

Modelo de análisis y validación de propuestas de diseño mediante prototipos flexibles

Lucía Rodríguez- Parada, Luis Romero y
Manuel Domínguez
Ingeniería del Diseño. Universidad Nacional de
Educación a Distancia (UNED)

DOL: <http://dx.doi.org/10.6036/7812>

Al igual que el contexto social, las dinámicas y las necesidades de los usuarios también van cambiando; la sociedad es cada vez más exigente y con necesidades más específicas. En efecto, el mercado exige que los productos sean cada vez más competitivos y con ciclos de vida cortos, es decir, que se desarrollen en el menor tiempo posible, lo que hace necesario crear formas o métodos para llegar a conseguir estos objetivos.

En un proyecto de desarrollo de producto, el mayor índice de creatividad se produce en la primera fase, el diseño conceptual. Esta fase requiere la aportación de nuevas ideas para dar soluciones a los productos tanto funcionales como estéticos y ergonómicos. Las aportaciones de esta fase de inventiva y de análisis de soluciones serán las que marquen la calidad del producto final [1].

En el marco de las observaciones anteriores, la complejidad creciente en los procesos de diseño y los esfuerzos por desarrollar nuevos campos en el concepto de la creatividad humana dan lugar a nuevas perspectivas y a la búsqueda de nuevas metodologías que ayuden a esta labor [2]. Así mismo, existen modelos de procesos de diseño con características diferentes, sin embargo todas ellas son relevantes ya que pueden ser adaptables según las necesidades específicas [3].

Ante la situación planteada, en muchas ocasiones los diseñadores industriales reutilizan la información, no diseñan desde cero, sino que normalmente comienzan por mejorar las características de un producto ya existente o un modelo físico. A su vez y con este mismo fin, es notable la tendencia por la reutilización de la información, como modelos físicos o virtuales ya creados en otros proyectos, para generar ideas de mejora [4].

Igualmente, la posibilidad de aplicación de la impresión 3D desde las fases tempranas del desarrollo de producto permite tener como objetivo tomar decisiones fiables lo que se traduce en la creación y el desarrollo de productos más eficaces y, por tanto, más competitivos.

De los anteriores planteamientos se deduce que la evaluación de las ideas en fases tempranas del desarrollo se considera crucial para alcanzar una solución competitiva. Una vez planteada la posibilidad de usar los prototipos, como medio creativo y de análisis en el diseño de productos, en este trabajo se plantea un método de validación de ideas por medio de modelos tridimensionales. En concreto, se estudian productos con características flexibles para reproducir la realidad elástica del producto diseñado y, como resultado, poder valorar la funcionalidad y la ergonomía, aparte de la estética.

Con esto se espera crear productos más competitivos, no solo por conseguir crear conceptos en menor tiempo sino aumentar su fiabilidad gracias a la impresión de realidades elásticas. Tal como se ha visto, cuando la flexibilidad del material influye directamente en el diseño formal y estético del producto es de gran importancia analizar todos los factores que influyen en el diseño mediante un prototipo de características similares para no valorar sólo la estética.

De manera convencional se valida la propuesta final mediante un prototipo final realizado mediante moldes. Sin embargo, este trabajo se centra en la realización de prototipos mediante impresión 3D para poder evaluar ideas desde la fase conceptual de una forma fiable. Con ello se demuestra una vez más que utilizar materiales adaptados a la futura realidad del producto facilita la labor al diseñador y al proceso de desarrollo del proyecto.

1. MATERIALES FLEXIBLES EN IMPRESIÓN 3D

A lo largo de la joven historia de la manufactura por capas, las marcas comerciales han ido desarrollando tecnolo-

gías para utilizarlas con materiales diversos. Sin embargo, todos ellos con un nexo común que es poder adherirse. Los materiales considerados plásticos, por sus propiedades, son los más usados por las diferentes máquinas. Ahora bien, la creciente demanda en el uso de las impresoras 3D en el mercado ha hecho que se investigue el uso de estas tecnologías para la construcción de objetos con diferentes tipos de materiales.

En atención a esto último, la creación de materiales con características flexibles está en continuo desarrollo, por sus propiedades y múltiples aplicaciones. De hecho, ámbitos como la moda o la medicina están invirtiendo seriamente en este tipo de desarrollos. Así, debido a la rápida innovación, en el campo de la impresión 3D es difícil captar los últimos avances del material, como comentan Lipson y Kurman en su libro sobre el nuevo mundo de la impresión 3D [5].

Tanto los desarrolladores de materiales como los propios fabricantes de las impresoras 3D están desarrollando estas familias de productos flexibles. Incluso, en el mercado pueden encontrarse materiales con propiedades flexibles que están especialmente diseñados para la tecnología de deposición de material fundido (*fused deposition modeling* – FDM).

Los materiales flexibles en filamento, como Ninjaflex, Innoflex o Filaflex, se comercializan en bobina en diversos diámetros para poder adaptarse a las impresoras comerciales. Estos materiales flexibles tienen diferencias importantes que hacen que haya que realizar una serie de adaptaciones específicas en la máquina para poder utilizarlos. La dureza *shore* y la temperatura de extrusión son dos parámetros que influyen en la caracterización de la máquina, sin embargo, el material del que está compuesto también influye en la respuesta con la máquina, por este motivo es importante seleccionar bien el material y caracterizar la máquina para el objetivo concreto que se desee [6].

1.1. LOS PRIMEROS PROTOTIPOS EN EL DESARROLLO DE CONCEPTOS

En el campo de la ingeniería de producto, sobre todo en la concepción de nuevos productos, la creación y el uso de prototipos es esencial [7]. Según lo dicho, en el desarrollo de nuevos conceptos que

den como resultado productos viables, se entiende como prototipo el objeto conceptual creado de forma física en tres dimensiones. En síntesis, es un elemento que sirve de modelo y que puede ser usado para validar conceptos estéticos o de volumen. Sin embargo, también son usados para probar los mecanismos de uso, o las propias sensaciones durante su utilización [7].

No obstante, los diseñadores se encuentran con el problema de evaluar el funcionamiento de sus conceptos en función del diferente comportamiento humano. El prototipo es una parte importante en la fase de desarrollo de productos que está fuertemente influenciado por el tiempo y el presupuesto, ya que para construir modelos plenamente operativos se requieren ambas condiciones [8]. De todas formas, la fiabilidad o que el modelo se adecue lo máximo posible a la realidad se puede plantear en base a diversos criterios: grado de funcionalidad, la similitud de la interacción, la amplitud de funciones o el refinamiento estético [9, 10].

En lo que se refiere al proceso de diseño, las maquetas se suelen realizar de una manera muy rudimentaria al principio de la fase conceptual. Cuando un concepto es aprobado es cuando se crea un prototipo más elaborado para aprobar el diseño. No obstante, dependiendo del sector o el tipo de producto el modelo se realizará con mayor o menor definición. En cualquiera de los casos, este proceso tradicional es lento y costoso. De igual manera se considera muy importante la selección correcta por parte del diseñador del tipo de prototipo para que éste sea fiable [11].

Por las consideraciones anteriores este trabajo se centra en un modelo de análisis con prototipos flexibles creados mediante impresión 3D. Un modelo que permita avanzar con mayor velocidad y fiabilidad en la fase conceptual. En síntesis, el estudio tiene como propósito el análisis del concepto creado mediante las emociones reales de uso que proporciona al usuario el prototipo flexible. Se consideró necesario comprobar dicho modelo mediante la realización de casos de estudio utilizando productos con características de uso claramente flexibles, por esta razón se seleccionaron la montura de unas gafas de natación y una espátula flexible de repostería.

2. MODELO DE ANÁLISIS EN DISEÑO DE PRODUCTO MEDIANTE PROTOTIPOS FLEXIBLES

Según los criterios analizados anteriormente, para un concepto de diseño

con carácter flexible se toman cuatro visiones del producto como parámetros a evaluar teniendo en cuenta la similitud con la realidad: *Four-Factor Framework of Contextual Fidelity* [11], que puede ayudar al diseñador a identificar problemas de usabilidad. Los criterios de clasificación que se tienen en cuenta son: el grado de funcionalidad, la amplitud de las funciones en su contexto, la ergonomía y el refinamiento estético. El contexto de uso es un factor determinante para los requisitos del producto; sin embargo, el grado de funcionalidad es el que marca la mayor parte de los objetivos que se pretenden cubrir, es decir, puntos estratégicos en el diseño.

En otras palabras, se refiere a la percepción del objeto teniendo en cuenta las soluciones que se esperaban conseguir para establecer las especificaciones de producto mediante la emisión de emociones que son percibidas por el usuario. El uso de los productos y la experiencia del propio usuario tienen gran influencia sobre la aprobación de los prototipos en la fase de desarrollo de un nuevo producto. Por ello, antes de generar el modelo se considera importante el análisis del uso, para detectar los puntos que son clave para el producto con respecto a la usabilidad. Con respecto a los productos flexibles, el material influye directamente sobre el alto índice de adaptabilidad y ergonomía que contienen, aunque según el contexto específico de uso también la forma influye en la función.

En relación con esto último, las emociones y sensaciones que inspira un producto pueden ser expresadas, y por lo tanto cuantificadas, por medio de adjetivos. Ante esta situación, se creó un test que recoge las pautas a seguir por la persona que evalúa mediante la selección de una serie de adjetivos, que se utilizan para relacionar los objetivos con los cuatro parámetros mencionados, y así poder definir las características del producto en el modelo de análisis y comprobar si el producto cumple con las especificaciones marcadas.

En el análisis de productos flexibles, para realizar la evaluación de usabilidad y fiabilidad del producto se tienen que analizar los aspectos críticos del producto teniendo en cuenta la realidad de uso y los parámetros del material. Concretamente, en los materiales flexibles influyen factores como el tacto, el coeficiente de rozamiento, el grado de flexibilidad o realidad elástica. En relación a estos planteamientos, los ensayos de fiabilidad están ganando interés en los últimos años en

el diseño de producto y en la mejora del ciclo de vida, por lo que se considera de gran importancia crear propuestas lo más fiables posible con el fin de optimizar los procesos y los productos [12].

En atención a estos planteamientos se ha generado un modelo de análisis y validación que estructura los resultados de las pruebas realizadas con los prototipos. Para esquematizar estos resultados del análisis de una forma sencilla se creó una matriz gráfica que relaciona los factores que definen cualquier producto (la estética, la función, la ergonomía y el contexto de uso) con las características principales del producto, incluidas en las especificaciones de diseño. Así, el objeto de aplicación es detectar fallos concretos en las propuestas de diseño con el fin de modificarlos y finalmente validar la idea.

En síntesis, la matriz de validación desglosa los factores de análisis y los convierte en características técnicas, físicas y visuales. Con ella se observaron, a su vez, los aspectos a mejorar sobre el producto y se valoró también si el prototipo era válido en función del número de características positivas que obtuvo.

3. CASOS DE ESTUDIO. RESULTADOS

De acuerdo con los razonamientos que se han planteado se ha realizado un estudio con dos casos prácticos: una montura de gafas de natación y una espátula flexible, que se han seleccionado por su grado de flexibilidad y por el importante factor que juega la ergonomía en la usabilidad de este tipo de productos.

En el caso de la montura flexible, la complejidad de las formas y los parámetros que influyen en la funcionalidad hicieron que se detectaran limitaciones que afectaron a los resultados. Sin embargo, la espátula flexible tiene formas y función simples que han permitido centrarse en el método de análisis de una forma concisa. Esto ha permitido comparar los resultados de ambos casos ya que la mayor complejidad de la montura podría dar lugar a confusión en los resultados y de esta forma se han evidenciado con mayor fiabilidad.

Este estudio examina un aspecto clave en el proceso diseño de productos, la fidelidad del prototipo con respecto al producto real a desarrollar y la fidelidad de reproducción del escaneado e impresión tridimensionales. Con este planteamiento, se han utilizado una montura y espátula comerciales que han sido escaneadas mediante un sistema de escaneado tridimensional óptico de alta precisión.

De la misma manera, se han realizado varios prototipos en materiales con parámetros diferentes para ver el efecto que provoca la diferencia de material en la evaluación de un producto. Uno fue realizado en ABS y otro en material flexible con dureza *shore A* de varios rangos.

3.1. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Los parámetros de evaluación que influyen en estos productos pueden variar pero hay que tener en cuenta siempre que la adaptabilidad en función al material y la ergonomía son claramente importantes en el diseño del producto. En ambos productos se han valorado las funciones principales consideradas según el objeto y su uso.

Para la montura flexible las especificaciones funcionales del producto son que el contorno se adapte a los ojos y no les entre agua, la distancia entre los ojos, la visibilidad que permite, la adaptabilidad del material a la cara y la comodidad en la cara al producirse el efecto de vacío. Con el fin de analizar estos parámetros se fueron relacionando una serie de adjetivos y poniendo su opuesto con el fin de que la persona o grupo de personas analicen el producto (figura 1). De igual manera, al tratarse de un producto deportivo y de competición las líneas deben ser aerodinámicas, por lo que se seleccionaron también palabras relacionadas con la función del producto.

En el caso de la espátula flexible la función principal del producto es arrastrar el alimento por una superficie, su función y contexto de uso dan lugar a varios pará-



Estética

☒ Antiguo

☒ Alegre

☒ Barato

☐ Bonito

☒ Tradicional

☐ Duro

☐ Actual

☐ Serio

☐ Caro

☒ Feo

☐ moderno

☒ Blando

Función

☐ Ruidoso

☐ Fácil

☐ Adaptable a la cara

☒ visible

☐ aislamiento ojos

☐ distancia entre ojos corta

☒ Silencioso

☒ Difícil

☒ No adaptable

☐ zonas no visibles

☒ zonas no aisladas

☒ larga

Fig. 1: Ejemplo de test de gafas de natación

metros a analizar como la adaptabilidad al recipiente o la ergonomía de la mano, entre otras. Teniendo en cuenta esto se han relacionado palabras teniendo en cuenta también la estética.

En referencia a las clasificaciones anteriores, se han evaluado los productos comerciales utilizados para este estudio con el producto en la mano y la tabla creada para cada caso. Este análisis fue realizado por un grupo de trabajo que tomó decisiones en consenso.

3.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE TEST DE PRODUCTO DE REFERENCIA

La matriz de validación desglosa los factores de análisis y los convierte en características técnicas, físicas y visuales.

Con esta matriz se pueden observar los aspectos a mejorar sobre el producto y valorar también si un prototipo es válido en función del número de características positivas que tiene. Ante los resultados del test sobre la situación planteada se detallaron los parámetros de evaluación con respecto a los cuatro conectores comunes.

Con los datos de las tablas de resultados (Tablas 1 y 2) se han generado las matrices de validación para ambos casos de estudio. En ellas se pueden observar que existen puntos a mejorar, sin embargo, este estudio se centró en verificar la fiabilidad del prototipo. En consecuencia, el objetivo es observar los resultados de las matrices realizadas con los productos reales para corroborar que se llega a las mismas conclusiones.

Parametro	Resultados de tabla de evaluación realizada					
Estética	Antiguo	Alegre	Barato	Feo	Tradicional	Blando
Ergonomía	Fuerte	Amplio	Incómodo	Grande	Suave	Liso
Función	Silencioso	Difícil	Rígido	Visible	No aíslan del agua	Largo
Contexto de uso	Incómodo	Grande	Peor	malo	Robusto	Ancho

Tabla 1: Resultado del test de la montura flexible

Parámetro	Resultados de tabla de evaluación realizada						
Estética	liso	serio	barato	feo	moderno	blando	endeble
Ergonomía	adaptable	débil	cómodo	pequeño	suave	Ancho	largo
Función	fácil	adaptable	ancho	ágil	corto	frágil	
Contexto de uso	cómodo	grande	mejor	bueno	aerodinámico	ancho	No arrastra

Tabla 2: Resultado de test de evaluación de la espátula de repostería

Características \ Factores	Adaptación a la cara	Campo de visión	Confort del material	Durabilidad	Aerodinamismo	efecto vacío	Usuario objetivo	Colocación / extracción	Análisis	Prioridades de mejora	Dificultad de modific.	Relación de mejora
Estética	□		▲	●	●	●	□		●	2º	1	1,2
Ergonomía	●	▲	▲				□	●	●	3º	4	1,2
Función	●	▲	●			□	▲		●	3º	3	1,6
Contexto de uso	●	▲	●	●	●	●	▲	●	●	1º	2	2,1
Validación	●	▲	●	●	●	●	□	●				
Importancia	4	3	4	2	2	3	4	2				
Prioridad	1º	6º	4º	2º	2º	3º	5º	2º				

- ▲ Positiva
 □ Neutro /No valorable
 ● Negativa
 □ Cuadro sin marcar, no relacionados

Con estos prototipos se comprobó, mediante el test de evaluación creado, la fiabilidad de ambos materiales con respecto a los resultados obtenidos con el producto original. Al igual que el caso de productos reales, los prototipos fueron comprobados con el apoyo del test de evaluación para obtener los datos necesarios para la matriz MAV de análisis y validación.

3.3.1. Montura flexible

En el caso del prototipo rígido de la montura flexible se produjo un resultado negativo, de rechazo del prototipo como consecuencia de la imposibilidad de evaluación del prototipo en gran parte de los parámetros a analizar. Esto es debido a que el material del prototipo tiene baja fiabilidad porque no se corresponde en propiedades con las del material real, por lo que las condiciones de ergonomía y usabilidad no pueden ser probadas o se produce un rechazo en el usuario.

En cambio, el prototipo flexible puede ser probado y analizado también de forma funcional, por lo tanto, se pudo comprobar la similitud de los resultados con respecto al producto real. Para ello, como se ha comentado, se evalúan tanto el modelo real como el prototipo.

Seguidamente, a partir de estas matrices se confirma la clara similitud entre el prototipo flexible y el producto real utilizado. Sin embargo, se detectan variaciones en los resultados que se deben a las diferencias existentes entre las características técnicas de los materiales empleados. Una de las más destacadas es

Fig. 2: Matriz de resultados de análisis y validación

Características \ Factores	Adaptación cabezal	formas de agarre	Velocidad	Facilidad de arrastre	Confort material	Durabilidad	Usuario objetivo	Facilidad de limpieza	Análisis	Prioridades de mejora	Dificultad de modific.	Relación de mejora
Estética	●	●			▲	●	●	●	●	2º	1	2,7
Ergonomía	▲	●		▲	●		●		●	3º	1	2,2
Función	▲	▲	●	▲			▲		▲	4º	4	0,4
Contexto de uso	●	▲	●	●	●	●	▲	●	●	1º	3	2
Validación	▲	●	●	▲	●	●	▲	●				
Importancia	4	4	2	3	3	2	4	2				
Prioridad	7º	6º	2º	8º	5º	1º	4º	3º				

- ▲ Positiva
 □ Neutro / no valorable
 ● Negativa
 □ Cuadro sin marcar, no relacionados

Fig. 3: Matriz de validación de la espátula

Sin embargo, de los resultados obtenidos en la matriz de análisis y validación (MAV) (Figura 2), se deduce que la montura flexible es estéticamente poco deportiva para la finalidad de este producto, por sus formas no se consigue que sea aerodinámica y cómoda para un deporte que requiere velocidad. Por todas estas consideraciones se evidencia que se considera necesario un rediseño de este producto.

En el caso de la espátula flexible la gran cantidad de círculos en la parte de la validación de la matriz MAV (Figura 3), indica que el producto tiene puntos a mejorar como es la velocidad de trabajo, el confort o la durabilidad del material.

3.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Los productos de referencia han sido escaneados para crear un modelo virtual con una doble finalidad, evaluar la simi-

litud del escaneado con el producto original una vez impresa la réplica mediante impresión 3D y analizar las réplicas mediante el test de evaluación. Estas réplicas fueron conseguidas por medio de un proceso de escaneado tridimensional y posterior tratamiento de limpieza digital del modelo digital.



Fig. 4: Prototipo flexible de la montura de natación realizado en poliuretano termoplástico

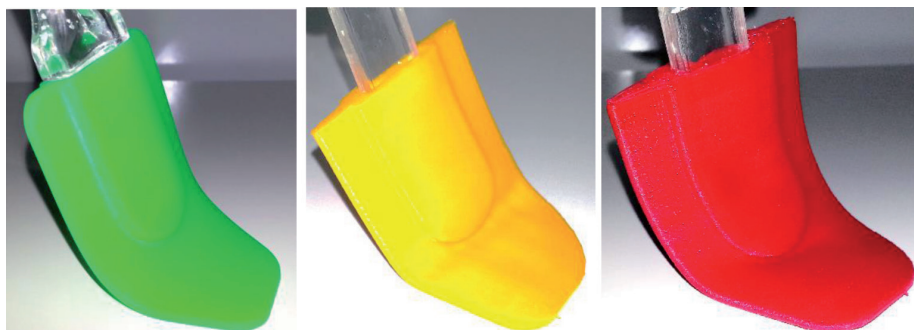


Fig. 5: Se muestra, a la izquierda el objeto original, en el centro y derecha los prototipos flexibles, en PLA flexible y poliuretano termoplástico respectivamente

la variación de flexibilidad, que hace que el prototipo no pueda ser probado en el contexto de uso. En síntesis, el prototipo generado no produce el efecto ventosa en la cara necesaria para sumergirse en el agua. Aun así, la adaptabilidad a la cara sí puede ser evaluada.

3.3.2. Espátula de cocina

En el caso de la espátula las réplicas se centraron en la parte de la espátula que es la que se ve afectada por el material flexible. Con estos prototipos se evidencia que tienen una apariencia muy similar al modelo real, por lo que se considera fiable.

El prototipo rígido, realizado en ABS, permite analizar las formas y la estética global del producto. Pero al igual que el anterior caso de estudio, sus diversas funciones no pudieron ser evaluadas y por lo tanto no fueron validadas de una forma fiable.

De forma contraria, con el prototipo flexible esto sí es posible porque la pieza realizada, del cabezal de la espátula, es capaz de adaptarse y flexionarse para comprobar sus funciones. Así, al igual que con el producto original, se llegó a la conclusión de que el cabezal de la espátula cumple correctamente con su función para la que ha sido destinado. Sin embargo, existe un hueco de mejora en el contexto de uso porque no siempre el tamaño del recipiente donde se usa el producto es igual.

Del mismo modo, en las funciones de batido, recogida y arrastre la mano no se coloca de la misma forma; se llega a la conclusión de que el mango junto con el cabezal deben ser flexibles y tener una forma unificada para poder mover la mano con mayor naturalidad.

4. CONCLUSIONES

En productos de características flexibles, donde la flexibilidad juega un papel importante en la usabilidad del producto, antes de ser optimizados o lanzados al

mercado es importante analizar cada una de las piezas con cierto grado de fiabilidad.

Del mismo modo, en estos productos altamente ergonómicos y adaptables es importante probar los diseños de un modo real y de la forma más similar a la realidad posible. También es importante tener en cuenta el material, ya que este tipo de materiales flexibles tiene muchos parámetros que afectan a la calidad final del mismo por su composición química. Es por ello que con ensayos virtuales no es fácil comprobar su funcionalidad sin el apoyo de un modelo físico.

Por todo ello, se considera que la impresión 3D con materiales similares a los reales sirve de apoyo al resto de análisis que se van desarrollando a lo largo del proceso de diseño. En el presente estudio y ante la situación propuesta se plantea que el análisis por medio de la evaluación física es vital para verificar el correcto diseño de un producto o prototipo.

En los casos de estudio realizados se evidencia que el uso de un prototipo o modelo flexible es una forma fiable de validar un concepto. Sin embargo, la limitación del material flexible utilizado da lugar a pequeñas diferencias que llevan a la conclusión de la necesidad de una futura línea de trabajo en la que se busque poder ajustar los parámetros del material de impresión 3D a las características técnicas del material del futuro producto.

REFERENCIAS

- [1] Chulvi-Ramos V. "Medida de la creatividad en productos: métricas y objetividad". *DYNA - Ingeniería e Industria*. Vol. 87(1), 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4138>
- [2] Wiltchnig S., Christensen B.T., Ball L.J. "Collaborative problem-solution co-evolution in creative design". *Design Studies*, vol. 34(5), 2013, p. 515-542. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2013.01.002>
- [3] Céret E., Dupuy-Chessa S., Calvary G., et al. "A taxonomy of design methods process models". *Information and Software*

- Technology*, vol. 55(5), 2013, p. 795-821. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2012.11.002>
- [4] Tay, F. EH., Gu J., "A methodology for evolutionary product design". *Engineering with Computers*, vol. 19(2-3), 2003, p. 160-173. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00366-003-0261-3>
- [5] Lipson H., Kurman M. "Fabricated: The new world of 3D printing", *John Wiley & Sons*, ed. 1, 2013. ISBN: 978-1118350638
- [6] Gao W., Zhang Y., Ramanujan D., et al. "The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering". *Computer-Aided Design*, vol. 69(12), 2015, p. 65-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>
- [7] Elverum C.W., Welo T. "The Role of Early Prototypes in Concept Development: Insights from the Automotive Industry". *Procedia CIRP*, vol. 21, 2014, p. 491-496. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.127>
- [8] Sauer J., Sonderegger A. "The influence of prototype fidelity and aesthetics of design in usability tests: effects on user behaviour, subjective evaluation and emotion". *Applied Ergonomics*, vol. 40(4), 2009, p. 670-677. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2008.06.006>
- [9] Virzi R.A., Sokolov J.L., Karis D. "Usability problem identification using both low-and high-fidelity prototypes". *Proceedings of the SIGCHI Conference*, 1996, p. 236-243. <http://dx.doi.org/10.1145/238386.238516>
- [10] Lopez-Fornies I., Berges-Muro L. "Conceptual product design. Biomimetic Approach for functional improvement". *DYNA*, 87(1), 2012, p. 35-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4138>
- [11] Sauer J., Seibel K., Rüttinger B. "The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests". *Applied Ergonomics*, vol. 41(1), 2010, p. 130-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2009.06.003>
- [12] Ahmed H., Chateaufneuf A. "Optimal number of tests to achieve and validate product reliability". *Reliability Engineering Syst.Saf.*, vol. 131, 2014, p. 242-250. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2014.04.014>