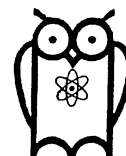




MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



Statikus és dinamikus rugalmassági modulus meghatározása roncsolásos és roncsolásmentes módszerekkel

Készítette:

Molnár István

Konzulens:

Dr. Kuzsella László

Polimermérnöki Tanszék

2011. november

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Absztrakt	3
Bevezetés	4
1. Irodalmi összefoglalás	5
1.1. Anyagok rugalmas viselkedése	5
1.2. Roncsolásmentes vizsgálatok	6
1.2.1. Dinamikus viselkedés elméleti modelljei, rezonancia technikák.....	7
1.3. Statikus rugalmassági modulus meghatározása	9
1.3.1. Hárompontos hajlító vizsgálat	10
2. Vizsgált anyagok	12
3. Vizsgálatok, mérési eredmények.....	14
3.1. Roncsolásmentes, dinamikus vizsgálatok eredményei.....	14
3.2. Statikus hárompontos hajlítás eredményei	18
3.3. Anyagadatbázisban szereplő rugalmassági modulusok	22
4. Összefoglalás	24
Köszönetnyilvánítás.....	25
Irodalomjegyzék	26

Absztrakt

Az emberek nap, mint nap rengeteg anyaggal találkoznak. Minden anyagnak különbözőek a tulajdonságai, ezek alapján döntjük el, mire használjuk. Más-más célra alkalmazzuk őket, vagy ha még nem áll rendelkezésre a feltételeknek megfelelő anyag, akkor a legoptimálisabbat fejlesztjük ki azoknak. Az anyagok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a rá ható mechanikai terhelés hatására hogyan viselkednek, milyen mértékben változtatják meg méretüket adott erő hatására. Ezt egy adott tartományon belül az anyag rugalmas viselkedésével jellemezhetjük. Az anyagok rugalmas viselkedésének feltérképezése az anyagvizsgálat egyik legfontosabb feladata.

A rugalmas viselkedésre jellemző rugalmassági modulus hosszú időn keresztül a roncsolásos anyagvizsgálat egyik eredményeként lehetett meghatározni. Ám a tudomány, elsősorban a szilárdtest fizika, és az elektronika rohamos fejlődésének köszönhetően egyre többféle módszer jelenik meg, melynek segítségével nem kell tönkretennünk az anyagot, ha csupán a rugalmassági modulusra vagyunk kíváncsiak. Ezen módszerek előnye a roncsolásos módszerekkel szemben egyszerű kivitelezhetőségükben, viszonylag csekély eszközigényükben, és nem utolsósorban abban rejlik, hogy az anyag vizsgálat után is sértetlen marad. További vizsgálatokat lehet rajta végezni, vagy fel lehet használni megmunkálás céljából. Mindezek figyelembe vételével nem nehéz megjósolni, hogy fejlődésük és alkalmazási területeik, valamint részarányuk az anyagvizsgálatban a közeljövőben rohamosan nőni fog.

Jelen dolgozatomban mind a négy nagy anyagcsoport (fémek, kerámiák, polimerek és kompozitok) egy-egy képviselőjének meghatározom a rugalmassági modulusát roncsolásmentes módon, a longitudinális hullámok sajátfrekvenciájának segítségével, illetve roncsolásos módon, hajlító vizsgálattal. A vizsgálati eredményeket összehasonlítom, hogy milyen mértékű eltérés mutatkozik az eredmények közt, egymáshoz képest milyen pontossággal bírnak a módszerek.

Bevezetés

Minden ember rengeteg anyaggal találkozik nap, mint nap, melyeket mind másra használ. Minden anyagnak különbözőek a tulajdonságai, azok alapján döntjük el, mire is használjuk őket. Többet közülük más-más célra szánunk, vagy ha az alkalmazás által támasztott igénybevételeknek megfelelő anyagot még nem ismerünk, újakat fejlesztünk ki az optimális tulajdonságok elérése érdekében. Az anyagok egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy a rá ható mechanikai terhelés hatására hogyan viselkednek, ilyen mértékben változtatják meg méretüket adott erő hatására. Ezt egy adott tartományon belül az anyag rugalmas viselkedésével jellemezhetjük. Az anyagok rugalmas viselkedésének feltérképezése az anyagvizsgálat egyik legfontosabb feladata [1].

A rugalmas viselkedésre jellemző rugalmassági modulus hosszú időn keresztül a roncsolásos anyagvizsgálat egyik eredményeként lehetett meghatározni. Ám a tudomány, elsősorban a szilárdtest fizika, és az elektronika rohamos fejlődésének köszönhetően egyre többféle módszer jelenik meg, melynek segítségével nem kell tönkretennünk az anyagot, ha csupán a rugalmassági modulusra vagyunk kíváncsiak. Ezen módszerek előnye a roncsolásos módszerekkel szemben egyszerű kivitelezhetőségükben, viszonylag csekély eszközigényükben, és nem utolsósorban abban rejlik, hogy az anyag vizsgálat után is sértetlen marad. További vizsgálatokat lehet rajta végezni, vagy fel lehet használni megmunkálás céljából. Mindezek figyelembe vételével nem nehéz megjósolni, hogy fejlődésük és alkalmazási területeik valamint részarányuk az anyagvizsgálatban a közeljövőben rohamosan nőni fog [2-4].

Jelen dolgozatomban mind a négy nagy anyagcsoport (fémek, kerámiák, polimerek és kompozitok) egy-egy képviselőjének meghatározom a rugalmassági modulusát roncsolásmentes módon, a longitudinális hullámok sajátfrekvenciájának segítségével, majd az adott mintákból mintadarabokat kivágva hárompontos hajlítással meghatároztam az egyes anyagok statikus rugalmassági modulusát, és a kapott eredményeket összevetettem az egyik legelfogadottabb nemzetközi anyagadatbázisban szereplő értékekkel.

1. Irodalmi összefoglalás

1.1. Anyagok rugalmas viselkedése

Az anyagok, ha erőhatás éri őket, megváltoztatják alakjukat. Ha az alakváltozás megfelelően csekély, az erőhatás megszűnte után az anyag visszanyeri eredeti alakját. Ez a rugalmas viselkedés.

A rugalmas viselkedés leírására legáltalánosabban a Hooke-törvényt használjuk, melyet a következő alakban írhatunk fel [5-7].

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Ahol

σ – a felületegységre ható erő, röviden mechanikai feszültség,

ε – az eredeti hossza vonatkoztatott alakváltozás, vagy más szóval relatív alakváltozás,

E – rugalmassági modulus.

A szilárdságtanban és rugalmasságtanban a rugalmassági modulus, vagy Young-modulus, egy anyagra jellemző állandó, az adott anyag merevségéről nyújt információt.

A rugalmassági modulus Thomas Young angol fizikusról kapta nevét, aki 1773-ban született, és 1807-ben írta le a rugalmasság jellemzőit Young-modulus néven. Munkáját azonban már megelőzte Leonhard Euler, aki 1727-ben dolgozta ki a koncepciót, a ma ismert Young-modulussal való tapasztalati kísérleteket pedig Giordano Riccati végezte 1782-ben, 25 évvel Young előtt [8, 9].

A közönségesebb elnevezése angol nyelvterületen gyakran látható elastic modulus-ként, amely szó szerinti fordítása a rugalmassági modulus. Ez a szóhasználat azonban téves, mivel bár a Young-modulus a leggyakrabban használt változat, több rugalmassági modulus is létezik azon kívül, ezért tensile modulus, azaz „nyújtó” modulusként ismerik. A magyarban viszont rugalmassági modulusként maradt meg.

A szerkezeti anyagok nagy része a rugalmassági tartományban a Hooke-törvényt követi, vagyis rugalmassági modulusa a terheléstől független [10].

Ám nem minden anyag viselkedik így. A műanyagok, a gumik, és a természetes polimer mindegyike nem lineáris tulajdonságokat mutat, vagyis a rugalmassági modulus a terheléstől is függ, nemcsak az anyagminőségtől. Ezért a rugalmassági modulus pontosabb definíciója a következő differenciálhányados segítségével írható le.

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (2)$$

1.2. Roncsolásmentes vizsgálatok

A roncsolásmentes anyagvizsgálat egy rendkívül széles gyűjtőfogalom. Minden olyan vizsgálati módszert idesorolunk, melynek során az anyag semmiféle károsodást nem szenved. A vizsgálat a továbbfelhasználást nem befolyásolja.

A roncsolásmentes anyagvizsgálatoknak ennél fogva több figyelemre méltó előnye van a roncsolásos módszerekkel szemben:

- a vizsgálatok ugyanazon a mintadarabon megismételhetők más körülmények között is (pl. különböző nedvesség és hőmérsékleti viszonyok),
- egy mintadarabon többféle tulajdonság is tesztelhető, és ezek összehasonlíthatók egymással,
- beépített anyag, minden tartószerkezeti elem (oszlop, gerenda) is vizsgálható általa.

A műszerekkel elvégzett roncsolásmentes vizsgálatokat a fémiparban dolgozták ki. A fémiparban már évtizedek óta használják és elismerik a roncsolásmentes vizsgálatokat. A XX. század óriási technikai fejlődése tette lehetővé új eszközök, mérési és vizsgálati módszerek kialakítását. A kidolgozott eljárások némelyike megfelelő módosítással alkalmazhatóvá vált más anyagtípusok esetében is, de számos új, más anyagtípusokra jellemző roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer is elterjedt. Különösen igaz ez a faanyagokra, melyek esetében számos roncsolásmentes szilárdságbecslő módszert kidolgoztak.

Az első roncsolásmentes faanyagvizsgálatokat Észak-Amerikában, az 1950-es években kezdték meg. A Washington Állami Egyetem Faanyag Laboratóriuma egy új és (az akkori méretekre jellemzően) nehéz számítógépet kapott. A számítógép tönkremeneteléhez az vezetett, hogy összetört alatta az asztal. Ez az esemény készítette az egyetem professzorát, hogy a fa roncsolásmentes vizsgálatával kezdjen el foglalkozni. Az első eszközök oszcilloszkóp és különböző rezgésetektorok voltak. Ezen kutatások célja a dinamikus

rugalmassági modulus és a szilárdsági paraméterek közötti kapcsolat megállapítása volt. Mára a legkülönbözőbb eljárásokat dolgozták ki, elsősorban Amerikában, Japánban, Németországban, Svédországban és Magyarországon. Az új eljárások, pl.: a dinamikus rugalmassági modulus mérése, ultrahangos sebességmérés, akusztoultrahangos mérések, elektromágneses mérések, számítógépes tomográfia segítségével egyre több és pontosabb eredmény határozható meg.

1.2.1. Dinamikus viselkedés elméleti modelljei, rezonancia technikák

Ha egy fadarabot bárhol megütünk, rezgésbe jön. Megfelelő frekvenciatartományban ez hallható is (pl. xilofon, marimba). A rudak rezgéseit leíró egyenletek mindegyike tartalmazza a faanyag rugalmasságát jellemző dinamikus rugalmassági modulus értékét. Ahhoz, hogy meghatározhassuk a dinamikus rugalmassági modulus, a rúd geometriai méreteit, tömegét, és egy adott befogáshoz, illetve alátámasztáshoz tartozó sajátrezgési frekvenciáját kell ismerni.

A dinamikus rugalmassági érték meghatározására, annak egyenlettel való leírására a szakirodalomban több próbálkozás történt.

Rugalmas hullámok terjedésénél az anyagi közeg részecskéi (térfogatelemei) között fellépő rugalmas erők játszanak szerepet. Szilárd közegben adott irányban megjelenő zavar elmozdulásként vagy rezgésként nyilvánul meg, és a zavar irányában nyomóerők, rá merőleges irányban nyíróerők formájában jelentkezik. Folyadékokban és gázokban is keletkeznek nyíróerők a belső súrlódás következtében, azonban ezek a hullámhossz tört részén belül elnyelődnek. Vagyis folyadékok és gázok esetében lényegében csak longitudinális, szilárd anyagok esetében longitudinális és transzverzális rugalmas hullámok is lehetségesek [11].

Ha egy vízszintesen fekvő, „ ρ ” sűrűségű, „ A ” keresztmetszetű homogén prizmatikus rúd hossztengetyre merőleges síkjára rövid „ t ” ideig adott „ F ” erő hat (pl. egy kalapáccsal megütjük a rúd egyik végét), akkor a rúd összenyomásában megnyilvánuló zavar longitudinális hullámként terjed végig a rúdon „ v_{long} ” sebességgel. Az állandónak tekintett „ F ” erő a rudat a Hooke-törvény értelmében „ Δl ”-el megrövidíti a következő egyenlet alapján.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta l/L} \rightarrow \Delta l = \frac{F}{A} \cdot \frac{L}{E} \quad (3)$$

Ahol:

L – a prizmatikus rúd hossza.

Az ütés hatására először a megütött véglap, majd egymás után valamennyi keresztmetszet elmozdul $v = \Delta l / t$ sebességgel. Tehát lényegében a rúd teljes tömege (m) elmozdult. Mivel az „F” erő „t” ideig hat a rúdra, Newton második törvénye értelmében felírható a következő összefüggés.

$$F = m \cdot a \quad \text{ami felbontható a következő összefüggésre: } F = \rho \cdot A \cdot L \cdot \frac{v}{t} \quad (4)$$

Ahol:

a – kinetikus gyorsulás (időegység alatti sebességváltozás).

Ezt összevetve a (3) egyenlettel kapjuk a következő összefüggéseket.

$$F = \rho \cdot A \cdot L \cdot \frac{v}{t} = \frac{\Delta l \cdot A \cdot E}{L} \quad (5)$$

Az előzőekben felírtak alapján, $v = \Delta l / t$, amiből a következő egyszerűsítések származnak.

$$F = \rho \cdot A \cdot L \cdot \frac{\Delta l}{t^2} = \frac{\Delta l \cdot A \cdot E}{L} \quad (6)$$

Ezek alapján a dinamikus longitudinális rugalmassági modulus a hang terjedési sebességének segítségével a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$E_{dL} = \rho \cdot \frac{L^2}{t^2} = \rho \cdot v_{\text{long}}^2 \quad (7)$$

Hosszú prizmatikus rudak esetében a dinamikus rugalmassági modulus sajátrezgések segítségével is meghatározható.

$$E_{dL-n} = \left(\frac{2L \cdot f_{L-n}}{n} \right)^2 \rho \quad (8)$$

Ahol:

n – a felharmónikus sorszám. [10-13].

Valós esetben a longitudinális lökéshullámok által keltett rezgés - akárcsak az összes többi rezgésfajta - nem pontosan harmonikus rezgés, mert az anyag belső súrlódása és egyéb tényezők hatására a rezgés amplitúdója csökken, végül a rezgés elhal. Ezt a jelenséget csillapításnak nevezzük. A csillapítás a rezgés frekvenciájára is hatással van, amit - továbbá a vizsgált testek véges kiterjedését - a Rayleigh korrekcióval vehetjük figyelembe [12-16].

1.3. Statikus rugalmassági modulus meghatározása

Statikus rugalmassági modulus meghatározása számos módszerrel lehetséges. A különböző módszerekkel meghatározott rugalmassági modulusoknál mindig fel kell tüntetni a meghatározás módját, hiszen az meghatározott jellemző az adott igénybevétel esetében jellemzi az anyag elasztikus viselkedését. A különböző anyagtípusoknál más és más módszer terjedt el, ami az anyagtípus jellemző alkalmazásainak leginkább megfelelő vizsgálati módszerhez és az anyagtípus speciális tulajdonságához köthető.

Faanyagoknál a legelterjedtebb vizsgálati módszer a hárompontos hajlítás, mivel a faanyagokból készített szerkezeti elemek leggyakrabban hajlító igénybevételnek vannak kitéve. Szokásos húzóvizsgálat is, de különösen keresztirányban ritkán végzik. Ezért faanyagoknál a jellemző mechanikai tulajdonságokat hárompontos hajlítással határozzák meg. [17-22]

Kerámiák esetében, mivel rendkívül rideg anyagok és a befogáskor nagyon könnyen megsérülnek, szinte kizárólagosan hajlítóvizsgálatot végeznek.

Fémek esetében mind a hajítás, mind pedig a szakítóvizsgálat könnyen kivitelezhető. Ám a gyakorlatban a szakítóvizsgálatot szokták mechanikai mérőszámok megállapítására használni. A hajlítóvizsgálat kizárólag technológiai vizsgálat. Egyetlen hazai vagy nemzetközi szabvány (ASTM, ISO, DIN, MSZ) sem tartalmaz számszerű eredmények meghatározására iránymutatást, kizárólag a repedéskeletkezéséig elviselt alakváltozást vizsgálja. Ezért rugalmassági modulus is csupán a szakítóvizsgálatból szokás meghatározni szabványos eljárással [23-27].

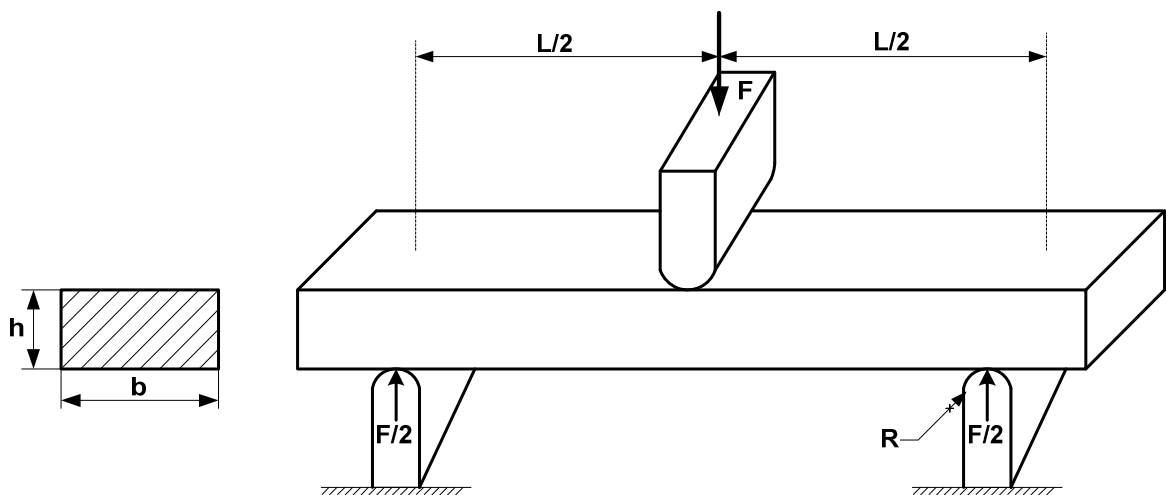
Műanyagok esetében a fémekhez hasonlatosan mindkét vizsgálati módszer könnyen kivitelezhető, ám a húzóvizsgálat ennél az anyagtípusnál is sokkal jellemzőbb.

1.3.1. Hárompontos hajlító vizsgálat

A hajlító vizsgálat a mechanikai anyagvizsgáló módszerek közül az egyik legelterjedtebb minősítő eljárás. Különösen rideg anyagok estében végzik, köszönhetően annak, hogy nincs szükség a mintadarab szoros rögzítésére, megfogására, ami a mintadarab vizsgálat előtti tönkremenetelét eredményezné. Továbbá, a vizsgálható mintadarab alakja (és ebből következően kimunkálása) nagyon egyszerű. Tulajdonképpen minden prizmatikus test vizsgálható hajlító vizsgálat [17-19], igény szerint szívós anyagokon is végrehajtható. Az ilyen anyagok azonban, mint a polimerek és egyes fémek, maradó alakváltozást szenvednek, melyet figyelembe kell venni a vizsgálat során. A hajlítóvizsgálatot két csoportra osztjuk: hárompontos és négypontos hajlításra.

A hárompontos hajlító vizsgálat során a próbatestet két ponton alátámasztjuk és az alátámasztásokkal ellentétes oldalon, a támaszköz középvonalában egy ponton terheljük, ahogyan azt az 1. ábra szemlélteti.

Négypontos hajlítás esetén a vizsgálatot nem végezzük törésig, hanem a rugalmas tartományban dolgozunk. A próbatestet le- és felterheljük, miközben mérjük a terhelőerő és a lehajlás mértékét. Ebben a módszerben más az erőkar, az erő nem a központban terheli a testet, hanem két ponton, melyek között a távolság az alátámasztás távolságának a fele.



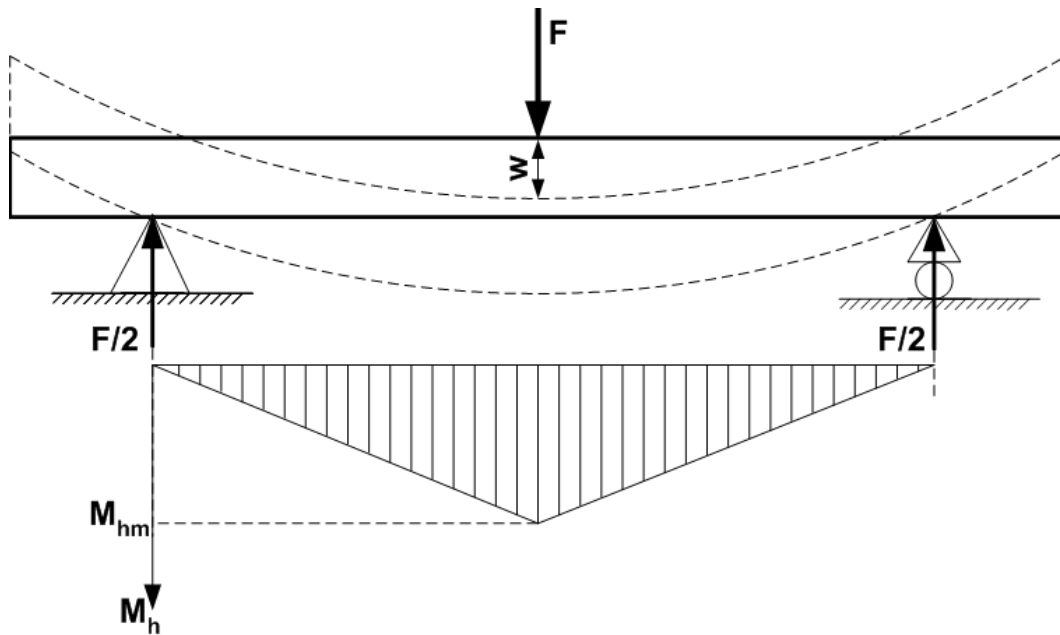
1.1. ábra:

A hárompontos hajlító vizsgálat elrendezési rajza

A terhelést nulláról indulva a behajlással együtt folyamatosan mérjük és regisztráljuk mindaddig, amíg a próbatest el nem törik. A mért erő értékét a behajlás függvényében ábrázolva megkapjuk a vizsgálat hajlító diagramját, melyet a mintadarab kezdeti méreteit

figyelembe véve relatív értékekben is szokás ábrázolni, vagyis az alakváltozás függvényében a hozzá tartozó feszültség értéket.

Mechanikai szempontból a hárompontos hajlítás során a próbatestet kéttámaszú tartóként terheljük a központban ható erővel, miközben nyomaték a 2. ábra szerint változik a hossz tengely mentén [6, 7, 17].



1.2. ábra:

A hárompontos hajlítóvizsgálat elvi vázlata és nyomatéki ábrája

Az ábrában M_{hm} a maximális hajlítónyomatékot jelenti, melynél a próbatest eltörik. A hajlítónyomaték maximális értéke a (9) egyenlet alapján számítható:

$$M_{hm} = \frac{F_m \cdot L}{4} \quad (9)$$

Ahol

F_m – a középponti terhelőerő legnagyobb értéke,

L – az alátámasztások közötti távolság.

Hárompontos hajlító vizsgálat esetén a statikus rugalmassági modulus a faanyagokra és a polimerekre vonatkozó szabványok, valamint a hajlítóvizsgálattal foglalkozó szakirodalmak alapján a következő (10) képlettel számítható.

$$E_B = \frac{F \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot w} \quad (10)$$

Ahol:

F – a „w” behajláshoz tartozó erő értéke az anyag rugalmas tartományán belül.

Fontos kihangsúlyozni, hogy a képlet csak az anyag lineárisan rugalmas tartományán belül használható, melynek megállapítása egyes anyagtípusok esetében nehézkes. A különböző anyagok estében különböző intervallumokat szokás kijelölni, melyen belül a rugalmas viselkedés meghatározható.

A hárompontos hajlítóvizsgálat során meghatározható másik nagyon fontos mérőszám, a hajlítószilárdság (R_{mh}) mely a vizsgálat során fellépő legnagyobb erőhöz tartozó feszültség. Hasáb alakú próbatest esetén a hajlítószilárdság a (11) képletnek megfelelően, a következő összefüggés segítségével számítható.

$$R_{mh} = \frac{3 \cdot F_m \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (11)$$

2. Vizsgált anyagok

A dolgozat készítése során mind a négy nagy anyagcsoportból, tehát fémek, kerámiák, polimerek és a kompozitok közül is választottunk anyagokat. Az egyes anyagokból készített mintadarabok geometriáját úgy választottuk meg a rendelkezésünkre álló alapanyagokból, hogy a vizsgálatokhoz a lehető leghatékonyabbak legyenek [16].

Ez azt jelenti, hogy a mintadarabok hossza, a vastagságukhoz képest minél nagyobb legyen. A vizsgálatokhoz előkészített mintadarabok anyagát, méreteit és a tömegüket a következő táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A vizsgált anyagok, méreteik és tömegük

Anyagtípus	Anyag	Vastagság, mm	Szélesség, mm	Hosszúság, mm	Tömeg, g
Fém	Alumínium, hengerelt	4,36	50,79	281	166,04
Kerámia	Üveg	4,13	60,82	666	413,39
	Gipsz	12,15	80,70	751	546,92
Polimer	Plexi	4,45	50,64	502	118,72
Kompozit	Száritott bükk	38,78	74,20	999	1857

A táblázatban szereplő adatok három mérés átlagaként születtek.

A vizsgált anyagokról készített felvétel a következő ábrában található.



2.1. ábra:

A vizsgált mintadarabok

A kerámia anyag típus közül kettőt is választottunk, egy pórusmentes, merev anyagot, az üveget, és egy viszonylag nagy pórustartalommal rendelkező kerámiát, a gipszet.

3. Vizsgálatok, mérési eredmények

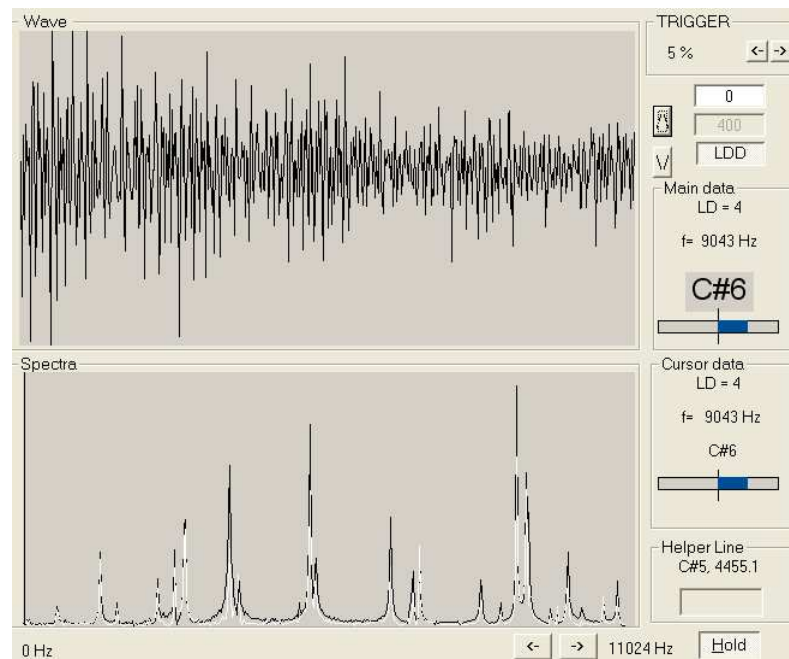
3.1. Roncsolásmentes, dinamikus vizsgálatok eredményei

A rugalmassági modulus meghatározására a longitudinális hullámok sajátfrekvenciáját használtuk fel, melyből a rugalmassági modulus az elméletben ismertetett módon számítható. A mérési összeállítást a következő ábra tartalmazza.

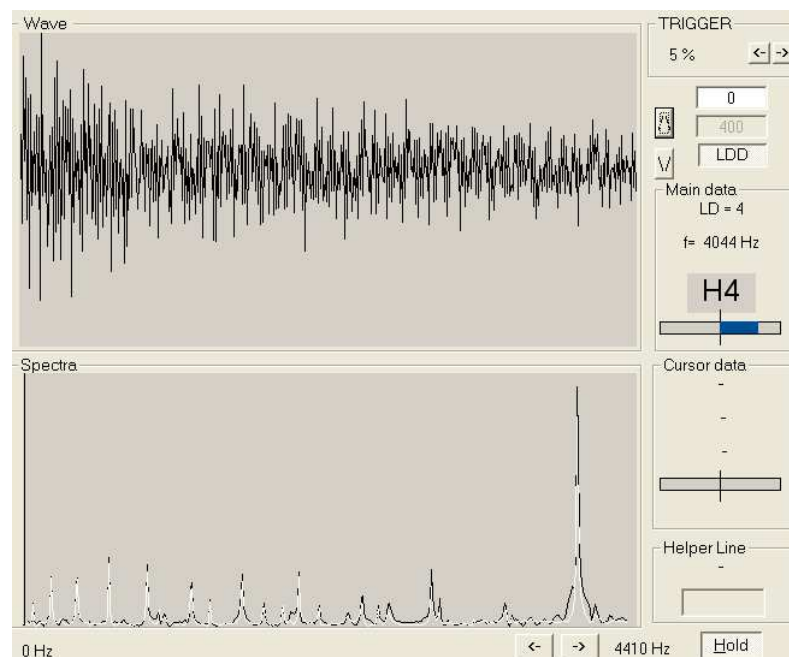


3.1. ábra:
Mérési összeállítás longitudinális hullámok detektálásához

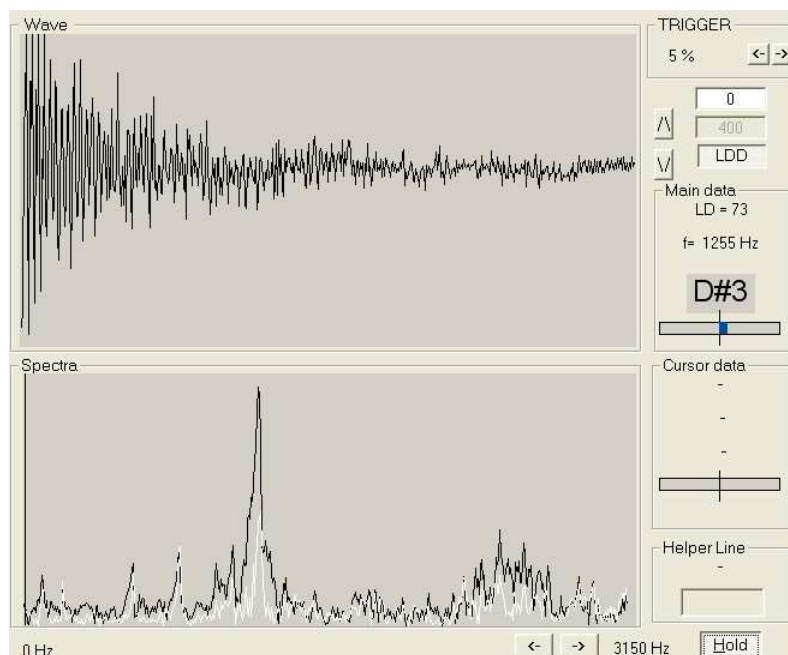
A vizsgálatok során felvett csillapodó rezgéseket és azok gyors Fourier transzformációval (FFT) előállított görbéjét a következő ábrák tartalmazzák.



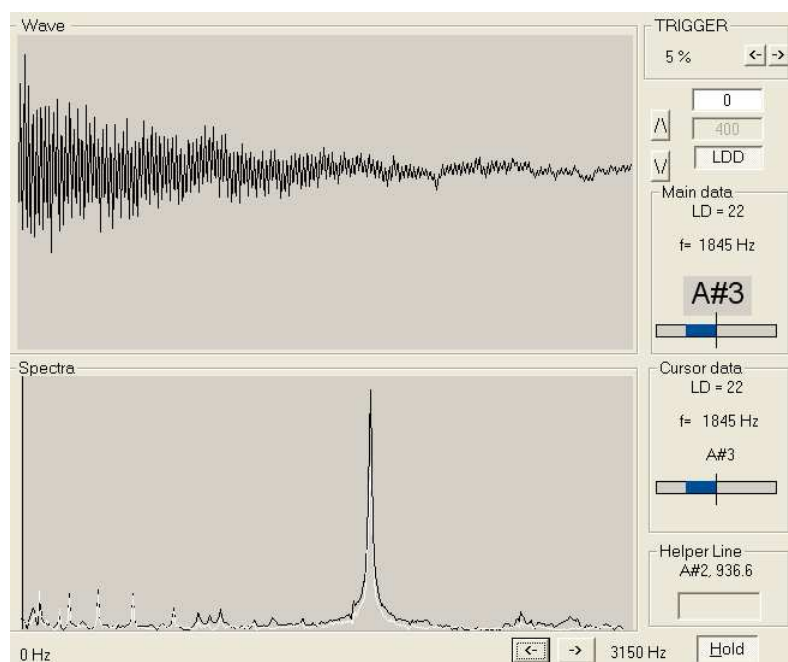
3.2. ábra:
Hengerelt alumínium mintadarab rezonancia görbéje



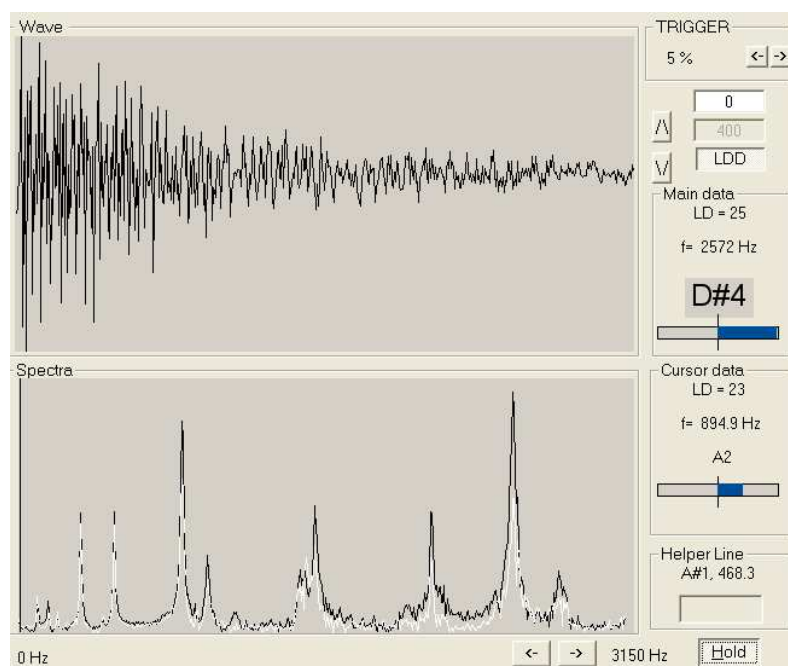
3.3. ábra:
Üveg mintadarab rezonancia görbéje



3.4. ábra:
Gipsz mintadarab rezonancia görbéje



3.5. ábra:
Plexi mintadarab rezonancia görbéje

**3.6. ábra:**

Szárított bükkfa mintadarab rezonancia görbéje

A görbéről (az alkalmazott program segítségével) egyértelműen leolvasható adott geometria mellett az anyag sajátfrekvenciája longitudinális hullámok esetén. Ebből az értékből pedig meghatározható az anyag rugalmassági modulusa.

2. táblázat: Mérési eredmények

Anyag	Sajátfrekvencia, Hz	Rugalmassági modulus logaritmikus hullámok sajátfrekvenciájából meghatározva, GPa
Alumínium, hengerelt	9043	68,919
Üveg	4044	71,646
Gipsz	1255	2,638
Plexi	1845	3,603
Szárított bükk	2578	17,538

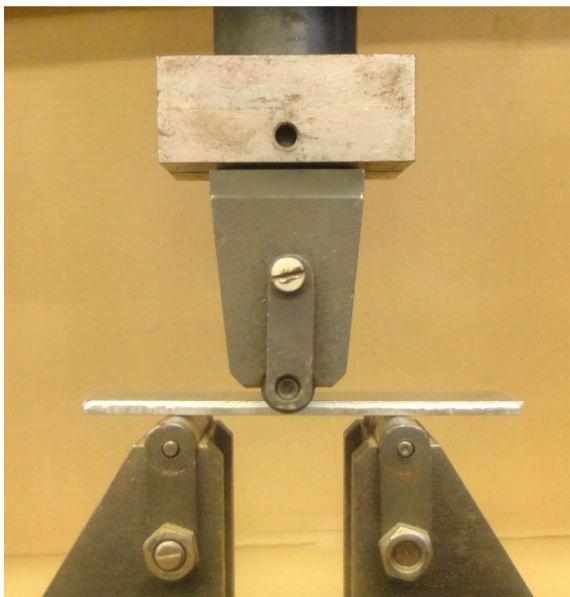
3.2. Statikus hárompontos hajlítás eredményei

Mivel kerámiák és faanyag statikus rugalmassági modulusának meghatározására kizárólag a hajlítóvizsgálatot lehet alkalmazni, ezért műanyag és fém esetében is a hajlítóvizsgálatot választottuk a statikus rugalmassági modulus meghatározására. A vizsgálatokat üveg, plexi és faanyag esetében a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Polimermérnöki Tanszékén INSTRON 5566 típusú univerzális anyagvizsgáló berendezésen Dr. Szabó Tamás, gipsz és alumínium esetén pedig a Gépészmérnöki és Informatikai Kar Mechanikai-Technológiai Tanszékén, MTS hidraulikus anyagvizsgáló berendezésen végeztük Szentpéteri László segítségével végeztem.

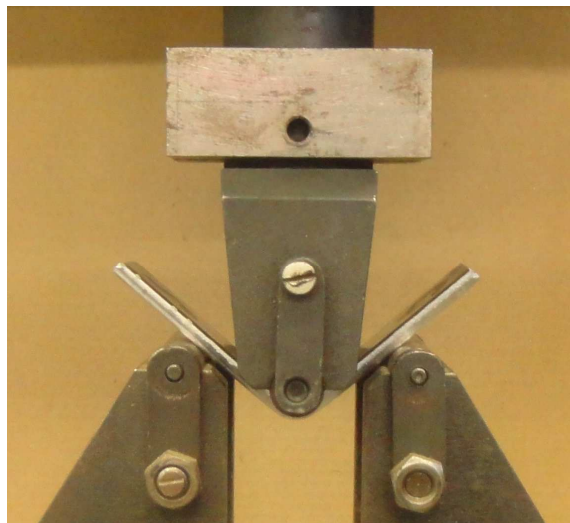
A mintadarabokat roncsolásmentesen, kopogtatással megvizsgált prizmatikus rudakból munkáltuk ki, az adott anyagra vonatkozó szabványok iránymutatásai alapján. A vizsgált minták geometriáját a 3. táblázat tartalmazza. A táblázatban szereplő értékek azokat az értékeket jelölik, amilyenre a mintadarabokat ki szeretnénk volna munkálni. A tényleges méreteket a vizsgálat előtt minden esetben több ponton is megmértük, és a századmilliméteres pontossággal meghatározott méretet használtuk.

3. táblázat: A hárompontos hajlítóvizsgálat mintadarabjainak geometriája.

Anyag	Vastagság, mm	Szélesség, mm	Hosszúság, mm	Alátámasztás, mm
Alumínium, hengerelt	3,25	20	60	45
Üveg	1,95	10	40	60
Gipsz	12,5	30	120	100
Plexi	4,5	20	60	100
Száritott bükk	10	10	120	150



Alumínium minta a vizsgálatra előkészítve



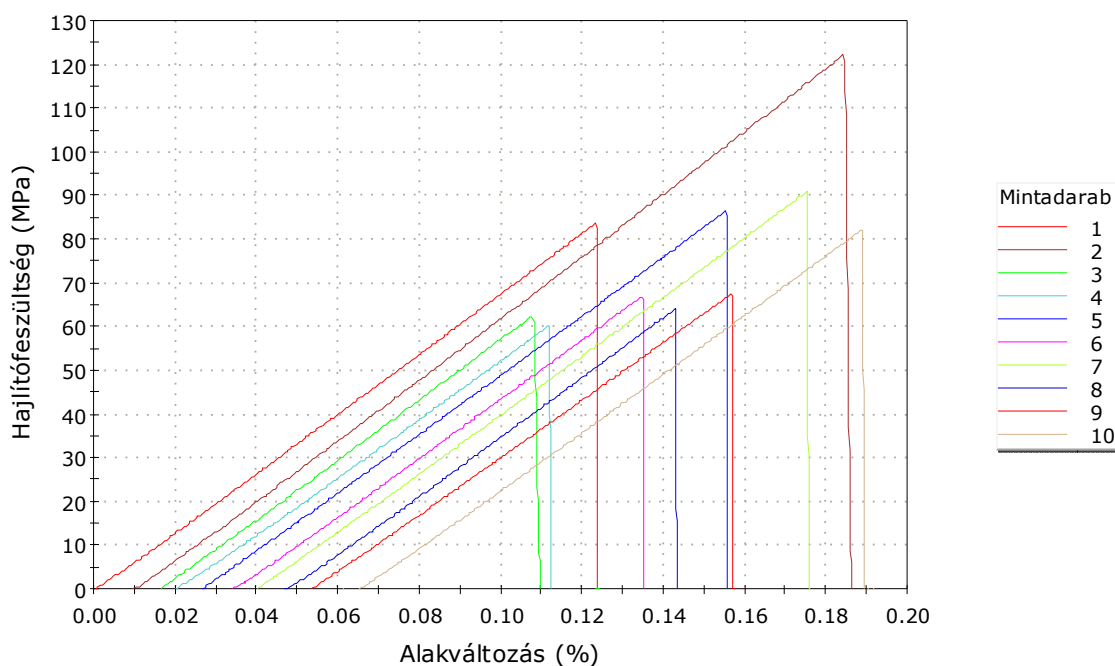
Alumínium minta a vizsgálat után

3.7. ábra:

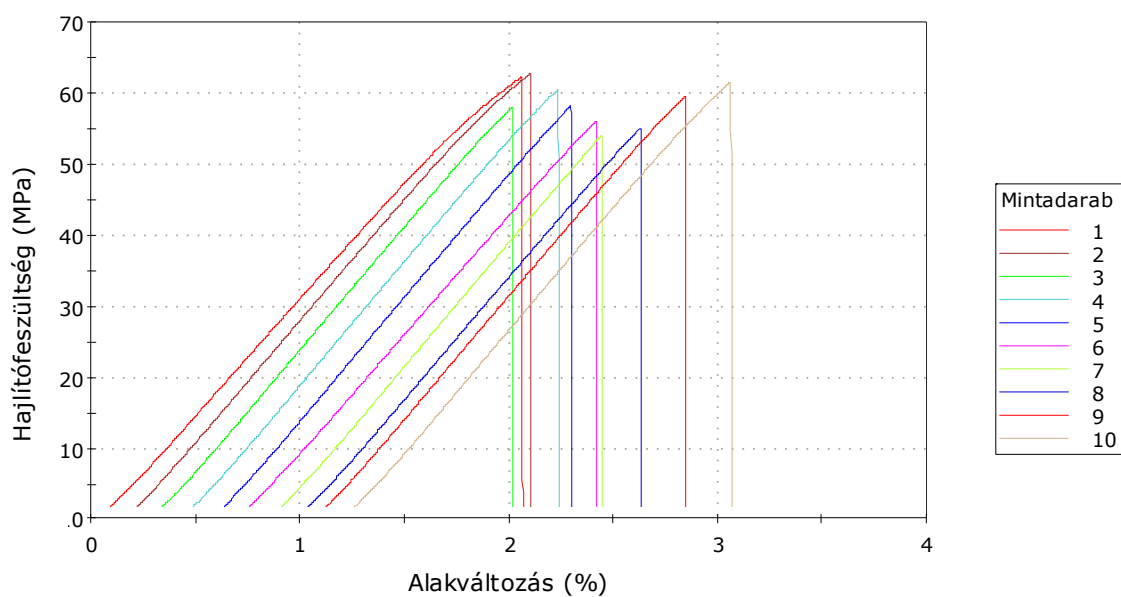
Hárompontos hajlítóvizsgálat lemez próbatesten (saját felvétel mérés közben)

A vizsgálatok során felvett diagramok anyagoként csoportosítva a következő ábrában láthatók.

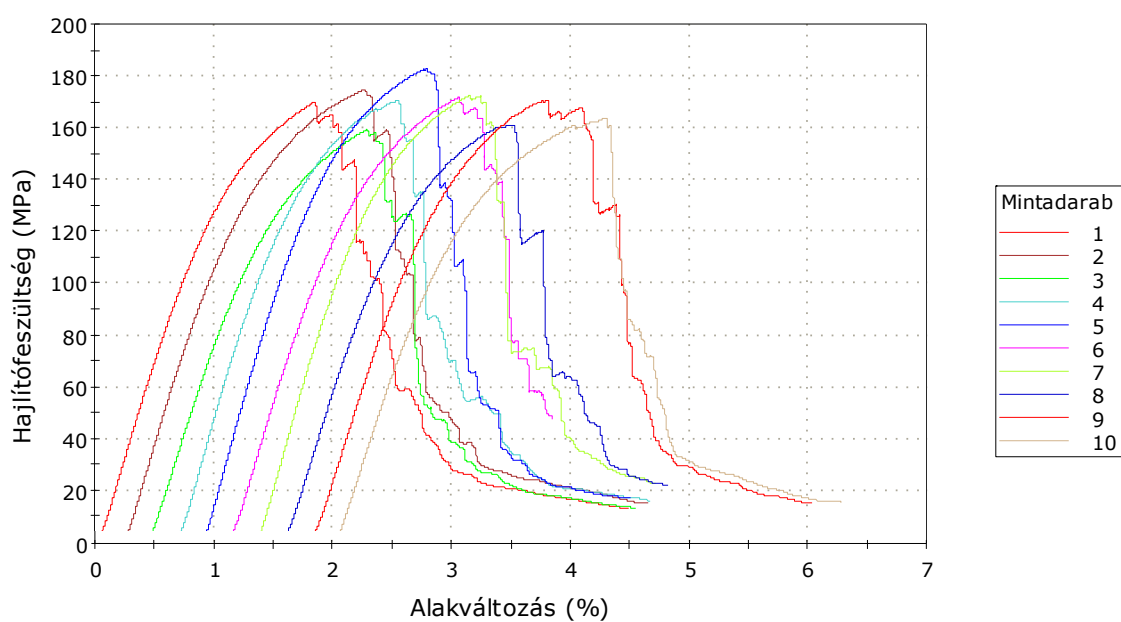
Üveg, plexi és szárított bükk esetében 10-10 mintadarabot törtünk el a vizsgálatok során.

**3.8. ábra:**

Üveg statikus vizsgálata során felvett hajlító diagramok

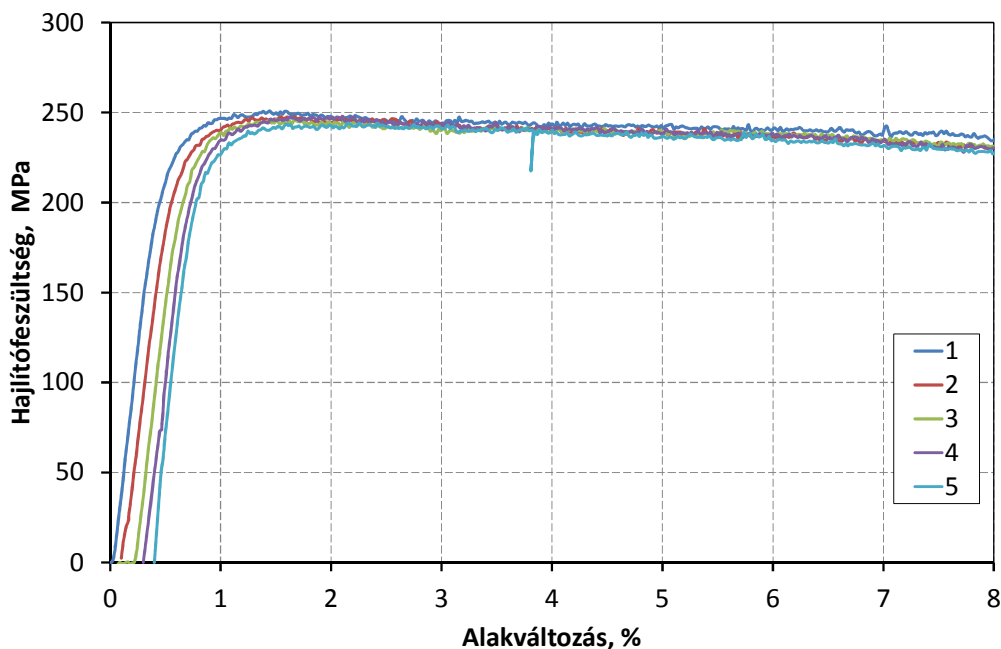


3.9. ábra:
Plexi statikus vizsgálata során felvett hajlító diagramok



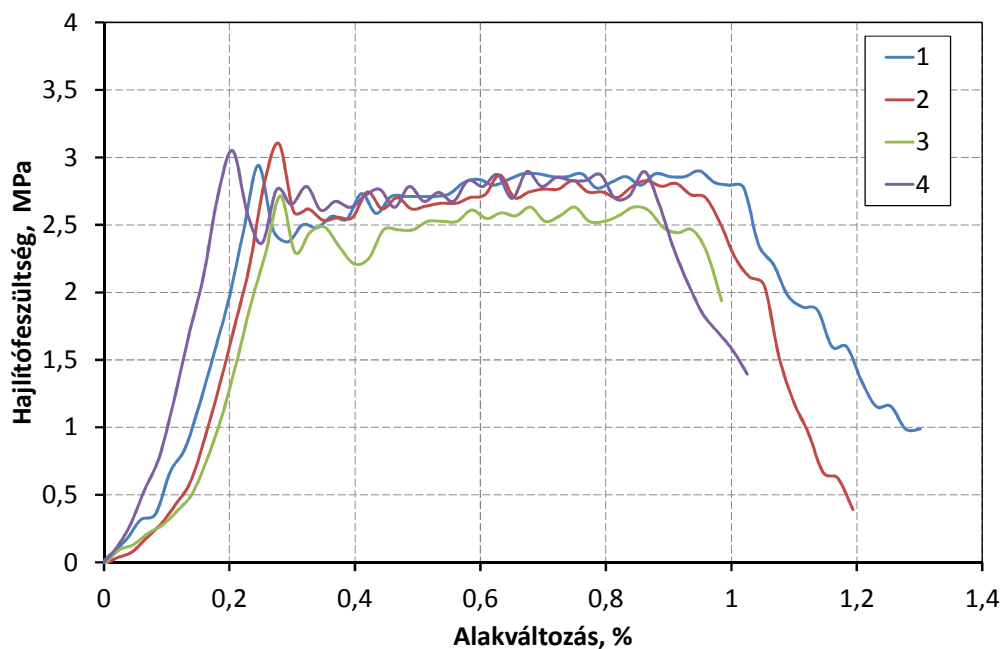
3.10. ábra:
Szárított bükk statikus vizsgálata során felvett hajlító diagramok

Melegen hengerelt alumínium esetében öt, a gipsz minta esetében négy mintadarabot hajlítottunk, mert sajnos többet nem lehetett kimunkálni a kopogtatással vizsgált prizmatikus rúdból. Ezeket a méréseket MTS hidraulikus berendezésen végeztük.



3.11. ábra:

Melegen hengerelt alumínium statikus vizsgálata során felvett hajlító diagramok



3.12. ábra:

Gipsz statikus vizsgálata során felvett hajlító diagramok

4. táblázat: A hárompontos hajlítóvizsgálat során meghatározott anyagjellemzők és statisztikai kiértékelésük

Anyag	Jellemző	Átlag	Szórás	Variancia, %
Alumínium, melegen hengerelt	E_B , GPa	53,86	1,67	3,09
	R_{mh} , MPa	247,14	3,04	1,23
Üveg	E_B , GPa	68,91	1,50	2,18
	R_{mh} , MPa	78,63	18,91	24,05
Gipsz	E_B , GPa	1,56	0,24	15,21
	R_{mh} , MPa	2,95	0,17	5,80
Plexi	E_B , GPa	3,45	0,06	1,79
	R_{mh} , MPa	58,79	3,04	5,17
Szárított bükk	E_B , GPa	15,20	0,91	5,98
	R_{mh} , MPa	169,75	6,88	4,05

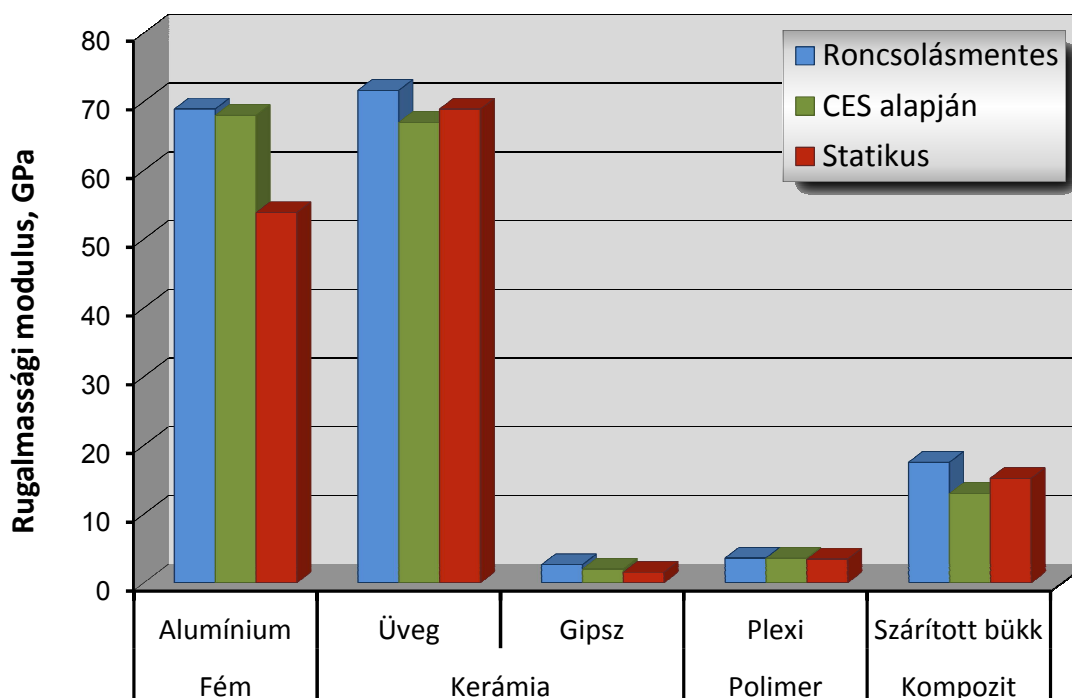
3.3. Anyagadatbázisban szereplő rugalmassági modulusok

A kapott eredményeket le szeretnénk volna ellenőrizni, ezért a meghatározott rugalmassági modulus eredményeket összehasonlítottuk adatbázisokban található adatokkal.

A CES (Cambridge Engineering Selector) az Egyesült Királyságban lévő Cambridgei Egyetemen kifejlesztett adatbázis, mely egyike a világon a legelfogadottabbaknak. Ezen adatbázis 2011-ben megjelent verziójában szereplő rugalmassági modulusokat gyűjtöttük ki a vizsgált anyagtípusok esetében. Az adatbázist a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológia Tanszékén használtuk. Az eredmények táblázatos formában, a következő táblázatban találhatók.

A kapott eredmények közül a szárított bükköt kivéve mindegyik beleesik a CES által megadott intervallumba.

A következő diagram az eredményeket jeleníti meg grafikus formában.



3.13. ábra:

A három rugalmassági modulus anyagonként ábrázolva oszlopdiagramban

5. táblázat: A hárompontos hajlítóvizsgálat során meghatározott anyagjellemzők és statisztikai kiértékelésük.

Anyagtípus		Rugalmassági modulus, GPa		
		Dinamikus, logaritmus hullámok sajátfrekvenciájából	Statikus, hárompontos hajlító vizsgálatból	CES 2011
Fém	Alumínium	68,92	53,86	68...75
Kerámia	Üveg	71,65	68,91	66,3...74,8
	Gipsz	2,64	1,56	1,5...3,2
Polimer	Plexi	3,60	3,45	3,4...3,7
Kompozit	Szárított bükk	17,54	15,20	11...15

Száritott bükk esetében mind a két vizsgálati módszer esetében magasabb értéket mutatnak az irodalmi értékeknél. Ez arra enged következtetni, hogy a vizsgált bükk esetében nem csupán száritották a faanyagot, hanem előtte hosszabb ideig gőzölték is, ami megnövelte a bükk faanyag merevségét.

Más magyar szakirodalom alapján, pl. [18] Molnár Sándor Faanyagismeret – mely az egyik lefogadottabb magyar nyelvű forrás – a bükk hajlító rugalmassági modulusa elérheti a 18 GPa-os értéket is. Tehát a 17,54 GPa-os eredmény elfogadható annak ellenére, hogy kívül esik a CES által megadott intervallumon.

4. Összefoglalás

Tudományos Diákköri dolgozatomban roncsolásmentes, dinamikus és roncsolásos, statikus módszerekkel határoztuk meg mind a négy anyagtípusból egy-egy anyag rugalmassági modulusát. A mechanikai tulajdonságok nagymértékben függenek a pórustartalomtól, ezért kerámiák esetén egy nagy pórustartalmú anyag, a gipsz, és egy pórusmentes anyag, az üveg esetében is meghatároztam a rugalmassági modulusot.

Az egyik legbővebb és legelfogadottabb nemzetközi adatbázisban, a Cambridge Engineering Selector 2011-es verziójában megkerestük a vizsgált anyagok esetében a rugalmassági modulus értékeket, és összehasonlítottuk az általunk meghatározott értékekkel. A kapott eredmények a vizsgált anyagok esetében mind roncsolásmentes, mind hárompontos vizsgálat esetében beleesnek a CES által megadott intervallumba, a faanyagot kivéve.

A vizsgálatok bizonyítják, hogy a longitudinális hullámok sajátfrekvenciájából megállapított rugalmassági modulus nagyon jó korrelációt mutat mind az irodalmi értékekkel, mind pedig az azonos mintából készített statikus rugalmassági modulus értékekkel, ezért jól alkalmazható anyagok rugalmassági modulusának gyors és roncsolásmentes meghatározására.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán lévő Polimermérnöki Tanszéknek, különösen Dr. Szabó Tamásnak, hogy lehetőséget biztosított hajlítóvizsgálatok végzésére. Továbbá a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karán lévő Mechanikai-Technológiai Tanszéknek, ahol az alumínium és a gipsz minták hajítását végeztük.

Végül szeretnék köszönetet mondani Dr. Kuzsella Lászlónak, aki megismertetett a roncsolásmentes rugalmassági modulus meghatározásának elméletével és módszereivel, továbbá, hogy irányítja tudományos diákköri munkámat már második éve.

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- [1] Ashby, M. F.; Jones, D. R. H.: Engineering Materials 2, An Introduction to Microstructures, Processing and Design, International Series on Materials Science and Technology, Volume 39. Pergamon Press, 1992. ISBN 0-08-032532-7
- [2] Bucur, V.: Acoustics of wood, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, ISBN-13 978-3-540-26123-0
- [3] Summersclaes, J.: Non-destructive testing of fibre-reinforced plastics composites, Volume 1.; Elsevier Applied Science London, New York, 1987. ISBN 1-85166-093-3
- [4] Babos, K.; Filló, Z.; Somkuti, E.: Haszonfák, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979. ISBN 963 10 2582 9
- [5] Randall F. Barron: Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, Inc, 2003. ISBN: 0-8247-0701-X
- [6] Szabó, I.; Kuzsella, L.: Faanyagok alkalmazástechnikája, Miskolci Egyetemi Kiadó, egyetemi jegyzet, 2009.
- [7] Czél György, Kollár Mariann: Anyagvizsgálati praktikum, Sunplant 2008. ISBN 978-963-06-4216-3
- [8] RAYLEIGH, L. (1945): Theory of Sound. Vol. 1, 2nd edition, Macmillan, New York.
- [9] Pellerin, R. F.; Ross, R. J.: Nondestructiv Evaluation of Wood; Forest Products Society, Madison WI; 2002. ISBN 1-892529-26-2
- [10] TIMOSHENKO S. – YOUNG D.H. (1954): Vibration problems in engineering. 3rd edition, Van Nostrand, New York
- [11] Perstorper, M.: Dynamic modal tests of timber-evaluation according to Euler and Timoshenko theory, Chalmers University of Technology, Division of Steel and Timber Structures, Göteborg, Sweden, 1994. ISSN 0534-0411, pp: IIb-1 — IIb-21

- [12] Yingcheng HU: Nondestructive Testing of Mechanical Parameters for Wood-based Materials, 17th World Conference on Nondestructive Testing, 25-28 Oct 2008, Shanghai, China,
- [13] F. Alton Everest: Master Handbook of Acoustics, Fourth Edition, The McGraw-Hill Companies, 2001. 9-78-007139974-6
- [14] Michael Bruneau: Fundamentals of Acoustics, 2006, ISTE Ltd, ISBN-13: 978-1-905209-25-5
- [15] David Havelock, Sonoko Kuwano, Michael Vorländer: Handbook of Signal Processing in Acoustics, Volume 1. 2008 Springer Science+Business Media, LLC, ISBN: 978-0-387-77698-9
- [16] Bucur, V.: Nondestructive Characterization and imaging of Wood, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2003. ISBN 3-540-43840-8
- [17] Kuzsella László, Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira, Ph.D doktori értekezés, Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar, Kerpely Antal Anyagtudományi és Technológiák Doktori Iskola, (2011)
- [18] Molnár, S.: Faanyagismeret, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, ISBN 963 9553 17 4, (2004)
- [19] Herausgegeben von Horst Blumenauer: Herkstoffprüfung, ISBN 3-342-00056-2 (1995)
- [20] Gillemot László: Metallográfia és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó Budapest (1964)
- [21] Faanyagvizsgálatok, Rugalmassági együttható meghatározása statikus hajlítással, MSZ 6786/15-84, K19.
- [22] Faszerkezetek. Szerkezeti fa és rétegelt-ragasztott fa. Egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározása. MSZ EN 408, (1998)
- [23] Faszerkezetek. Vizsgálati módszerek. A fa alapanyagú lemezek mechanikai tulajdonságainak meghatározása. MSZ EN 789, (2000)

- [24] Fémek. Hajlítóvizsgálat. MSZ EN ISO 7438:2006 (ISO 7438:2005)
- [25] Fémek. Csövek hajlítóvizsgálata. MSZ EN 8491:2004
- [26] Fémek. Fémek hajlítóvizsgálata legalább 3 mm vastagságú termékekre
MSZ EN 5702:78 (1978)
- [27] Műanyagok. A hajlítási tulajdonságok meghatározása. MSZ EN ISO 178:2003
- [28] Szálerősítésű műanyag kompozitok. Hajlítási tulajdonságok meghatározása.
MSZ EN ISO 14125:1999