

ESTUDIO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE PANELES DE ETILENVINILACETATO (EVA) UTILIZADOS EN SUELOS TÉCNICOS DEPORTIVOS

PACS: 43.55.Ev

M. Zamorano Cantó¹; J. Segura Alcaraz²; A. Nadal Gisbert³; J.E. Crespo Amorós⁴; J.M. Gadea⁵; E.Juliá Sanchis⁶; A. Pacetti⁷

¹Universidad Politécnica de Valencia, Departamento ingeniería textil y papelera E.P.S.A., Campus d'Alcoi, 03801 Alcoy, Spain mzamoran@upvnet.upv.es.

²Universidad Politécnica de Valencia, Centro de tecnologías físicas, Campus de vera s/n Valencia, jsegura@mcm.upv.es

³Universidad Politécnica de Valencia, Departamento ingeniería mecánica y materiales, E.P.S.A., Campus d'Alcoi, 03801 Alcoy, Spain anadal@mcm.upv.es

⁴Universidad Politécnica de Valencia, Departamento ingeniería mecánica y materiales, E.P.S.A., Campus d'Alcoi, 03801 Alcoy, Spain jocream@dim.upv.es

^{5,2}Universidad Politécnica de Valencia, Centro de tecnologías físicas, Campus de vera s/n Valencia. jmgadea@mes.upv.es

^{6,2}Universidad Politécnica de Valencia, Centro de tecnologías físicas, Campus de vera s/n Valencia. erjusan@mes.upv.es

⁷ Technical director PAVIGIM, Partida Canastell Pda. Canaste II I-98 E-03690 - San Vicente del Raspeig (Alicante). www.pavigym.com

RESUMEN

El etilenvinilacetato (EVA) es un material que, entre sus aplicaciones, está la de suelos técnicos deportivos. La selección de estos materiales se realiza en función de sus propiedades mecánicas. Las actuales restricciones acústicas en la edificación, exigen la evaluación de parámetros acústicos y dinámicos de los materiales. Este estudio aporta el análisis de tres parámetros vibroacústicos: rigidez dinámica, factor de pérdidas y pérdidas por transmisión acústica, según las normativas ISO 9052, ASTM D790-02 y ASTM E2611-09, respectivamente. Los resultados muestran la influencia de la densidad y del espesor en el comportamiento dinámico y acústico del EVA.

Palabras clave: etilenvinilacetato; rigidez dinámica; factor de pérdidas; transmisión acústica.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un gran número de aplicaciones del EVA tales como mangueras, equipamiento médico, protección de cables, etc. Cuando este material está espumado puede además formar parte de neumáticos, juguetes flexibles, rodilleras y otros usos en elementos deportivos. Este trabajo se ha desarrollado en colaboración con la empresa PAVYGYM, que fabrica materiales para su aplicación en suelos técnicos deportivos [1].

El principal objetivo es el de caracterizar estos materiales desde el punto de vista acústico y dinámico, así como demostrar la validez de las normativas para ensayar el EVA: ISO 9052 para la rigidez dinámica [2], ASTM E756-05 para el factor de pérdidas [3] y ASTM E2611-09 para las pérdidas por transmisión acústica [4].

Hay un gran número de trabajos previos en los que se aplican estos métodos de caracterización de materiales.

Desde el punto de vista acústico, el primer trabajo propuesto para la determinación del coeficiente de absorción y del factor de pérdidas por transmisión fue el de J.S. Bolton [5]. Este autor basó su trabajo en la normativa ASTM E1050 [6], pero con la variante de añadir dos micrófonos adicionales localizados después de la muestra. Este es el origen del método de los cuatro micrófonos, el cual ha servido como punto de partida de otros trabajos, tales como el de la determinación del factor de transmisión de paneles multicapa desarrollado por Peng Dong-Li [7]. En este sentido, trabajos como el de M.J. Mahjoob [8] han evaluado paneles tricapa conteniendo fluidos newtonianos, o la investigación de D. Olivier *et al.* [9], que utilizó una variante con tres micrófonos. También destaca el trabajo de P.S. Allan [10] en el que se investiga el factor de pérdidas por transmisión (STL) en polímeros y composites. Todos estos trabajos se desarrollaron de acuerdo con las normativas correspondientes.

Por otra parte, desde el punto de vista dinámico, Chandra *et al.* [11] presentaron en 1999 un estado de la investigación del parámetro del amortiguamiento en materiales poliméricos con fibras reforzadas. Por su parte, C.Y. Wei y S.N. Kukureka [12] determinaron el módulo de elasticidad y el amortiguamiento con la técnica de la resonancia dinámica, para evaluar la rigidez de estos materiales compuestos.

Ramorino *et al.* [13] propusieron un método para caracterizar el comportamiento dinámico de compuestos de gomas con el uso de vibradores electrodinámicos, obteniendo el módulo de elasticidad dinámico. Ran Lin *et al.* [14] presentaron un método experimental para evaluar la rigidez y el amortiguamiento en función de la frecuencia, utilizando un test de impacto y un ajuste polinómico de mínimos cuadrados de las funciones de respuesta en frecuencia. Ladislav *et al.* [15] estudiaron la reducción del sonido y de vibraciones de gomas empleadas en ruedas del ferrocarril. Estos elementos de goma se someten a fuerzas armónicas a diferentes frecuencias determinando la rigidez y el ángulo de fase para distintas condiciones de carga y amplitudes de fuerza. Berthelot J.M. *et al.* [16] evaluaron el amortiguamiento de distintos composites laminados. Para ello se empleó la técnica de impulsos en distintas probetas. A partir de las recomendaciones de la norma ASTM E756, se determinó el factor de pérdidas de estas láminas viscoelásticas. Kulik V.M. *et al.* [17] propuso un método para medir las propiedades viscoelásticas dinámicas de ciertos materiales elastoméricos. El método se basa en el análisis de la oscilación forzada de muestras cilíndricas para determinar el módulo de elasticidad.

2. MATERIALES

El etilenvinilacetato es un material copolimerizado con una distribución aleatoria a lo largo de su estructura. Sus propiedades son función del nivel de vinil acetato, la cristalinidad, del peso molecular y de la polaridad [18].

Para su aplicación en suelos técnicos deportivos, el EVA se fabrica laminado con diferentes espesores y acabados superficiales. La Figura 1 muestra algunos ejemplos de EVA laminado para suelos.

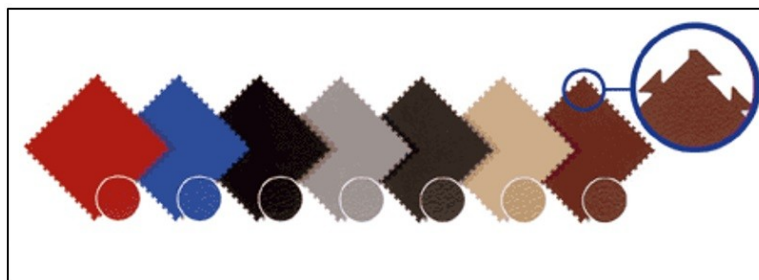


Figura 1. Módulos de EVA laminado.

Los materiales de EVA estudiados en el trabajo, han sido fabricados en cuatro fases:

- 1) Pesado de los componentes. La composición química se divide en fase sólida y fase gaseosa, incluyendo el EVA reticulado (aprox. 70%), carbonato de silicio y de calcio como relleno de refuerzo (aprox. 23%), compuestos de cera (aprox. 4%), pigmentos (aprox. 2%) y peróxidos como agentes reticulantes (aprox. 1%).
- 2) Mezclado de los componentes en una mezcladora Bambury de 180 litros.
- 3) Prensado de la mezcla. Se usa una prensa para aplicar 200 kg/cm² durante un tiempo de 20 a 30 minutos.
- 4) Acabado del producto.

La Tabla 1 indica las densidades y espesores de las diez muestras de EVA estudiadas.

Tabla 1. Densidades y espesores de las muestras de EVA.

MATERIAL	DENSIDAD (kg/m ³)	ESPESOR (m)
Muestra 1	360	0.01
Muestra 2	300	0.01
Muestra 3	230	0.01
Muestra 4	200	0.01
Muestra 5	130	0.01
Muestra 6	300	0.029
Muestra 7	300	0.020
Muestra 8	300	0.016
Muestra 9	300	0.012
Muestra 10	300	0.01

3. RIGIDEZ DINÁMICA

3.1. Propiedades de la Rigidez Dinámica

La rigidez dinámica es una propiedad significativa para caracterizar el aislamiento a ruido de impacto. Una menor rigidez dinámica mejora dicho aislamiento. Normalmente, la rigidez dinámica se determina midiendo la frecuencia de resonancia de un sistema muelle-masa de un grado de libertad (SDOF – Single Degree of Freedom), que consiste en una muestra de ensayo dispuesta debajo de una masa de acero. Por encima de esta frecuencia de resonancia, el material aísla el sonido de impacto, para que la frecuencia resonante del sistema completo sea lo más baja posible.

La normativa ISO 9052-1 utiliza un SDOF para el cálculo. Los datos del ensayo se obtienen con el uso de un acelerómetro y un martillo de impacto. La Figura 2 muestra el esquema del equipamiento utilizado en el que: 1) es la muestra de material; 2) es la placa de acero; 3) el acelerómetro modelo PCB 352C42; 4) el martillo de impacto PCB 086C01; 5) la tarjeta de adquisición de datos modelo NI-9233 y 6) el PC.

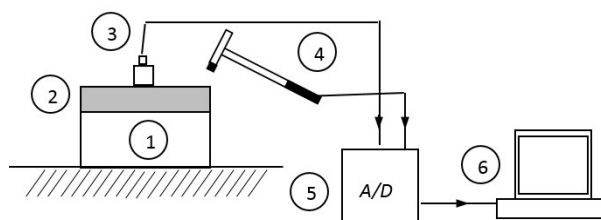


Figura 2. Esquema del equipamiento para medir la rigidez dinámica.

4. AMORTIGUAMIENTO Y MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL

4.1 Propiedades del amortiguamiento

El amortiguamiento es un parámetro para evaluar la disipación de energía de una estructura en vibración. Esto implica la transformación de la energía cinética en otras formas de energía, generalmente en calor, debido a la fricción interna del material. Es deseable un alto amortiguamiento para una buena respuesta de la estructura ante la excitación exterior, lo cual reduce la vibración y la transmisión del sonido.

Se han realizado los ensayos de acuerdo a la normativa ASTM 756-05, que mide el amortiguamiento a partir de muestras a modo de viga en voladizo.

La Figura 3 muestra un esquema del equipamiento en el que 1) es la muestra de ensayo a modo de sandwich; 2) el acelerómetro modelo PCB 352C42; 3) el martillo calibrado de impacto modelo PCB 086C01; 4) la tarjeta de adquisición de datos modelo NI-9233 y 5) el PC.

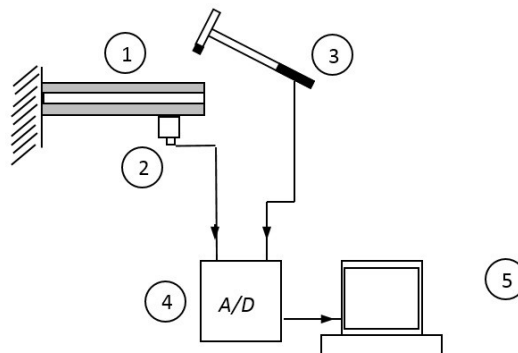


Figura 3. Esquema del ensayo para el amortiguamiento.

5. PÉRDIDAS DEL SONIDO POR TRANSMISIÓN (STL, SOUND TRANSMISSION LOSS)

5.1. Propiedades del STL

El coeficiente de pérdidas del sonido por transmisión es una propiedad acústica para evaluar la capacidad de aislamiento del sonido de los materiales. Este coeficiente en una determinada banda de frecuencias se define como la relación entre la potencia de ruido aéreo incidente sobre el material y la radiada al otro lado de la muestra, según la expresión:

$$\tau = W_t / W_i$$

Donde W_t y W_i son las potencias de sonido transmitida e incidente, respectivamente.

De acuerdo con la normativa ASTM E2611-09, el procedimiento utiliza un tubo con una fuente de sonido conectada en un extremo. La fuente de sonido debe tener una respuesta uniforme en todo el rango de frecuencias de interés. La Figura 4 muestra un esquema del equipo en el que: 1) es la muestra; 2) dos micrófonos situados después de la muestra (micrófonos G.R.A.S. modelo 40AO); 3) dos micrófonos situados antes de la muestra (micrófonos G.R.A.S. modelo 40AO); 4) el sistema de adquisición de datos (NI-9233) y 5) el PC.

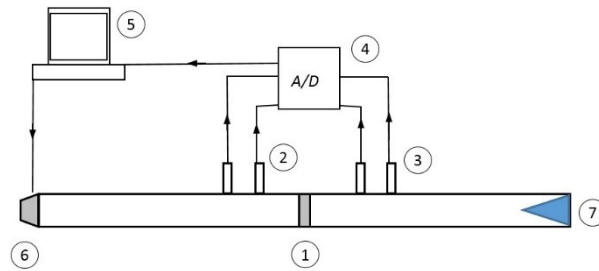


Figura 4. Esquema del tubo de impedancia acústica para el medir el STL.

6.- RESULTADOS

6.1.- Rigidez Dinámica: efecto de la densidad y el espesor

La Figura 5 muestra la influencia de la densidad en la rigidez dinámica en las muestras de EVA de 10 mm de espesor. Los resultados muestran que un incremento en la densidad supone un incremento de la rigidez dinámica.

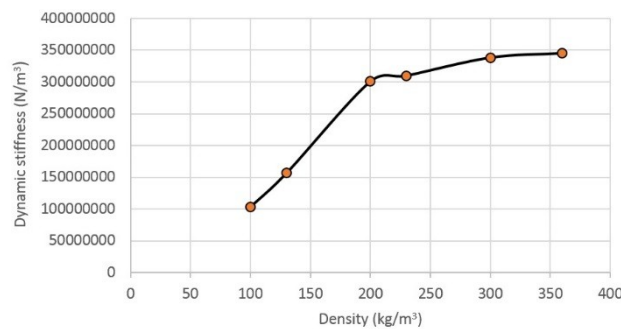


Figura 5. Influencia de la densidad en la rigidez dinámica de las muestras de EVA de 10 mm.

La Figura 6 muestra la influencia del espesor en la rigidez dinámica en las muestras de EVA de 300 kg/m³ de densidad. Los resultados muestran que al aumentar el espesor del material, la rigidez dinámica decrece.

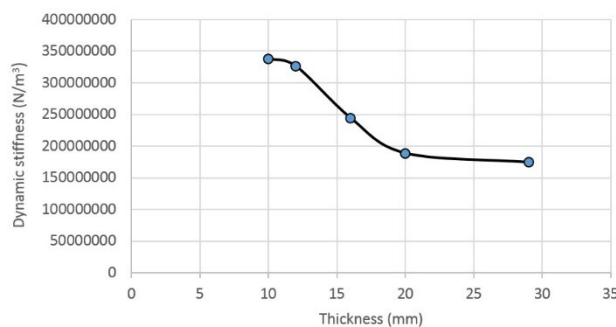


Figura 6. Influencia del espesor en la rigidez dinámica de muestras de EVA de densidad 300 kg/m³.

Se observa que la densidad es más influyente que el espesor en la rigidez dinámica del EVA. A la vista de los resultados, para reducir la rigidez dinámica y, por tanto, mejorar el aislamiento al ruido de impacto, es necesario que el material tenga más espesor y baja densidad.

6.2.- Factor de pérdidas (Loss factor): efecto de la densidad

La Figura 7 muestra la influencia de la densidad en el factor de pérdidas (loss factor) en muestras de EVA de 10 mm de espesor. Los resultados demuestran que un incremento en la

densidad del material produce un ligero incremento en el factor de pérdidas. Todas las muestras de EVA presentan un elevado factor de pérdidas y prácticamente no varían con la densidad.

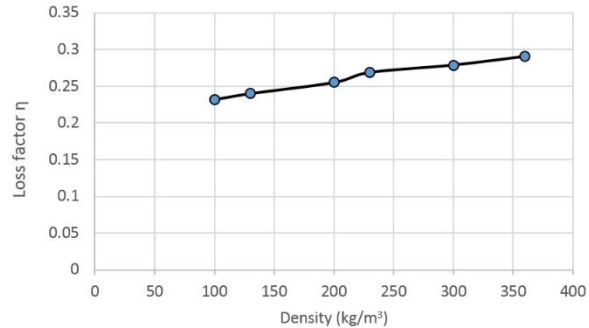


Figura 7. Factor de pérdidas del EVA de 10 mm en función de la densidad.

6.3.- Pérdidas por transmisión del sonido: efecto de la densidad y del espesor

La Figura 8 muestra la influencia de la densidad en el factor de pérdidas por transmisión del sonido (STL, Sound Transmission Loss) en las muestras de EVA de 10 mm de espesor. Los resultados demuestran que un incremento en la densidad del material se refleja en un considerable incremento del STL. Todas las muestras se han ensayado en el rango de 1500 a 2000 Hz. Se observa que para densidades por encima de 300 kg/m³, hay reducciones del sonido de hasta 40 dB.

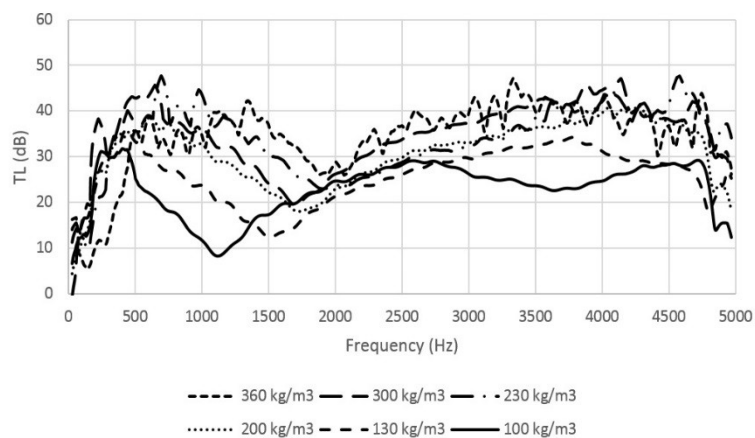


Figura 8. Pérdidas por transmisión del sonido de muestras de EVA de 10 mm en función de la densidad.

La Figura 9 muestra la influencia del espesor en el STL de las muestras de EVA de densidad 300 kg/m³. Las variaciones en el espesor no demuestran cambios significativos en las pérdidas del sonido por transmisión, con lo que no puede concluirse que para un determinado espesor se manifieste un mejor comportamiento de aislamiento acústico en un determinado rango de frecuencias.

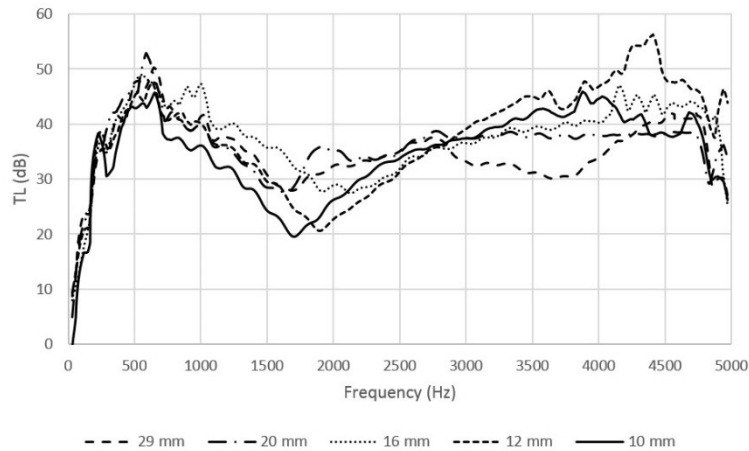


Figura 9. Pérdidas del sonido por transmisión en las muestras de 300 kg/m^3 en función del espesor.

7. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del trabajo pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- Se demuestra la validez de los métodos propuestos por las normativas para la evaluación acústica y dinámica de estas muestras de EVA, teniendo gran importancia la aplicación estricta de las recomendaciones que indica cada normativa.
- Para evaluar las propiedades de absorción al impacto, los parámetros más importantes son la rigidez dinámica y el amortiguamiento, que definen el aislamiento al sonido de impacto y la energía de absorción del impacto, respectivamente. Para la aplicación concreta en instalaciones de fitness, es deseable una rigidez dinámica baja y un alto amortiguamiento. Teniendo en cuenta estos dos parámetros, puede concluirse que la muestra de EVA que presenta el mejor comportamiento es el de espesor $0,01 \text{ m}$ y densidad 100 kg/m^3 .
- Para estimar las propiedades de aislamiento y absorción acústica, los dos parámetros estudiados son las pérdidas por transmisión del sonido y el coeficiente de absorción acústica. En general, las muestras de EVA estudiadas presentan altos valores de aislamiento a transmisión acústica y bajos coeficientes de absorción. Esto se explica por la estructura superficial de poros cerrados, lo que confiere una elevada impedancia superficial y altos coeficientes de reflexión del sonido. Los resultados nos dan una información útil que permite concluir que estos materiales podrían usarse para su aplicación en aislamiento acústico, pero no para acondicionamiento acústico.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo expresamos nuestro agradecimiento a la empresa PAVIGYM.

En este trabajo se presentan resultados del proyecto BIA2013-41537-R (BIAEFIREMAT). "Desarrollo de nuevos eco-materiales y soluciones constructivas sostenibles para edificación basado en el uso de residuos y materias primas renovables" que está financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y cofinanciado con fondos FEDER, dentro del Programa Estatal I+D+I orientada a los Retos de la Sociedad 2013.

REFERENCIAS

- [1] PAVIGYM. “Fabricante de Pavimento Premium” [online]. Available in website: es.pavigym.com [seen: 12 of February of 2014].
- [2] ISO 9052-1:1989. Acoustics – Determination of dynamic stiffness – Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.
- [3] ASTM E756-05 (2010). Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials.
- [4] ASTM E2611-09. Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method.
- [5] Bolton JS, Yun RJ, Pope J, Apfel D. Development of a new sound transmission test for automotive sealant materials. SAE Trans J Pass Cars, 1997, (106), 2651-2658.
- [6] ASTM E1050-10. Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System (2010).
- [7] Peng Dong-Li, Hu Peng, Zhu Bei-Li, The modified method of measuring the complex transmission coefficient of multilayer acoustical panel in impedance tube. Applied Acoustics, 69 (2008) 1240-1248.
- [8] M.J. Mahjoob, N. Mohammadi, S. Malakooti, An investigation into acoustic insulation of triple-layered panels containing Newtonian fluids: theory and experiment. Applied Acoustics 70 (2009) 165-171.
- [9] Olivier Doutres, Yacoubou Salissou, Nouredine Atalla, Raymond Panneton. Evaluation of the acoustic and non-acoustic properties of sound absorbing materials using a three-microphone impedance tube. Applied Acoustics 71 (2010) 506-509.
- [10] P.S. Allan *et al.*. “Sound transmission testing of polymer compounds”. Polymer Testing 31 (2012) 312-321.
- [11] R. Chandra, S.P. Singh, K. Gupta. Damping studies in fiber-reinforced composites: a review. Composite Structures 46, 41-51, (1999).
- [12] C.Y. Wei, S.N. Kukureka. Evaluation of damping and elastic properties of composites and composite structures by the resonance technique. Journal of Materials Science (35) 3785-3792, 2000.
- [13] G. Ramorino, D. Vetturi, D. Cambiaghi, A. Pegoretti, T. Ricco. Development in dynamic testing of rubber compounds: assessment of non-linear effects. Polymer Testing (2), 681–687, 2003.
- [14] Tian Ran Lin, H. Nabil, I. Farag, Jie Pan. Evaluation of frequency dependent rubber mount stiffness and damping by impact test, Applied Acoustics 66 829–844, 2005
- [15] P. Ladislav, P. Ludek, V. Frantisek, C. Jan. Laboratory measurement of stiffness and damping of rubber element. Eng. Mech.; 14 (1/2):13–22, 2007.
- [16] Jean-Marie Berthelot, Mustapha Assarar, Youssef Sefrani, Abderrahim El Mahi. Damping analysis of composite materials and structures. Composite Structures 85 (2008) 189–204.
- [17] Kulik VM, Semenov BN, Boiko AV, Seoudi BM, Chun HH, Lee I. Measurement of dynamic properties of viscoelastic materials. Exp Mech (49), 417–425, 2009.
- [18] Michel Biron. Thermoplastics and Thermoplastic Composites. Technical Information for Plastics Users. Butterworth-Heinemann. First Edition 2007. ISBN-13:978-1-85617-478-7. Isbn-10: 1-85617-478-6.