

# A VIKOR ALGORITMUS ALKALMAZHATÓSÁGI KÉRDÉSEI ANYAGVÁLASZTÁSI DÖNTÉSEKBEN

## THE VIKOR ALGORITHM IN MATERIAL DECISION SUPPORT

Szalai Judit, PhD hallgató, Miskolci Egyetem  
Takács Ágnes, PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem

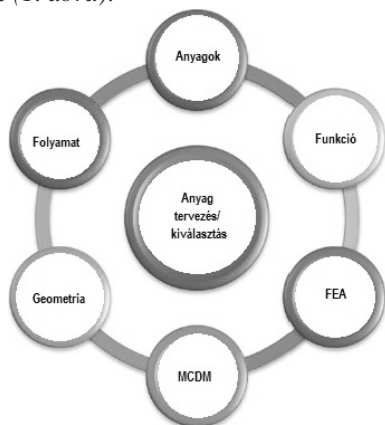
### 1. ABSTRACT

The paper presents how to deal with decision conflicts that often occur between design criteria encountered in the selection of complex materials. The results show that the VIKOR model, in this case study, can also be used to explore trade-offs and design return points in extensive decision spaces, such as changes in environmental, material performance and cost characteristics from the perspective of the decision maker during design. In this paper, we examine the algorithm for solving the problems from the perspective of implementation.

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban intenzív kutatási területté vált a termékfejlesztésben a többszemponos döntési módszerek (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) anyagválasztási folyamatokban való felhasználása. [1] A tanulmány egy olyan fejlesztési igényekre kialakított többszemponos döntési módszer alkalmazását mutatja be, amely támogatja a csípőprotézisek tervezési és anyagválasztási feladatainak kidolgozásában résztvevő mérnökök munkáját. Elsőként Opricovic [2] vizsgálta az 1998-ban publikált VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), módszert, amely az alternatívák rangsorolására és azok kompromisszumos kiválasztására összpontosít, nehezen összeegyeztethető kritériumok esetén.

A VIKOR módszer döntéstámogatási alkalmazásának előnyeit és korlátait tervezéseméleti esettanulmány felhasználásával mutatjuk be. Az eredmények bemutatása után következtetéseket vonunk le és javaslatokat vetünk fel a módszertan további alkalmazási lehetőségeire (1. ábra).



1. ábra. Az MCDM mint anyagtervezési / kiválasztási eszköz

A megfelelő anyagok kiválasztásához szükség van a sok ellentmondásos kritérium egyidejű figyelembevételére, még a legegyszerűbb termékek esetében is, ami általánosságban bonyolult problémamegoldási tevékenységet jelent a tervező mérnökök számára.

Az anyagválasztás sokszor korlátozott, illetve gyakran csak a gyakorlati célokra előirányzott tapasztalatokon alapulnak a rendelkezésre álló anyagjellemzők, pl. anizotrop anyag, amelyet izotrop anyagként kezelnek, ami az anyagok teljesítményének lehetséges kihasználhatóságát, vagy az életciklus csökkenését eredményezheti.

### 2. DÖNTÉSTÁMOGATÓ MÓDSZERTANOK ÁTTEKINTÉSE

Ebben a tanulmányban bemutatásra kerül a gyakran tapasztalható tervezési kritériumok között fellépő döntési konfliktusok kezelésére alkalmas többszemponú döntéstámogató VIKOR módszer csípőprotézis anyagok kiválasztására alkalmazva.



2. ábra. Döntéstámogató módszertan folyamatábrája [1]

A példánkban meghatározni kívánt optimális alternatíva kiválasztásához a feladat jellegéből adódóan, az intervallum alapú célértékes VIKOR módszert azért választottuk, mivel külön számolható, hogy egy-egy alternatíva pontértéke szignifikánsan magasabb-e, vagyis valójában jobbnak tekinthető-e, az anyagválasztási döntés szempontjából. További előnye, hogy nehezen összeegyeztethető kritériumok esetén az alternatívák rangsorolására és a kiválasztásra összpontosítva, viszonylag kisszámú adat, elégséges mértékű összehasonlítást tesz lehetővé az alternatívák között. [3] A többszemponos döntéstámogató módszerek lényege, hogy általában konfliktusos hatáskritériumokat egyszerre kell kielégíteni a rendelkezésre álló adatok határértékeinek figyelembevételével (2. ábra). Az alábbiakban bemutatjuk az algoritmus matematikai alapjait [4], valamint szemléltetjük a mód-

szer alkalmazását, melynek modelljét az (1) és (2) egyenlet mutatja be

$$\begin{matrix}
 & A_1 & \dots & A_n \\
 C_1 & w_1 & u_i(a_{11}) & \dots & u_1(a_{1n}) \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 C_m & w_m & u_m(a_{m1}) & \dots & u_m(a_{mn}) \\
 & x_1 & \dots & x_n
 \end{matrix} \quad (1)$$

és,

$$y_j = \sum_{i=1}^n w_i u_j(a_{ij}) u(x) \quad (2)$$

ahol:

$A_j$ : j-edik alternatíva;

$C_i$ : i-edik szempont;

$w_i$ : i-edik szempont súlyszáma;

$a_{ij}$ : a j-edik alternatíva i-edik szempont szerinti értéke;

$u_i$ : az i-edik szemponthoz tartozó értékelő (hasznosság) függvény;

$x_j$ : a j-edik alternatíva pontszáma (rangsorban elfoglalt helye). [3]

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

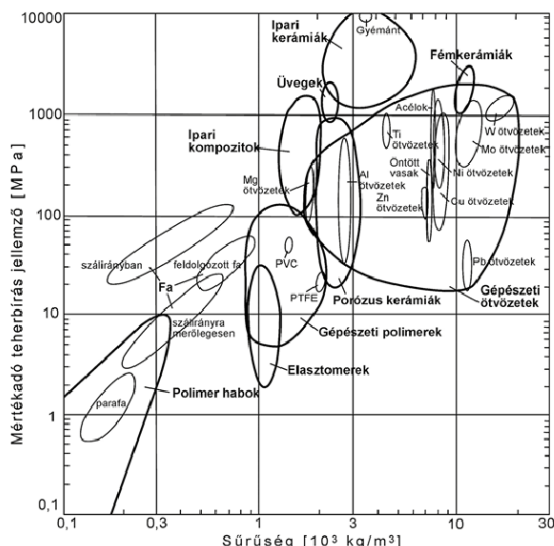
A példánkban vizsgált csípőprotézis anyagválasztásának első lépéseként (3. ábra), feltérképeztük az orvosi gyakorlatban fellelhető csípőprotézis anyagokat és azok anyagjellemzőit (1. táblázat).

1. táblázat. Az összehasonlító eljárás során figyelembe vett anyag alternatívák

Csípőprotézis anyagok	
A2	Acél L316 (hidegen alakított)
A3	Co-Cr alloys (kovácsolt Co-Ni-Cr-Mo)
A4	Co-Cr alloys (öntött Co-Cr-Mo)
A5	Ti ötvözet (Ti)
A6	Ti ötvözet (Ti-6Al-4V)
A7	Ti-6Al-7Nb (IMI-367)
A8	Ti-6Al-7Nb (Protasul-100)
A9	NiTi SMA
A10	Porózus NiTi SMA

A csípőprotézis alapanyagának megfelelőségét több szempont alapján vizsgálhatjuk: a csípőprotézis, olyan komplex funkciókat lát el (4. ábra), ahol a mérvadó követelmények között szerepel a szöveti tolerancia, a korrózióállóság, a mechanikai követelményeknek való megfelelés, a rugalmas kompatibilitás, illetve a súly és a költség [5].

Esetünkben a döntési szituációban jelölje az anyagjellemzőket  $n$  és a szóba jöhető anyagok számát  $m$ . Az értékelési kritériumok [6], a sűrűség ( $\text{g/cm}^3$ ), a szakítószilárdság (MPa), a rugalmassági modulus (GPa), a megnyúlás (%), a korrózióállóság a kopásállóság és az csontosodási hatékonyság voltak. (2. táblázat) Az anyag választási alternatívákat  $A_1, \dots, A_{10}$ , illetve a szempontokat pedig  $Sz_1, \dots, Sz_7$ -el jelöljük.



3. ábra. Szerkezeti anyagok tájékoztató szilárdsági tulajdonságai Ashby szerint[4]



4. ábra. Elülső feltárásból beültetett csípőprotézis röntgenképe [5]

2. táblázat. Értékelésben részt vevő anyagjellemzők

Értékelési jellemzők	
Sz <sub>1</sub>	sűrűség ( $\text{g/cm}^3$ )
Sz <sub>2</sub>	szakítószilárdság (MPa),
Sz <sub>3</sub>	rugalmassági modulus (GPa)
Sz <sub>4</sub>	megnyúlás (%),
Sz <sub>5</sub>	korrózióállóság
Sz <sub>6</sub>	kopásállóság
Sz <sub>7</sub>	osszeintegráció

A cél, a kiválasztott szempontok alapján megtalálni a legmegfelelőbb alapanyagot, vagy felállítani egy rangsort az alapanyagok között, hogy melyik mennyire felel meg az adott elvárásnak. Legyen továbbá

$$[x_{ij}^L, x_{ij}^U] \quad (3)$$

az  $i$ -edik anyag  $j$ -edik jellemzőjére vonatkozó intervallum, ahol  $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ . Ahhoz, hogy a döntést meghozhassuk, egy célértékre van szükség, az ideális anyag tulajdonságaival. Az egyes célértékeket  $T_1, T_2, \dots, T_n$  jelölje. Ahhoz, hogy a célértékeket közelítsük szükséges az ezekhez tartozó súlyozás (4), mely megadja, hogy az egyes jellemzők mennyire fontosak, ezért az egyes jellemzőkhöz tartozó súlyozó tényezőket  $w_1, \dots, w_n$  jelölje, ahol  $w_j \geq 0, j=1, \dots, n$  és

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4)$$

Amint maximalizálni, vagy minimalizálni kívánunk egy kritériumot (például minimalizálni a költségeket), akkor kiválaszthatjuk az adatok maximumát, vagy minimumát a célértékek adott jellemzőjéhez.

#### 4. A VIKOR ALGORITMUS

A VIKOR algoritmussal [7] meghatározunk minden egyes anyag alternatívához egy (5) intervallumot, ami összesítve jelzi azt, mennyire esik távol a célértéktől az adott anyag, majd ezután az intervallumok páronkénti összehasonlításával állíthatunk fel rangsort.

$$[Q_i^L, Q_i^U], i = 1, \dots, m \quad (5)$$

Ebben a problémában tehát 10 anyagból választunk 7 különböző anyagjellemző alapján. Az adataink normalizálásához bevezetjük a (6) jelöléseket. Ezek mutatják az anyagok között elérhető legkisebb és legnagyobb értéket az egyes jellemzőkre.

$$x_j^{L \min} := \min\{x_{ij}^L : i = 1, \dots, m\},$$

$$x_j^{U \max} := \max\{x_{ij}^U : i = 1, \dots, m\}, \quad (6)$$

$$j = 1, \dots, n$$

Ez a  $T_j$  célértékkel kiegészítve (7) felhasználható arra, hogy meghatározzuk az adatok terjedelmét és ennek segítségével normalizáljuk a célértéktől való eltérést. Vezessük be a

$$V_{ij}^L := \frac{|x_{ij}^L - T_j|}{\max\{x_j^{U \max}, T_j\} - \min\{x_j^{L \min}, T_j\}} \in [0, 1], \quad (7)$$

$$V_{ij}^U := \frac{|x_{ij}^U - T_j|}{\max\{x_j^{U \max}, T_j\} - \min\{x_j^{L \min}, T_j\}} \in [0, 1]$$

$i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$  normalizált mennyiségeket. A két mennyiség, abban különbözik, hogy az egyes jellemzőkre a célértéket az intervallum alsó vagy felső végpontjával hasonlítjuk össze. Ezután minden anyagra kiszámolhatóak (8) szerinti mutatószámok.

$$S_i^L := \sum_{j=1}^n w_j \min\{V_{ij}^L, V_{ij}^U\},$$

$$S_i^U := \sum_{j=1}^n w_j \max\{V_{ij}^L, V_{ij}^U\}, \quad (8)$$

$$R_i^L := \max\{\min\{V_{ij}^L, V_{ij}^U\} : j = 1, \dots, n\},$$

$$R_i^U := \max\{\max\{V_{ij}^L, V_{ij}^U\} : j = 1, \dots, n\}.$$

A többségi kritériumnak a döntéshozó által megállapított egyéni elégedettségi szintjét tükrözi a (9) szerinti intervallum.

$$\left[ \frac{S_i^L - S^-}{S^+ - S^-}, \frac{S_i^U - S^-}{S^+ - S^-} \right],$$

$$S^+ = \max\{S_i^U : i = 1, \dots, m\}, \quad (9)$$

$$S^- = \min\{S_i^L : i = 1, \dots, m\}$$

Míg a döntéshozó által megállapított egyéni elégedetlenségi szintjét (10) fejezi ki.

$$\left[ \frac{R_i^L - R^-}{R^+ - R^-}, \frac{R_i^U - R^-}{R^+ - R^-} \right],$$

$$R^+ = \max\{R_i^U : i = 1, \dots, m\}, \quad (10)$$

$$R^- = \min\{R_i^L : i = 1, \dots, m\}$$

A két intervallumot összevetve aszerint, hogy melyik kritériumot tartjuk fontosnak, legyen  $\nu \in [0, 1]$ , a többségi kritérium súlya (ahol  $\nu=0,5$  a kompromisszumos megoldást fejezi ki).

Ekkor (11) jelzi mennyire esik távol a célértéktől az adott anyag. Ezen intervallumok közül kívánjuk kiválasztani a minimálisat. Ehhez a két intervallumot értékelhető módszerre van szükség, ami alapján eldönthető melyik a kisebb.

$$[Q_i^L, Q_i^U] = \left[ \nu \left( \frac{S_i^L - S^-}{S^+ - S^-} \right) + (1 - \nu) \left( \frac{R_i^L - R^-}{R^+ - R^-} \right), \right. \\ \left. \nu \left( \frac{S_i^U - S^-}{S^+ - S^-} \right) + (1 - \nu) \left( \frac{R_i^U - R^-}{R^+ - R^-} \right) \right] \quad (11)$$

#### 4.1. Intervallumok összehasonlítása

Az algoritmus leírása során megválaszthattuk a célértékeket ( $T_1, \dots, T_n$  az ideális anyag jellemzői), az egyes anyagok fontosságát ( $w_1, \dots, w_n$ ), valamint a többségi kritérium súlyát ( $\nu$ ), ezután a megmaradt szabad paraméter az algoritmusban a döntéshozó  $\alpha \in (0,1]$  szintje, ahol az optimista döntéshozót a nagyobb  $\alpha$  értékek jellemzik, míg a racionális döntéshozó esetén  $\alpha = 0,5$ .

Az alternatívák rangsorolása a  $Q_i$  érték alapján történik, miszerint minél kisebb az értéke, annál jobb az adott anyag alternatíva rangsorolása.

Az elemzés Excel implementációjának eredményeit a 3. táblázat, illetve a rangsorolást az 4. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. A VIKOR elemzés eredményei

Jellemzők	1	2	3	4	5	6	7
Fontosság	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Célérték	1,3	1240	16	54	0,9	0	0,9
Max	9,13	1240	240	54	0,9	0,9	0,9
Mín	4,3	517	15	10	0,6	0,5	0,5

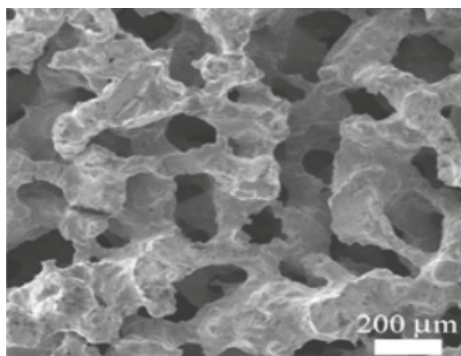
4. táblázat. Az eljárás során figyelembe vett anyag alternatívák rangsorolt értékei

Csípőprotézis anyagok		Rang
A <sub>1</sub>	Rozsdamentes acél L316 (hőkezelt)	10
A <sub>2</sub>	Rozsdamentes acél L316 (hidegen megmunkált)	9
A <sub>3</sub>	Co-Cr ötvözetek (megmunkált Co-Ni-Cr-Mo)	8
A <sub>4</sub>	Co-Cr ötvözetek (önthető Co-Cr-Mo)	7
A <sub>5</sub>	Ti ötvözetek (tisza Ti)	5
A <sub>6</sub>	Ti ötvözetek (Ti-6Al-4V)	3
A <sub>7</sub>	Ti-6Al-7Nb (IMI-367)	6
A <sub>8</sub>	Ti-6Al-7Nb (Protasul-100)	2
A <sub>9</sub>	NiTi SMA	4
A <sub>10</sub>	Porózus NiTi SMA	1

#### 4. ÖSSZEGRZÉS

Az anyagválasztási alternatívák jellemzőinek feldolgozásával, Excel implementációban rangsoroltuk az anyagokat az irodalomban általánosan használt VIKOR döntéstámogató módszer matematikai modelljét felhasználva. A VIKOR algoritmus segítségével a kiválasztott anyag alternatívákra meghatároztuk azt az intervallumot, ami összesítve jelzi, hogy az anyag mennyire esik távol az adott célértékektől, majd az intervallumokat páronként összehasonlítottuk. Ebben az esetfüggő konkrét döntési szituációban a véges számú szempontok az anyagtulajdonságok voltak, mivel kellőképpen tükrözik számunkra a használati megbízhatóságot és ezzel együtt, az implantátumnak biztosított élettartamot is.

A preferencia rangsor első helyére az A<sub>10</sub>-es porózus NiTi SMA (alakemlékező ötvözet) anyag alternatíva került (5. ábra), megelőzve az A<sub>8</sub>-as és az A<sub>6</sub>-os titán-ötvözeteket.



5. ábra. Porózus NiTi anyag pászttázó elektronmikroszkópos felvétele [8]

A rozsdamentes acél, a titán és más fémek a biológiai anyagokhoz képest nagyon merevek, mindezzel erő hatására a környező szövetre jelentős nyomást generálnak. [6]

Az alakemlékező ötvözetek különleges tulajdonságokat kihasználva az ortopédiai alkalmazásokban orvosi biológiai sikereket könyvelhetnek el, mivel ezen anyagok tulajdonságaiknak köszönhetően, kitűnnek a hagyományos anyagok közül. Sok SMA közül a NiTi ötvözetet tartják a legjobbnak és számos implantáció

alkalmazásban használják. [7] Kiemelkedő tulajdonságaik például a szuperelasztikus hatás, a nagy tehercsillapító tulajdonság és gumiszerű effektusok miatt, például csonttörések rögzítésére szolgáló lemezek, belső rögzítők elemek, csigolyatávtartók esetén. [8] A harmadik helyen a Ti-Al-V ötvözet szerepel magas korrózióállóságának, biokompatibilitásának és könnyű mivoltának köszönhetően [9]. Biológiai válasza azonban számos olyan felületkezeléssel javítható, amelyek bioaktivitást és oszteointegrációt biztosítanak.

Az egyre növekvő igények és az új és továbbfejlesztett orvosbiológiai implantátumok kifejlesztése komplex tervezési problémamegoldó tevékenységnek tekinthető. Jelen esettanulmány igazolja, hogy a többkritériumos döntéstámogató modellek, a kiterjedt döntési terekben, a kompromisszumok és a tervezési megtérülési pontok feltárásával, illetve egyedi szempontok bevezethetőségével, kiemelkedően eredményesnek bizonyulnak.

#### 5. IRODALOM

- [1] J. Szalai, J. Gyarmati: Többszemponú döntési modell alkalmazása a haditechnikai eszközök fejlesztésének és korszerűsítésének folyamatában, Hadmérnök XIII, ISSN 1788-1929, 2018., 59-66.
- [2] Opricovic, S.: Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems. PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, 1998.
- [3] Ali J., Edwards K., Bahraminasab M.: Multicriteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design, Butterworth Heinemann, ISBN: 9780081005361, 2016
- [4] M. Ashby: Designing architected materials, Scripta Materialia 68, ISSN: 1359-6462, 2013., 5.
- [5] Dr. De Jonge T., Dr. Kelemen P., Dr. Pauka D., Dr. Torkos M. B., Elülső feltárásból végzett minimál invazív csípőprotézis beültetéssel szerzett kezdeti tapasztalatok, Szombathely, 2018  
Letöltés: 2020.10.19:  
<http://real.mtak.hu/102969/1/05deJonge.pdf>
- [6] Duerig, A. Pelton, D. Stockel: An overview of nitinol medical applications, Materials Science and Engineering, ISSN: 0921-5093, 1999, 155.
- [7] Orvostechnikai anyagok, alakemlékező anyagok, Letöltés: 2020.10.19:  
<http://www.att.bme.hu/oktatas/BMEGEMTAMOA/letoltes/Orvostechnikai anyagok Alakemlekezo anyagok.pdf>
- [8] Bahraminasab M., Bin Sahari B., NiTi Shape Memory Alloys, Promising Materials in Orthopedic Applications, InTech, ISBN: 978-953-51-1084-2, 2013, 263.
- [9] Jemat a., Ghazali, M.j., Razali, M., Otsuka, Y., Surface modification and their effects on titanium dental implants, Biomed Res. Int., ISSN: 2314-6141, 2015, 8.