

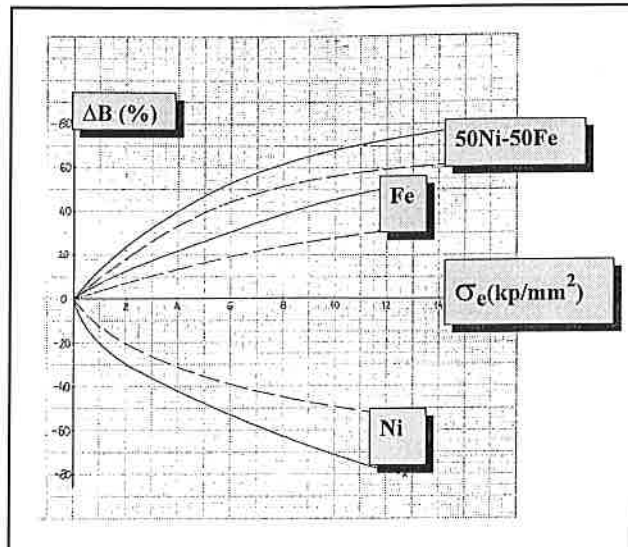
3. ábra. Az 50Ni-50Fe minta hiszterézisgörbéinek változása rugalmas mechanikai terhelés hatására

pusok hiszterézisgörbéinek változása látható. A 4. ábra pedig ugyan ezen anyagokra vonatkozóan összefoglalja a remanens- és a (technikai) telítési indukciók mechanikai feszültségfüggését.

Más igénybevételi mód esetén nyilvánvalóan más számszerű eredmények várhatók, de publikált konkrét mérések hiányában a közölt eredményeink legalább a változások előjelének valamint nagyságának becslésére adnak lehetőséget.

Irodalom

[1] R.A. McCurrie: Ferromagnetic materials and properties, Academic Press 1994. London



4. ábra. A mechanikai feszültség hatása a mágneses jellemzőkre ΔB_R a remanens indukció (folytonos görbék), ΔB_M a (technikai-) telítés relatív változása (szaggatott görbék)

[2] A. Huber, R. Schäfer: Magnetic domains, Springer 1998. Berlin
 [3] Ginszler J., Hidas B., Dévényi L.: Alkalmazott anyagtudomány, Műegyetemi Kiadó 2000. Budapest

Szilikon-elasztomer anyagok tulajdonságai és konstrukciós célú alkalmazásai a finomechanikában és a gyógyászatban

Dr. Huba Antal – Molnár László – Valenta László*

Néhány évvel ezelőtt, különböző projektek keretében, intenzív kutatómunka kezdődött a BME Finomechanikai, Optikai Tanszéke, a Szervetlen Kémia Tanszéke, valamint az Ilmenai Műszaki Egyetem Mikroszerviztechnikai és Mechatronikai Tanszéke együttműködésével, a szilikon-elasztomerek alkalmazási lehetőségeinek szélesebb körű felkutatására. Eredetileg a mikrotechnikai alkatrészek nagy alakváltozásnak kitett részelei szilikongumival történő helyettesítése állott az érdeklődés homlokterében. A munka során világossá vált azonban, hogy a szilikon-elasztomerek alkalmazási lehetőségei sokkal szélesebb körűek, és a mikrotechnikán kívül például az orvostechikában mással nem helyettesíthető szerkezeti megoldásokat biztosíthatnak.

A szilikon-elasztomerek mint újszerű konstrukciós anyagok

A szilikonok alkalmazása a finomechanikában és a műszertechnikában nem új és nem ismeretlen. Az anyag szerepe eddig azonban alárendelt jellegű volt, úgymint festék-alapanyag, ragasztó-, villamos- és egyéb szigetelő-, esetleg kenőanyag.

A dolgozat a fentiekben túllépve új alkalmazási lehetőségekre hívja fel a figyelmet.

Az eddig ismert nagymolekulájú anyagok polimerkémiai szempontból három nagy csoportba sorolhatóak:

- Kondenzált, anorganikus halmazok: gyémánt, grafit, kvarc, üveg, cement.
- Organikus polimerek: természetes polimerek (cellulóz, nukleinsavak, fehérjék), szintetikus polimerek (PVC, PE, PMMA, ...).
- Anorganikus (szervetlen) polimerek: polifoszfátok, polifoszfazének, dimetil-polisziloxánok.

A szervetlen polimerek alapstruktúrája szervetlen építőelemekből áll, ezekhez anorganikus (-F), vagy organikus (-CH₃, C₆H₅ stb.) csoportok csatlakozhatnak. Alapvetően a szerves polimerekhez hasonló tulajdonságokat mutatnak, de a hőállóságuk nagyságrenddel jobb. Kutatásaink középpontjában a polisziloxán mint láncképző építőelem áll.

A szilikonok legfontosabb tulajdonságait struktúrájuk, a szerves csoportok minősége, a polimerizáció foka, az idegen anyagok minősége és mennyisége határozzák meg.

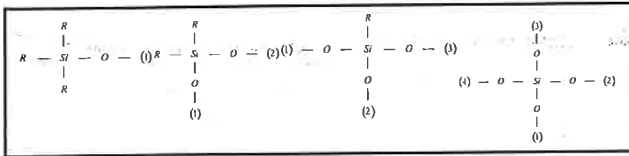
A szilikonokban a szervetlen részhányad nagyobb, mint a szervesé, a szilikongumiban például a szervetlen rész kb. 60%.

A szilikonok felépítése

A szilikonok szerkezetét a monomer egységek határozzák meg, l.: 1. ábra.

A monofunkciós egység lánczáró, a difunkciós egység a láncképzés eleme, a trifunkciós egység a térbeli struktúrák képzésében fontos. A tetrafunkciós egység ugyancsak a láncálósításban vesz részt, de az előbbinél sokkal merevebb és keményebb polimerszerkezetet eredményez [4].

* Finomechanikai, Optikai Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem



1. ábra.

Anyagtípusok

Közismertek a szilikon folyadékok és olajok. Ezek difunkcionális egységekből állnak, a láncot monofunkcionális zárják.

A szilikon gumi fajták ugyancsak lineáris felépítésűek, de a molekulasúlyuk lényegesen nagyobb.

A szilikon gyanták és -lakkok részben di- és trifunkcionális egységekből felépülő, térhálós szerkezetek. A megjelenési formák a rugalmas lakkoktól a törékeny és darálható polimerekig terjednek.

A szilikonok legfontosabb nem mechanikai tulajdonságai

Hő- és sugárállóság

A szerves anyagokhoz viszonyítva lényegesen jobb a termikus stabilitásuk. A metil-szilikonok +180 °C-ig tartós igénybevételnek tehetőek ki. A létraszerkezetű szilikonok +400 °C-ig alkalmazhatóak, a fenil-szilikonok mutatják a legnagyobb termikus stabilitást, kb. +300 °C-ig, és legkisebb a hőállósága az etil-szilikonoknak, ezek +150 °C-ig használhatóak. A szilikonok hidegtűrő képessége ugyancsak említésre méltó, a metil-szilikonok dermedési pontja -120 °C körül van.

Biológiai hatás

Újszerű megoldások kifejlesztésére az orvostechikában az nyit teret, hogy a különböző szilikonokkal kapcsolatba kerülő emberi és állati szövetek *semmilyen reakciót* nem mutatnak (indifferencia). Az élőlények enzimmrendszere a szilikonokat nem támadja meg, nem oldódnak fel, és nem mutatnak semmiféle táptalaj-effektust. Leginkább ezek a tulajdonságok teszik a szilikonokat kiemelten alkalmassá az orvostechikai célú felhasználásra. Rendkívül fontos tudni a gyógyászati alkalmazások miatt, hogy ez az anyagcsoport a gázokat és a saját molekulaszervezeténél kisebb molekulájú folyadékokat képes áttereszteni. Ez a membránhatás a műszaki életben talán nem mindig célszerű, de az anyagot kiemelten alkalmassá teszi pl. agyhártya pótlására, ahol is kb. 10 µm vastagságban, mint összenövést megakadályozó anyagot elterjedten alkalmazták.

Anyagáteresztő képesség

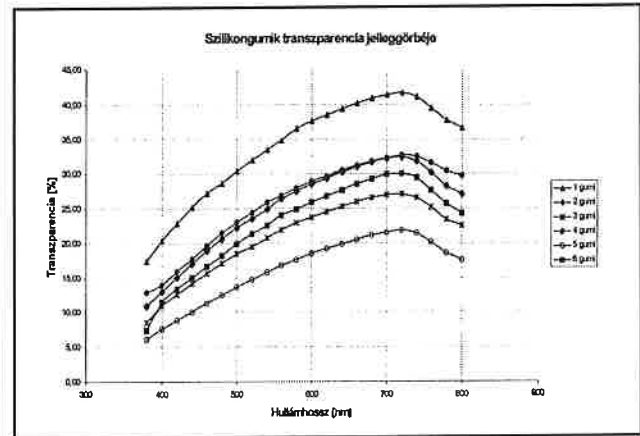
A szilikon nem alkalmazható a gépészetben mint korrózióvédelmi anyag, mert a hidrofób tulajdonsága ellenére átengedi a gázokat és a vizgőzt. Ezért csak más anyagokkal kombinálva alkalmazzák.

Optikai tulajdonságok, alkalmazás szemlencseként

Az optikai tulajdonságok közül kutatócsoportunk eddig elsősorban azokat vizsgálta, amelyek az orvostechikai alkalmazások során kiemelt jelentőséggel bírnak. Miután a cataracta-műtéteket napjainkban szinte már futószalagon végzik, szükség van nagy mennyiségben jó minőségű szemlencse-implantátumra. A BME Szervetlen Kémia Tanszék ez irányú kutatásaiba bekapcsolódva megvizsgáltuk, hogy a szilikonlencsék az ígéretesen kiváló mechanikai tulajdonságai mellett, felveszik-e a versenyt a hagyományos, ún. kemény szerkezetű akrilátlencsékkel. Ha ugyanis az optikai tulajdonságok megegyezőek, netán jobbakk, akkor a szilikonlencse a műtéti eljárás szempontjából verhetetlen előnnyel rendelkezik. Ugyanis a műtéti szövödményeket és egyéb problémákat lényegesen csökkenti, ha a vágási hossz a szaruhártyán csökkenthető. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha a lencse a műtét előtt összehajtható, majd a behelyezés után a kívánt alakra hozható. Ez az alakvál-

tozási folyamat esetleg spontán is történhet, ha az összeszorító erő hatása megszűnik.

Az optikai jellemzők közül a spektrális transzmissziós és a polarizációs tulajdonságok, valamint a törésmutató a legfontosabbak.



2. ábra.

A szilikon gumból készült lencsékkel 25–30% transzparencia érhető el (2. ábra) és törésmutatójuk n=1,6 érték körüli.

Elektromos tulajdonságok

Az a műszaki életben közismert, hogy a szennyezetlen szilikon folyadékok elektromosan szigetelő tulajdonságúak. A relatív dielektromos állandó értéke ε = 2,2–2,8, az átütési feszültség 14 kV/mm és a fajlagos ellenállás ρ ≈ 6 · 10¹⁵ Ωcm.

A szilárd halmazállapotú, szigetelő tulajdonságú szilikonok lokálisan elektromosan vezetővé tehetőek, ha a molekulaláncok közé a láncméretekkel összemérhető nagyságú, vezető kollagéneket (korom, szén stb.) adalékolnak. A töltéskonzentráció-különbség hatására kialakuló elektromos tér egészen sajátos alakú is lehet, de az áram csak a vezetővé tett térrészekben folyhat. Ez érdekes alkalmazási lehetőségeket rejthet magában.

A szilikon gumikat ma már elterjedten alkalmazzák a különféle egyáltalású billentyűzetekben, mert a vezetővé tett gumi helyettesíti a bonyolult finommechanikai szerkezetet, beleértve az egyenes vezetékét, a rugókat és a kontaktusokat is. Az elektromos tulajdonságok kutatása csoportunk egyik feladata is, a munka még igen távol áll a lezárástól.

A szilikon-elasztomerek mechanikai tulajdonságai

A szilikonok gépészeti, finommechanikai szerkezeti anyagként való alkalmazhatóságának legfontosabb mechanikai jellemzői keménységének és a típusának (peroxidos, vagy additív) függvényében a következők:

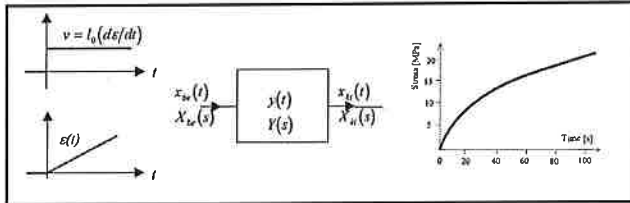
- húzó-, nyomó- és nyírószilárdság, statikus rugalmassági modulus;
- más anyagokhoz való tapadási szilárdság;
- dinamikus rugalmassági modulus a hőmérséklet függvényében;
- váltakozó irányú hajlító igénybevétellel szembeni szilárdság;
- a repedés tovaterjedésével szembeni ellenállása.

Az anyagtudományban szokásos vizsgálatok közül a legfontosabb a szakítóvizsgálat, de a gumik esetében legalább ilyen jelentőséggel bír a dinamikus rugalmassági modulus meghatározása. A tanszéki kutatások során, amelyekben doktoranduszok és diplomatervezők is nagy szerepet vállaltak, a felsorolt mechanikai vizsgálatokat végeztük el olyan különböző típusú szilikon gumi anyagokra, amelyek szerkezeti elemekként szóba jöhetnek.

A szakítószilárdság vizsgálata

A szakítóvizsgálatokat a szabványban előírt alakú próbatestekkel végeztük. Az elasztomerek viselkedését különféle viskoelasztikus mo-

dellekkel közelítjük. A legismertebbek a Maxwell-, a Kelvin-Voight-, a Standard-Solid-modellek. Azonban a mérési eredmények azt mutatják, hogy e három közül egyik sem írja le elfogadható pontossággal a szilikonok viselkedését [6]. Így egy új modelle van szükség. Ennek a módszerre rendszertechnikai alapokon nyugszik. Célunk, hogy meghatározzuk a rendszert jellemző átviteli függvényt és ebből állítsuk fel az új viszkoelasztikus modellt. A szakítóvizsgálat során a rendszer bemenete az egységnyi sebességugrás, a rendszer válasza pedig a feszültség az idő függvényében (3. ábra). E két jel ismeretében már előállítható az átviteli függvény $Y(s)$ a Laplace-transzformáció segítségével. A modellalkotás menetét és egy új, a szilikonokra használható viszkoelasztikus modellt egy későbbi cikkben mutatjuk be.



3. ábra.

Nyírási, lefejtési vizsgálatok

A nyírás vizsgálata egyben az adott műanyag, vagy gumi úgynevezett lefejtő vizsgálata is. A szabványos eljárás során a próbatesthez rögzített fémlapokra hatnak párhuzamos erők.

Amennyiben a berendezés nem tudja biztosítani a párhuzamos erőhatást, vagy vastag a próbatest, akkor hajlítás is fellép, és ebben az esetben a *nyírómodulus* számításához korrekciót alkalmaznak

$$G_e = \frac{G}{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{h}{a}\right)^2} \tag{1}$$

ahol G_e a látszólagos nyírómodulus. Ideális, párhuzamos terhelésre a

$$G \cdot e = \frac{F}{A} \tag{2}$$

összefüggéssel adódik a nyírófeszültség és nyíró alakváltozás közötti összefüggés, ahol F a *nyíróerő*, A a próbatest felülete, h a magassága, a az élhosszúsága, G a nyírómodulus és e a nyíródeformáció, azaz a fedőlapok egymáshoz képesti elmozdulása viszonyítva a próbadarab vastagságához.

Nyíróvizsgálatokat a szilikongumi-szilícium illetve a szilikongumi és más anyagok közötti tapadás vizsgálatára végeztünk. A kísérletek a szilícium lapkák vastagsága, ridegsége, és a befogási problémák miatt nem voltak egyszerűek, a hagyományos szakítógéphez külön befogószerkezetet kellett tervezni. Az első eredményeket, a különböző szilikongumi nyíró rugalmassági modulusának és más anyagjellemzőinek adatait az alábbi táblázatban mutatjuk meg:

HTV (Hő hatására vulkanizálódó, peroxidos)

Keményys. [Sh A]	ϵ max [%]	RM [MPa]	Eav [MPa]	Gav [MPa]
40	1295	7,026	0,556	0,455
50	1205	7,432	0,808	0,545
60	1064	8,803	0,946	0,703
80	641	8,906	1,819	1,187

HTV (Hő hatására vulkanizálódó, addíciós)

Keményys. [Sh A]	ϵ max [%]	RM [MPa]	Eav [MPa]	Gav [MPa]
40	1290	5,537	0,434	0,351
50	942	7,016	0,745	0,654
60	908	7,938	1,251	1,091

Hajlítóvizsgálatok

A BME Szervetlen Kémia Tanszéken végzett eddigi kísérletsorozat azt mutatja, hogy a szilikongumi, amennyiben a vizsgált próbatest felületén sérülés, vagy repedés nincsen, a hajlításokkal szemben igen ellenálló. 0°-tól 90°-ig, illetve 120°-ig hajlítva 2 milliónál több ciklus után jelennek meg a kifáradás első jelei. A kísérletek még nem zárultak le, és bizonyos alkalmazási területeken szinte más anyaggal nem is helyettesíthető szerkezetek hozhatók létre.

A hőmérséklet- és frekvenciafüggő dinamikus rugalmassági modulus mérése

A környezeti hatások (hőmérséklet, nyomás, nedvesség, sugárzás) a polimerek tulajdonságait erősen befolyásolják. Az egyik legfontosabb tulajdonság-meghatározó a hőmérséklet, mert a polimerek esetében általában négy fizikai állapot kialakulásáért felelős:

1. Üvegszerű állapot (egyfázisú állapot)
2. Nagy rugalmasság (egyfázisú, viszkoelasztikus)
3. Folyékony állapot (egyfázisú, nagy viszkózitású)
4. Részben kristályos állapot (kétfázisú)

A szilikongumira két fizikai állapot jellemző, az *üvegszerű* és a nagy viszkózitású állapot. Az üvegesedési hőmérséklet T_G alatt a molekulaláncok „be vannak fagyva”, csak az oldalgyökök és az egyes atomok mozgása lehetséges. Az alakíthatóság csekély, a feszültség-alakváltozás összefüggés lineáris. Az üvegesedési hőmérséklet felett a molekulaláncok Brown-féle mikromozgásokat végeznek, miközben a láncok molekula-középpontja helyben marad. A mozgás elnevezése szegmensmozgás. Ebben a nagy rugalmassági állapotban a *néhány 100%-os alakváltozási képesség* gumiszerű tulajdonságokat tükröz. Tovább megerősítve a térhálós polimereket nem lehet megolvasztani, így a gumikat és a szilikon sem. A hőmérséklet növekedésével a fő valenciakötések szétszakadnak, az anyag szétbomlik anélkül, hogy megolvadna, tehát a bomlási hőmérséklet alacsonyabb, mint az olvadási.

A gyakorlatban a dinamikai vizsgálatok három típusát alkalmazzák:

1. Dinamikus – mechanikai (termikus) analízis (DMA, DMTA)
2. Termomechanikai analízis
3. Szilárdsági analízis a hőmérséklet függvényében.

Az általunk választott módszer segítségével a gépészeti alkalmazások szempontjából igen lényeges tulajdonságokra derül fény.

DMA-analízis: E vizsgálat során konstans amplitúdójú és körfrekvenciájú szinuszos erőgerjesztésre adott anyagválaszt: a deformációt és a δ fáziseltolódást regisztráltuk.

$$F(t) = F_{st} + F_{din} \cdot \sin(\omega \cdot t) \tag{3}$$

$F_{st} = 95,27$ mN a statikus előfeszítő erő, és $F_{din} = 59,54$ mN a váltakozó terhelés amplitúdója, $\omega = 2$ rad/s a körfrekvenciája. Az igénybevétel fajtája: hárompontos hajlítás. Fóliák és szálas anyagok esetében inkább húzás vagy nyomás az igénybevétel. A mechanikai tulajdonságokat -160 °C és $+75$ °C közötti hőmérséklet-tartományban, 5 °C/min felmelegítési sebesség mellett mértük a próbatesteken. A vizsgálatokat három, sokszor alkalmazott keménységre és típusra korlátoztuk: *Sh 40 peroxidos, Sh 80 peroxidos (4. ábra), Sh 30 additív*.

A diagramból a komplex rugalmassági modulus az ismert összefüggéssel számítható:

$$E^* = \sqrt{E'^2 + E''^2} \tag{4}$$

A veszteségi tényező:

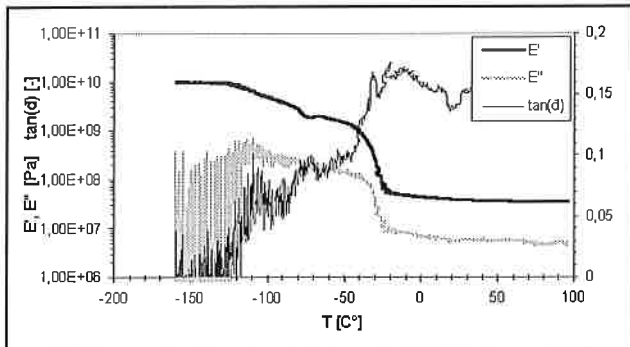
$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \tag{5}$$

és kiszámíthatjuk a tárolási viszkózitást:

$$\eta' = \frac{E''}{\omega} \tag{6}$$

valamint a veszteségi viszkozitást:

$$\eta'' = \frac{E''}{\omega} \quad (7)$$



4. ábra. 80 Sh keménységű peroxidos szilikongumi DMA mérésének eredménye

Szilikon-elasztomerek orvostechnikai alkalmazása

Befejezésül nem a már ismert és elterjedten alkalmazott változatokról lesz szó, hanem olyanokról, amelyek további más kutatásokat is ösztönözhetnek. Az eddigi alkalmazások ugyanis többnyire átmeneti, vagy végleges szövetszövetpótlásra korlátozódtak. Kutatócsoportunk meggyőződése azonban, és az eddig elért eredmények ezt a nézetet támasztják alá, hogy ez az anyagcsoport szerkezeti anyagként bonyolultabb szövetszerkezetek és funkcionális egységek helyettesítésére, illetve olyan funkcionális, szervezetbe építhető szerkezetek megvalósítására is alkalmas, amelyek nem a meglévő, de beteg szövet-szövetet váltanak ki, hanem teljesen új funkciót töltenének be az egészségi állapot visszaállításában. Külön csoportot alkotnak a diagnosztikához alkalmazott eszközök. Kutatásainkat alapvetően három területen folytatjuk, ezek:

- lágy, nem teherhordó, beültethető implantátumok;
- kemény implantátumok, főként ízületek pótlására;
- diagnosztikai eszközök, testüregszondák.

Lágy implantátumok

Az optikai tulajdonságok kapcsán már említettük a szilikongumból készült szemlencse esetleges műtéti előnyeit a merev akrilatlencsével szemben. Ez az egyik megvalósítási forma. A víztiszta átlátszó szilikongumi és a merev akrilát optikai tulajdonságai megegyezőek.

Kutatómunkánk hosszabb ideje a különféle *testfolyadékok egyenirányítására, elvezetésére* szolgáló szelepek kifejlesztésére irányul. Ezeknél az eszközöknél az élő szervezetekben található szelep-megoldásokat utánoztuk le, mert bizonyos Sh keménységi fokú szilikongumiféleségek mechanikai tulajdonságai a szövetekhez igen hasonlóak. Ilyen szelepeinket sikerrel alkalmazzák már az inkubátorok levegőellátásánál, a hasüregi folyadék (ascites) vénás rendszerbe történő visszavezetésére, és most dolgozunk olyan összetett egyenirányító kifejlesztésén, ami a túltermelő agyvíz elvezetésére szolgál. Az elmúlt évben már bemutattuk az *inkontinencia* (vizeletvesztés) megszüntetésére kifejlesztett, ugyancsak lágy implantátumunkat [2], amely már összetett hidraulikus működtetésű dinamikai rendszer.

Kemény implantátumok

Ebben a csoportban jelenleg egy alkalmazás kutatása folyik, nevezetesen a könyökizületi endoprotézis szilikongumival és egyéb kombinált építőelemekkel történő pótlása. A Szervetlen Kémiai Tanszék kifejlesztett és gyártásra átadott egy olyan eljárást, amivel alakváltozáson

alapuló szilikongumi implantátummal ujjizületi pótlások voltak kivitelezhetőek. A jelenlegi kutatás ezen túlmegegy, mert az új endoprotézis a könyökizület bonyolult kinematikai rendszerét minél hívebben akarja utánozni. A pótlásokra jelenleg világszerte alkalmazott eljárások hátránya, hogy a műtét során a beteg csontvégek igen nagy hányadát el kell ronszolni, és a felhasznált fém alkatrészek az erőkoncentrációs helyeken közismerten csontszöveti felszívódásokat okozhatnak. Ha valahol, itt igen nagy szükség van a gépész szemléletű megközelítésre, hiszen nem csupán a statikus terheléseket kell inhomogén és anizotróp szerkezetekre FEM modellezéssel meghatározni, hanem ugyanilyen szükség van a dinamikus igénybevételek során keletkező terhelések eloszlásának meghatározására. Ez a kutatás az ORFI Ortopédia Klinikájával együttműködve folyik [3].

Testüreg-szondák

További, nem pótlás jellegű alkalmazás a nagy rugalmasságú, különböző testüregekben *önállóan mozogni képes szondák* kifejlesztése, amely lényegüket tekintve különbözik az elterjedten alkalmazott endoszkópoktól. Éppen ezen téma időszerűsége és fontossága miatt jött létre a tudományos együttműködés a SOTE I. számú Sebészeti Klinikájával, amely a legfontosabb hazai endoszkópos tudományos központ. A betegségek korai szakaszának a felismerését és diagnosztizálását elősegítő olyan új elv kidolgozása folyik, ami lehetővé tenné, hogy a test üregeiben (ilyenek a bélrendszer, ami meghaladhatja az 5 m hosszúságot, a tüdő hörgőrendszere, az epeutak és a hasnyálmirigy vezetékai), kívülről gyakorolt mechanikai erők nélkül (jelenlegi száloptikás és egyéb endoszkópok), irányítható szonda mozogjon és ez értékelhető képi információt közöljön a diagnózist készítő orvossal, de lehetővé tenné a szövetekből a mintavételt, esetleg a kisebb beavatkozásokat is. Az újszerű mozgásformák kutatásában az Ilmenai Műszaki Egyetemen és a jénai Schiller Egyetemen dolgozunk együtt [5], [7].

Összefoglalás

Arra kívántuk felhívni a figyelmet, hogy a szilikon-elasztomerek nemcsak kiegészítő szerepre alkalmasak a finommechanikában, hanem segítségükkel olyan eszközök hozhatók létre, amelyek például a gyógyászat területén más, jelenleg ismert anyagokkal nem helyettesíthetőek.

Irodalom

- [1] Valenta L., Dr. Huba A. : Silikon: Ein neuer Werkstoff für Mikrosysteme und für Mikrogreifler. 41. Internat.Wiss.Koll., Techn. Universität Ilmenau, 1996
- [2] Szabó K.: Szilikongumból készült mesterséges vizeletszabályozó implantátum zárási periódusának szimulációja. OGÉT., Hargitafüredő., 1998
- [3] Turkevi Nagy N.: Könyökizületi endoprotézis mechanikai elemzése és továbbfejlesztése, Diplomaterv, BME, 1998
- [4] Dr. Nagy J., et co.: Preparation and investigation of silicone rubber containing imide-siloxane copolymers. Angewandte Makromolekulare Chemie, No. 214. pp 123-136., 1994
- [5] Molnár L.: Abschlußbericht zum Thema Entwicklung einer elastischen, rutschigen Haut für die wurmartige Bewegung nach biologischen Vorbild., TU Ilmenau, 1997
- [6] Molnár L., Valenta L.: Viscoelastic Material Model Based on System Technology / 2000, május, Budapest, Gépészet 2000
- [7] Huba A., Molnár L.: New Principle of Movement for Intestinal Diagnostic Instrument / 2000, május, Budapest, Gépészet 2000