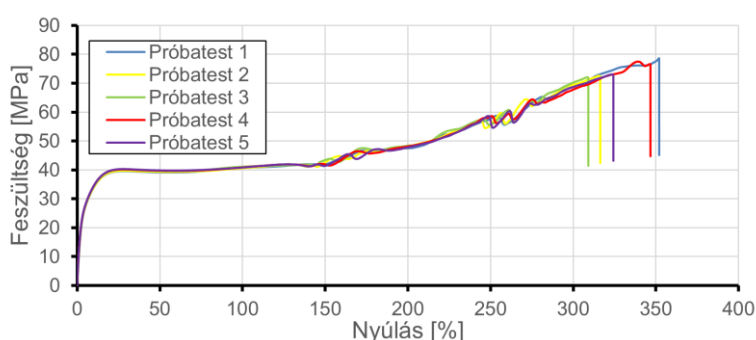


3. ábra. Az összehasonlításhoz felhasznált két zóna

3. EREDMÉNYEK

3.1. Szakítóvizsgálat eredményei

Az 5 db ISO 527-2 Type 1A próbatest feszültség-nyúlás görbéje a 4. ábrán látható.



4. ábra. Az 5 db feszültség nyúlás görbe és a mérési elrendezés az INSTRON 68TM-10 rendszerrel

A mérések során kiértékeltük a lineárisan rugalmas anyagmodell létrehozásához szükséges rugalmassági moduluszt (E) és Poisson-tényezőt (ν). A rugalmassági moduluszt a 0,2 és 0,45%-os nyúlásintervallumban értékeltük ki. Az öt próbatest értékei közül a mediánt választottuk ki és azzal számoltunk tovább. Az értékek a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat A lineárisan rugalmas anyagmodell létrehozásához kiértékelt anyagparaméterek

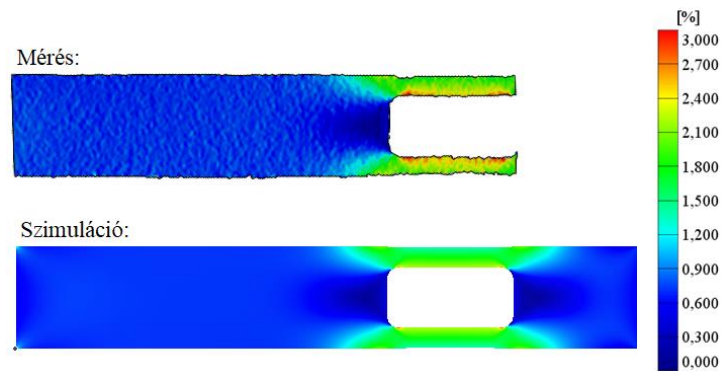
Rugalmassági modulus	1107 MPa
Poisson-tényező	0,45

3.2. Összehasonlító vizsgálat eredményei

A végeselemes szimuláció és az optikai mérés eredményeit a 2.3. pontnak megfelelően értékeltük ki, a két zónában kapott átlagos nyúlásértékek a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat A végeselem szimulációk eredményei a két zónában

Módszer	1. zóna	2. zóna
Mért átlagos nyúlás [%]	0,733	2,335
Számított átlagos nyúlás [%]	0,720	1,802
Eltérés [%]	1,774	22,827



5. ábra. A végeelem szimuláció és az optikai mérés nyúláseloszlásai azonos skála mellett

4. ÖSSZEGZÉS

A végeelemes szimulációk és a korszerű teljes mező optikai nyúlásmérő rendszer összehasonlításával a lineárisan rugalmas anyagmodell pontossága jól meghatározható. Az eredmények azt mutatják, hogy a lineárisan rugalmas anyagmodell az 1%-tól kisebb nyúlásértékeknél 1,774%-os relatív hibával képes a nyúlásértékeket visszaadni, azonban a magasabb nyúlásértékeket már nem képes megfelelő módon modellezni, ebben az esetben 22,827%-os relatív hibát nyújtott. Ezen anyagmodell alkalmas a polimerek kis nyúlási viselkedésének modellezésére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Tématerületi Kiválósági Program (TKP2020-NKA-04) támogatta, a Debreceni Egyetem (Járműipar) tématerületi programja keretében.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Bergström J. *Mechanics of Solid Polymers*. Amsterdam: Elsevier; 2015.
- [2] Starkova O, Aniskevich A. *Limits of linear viscoelastic behavior of polymers*. Mech Time-Dependent Mater. 2007 Nov 8;11(2):111–26.
- [3] Uchida M, Wakuda R, Kaneko Y. *Evaluation and modeling of mechanical behaviors of thermosetting polymer under monotonic and cyclic tensile tests*. Polymer (Guildf). 2019 Jun;174(March):130–42.
- [4] Nahar C, Sanariya S, Gurralla PK. *Numerical simulation of polymers at low and moderate strain rates*. Mater Today Proc. 2021;44:696–700.
- [5] Pálfalvi A, Mashimo K. *Non-linear finite element analysis of a polymer-made machine part*. Period Polytech Mech Eng. 2004;48(1):65–72.
- [6] Musteata AE, Pelin G, Botan M, Deleanu L. *TENSILE TESTS FOR POLYAMIDE 6 AND POLYPROPYLENE*. Mech Test Diagnosis. 2019 Jan 15;8(4):16–22.
- [7] Shinzawa H, Mizukado J. *Tensile deformation of polyamide (PA) 6 probed by rheo-optical near-infrared (NIR) spectroscopy*. Vib Spectrosc. 2018 Nov;99(July):151–5.
- [8] Selles N, Nguyen F, Morgeneyer TF, Proudhon H, Ludwig W, Laiarinandrasana L. *Comparison of voiding mechanisms in semi-crystalline polyamide 6 during tensile and creep tests*. Polym Test. 2016 Feb;49:137–46.
- [9] McCormick N, Lord J. *Digital Image Correlation*. Mater Today. 2010 Dec;13(12):52–4.
- [10] Jerabek M, Major Z, Lang RW. *Strain determination of polymeric materials using digital image correlation*. Polym Test. 2010 May;29(3):407–16.
- [11] Filho JCAD, Nunes LCS. *Experimental determination of deformation homogeneity and shear states using the digital image correlation method*. Polym Test. 2021 Apr;96:107114.
- [12] Rojíček J, Čermák M, Halama R, Paška Z, Vaško M. *Material model identification from set of experiments and validation by DIC*. Math Comput Simul. 2021 Nov;189:339–67.
- [13] Tzibula S, Lovinger Z, Rittel D. *Dynamic tension of ductile polymers: Experimentation and modelling*. Mech Mater. 2018 Aug;123(January):30–42.
- [14] ISO-527-2. *Plastics—determination of tensile properties—part 2: test conditions for moulding and extrusion plastics*. British Standards Institution. 1997.