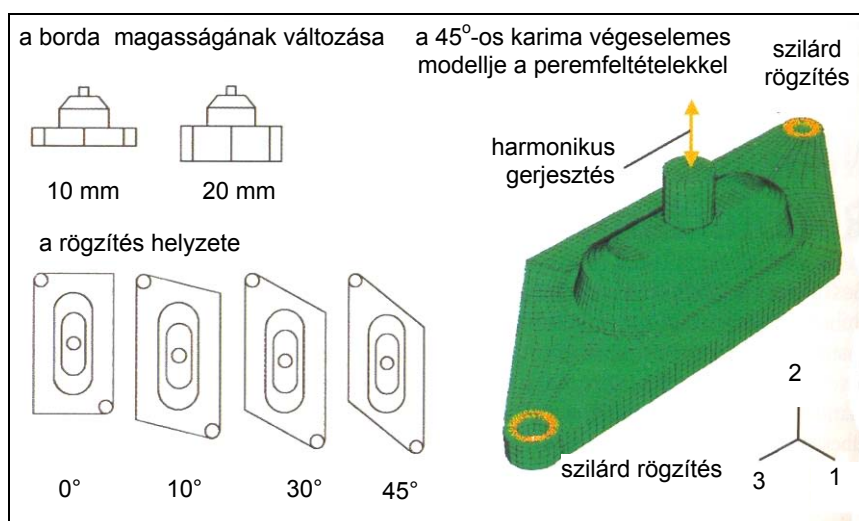


## Műanyagtermékek akusztikus tulajdonságai

*Tárgyszavak: gépkocsigyártás; akusztikus tulajdonságok; mérési elv; mérési módszer; előrejelzés; szimuláció; FEM; „megkomponált” zajhatás.*

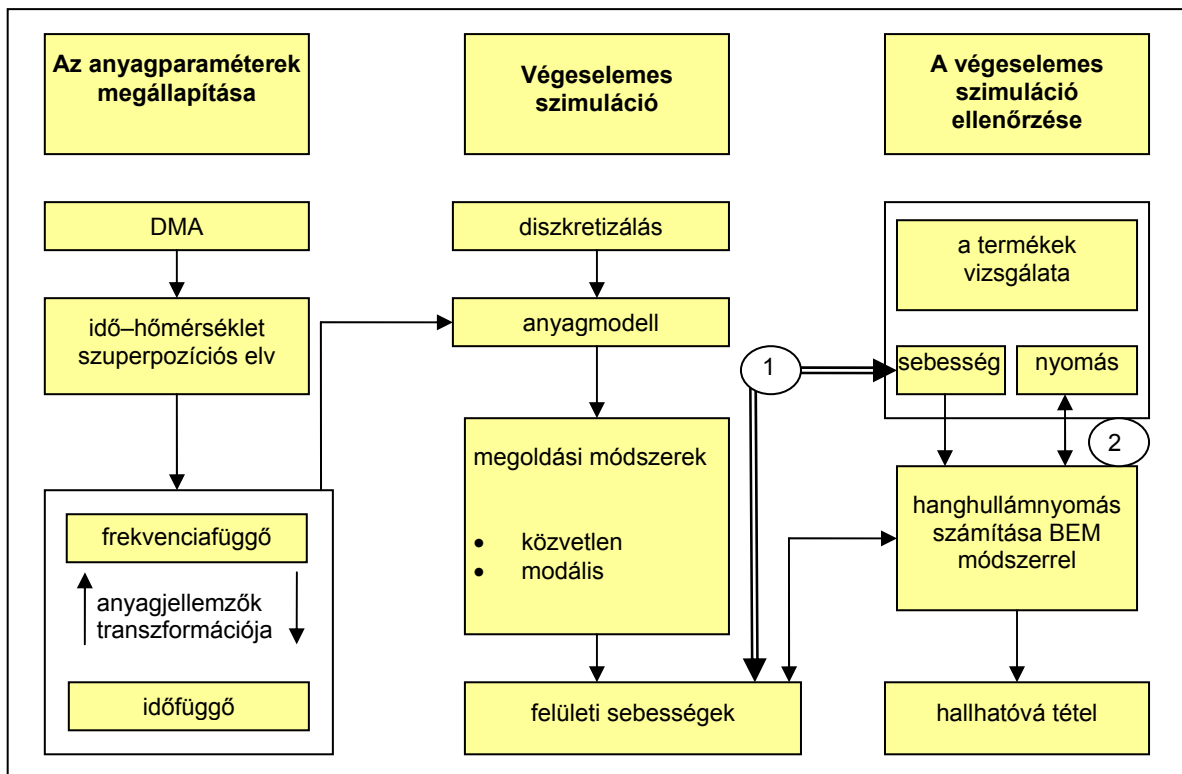
### Miért van szükség az akusztikus jellemzésre?

A műanyagtermékek akusztikus jellemzése iránti igény részben törvényi, részben gazdasági indokokból merült fel. *Egyre több területen szabnak meg a törvények határértékeket különböző termékjellemzőkkel, többek között zajterheléssel kapcsolatban is.* A műanyagtermékek akusztikus jellemzésekor azonban nehezen adható meg egyetlen olyan számszerű jellemző, amellyel a termék egyértelműen leírható és minősíthető lenne. Ezen a területen leggyakrabban egyéni, és sokszor erősen szubjektív értékelési módszereket szoktak használni. Mivel az akusztikus zajkeltés és annak észlelése erősen nemlineáris, megítélése pedig némileg egyéni, nehéz a termékek tervezése és optimalizálása. *Az akusztikus jellemzők előrejelzésének egyik módja a véges-elemes (FEM) módszer vagy az ún. határelemes módszer (BEM).* Az alább ismertetett vizsgálatokat egy konkrét alkatrészén végezték el.



1. ábra A modellkarima geometriája, a változtatható geometriai jellemzők és a befogás módja

Az 1. ábra mutatja a modellként használt karima geometriáját (amely egy gépkocsi motorterébe beépített karimát képvisel), ahol a különböző geometriai változatokat egyetlen szerszámmal, különböző betétek segítségével lehet megvalósítani. A csavarnyílások szögét és a 45°-os szög mellett a borda magasságát változtatni lehet, így mind a geometria, mind az anyag (erősítetlen polipropilén és poliamid) hatása könnyen vizsgálható. Az ábra jobb oldalán az is látható, hogy a szerkezetet a csavarnyílásokon szilárdan rögzítik, és a csúcsán alkalmazzák a mechanikai gerjesztést.



2. ábra A műanyagtermék akusztikus viselkedésének becslése

## A várható akusztikus viselkedés előrejelzésére használt modellek és vizsgálati módszerek

A 2. ábrán látható az elméleti és kísérleti vizsgálat blokkdiagramja. Az első lépés a frekvenciafüggő anyagtulajdonságok megmérése. Ehhez lényegében egy dinamikus mechanikai analízátort (DMA) használtak. Az anyagi jellemzők széles frekvenciatartományban történő megállapításához felhasználták a hőmérséklet–idő szuperpozíciós elvet, mert csak ennek alkalmazásával extrapolálhatók a mért adatok abba a frekvenciatartományba, ahol a végeselemes (FEM) számításokat el kell végezni. Másrészt viszont a frekvenciar-

tományban végzett méréseket vissza kell transzformálni az időtartományba ahhoz, hogy a hosszú időkhöz tartozó paramétereket meg lehessen becsülni. Az így megállapított adatokat le kell fordítani egy olyan „anyagmodellre”, amelyet a számítógép a számítások során fel tud használni. Ennek birtokában egy megfelelően diszkrétizált test felületi sebességeloszlása már számítható mechanikai gerjesztés hatására. A hanghullámnyomást a tér különböző pontjaiban meg lehet határozni, és össze lehet vetni a számított értékekkel. A hanghullámnyomásokat a határelemes módszer segítségével lehet mérni, amelynek bemenő paraméterei a korábban meghatározott anyagjellemzők és a felületi sebességek. *Végül a számított zajok akusztikusan is megjeleníthetők, és a szubjektív mérési módszerek segítségével összehasonlíthatók azzal, amelyet az adott próbatest a valóságban produkál.*

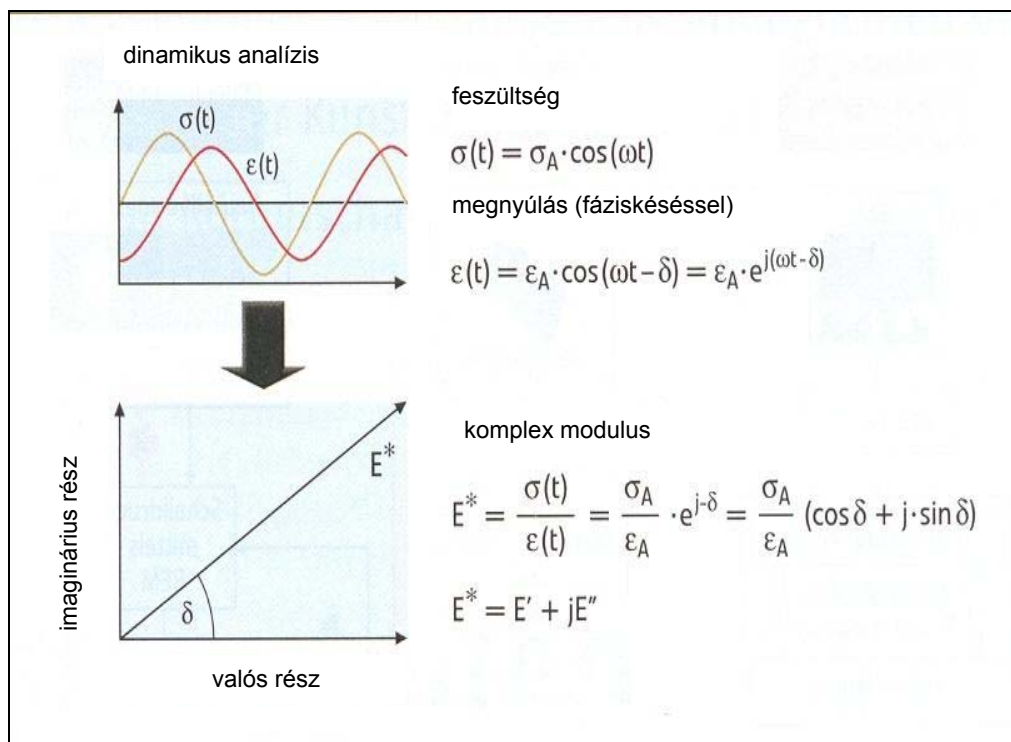
## **A felületi sebességek meghatározása**

A fröccsöntött próbatesteket a jelzett módon befogták, majd egy elektromechanikus vibrátor segítségével mechanikai gerjesztés hatásának tették ki. A mérés során 1 N amplitúdójú, szinuszosan változó erőt alkalmaztak, amely az 1. ábrán bemutatott helyen hatott. A felületi elmozdulásokat lézeres vibrométerrel követték. A felületi sebesség a viszkoelasztikus tulajdonságok miatt ugyancsak komplex mennyiségként kezelendő, amelynek egy része fázisban van a gerjesztéssel, egy másik (imaginárius) része viszont  $90^\circ$ -os fáziseltérést mutat a gerjesztéstől. A kiválasztott mérési pontokon a frekvencia függvényében megmérve a felületi sebességet azt tapasztalták, hogy a geometria és a használt anyag függvényében a maximális sebesség frekvenciája és nagysága is eltolódott. Emögött az áll, hogy a geometria és az alkalmazott anyag minősége befolyásolja az egész szerkezet merevségét. Az így nyert szerkezeti információk hozzásegíthetnek a legmegfelelőbb geometria és anyag kiválasztásához.

## **Mérések és az anyagmodell kalibrációja**

Az alapvető akusztikus paraméterek mérése és a segítségükkel egyszerűbb vagy bonyolultabb geometriákon végzett számítások már régebb óta ismertek. A FEM számítások jóságát azonban alapvetően befolyásolja, hogy milyen jól tudják leírni az alkalmazott anyag viselkedését az ún. anyagmodellekkel. A dinamikus mechanikai analízis alapvető összefüggéseit a 3. ábra vázolja. Az anyag viszkoelasztikus jellege miatt az alkalmazott szinuszosan változó erő és az ugyancsak szinuszosan változó elmozdulás között fáziseltérés alakul ki. Ezt egy komplex modulussal lehet leírni, amelynek valós része a gerjesztéssel fázisban levő, imaginárius része pedig attól  $90^\circ$ -os kitérést mutató elmozduláskomponenst adja meg. Ezeket a paramétereket a gerjesztés, az elmozdulás és a fázisszög mérésével és függvényillesztéssel lehet meghatá-

rozni. A dinamikus analízisben egy hagyományos DMA berendezést és egy nagyfrekvenciás pulzusadó berendezést használtak. A nagyfrekvenciás mérések során az erőt piezoelektromos szenzorral, az elmozdulást pedig lézeres extenzométerrel követték. A DMA mérésekkel ellenőrizni lehetett, hogy a még prototípusként felépített nagyfrekvenciás elmozdulásmérő berendezés elég megbízhatóan működik-e. A kétféle módszerrel nyert adatok jó egyezést mutattak (4. ábra). Méréstechnikailag az adatok kb. 800 Hz-ig követhetők, míg a szimulációhoz kb. 7 kHz-ig volt szükség az adatokra, amit több hőmérsékleten felvett adatokból, az idő-hőmérséklet szuperpozíciós elv alkalmazásával lehetett megkapni.

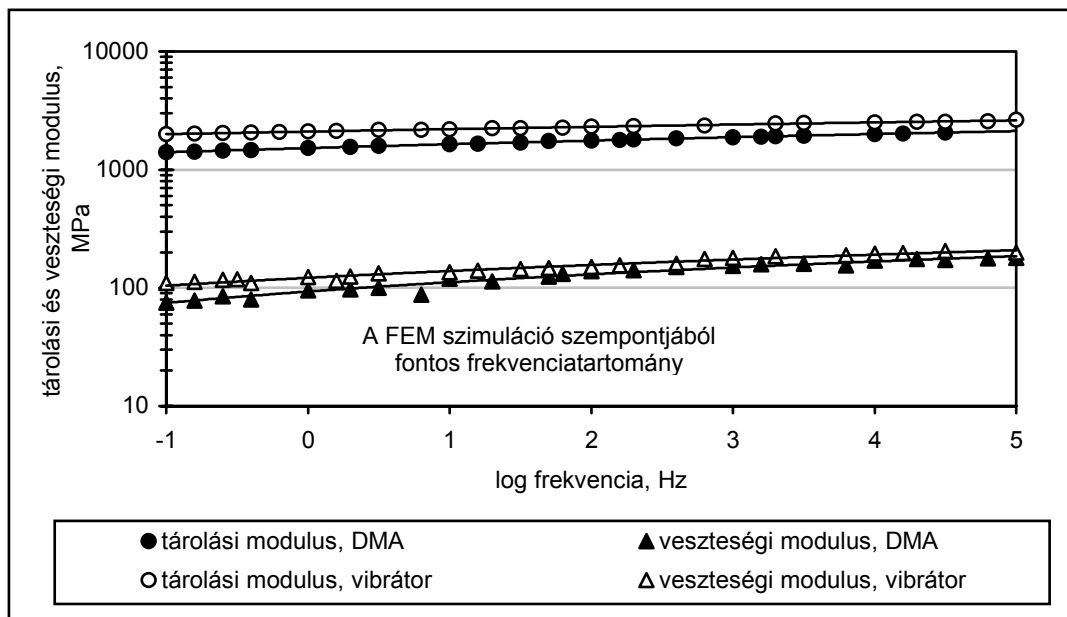


3. ábra A dinamikus anyagtulajdonságok leírása a végeselemes modellhez

## A modellek igazolása (verifikációja) a felületi sebességek és hanghullámnyomások esetében

Az első adatsor segítségével az anyagmodell paramétereit lehetett beállítani, majd az *Abaqus* nevű FEM program segítségével ki lehetett számítani a felületi sebességeket. A mért és számított adatok egyezése némi frekvenciaeltolódástól és amplitúdóeltérésektől eltekintve jónak mondható. A BEM szimulációk segítségével (LMS Sysnoise program) a felületi sebességeknél ma-

gasabb szinten is ellenőrizni lehetett a modellszámítások jóságát: kiszámították a várható hanghullámnyomásokat és összehasonlították a mért értékekkel. A kísérleti meghatározásánál (akárcsak a rezgési mérések esetében) a vibrátoros gerjesztést alkalmazták, de annak érdekében, hogy a vibrátor saját zaját ne mérjék bele, a vibrátort egy akusztikusan szigetelő dobozban helyezték el, és a hanghullámnyomást ún. „süketszobában” mérték. A mért és számított eredmények közti egyezés ezen a szinten is jónak volt mondható.



4. ábra PP (Polychim B10 FB, Schulman GmbH) tárolási és veszteségi modulusának mestergörbéi 23 °C-on

## Zajcsökkentés helyett zajmódosítás gépkocsikban műanyagok segítségével

*A luxusautók gyártásában ma az a törekvés, hogy az utastérben a zajokat ne egyszerűen csak lecsökkentsék, hanem „vonzóvá” tegyék. A sportautók tulajdonosai kimondottan szeretik, ha a motor zaja hallható az utastérben, de ez nem lehet zavaró, és illeszkednie kell az utazás élményéhez. Egy modern autó akusztikus tervezése több annál, mint hogy csökkentsék az ajtócsapás zaját vagy elkerüljék a nem pontosan legyártott méretű alkatrészek érintkezésekor fellépő zörejt. Ma már a zajokat is tudatosan tervezik, akusztikus stúdióban, szakértők bevonásával. Ehhez gondosan analizálni kell a gépkocsiban levő zajforrásokat és azok továbbadási útjait. A Porsche Cayenne tervezésekor pl. bonyolult akusztikai szimulációs programokat használtak, még mielőtt az első prototípus megépült volna. A zajszigetelő filceken megfelelő ablakokat*

vágtak, hogy csak a kívánt mértékű és jellegű zajok jussanak be az utastérbe – a nem kívánatos zajokat továbbra is gondosan kiszűrték.

A standard „zajcsomag” a Porsche Cayenne esetében gondosan megtervezett elemekből áll, amelyeket részben műanyag alkatrészekkel keltenek vagy módosítanak. A homlokfal mögötti és a szőnyeg alatti felületeket mélyhúzott EPDM nehézfóliák díszítik, amelyek mögött nyitott pórusú PUR hab található, más felületeken nagy térfogatú PUR hab öntvények és mikroszálalás PES filcből kivágott elemek vannak. A homlokfelületen ezenkívül belső csillapítófóliával ellátott hőformázott könnyű habok szolgálják a tervezett akusztikus védelmet. A motorházat, a motorháztetőt könnyű habszigetelés borítja, az ajtót mikroszálalás PES filccel töltik meg. Mintegy 47 kg műanyag szolgál az autóban csak arra, hogy a zajt „megkomponálják” az utastérben. Ahhoz, hogy gyorsításkor a tulajdonost átjárja a jóleső borzongás, a homlokfelület felőli zajokat csillapítják, viszont a padló felől érkező zajokkal szemben valamelyest átlátszóbbá teszik a szerkezetet. A teljes sebesség „fortissimóját” pedig egy speciális légszűrő szolgáltatja, amely csak teljes motorterhelésnél lép működésbe.

Látható tehát, hogy a kifinomult műanyagipari tervezés során – az alkalmazástól függően – igény merülhet fel az egyszerű hangszigeteléstől és zajcsökkentéstől a tervezett zajok megkomponálásig mindenre. A kívánatos megoldásokat a széles anyagválaszték és a fejlett mérési valamint szimulációs módszerek együtt szolgáltatják.

**Dr. Bánhegyi György**

Schmachtenberg, E.; Krumpholz, T. stb.: Akustik von Kunststoffbauteilen. = Kunststoffe, 94. k. 9. sz. 2004. p. 230–235.

Vom Lärm zum Sound. = Kunststoff und Kautschuk Zeitung (K-Zeitung), 2004. 14. sz. júl. 15. p. 14.