

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság
Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania

**XXVII. Nemzetközi
Gépészeti Konferencia**



**27th International Conference
on Mechanical Engineering**

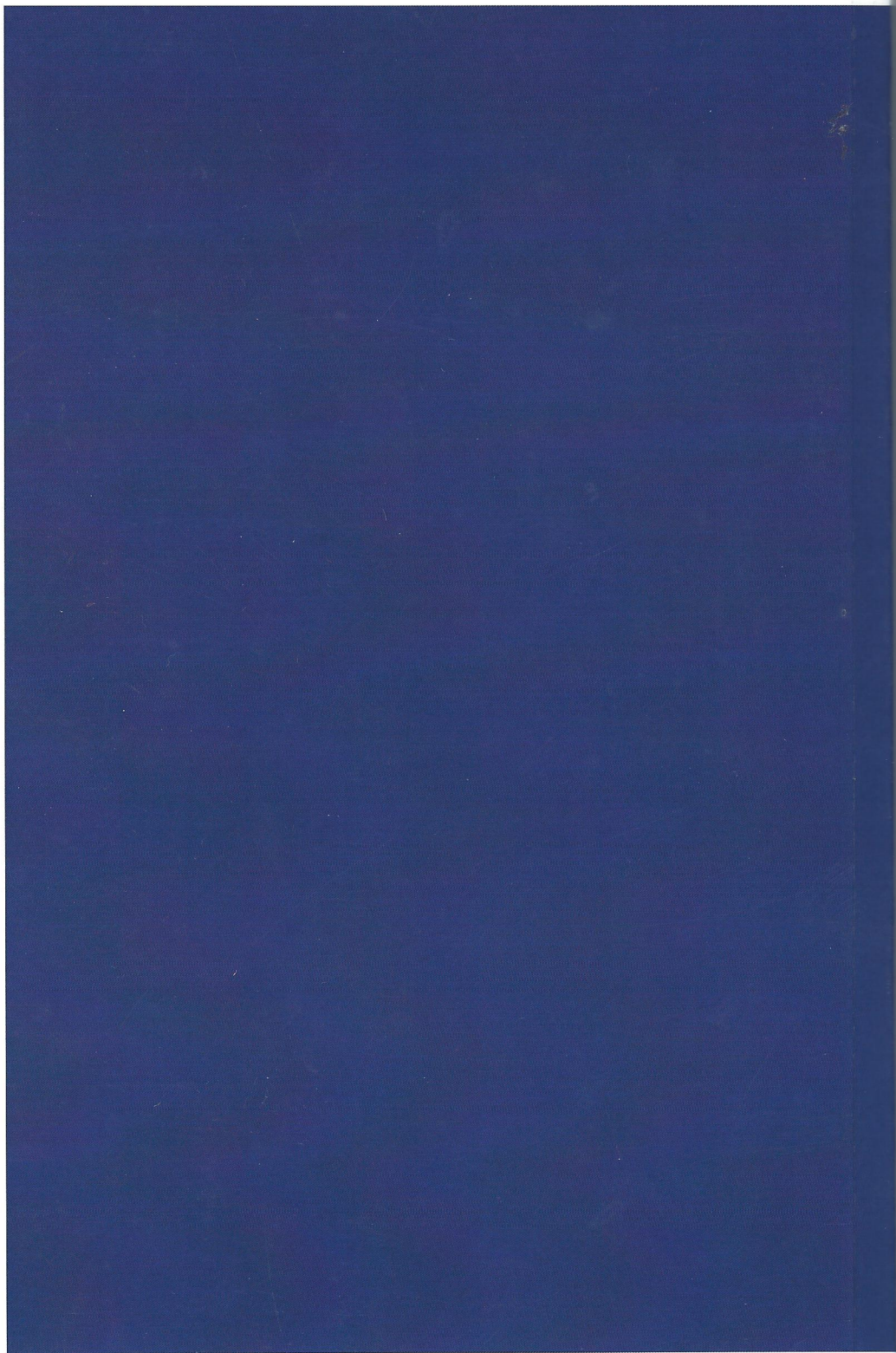
**OGÉÉT
2019**

**Nagyvárad, 2019. április 25–28.
Oradea, 25-28 April, 2019**

OGÉT 2019



ISSN 2068-1267



A konferencia szervezője

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság – EMT
Gépészeti Szakosztály

Organizer

Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania
Mechanical Engineering Department

Társszervezők / Co-organizers

MTA – Kolozsvári Akadémiai Bizottság
Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Közúti járművek, Mechatronika és Mechanika Kar
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest
Pannon Egyetem, Műszaki Kar, Veszprém
Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki Informatikai Kar, Kecskemét
Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar, Győr

A konferencia elnöke / Chairman

Dr. BARABÁS István professzor / professor

A konferencia tudományos bizottsága / Scientific committee

Dr. CSIBI Vencel-József akadémikus, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. BARABÁS István, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. ÁBRAHÁM György, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
VADÁSZNÉ Dr. BOGNÁR Gabriella, Miskolci Egyetem
Dr. DUDÁS Illés, Miskolci Egyetem
Dr. HORVÁTH Sándor, Óbudai Egyetem, Budapest
Dr. KAMONDI László, Miskolci Egyetem
Dr. LAKATOS István, Széchenyi István Egyetem, Győr
Dr. MÁTÉ Márton, Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
Dr. NAGY Vince, Széchenyi István Egyetem, Győr
Dr. PÁLFFY Károly, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. TIMÁR Imre, Pannon Egyetem, Veszprém

Kiadó / Publisher

Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság – EMT
Hungarian Technical Scientific Society of Transylvania

Szerkesztő / Editor

Dr. BARABÁS István professzor / professor

Lektorok / Reviewers

Dr. ÁBRAHÁM György, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Dr. BALÁZSI Csaba, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest
Dr. BARABÁS István, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. BERECSKY Ákos, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Dr. GÁSPÁR Ferenc, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. FODOR Dénes, Pannon Egyetem, Veszprém
Dr. FORGÓ Zoltán, Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
Dr. GYURIKA István Gábor, Pannon Egyetem, Veszprém
Dr. HORVÁTH Pál, Pannon Egyetem, Veszprém
Dr. ILLÉS Béla, Miskolci Egyetem
Dr. KAMONDI László, Miskolci Egyetem
Dr. KOCSIS Levente, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. KOVÁCS Ádám, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Dr. KULCSÁR Tamás, Alap Inspektor Kft., Veszprém
Dr. LAKATOS István, Széchenyi István Egyetem, Győr
Dr. MÁTÉ Márton, Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
Dr. NAGY András, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Dr. PÁCZELT István, Miskolci Egyetem
Dr. PÁLFFY Károly, Kolozsvári Műszaki Egyetem
Dr. PÁSZTOR Judit, Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
Dr. POÓS Tibor, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Dr. POPA-MÜLLER Izolda, Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
ÓVÁRINÉ Dr. BALAJTI Zsuzsanna, Miskolci Egyetem
Dr. SZABÓ Barna, Washington University in St. Louis
Dr. SZALAI István, Pannon Egyetem, Veszprém
Dr. SZAUTER Ferenc, Széchenyi István Egyetem, Győr
Dr. TIMÁR Imre, Pannon Egyetem, Veszprém
Dr. TOLVALY-ROSCA Ferenc, Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar
Dr. TÓTH-NÁGY Csaba, Széchenyi István Egyetem, Győr
Dr. TÖRÖK Ádám, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
VÁDÁSZNÉ Dr. BOGNÁR Gabriella, Miskolci Egyetem
Dr. VERDES Sándor, Pannon Egyetem, Veszprém
Dr. VINCZE-PAP Sándor, Jáfi-Autókut Kft., Budapest
Dr. ZÖLDY Máté, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Támogató / Financial Support

Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt. – Budapest / Budapest



Tartalomjegyzék – Content

Robotkarral bővített autonóm jármű logisztikai feladatokra Autonomous Vehicle with Robot Arm for Logistics Tasks ABAI Kristóf, NACSA János, KEMÉNY Zsolt.....	14
Változtatható inerciával rendelkező egyhengeres versenymotor lézer szinterezett forgattyús tengelyének tervezése és tömegoptimalizálása Design and Mass Optimization of a Laser Sintered Crankshaft for Single-Cylinder Racing Engines with Variable Inertia ALI Szabolcs, SASS Péter, HATOS István.....	18
Szerszámél geometriai vizsgálatához szükséges feltétel, a Monge-tégla bijektív tartományának határfelülete Condition Required for Research of Tooledge Geometry, the Border Surface of Bjective Part of the Monge-Cuboid ÁBEL József, BALAJTI Zsuzsanna.....	22
Korszerű műszaki kerámiák kutatása és ipari alkalmazásai: Si_3N_4 /grafén nanokompozitok Research on Advanced Tehnical Ceramics and their Industrial Application: Si_3N_4 //Graphene Nanocomposites BALÁZSI Katalin, FURKO Mónika, ZAGYVA Tamás, BALÁZSI Csaba.....	27
Elektreológiai elasztomerek rugalmassági tulajdonságainak vizsgálata Optical Study of Elastic Properties of Electrorheological Elastomers BALOGH Diána, SZALAI István.....	31
Poliax TC3 CNC megmunkáló központ modernizálása Modernisation of Poliax TC3 CNC Machining Center BAUER Márk Ottó.....	35
A különböző gépjármű hajtásláncok jövőbeli elterjedésének vizsgálata Examining the Future Penetration of Different Vehicle Drive Chains BERECZKY Ákos.....	39
Sűrített levegő hasznosításának lehetőségei járműhajtáshoz Possibilities of Using Compressed Air for Drivetrain BÉKÉSI Zsolt, JÁNOSI László, MENYHÁRT József.....	43
Fogaskerékpár rekonstrukciós fejlesztésének jelentősége Importance of the Gear Reconstruction Development BIHARI János, KAMONDI László.....	47
Egyenes csőben és csőidomban áramló nemnewtoni közeg kísérleti és numerikus áramlástan vizsgálat Experimental and Numerical Investigation of Loss Coefficient of Straight Pipe and Elbow in the Case of Non-Newtonian Fluid BÍBOK Máté, CSIZMADIA Péter.....	51
Pneumatikusan gerjesztett elasztomerek feszültségoptikai vizsgálata Photostress Analysis of Pneumatically Excited Elastomers BOJTOS Attila, ANTAL Ákos, SZABÓ Tibor, PIZÁG Bertalan.....	55
Fröccsprégelő technológia vizsgálata Investigation of Injection Compression Molding BOROS Róbert, KOVÁCS József Gábor.....	59
Turbófeltöltő tribológiai rendszerét vizsgáló komponens-teszt-pad mérő- és vezérlőrendszerének fejlesztése Development of Measuring and Control System of a Component Testbench for Testing the Turbocharger's Tribological System BURKALI Dávid, SASS Péter.....	63
Használati melegvíz bojler dinamikus energetikai tulajdonságainak vizsgálata Investigation of Energetic Properties of Domestic Hot Water Tank with Immersed Heat-exchanger CSAPÓ Dániel.....	67
Ultra-alacsony viszkozitású kenőolajok tribológiai tulajdonságainak vizsgálata Investigation of the Tribological Performance of Several Ultra-Low-Viscosity Lubricants CSEPREGHY Dóra Olimpia, TÓTH Álmos Dávid, Jan KNAUP.....	71
Közetalkotók hatása a megmunkált természetes kövek felületi minőségére Effects of the Stone Minerals on the Surface Quality of the Processed Natural Stones CSERTA Eszter, GYURIKA István Gábor.....	75

Hierarchikus rúd modellekkel végzett számítások néhány eredménye Examples of Numerical Solution of Hierarhic Rod Models PÁCZELT István, SZABÓ Barna.....	416
Hogyan segíthetik a biomechanikai mérések a sportruhák tervezését? How Could the Biomechanical Measurements be Applied in Sportswear Design? PÁLYA Zsófia, KISS Rita M.	420
Erőgép hárompont-függesztő berendezésének szerepe a vontatásban The Three-point Linkage of Power Machine Role in Towing PÁSZTOR Judit, POPA-MÜLLER Izolda.....	424
Szénszál erősítésű polimer (CFRP) kompozit anyagok speciális fúró szerszámainak áttekintése A Short Review on Different Types of Advanced Cutting Tools for Drilling Carbon Fibre-Reinforced Polymer (CFRP) Composites PERESZLAI Csongor, GEIER Norbert.....	428
Fúziós gerincműtét végelelemes vizsgálata Finite Element Modelling of Spinal Fusion Surgery POKORNI Ágoston, KISS Rita.....	432
Autonóm jármű funkciók tesztelésére alkalmas energiahatékony elektromos jármű formaterve és kialakítása Design and Construction of an Autonomous Energy Efficient Electric Vehicle PUP Dániel, SZÉKELY János Ádám, CSÉPLŐ Norbert.....	436
Bistabil elektromágneses tengelykapcsoló alkalmazása energiahatékony elektromos hajtásláncban Application of a Bi-Stable Electromagnetic Clutch in an Energy-Efficient Electric Drivetrain PUSZTAI Zoltán, KÖRÖS Péter, PUP Dániel.....	440
Turbófeltöltő tribológiai rendszerének vizsgálata rezgésdiagnosztika segítségével Investigation of Turbocharger's Tribological System Via Vibration Diagnostics RÁCZ Balázs, SASS Péter.....	444
Anatómiai pontok kijelölési precizitásának mérése Measuring Calibration Precision of Anatomical Landmarks RÁCZ Kristóf, NAGYMÁTÉ Gergely, KOVÁCS Tamás, BODZAY Tamás, KISS Rita M.	448
Irodaszoba energia felhasználásának vizsgálata Energy Consumption Test of an Office Room ROZSNYAI Gábor, PINTÉR Judit Mária.....	452
Golyósorsós kompakt modul lézeres mérése Measurement of a Compact Module with a Laser Unit RÓNAI László, SZABÓ Tamás, LÉNÁRT József, SZÉKELY Orsolya, KAKUK József.....	456
LED közvilágítási lámpatestek optikai hatásfokának javítása másodlagos diffúz fény-visszavezetéssel Improving the Optical Efficiency of Led Based Public Lighting Luminaires with Secondary Diffuse Light-Recycling SAMU Krisztián, ZSELLÉR Viktor.....	460
Várható kipufogógáz emissziós környezetvédelmi előírások által keltett, a turbófeltöltőre vonatkoztatott többletterhelést befolyásoló tényezők karakterizálása Characterization of Influence Factors of the Excess Loads of the Turbocharger's Tribological System Caused by Expected Environmental Emissions Specifications SASS Péter.....	464
Szárítási modellek vizsgálata infrasugaras paradicsomszárítás esetén Examination of Infrared Tomato Drying Models SEBESI Viktória, VÁRKONYI Zsombor, ÖRVÖS Mária.....	468
Titán-dioxid hatása az in-situ polimerizációval előállított poliamid 6 minták tulajdonságaira Effect of the Titanium-Dioxide on the Properties of Polyamide 6 Samples Prepared by In-situ Polymerization SEMPERGER Orsolya Viktória, SUPLICZ András.....	472
Mikrokapcsolók élettartam vizsgálatának kérdései Examination of Lifetime of Micro Switches SIPKÁS Vivien, VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella.....	476

Fúziós gerincműtét végeselemes vizsgálata

FINITE ELEMENT MODELLING OF SPINAL FUSION SURGERY

POKORNI Ágoston¹, dr. KISS Rita¹

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika tanszéke, 1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3, +36 1 463-2602, +36 1 463-3787, info@mogi.bme.hu, pokorni.agoston@phwi.hu, rita.kiss@mogi.bme.hu, http://mogi.bme.hu/

ABSTRACT

In our research we made a finite element model of a fusion surgery between the L.IV and L.V vertebrae based on the quantitative CT images of a young and healthy male to compare two commonly used fixation system based on numerical results. We used five type of loads in the simulation. Based on the results, the differences between the rigidity of the systems have significant influence on the stress distribution and the maximal stress.

KIVONAT

Kutatásunk során két, stabilizációs gerincműtétnek elterjedten alkalmazott implantátumrendszer numerikus eredményeken alapuló összehasonlításához egy egészséges, fiatal férfiról készült kvantitatív komputertomográfiás felvételek alapján elkészítettük az LIV és az LV csigolyák közötti egyszintű fúziós műtét végeselemes modelljét, melyet ötféle terhelésre vizsgáltunk meg. Az eredmények azt mutatták, hogy az egyes rendszerek merevítő rúdjaik merevsége szignifikánsan befolyásolja a kialakuló feszültségeket.

Kulcsszavak: végeselem-módszer, lumbális gerinc, fúziós gerincműtét, betegspecifikus anyagmodell, TLIF

1. BEVEZETÉS

A krónikus gerincfájdalom az előregedő társadalom és az üléssel töltött idő drasztikus megnövekedése miatt egyre nagyobb problémát jelent. Fontos, hogy a szakorvos az adott beteg esetén optimális kezelési implantátum megválasztásánál numerikus adatok alapján hozhasson döntést. Ennek érdekében munkánk során létrehoztuk a lumbális gerinc alsó két csigolyája által alkotott, a stabilizációs műtét alapján átalakított gerincszegmentum két, a stabilizációs gerincműtétnek elterjedten alkalmazott implantátumrendszerrel kiegészített végeselemes modelljét, és a kialakuló feszültségek alapján hasonlítottuk össze a két rendszert. Az implantátumrendszerek vizsgálatánál fontos szempont az öregedés és a kifáradás hatása, azonban jelen kutatásban erre nem került sor, mivel a cél elsősorban nem az implantátumrendszerek, hanem annak a vizsgálata volt, hogy a két rendszer különböző merevsége hogyan befolyásolja a kialakuló feszültségeket.

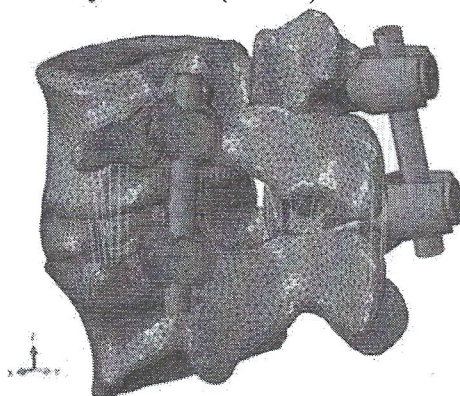
2. MÓDSZEREK

Mindkét vizsgált rendszer a Sanatmetal által gyártott TLT implantátumcsaládba tartozik. A két rendszer közötti különbség, hogy a merevítő rudak a Rigid TLT esetében titánból, míg a PEEK TLT esetében PEEK-ből készültek. A vizsgálatokat kétféleképpen végeztük el. Elsőként ötféle terhelésre (nyomás, oldalra, előre, hátrahajlítás, csavarás) vizsgáltuk meg a modellt, míg az anyagjellemzők nem változtak, majd a terhelést változtatlanul előrehajlításnak tekintve a csontgraftok rugalmassági modulusát változtattuk.

2.1. Geometriai modell és hálózás

Elsőként elkészítettük a vizsgált implantátumok geometriai modelljeit, a gyártótól kapott CAD fájlok egyszerűsítésével. Az egyszerűsítések olyan részeket érintettek, melyek a teherviselést nem befolyásolták, azonban alkalmazásukkal a számítási időt jelentősen csökkenthetők. Ezután létrehoztuk a csigolyák betegspecifikus geometriai modelljeit egy egészséges, fiatal férfiról készült kvantitatív komputertomográfiás felvételek alapján a Materialise Mimics (Materialise NV, Leuven, Belgium) program segítségével. A programmal a szkelet szegmentálását követően, a megfelelő geometria kialakításához simításokat végeztünk a felületeken. Ezt követően a műtét eljárásnak megfelelően a Materialise 3-matic (Materialise NV, Leuven, Belgium) nevű szoftverben eltávolítottunk bizonyos részeket a csigolyákból, valamint pozicionáltuk őket és

készítettük a távtartót. A csontgraftok és a műtétnek megfelelően átalakított porckorong geometriáját a Fusion 360 (Autodesk, Inc., San Rafael, Amerikai Egyesült Államok) CAD szoftver-rel [1, 2], míg a szalagok vonalelemek által alkotott modelljét az a Abaqus FEA (Dassault Systèmes SE, Vélizy-Villacoublay, Franciaország) programban készítettük el. Ezt követően pozicionáltuk a távtartón kívüli implantátumokat, melyeknél a megfelelő illeszkedés érdekében a csavarok átfedő térfogatai kivonásra kerültek a csigolyákból. A hálózást Abaqusban és 3-Maticben végeztük. A csigolyák, a porckorong és a csontgraftok esetében a CT felvétel szeletvastagságával megegyező 1,25 mm [3], míg az implantátumok esetében 0,625 mm maximális élhosszú másodfokú tetraéder elemeket (C3D10) alkalmaztunk [4]. A vonalelemekkel modellezett szalagok esetében lineáris közelítésű háromdimenziós rúd elemeket (truss, T3D2) alkalmaztam [5, 6]. Az átalakítások és a hálózás után összeállításra került a teljes modell (1. ábra).



1. ábra
Az összeállított teljes modell

2.2. Anyagmodell

A vizsgálatok során a merev rögzítésből következő kis elmozdulások és a porckorong nagyrészeének eltávolítása miatt mindegyik modellnél lineárisan rugalmas anyagmodellt alkalmaztunk. Fontos megjegyezni, hogy a vizsgált biológiai anyagok anyagjellemzői valószínűségi változók, amelyeket tanulmányunkban az irodalomban megadott átlagokkal jellemeztünk. A csigolyák Poisson-tényezőjét 0,3-nak tekintettük, míg a rugalmassági modulusuk és sűrűségük meghatározása a CT felvételek alapján, az 1. táblázat szerint [7] betegspecifikusan történt.

1. táblázat A sűrűség és a rugalmassági modulus meghatározása

Szűrkeskála	$\rho, \frac{T}{mm^3}$	E, MPa
HU < 0	$1,07 \cdot 10^7$	$3,12 \cdot 10^{-3}$
HU > 0	$5,2 \cdot 10^6 + 8 \cdot 10^5 \cdot HU$	$-34,7 + 3,23 \cdot 10^{-6} \cdot \rho$

A porckorong esetén a rugalmassági modulus és a Poisson-tényező értéke 8,4 MPa és 0,45 [1], a csontgraftok esetén 100 MPa és 0,2 [5], a PEEK implantátumoknál 3600 MPa és 0,3 [6], míg a titán implantátumoknál 115000 MPa és 0,3 [8]. A Poisson-tényezőt minden szalag esetében 0,3-ra vettük fel [8]. A rugalmassági modulus és a keresztmetszeti terület az egyes szalagok esetében [8]: az elülső hosszanti szalagnál 7,8 MPa és 7,4 mm², a hátulsó hosszanti szalagnál 10 MPa és 2,4 mm², a sárga szalagnál 15 MPa és 2,5 mm², harántnyúlványokat összekötő szalagoknál 10 MPa és 0,36 mm², tövisnyúlványokat összekötő szalagnál 10 MPa és 2,857 mm², tövisnyúlványok csúcsát összekötő szalagnál 8 MPa és 7,5 mm².

2.3. Terhelések és peremfeltételek

Az érintkező elemek együttlmozgását feltételezve merev (tie) kapcsolatot definiáltunk. Peremfeltételként az LV-ös csigolya alsó véglemezének rögzítését adtuk meg. A terheléseket az LIV-es csigolya felső véglemezére adtuk rá. A terhelés a nyomatékok esetében 10 Nm volt [1], míg a megoszló erő esetén 400 N-nak felelt meg [5]. A Von Mises féle feszültségeloszlásokat az implantátumok merevítő rúdjaiban, a csigolyák közti távtartóban (spacerben), valamint a csontos kapcsolat kialakulásának helyén, vagyis a spaceren kívüli elülső graftban és a hátulsó graftban vizsgáltuk. A kiértékelés során maximális feszültségnek az adott modell elemeiben az adott terhelés hatására kialakuló Von Mises féle feszültségek legnagyobbikát tekintettük.

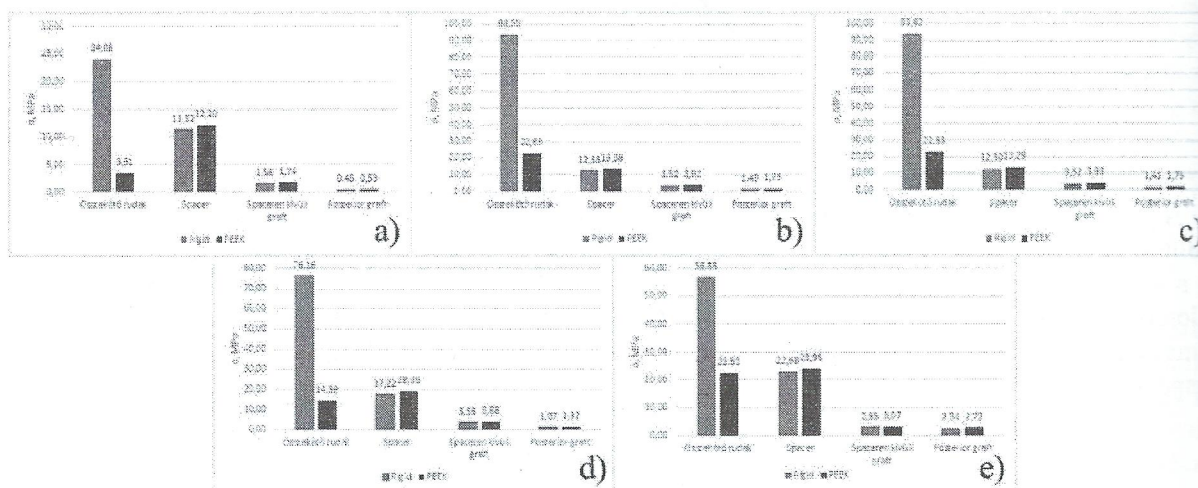
A csontgraftok csontosodásának hatását a csontgraftok rugalmassági modulusának változtatásával előrehajlítás esetén vizsgáltuk. A rugalmassági modulusot a kiinduló állapoton kívül (100 MPa) a köztes (1000 MPa, 5000 MPa) és a kialakult csontos állapotban (10000 MPa, 12000 MPa) vettük fel [1, 4]. A Poisson-tényezőt nem változtattuk, azt konstans 0,2-nek tekintettük.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Különböző terhelések

A Rigid rendszer esetében minden terhelésnél hasonlóan alakult az egyes modellekben létrejövő maximális feszültségek egymáshoz viszonyított aránya: minden terhelésnél a rudakban alakult ki a legnagyobb feszültség, majd ezt követte a spacerben, a spaceren kívüli graftban és végül a posterior graftban kialakuló feszültség. A PEEK rendszer esetében a legnagyobb feszültség csavarás, oldalra hajlítás és nyomás esetén a spacerben, míg előre- és hátrahajlítás esetén az összekötő rúdban alakult ki. Az említett esetek alapján az összekötő rúdban vagy a spacerben alakult ki a második legnagyobb feszültség, míg a spaceren kívüli graftban és a posterior graftban kialakuló feszültségek aránya a PEEK rendszer esetében is megegyezett az összes terhelés során.

A négy modellt tekintve a nagyobb feszültség az összekötő rudak esetében minden terhelésnél a Rigid rendszerben, míg a többi modellnél minden terhelésnél a PEEK rendszerben alakult ki. Mindkét implantátumrendszert, és valamennyi terhelést tekintve a legnagyobb feszültség: a Rigid rendszer esetén hátrahajlítás következtében az összekötő rudak-ban, míg PEEK rendszer esetén csavarás következtében a spacerben alakult ki.



2. ábra

Kialakuló maximális Von Mises feszültségek

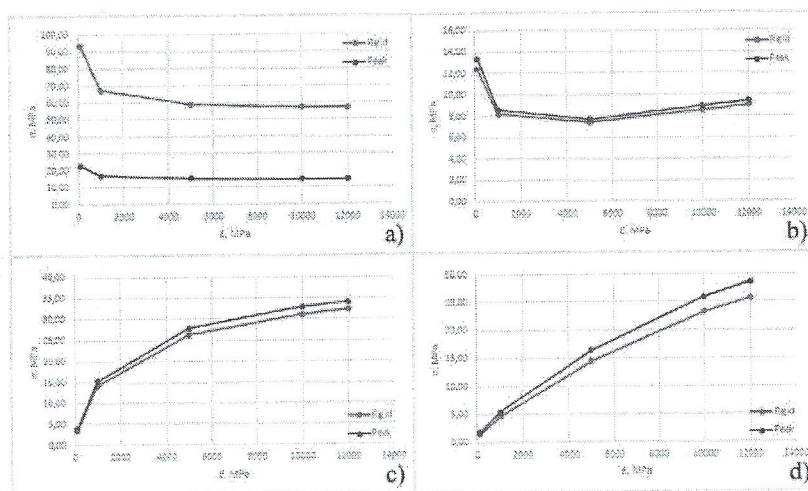
a) nyomás b) előrehajlítás c) hátrahajlítás d) oldalra hajlítás e) csavarás

3.2. Különböző rugalmassági modulusok

A csontgraftok rugalmassági modulusának növelésével mind a négy modellnél csökkent a két rendszer esetén kialakuló feszültségek közti különbség. A csontgraftok és a spacer esetében a százalékos eltérés közel felére csökkent, azonban a rudak esetén a csökkenés minimális volt.

A Rigid rendszerben a csontos kapcsolat kialakulására az összekötő rudakon kívüli három modellben kialakuló feszültségek közel egy nagyságrendbe kerültek, azonban a legnagyobb feszültség még mindig az összekötő rudakban alakult ki. A PEEK rendszer esetében a csontos kapcsolat kialakulásakor az egyes modellekben kialakuló feszültségek szintén közel egy nagyságrendbe kerültek, azonban a legnagyobb feszültség már nem az összekötő rudakban, hanem a spaceren kívüli első graftban alakult ki.

A csontgraftok esetében a bennük kialakuló feszültség a rugalmassági modulus növekedésével monoton növekedett. A növekedés mind a két esetben lassult, a spaceren kívüli graft esetében azonban ennek mértéke jelentősebb volt. Az összekötő rudakban kialakuló feszültség a rugalmassági modulus növelésével monoton csökkent. Ennek magyarázata feltehetően az, hogy a nagyobb rugalmassági modulusú csontgraftok átveszik a rudakra eső terhelés egy részét. A spacer esetében a kialakuló feszültség a köztes állapotban monoton csökkent, majd a csontos kapcsolat kialakulásakor növekedni kezdett. Ennek feltehetően az az oka, hogy egy darabig a spacer körülvevő csontgraftban kialakuló feszültség növekedés miatt csökken a feszültség, azonban egy idő után a csontgraft korlátozza a spacer alakváltozását, ezért a feszültség növekedni kezd.



3. ábra

A rugalmassági modulus változtatásának hatása

a) rudak esetében b) spacer esetében c) spaceren kívüli graft esetében d) posterior graft esetében

4. KONKLÚZIÓ

Az eredmények azt mutatták, hogy az egyes rendszerek merevítő rúdjaik merevsége szignifikánsan befolyásolja a kialakuló feszültségeket, valamint, hogy a csontgraftok rugalmassági modulusának növelésével mindegyik vizsgált modellnél csökkent a két rendszer esetén előrehajlítás következtében kialakuló feszültségek közti különbség. A kapott eredmények segítik a kezelést végző orvost az optimális fúziós rendszer kiválasztásában, azonban látható, hogy a pontosabb összehasonlításhoz és a különbségek jobb megértéséhez még további vizsgálatok szükségesek.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Shin D. S., Lee K., Kim D., Biomechanical study of lumbar spine with dynamic stabilization device using finite element method, *Cad Computer Aided Design*, Elsevier, 2007, 39(7), 559–567.
- [2] Vena P., Franzoso G., Gastaldi D., Contro R., Dallolio V., A finite element model of the L4-L5 spinal motion segment: Biomechanical compatibility of an interspinous device, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, Taylor and Francis, 2005, 8(1), 7–16.
- [3] Tawara D., Sakamoto J., Murakami H., Kawahara N., Oda J., Tomita K., Mechanical evaluation by patient-specific finite element analyses demonstrates therapeutic effects for osteoporotic vertebrae, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Elsevier, 2010, 3(1), 31–40.
- [4] Zahaf S., Kebdani S., Biomechanical study between the rigid and dynamic fixation systems of the spinal column analyzed by the finite element method, *Nano Biomedicine & Engineering*, Open Access House of Science and Technology, 2017, 9(2), 169–183.
- [5] Goel V. K., Kiapour A., Faizan A., Krishna M., Friesem T., Finite element study of matched paired posterior disc implant and dynamic stabilizer (360° Motion Preservation System), *SAS Journal*, Elsevier, 2007, 1(1), 55–62.
- [6] Li J., Shang J., Zhou Y., Li C., Liu H., Finite element analysis of a new pedicle screw-plate system for minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, *PLoS ONE*, Public Library of Science, 2015, 10(12), e0144637.
- [7] Jovanovic J. D., Miomir L. J., Finite element modeling of the vertebra with geometry and material properties retrieved from ct-scan data, *Facta Universitatis-series: Mechanical Engineering*, University of Niš, 2010, 8(1), 19–26.
- [8] Parepalli B. K., Biomechanical evaluation of posterior dynamic stabilization systems in lumbar spine, *Diplomateriv*, The University of Toledo College of Engineering, 2009.