



# APLIKÁCIA ANALYTICKEJ VIACÚROVNŇOVEJ METÓDY PRI VÝBERE ZATEPLOVACIEHO MATERIÁLU

## APPLICATION OF AHP METHOD IN THE SELECTION OF INSULATION MATERIAL

MICHAELA HORVÁTHOVÁ, LINDA MAKOVICKÁ - OSVALDOVÁ

**ABSTRACT:** *The article deals with the selection of four types of insulation material based on the particular criteria. Specifically, it will be a matter of decision among facade insulation materials. We chose four species of the most used thermal insulation materials that are available on the market and are used frequently. The applied method is an analytical multilevel method that allows us to divide the whole problem into hierarchies and then compare two elements together and thus gain the weights of the criteria. Subsequently, we assessed the alternatives. The selected criteria are the price of the material, the thermal coefficient conductivity, flammability class and ignition time of the sample. The method is verified in the software BPMSG AHP priority calculator.*

**KEYWORDS:** *Multi-criteria decision making. Analytical multilevel method. Insulation material. AHP Online System.*

### ÚVOD

Zateplenie fasád domov sa stalo za posledné roky nutnosťou. Výrobcovia prichádzajú stále s novšími a lepšími alternatívami, ktoré dostatočne ochránia domovy. Hlavnými dôvodmi, prečo zatepľovať, sú zníženie tepelných strát v zime, ochrana interiéru pred zvýšenou tepelnou záťažou v lete, ako aj lepšia ochrana konštrukcie budovy. Pri výbere tej správnej izolácie na zateplenie domu je potrebné poznať tepelnoizolačné, ale aj ďalšie vlastnosti materiálu, ako aj cenu výrobku (Gašpercová, 2018). Výber tak nie je možné úplne zovšeobecniť. Vhodným výberom tepelnoizolačných materiálov môžeme prispieť aj ku zvýšeniu pasívnej požiarnej bezpečnosti stavieb. Svojimi vlastnosťami by nemali požiaru odolnosť znižovať, ale naopak zvyšovať (Osvald, 2017).

Cieľom článku je na základe zvolených kritérií vybrať z bežne používaných izolačných materiálov, ktoré sú určené pre fasádne zateplenie najvhodnejšieho adepta. Vytvorí sa tak aj prehľad pre koncového zákazníka a tým mu umožniť lepší výber materiálu. Zvolená metóda viackriteriálneho rozhodovania je riešená manuálne za pomoci počítania matíc o rozmere 4 x 4. Na overenie výsledkov manuálneho počítania využijeme online program BPMSG AHP priority calculator. Online program pracuje na základe metódy Analytického hierarchického procesu (AHP), ktorý je v súčasnosti jednou z najpoužívanejších metód viackriteriálneho rozhodovania. Z hľadiska požiarnej ochrany určíme materiál, ktorý najmenej a najviac prispieva k rozvoju požiaru.

### 1. VIACKRITERIÁLNE ROZHODOVANIE

Metóda viackriteriálneho rozhodovania patrí medzi exaktné heuristické metódy rozhodovania operačnej analýzy. Využíva sa pri rôznorodých rozhodovacích procesoch, kde je dôležité nielen jedno kritérium. Výhodou metódy viackriteriálneho rozhodovania je najmä jednoduchosť a rýchlosť použitia. Metóda pracuje s expertným odhadom kvalitatívnych kritérií, preto ju považujeme za semikvalitatívnu metódu (používa numerické vyjadrenie sledovaných vlastností) (Hudáková, 2013). Analytická viacúrovňová metóda – AHP je založená na párovom porovnávaní stupňa významnosti jednotlivých kritérií a miery toho, ako hodnotené varianty tieto kritéria splňajú. AHP je považovaná za najvhodnejšiu metódu z hľadiska presnosti výstupov (Hrablík, 2011). Stupnica hodnotenia je však podstatne komplikovanejšia. Hodnotenie sa uskutočňuje na základe stupnice (rovnaký - slabý - stredný - silný - veľmi silný) a tomu prislúchajúcej číselnej stupnice (1 – 3 – 5 – 7 – 9). Tieto stupnice zohľadňujú mieru (vplyv) vzťahu medzi dvoma kritériami, resp. variantami (Hudáková, 2011).

## 2. ANALÝZA VSTUPNÝCH ÚDAJOV

Aplikácia AHP sa vzťahuje na výber izolačného materiálu. Konkrétne sa bude jednať o rozhodovanie spomedzi fasádnych izolačných materiálov. Vybrali sme si štyri druhy najpoužívanejších zateplovacích materiálov, ktoré sú dostupné na trhu a využívajú sa pomerne často. Každý jeden má rozličné zloženie. Jeden druh nami vybraného izolantu sa používa pomerne najčastejšie a patrí medzi syntetické izolačné materiály, ktorým je polystyrén (P). Ďalšie tri druhy izolantov patri medzi prírodné izolačné materiály a tými sú minerálna vlna (MV), drevovláknitá doska (DI) a korok (K).

Stanovili sme si štyri kritéria tabuľka 1, na základe ktorých sa budeme spomedzi izolantov rozhodovať:

- **cena materiálu (K1)**

Cenu materiálu sme zvolili z toho dôvodu, lebo sa jedná o údaj, na ktorý koncový zákazník pri výbere zateplovacieho alebo akéhokoľvek iného materiálu najviac prihliada. Ceny výrobkov sme získali z cenníkov dostupných na internetových stránkach.

- **súčiniteľ tepelnej vodivosti (K2)**

K zásadným parametrom, ktorý zaujíma kupujúceho z hľadiska tepelnoizolačných vlastností je súčiniteľ tepelnej vodivosti ( $\lambda$ ). Tepelný odpor akéhokoľvek materiálu, teda to, ako účinne bráni únikom tepla, závisí od jeho hrúbky a súčiniteľa tepelnej vodivosti  $\lambda$  (lambda). Platí pritom, že nižšia  $\lambda$  znamená lepšiu izolačnú schopnosť. Na dosiahnutie potrebného tepelného odporu teda postačí tenšia vrstva materiálu s nižšou  $\lambda$ . A keďže s hrubou vrstvou tepelnej izolácie sa spája komplikovanejšia montáž a menej využiteľného vnútorného priestoru, cieľom výrobcov je ponúknuť materiály s čo najnižšou  $\lambda$  (Veľková, 2011).

- **trieda horľavosti (K3)**

Horľavosť alebo nehorľavosť stavebných materiálov môžeme veľmi ľahko zhodnotiť, pretože klasifikácia reakcie na oheň tzv.: eurotrieda sa nachádza v technickej špecifikácii. Je to povinná informácia nachádzajúca sa na označení CE. Väčšina stavebných materiálov, to sú hlavne všetky tepelné izolácie ktoré majú toto označenie. Označenie eurotriedy sa skladá: základná trieda od A1 (najlepšie) cez A2, B, C, D, E alebo F a taktiež dodatočné hodnoty s (1, 2 alebo 3) a d (0, 1, alebo 2). Napr. A1 – hovorí o tom, že materiál je nehorľavý, A2 – práve nehorľavý a ostatné triedy od B do F označujú čoraz vyššiu hodnotu horľavosti. Prakticky výrobky triedy od B do F horia do čím nižšej triedy (bližšie k F), tým je rýchlejší nástup aj pri použití čoraz nižšieho plameňa. Čím viac je výrobok horľavejší tým viac energie vydáva počas horenia. On sám zväčšuje oheň a tým sa pričíní k vyššiemu stupňu požiaru. Údaje o horľavosti materiálov boli získané z technických listov pre každý druh skúmaného materiálu (EuroPanels, 2020).

- **čas zapálenia materiálu (K4)**

Čas zapálenia bol stanovení pri meraní vzoriek izolačných materiálov na kónickom kalorimetri. Skúšky sa realizovali na požiarnotechnickom ústave v Bratislave. Kritérium bolo zvolené z dôvodu, že dobre charakterizuje ako sa materiál správa a v akom časovom intervale prichádza k iniciácii po kontakte s ohňom. Dlhší čas zapálenia odzrkadľuje odolávanie materiálu pri požiari.

Tabuľka 1 Prehľad vstupných údajov materiálu a kritérií hodnotenia (Autor, 2020)

Vybraný materiál	Kritéria			
	Cena materiálu (hrúbka 100 mm) [eur/m <sup>2</sup> ]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti [W/m.K]	Trieda horľavosti	Čas zapálenia pri teplote 750°C (s)
Polystyrén EPS	5	0,036	E	2
Minerálna vlna	5	0,039	A1	0
Drevovláknitá doska	9	0,042	B2	17
Korok	45	0,045	B2	9

### 3. POUŽITIE METÓDY AHP

Metóda je založená na párovom porovnávaní stupňa významnosti jednotlivých kritérií a miery toho ako hodnotené varianty riešenia tieto kritéria spĺňajú (Máca, 2019). Stupnica hodnotenia je však podstatne komplexnejšia. Hodnotenie je v oboch prípadoch (porovnanie kritérií i variantov) založené na tzv. „expertnom odhade“, pri ktorom odborníci v danom odbore porovnávajú vzájomné vplyvy dvoch faktorov. Tieto hodnotia na základe stupnice [rovnaký – slabý – stredný – silný – veľmi silný], pričom tomuto slovnému hodnoteniu odpovedajú číselné hodnoty [1-3-5-7-9] (Slamková, 1997). Porovnávajú kritéria medzi sebou, každému kritériu priradíme číselnú hodnotu. Ak porovnávame napr. kritérium K2 s K1 (tab. 2), kritérium K2 prevláda nad K1, tak v riadku napíšeme stanovenú hodnotu, avšak v riadku K1 a K2 zadáme prevrátenú hodnotu čísla. Takto postupujeme a ju ostatných kritérií.

Tabuľka 2 Párové porovnávanie kritérií podľa ich významnosti pre hodnotenie materiálu

Kritérium	K1	K2	K3	K4
K1	1	1/7	1/5	1/3
K2	7	1	5	3
K3	5	1/5	1	2
K4	3	1/3	1/2	1

Hodnota normovaného vektora matice párového porovnávania kritérií podľa ich významnosti pre hodnotenie metód je vypočítaná pomocou vlastného vektora matice.

$$\text{Vlastný vektor matice: } \begin{bmatrix} 126,29 \\ 1287,65 \\ 446,68 \\ 338,44 \end{bmatrix} \quad \text{Normovaný vlastný vektor matice: } \begin{bmatrix} 0,057 \\ 0,585 \\ 0,203 \\ 0,154 \end{bmatrix}$$

Po párovom porovnaní kritérií a určenie ich váh, budeme ďalej potrebovať párové porovnanie jednotlivých materiálov. V nasledujúcich tabuľkách 3 - 6 je znázornené porovnávanie materiálu podľa zvolených kritérií.

Tabuľka 3 Párové porovnávanie materiálu podľa ceny (K1) s určením váh

Materiál	P	MV	DI	K
P	1	3	4	8
MV	1/3	1	3	5
DI	1/4	1/3	1	4
K	1/8	1/5	1/4	1

$$\text{Vlastný vektor matice: } \begin{bmatrix} 1347,67 \\ 649,11 \\ 329,9 \\ 121,46 \end{bmatrix} \quad \text{Normovaný vlastný vektor matice: } \begin{bmatrix} 0,550 \\ 0,265 \\ 0,135 \\ 0,050 \end{bmatrix}$$

Tabuľka 4 Párové porovnávanie materiálu podľa súčiniteľa tepelnej vod. (K2) s určením váh

Materiál	P	MV	DI	K
P	1	3	4	8
MV	1/3	1	3	5
DI	1/4	1/3	1	4
K	1/8	1/5	1/4	1

$$\begin{array}{l} \text{Vlastný vektor matice:} \begin{bmatrix} 993,82 \\ 542,26 \\ 283,36 \\ 113,01 \end{bmatrix} \quad \text{Normovaný vektor matice:} \begin{bmatrix} 0,514 \\ 0,281 \\ 0,147 \\ 0,058 \end{bmatrix} \end{array}$$

Tabuľka 5 Párové porovnávanie materiálu podľa triedy horľavosti (K3) s určením váh

Materiál	P	MV	DI	K
P	1	1/9	1/7	1/6
MV	9	1	7	5
DI	7	1/7	1	2
K	6	1/5	1/2	1

$$\begin{array}{l} \text{Vlastný vektor matice:} \begin{bmatrix} 139,18 \\ 1025,35 \\ 694,14 \\ 505,13 \end{bmatrix} \quad \text{Normovaný vektor matice:} \begin{bmatrix} 0,059 \\ 0,434 \\ 0,294 \\ 0,214 \end{bmatrix} \end{array}$$

Tabuľka 6 Párové porovnávanie materiálu podľa času zapálenia (K4) s určením váh

Materiál	P	MV	DI	K
P	1	1/9	1/7	1/6
MV	9	1	6	8
DI	7	1/6	1	2
K	6	1/8	1/2	1

$$\begin{array}{l} \text{Vlastný vektor matice:} \begin{bmatrix} 146,15 \\ 2767,07 \\ 723,98 \\ 470,30 \end{bmatrix} \quad \text{Normovaný vektor matice:} \begin{bmatrix} 0,036 \\ 0,674 \\ 0,176 \\ 0,114 \end{bmatrix} \end{array}$$

Na základe použitia metódy AHP sme rozhodli o poradí vhodného zateplovacieho materiálu (tabuľka 7). Výsledok výpočtu metódy stanovil nasledovné poradie, na prvom mieste je minerálna vlna, druhé miesto – polystyrén EPS, tretie miesto - drevovláknitá izolácia, a posledné miesto obsadil korok.

Tabuľka 7 AHP- hodnotiaca matica izolačného materiálu podľa zvolených kritérií a ich váh

Kritérium	Váha	Hodnotenie materiálu			
		Polystyrén EPS	Minerálna vlna	Drevovláknitá izolácia	Korok
cena materiálu	0,057	0,55	0,265	0,135	0,05
Súčiniteľ tepelnej vodivosti	0,585	0,514	0,281	0,147	0,058
trieda horľavosti	0,203	0,059	0,434	0,294	0,214
čas zapálenia	0,154	0,036	0,674	0,176	0,114
Vážený súčet	1	0,349561	0,371388	0,180476	0,097778
Poradie		2.	1.	3.	4.

#### 4. BPMSG AHP PRIORITY CALCULATOR

Pre overenie výsledkov manuálneho počítania pomocou metódy AHP, sme sa rozhodli použiť on-line program BPMSG AHP priority calculator. Dostupnosť tohto programu je na stránke <http://bpmsg.com/> (BPMSG AHP, 2019). Program nám vyhodnotil váhy pre alternatívy obrázok 1 a celkové poradie porovnávania materiálu obrázok 2.

	Criterion	Node	Global Priorities	Compare	polystyrén	minerálna vlna	drevovláknitá izolácia	korok
1.	cena	My favorite materials	25%	AHP	0.55	0.265	0.135	0.049
2.	súčiniteľ tepelnej vodivosti	My favorite materials	25%	AHP	0.515	0.279	0.147	0.059
3.	trieda horľavosti	My favorite materials	25%	AHP	0.036	0.657	0.178	0.129
4.	čas zapálenia	My favorite materials	25%	AHP	0.035	0.676	0.175	0.114
Total weight of alternatives:					0.284	0.47	0.159	0.088

Obrázok 1 Váhy pre alternatívy (Autor, 2020)

Ranking for My favorite materials:			
Category		Priority	Rank
1	polystyrén	28.4%	2
2	minerálna vlna	47.0%	1
3	drevovláknitá izolácia	15.9%	3
4	korok	8.8%	4

Obrázok 2 Výsledné poradie materiálu (Autor, 2020)

## ZÁVER

Izolácia a zatepľovanie znamená opodstatnenú a návratnú investíciu. Dôležitý je pre nás najmä správny výber izolantu. Aby sme si zo širokého spektra izolačných materiálov vybrali ten najvhodnejší a s najlepšimi vlastnosťami, musíme si uvedomiť, že najnižšia cena nie vždy znamená najvyššiu úsporu, nehovoriac o kvalite obytného a pracovného prostredia, na ktorý priamo vplyva.

Podľa stavebných a bezpečnostných expertov, rýchle rozšírenie požiaru na stavbe spôsobuje opláštenie budov, ktoré je v mnohých prípadoch vyrobené z vysoko horľavých materiálov. Aplikácia horľavého materiálu na fasádu znamená, že požiar sa šíri rýchlejšie vo zvislom, ale aj (síce pomalšie) vo vodorovnom smere.

Popri materiálovom riešení (výber materiálu podľa jeho reakcie na oheň, zloženie a povrchová úprava) je dôležité aj konštrukčné riešenie fasády. Voľba rôznych druhov materiálov, ako aj ich konštrukčné usporiadanie a vyhotovenie výrazným spôsobom ovplyvňuje rýchlosť šírenia sa požiaru po povrchu fasády a prienik požiaru do interiéru budovy. Naším cieľom bolo vybrať materiál, ktorý zlepší pasívnu ochranu stavby a naopak, ktorý ľahko prispieva svojím zložením k rozvoju požiaru.

Na riešenie problému sme využili metódu viackriteriálneho rozhodovania, ktorá má široké použitie pri hodnotení teoretických a praktických rozhodovacích úloh, kde je nutné vybrať medzi viacerými variantmi podľa rôznych kritérií. Pre uplatnenie metódy je dôležité zvoliť vhodné kritéria a stanoviť im príslušnú váhu. Pre určenie poradia variantu môžeme použiť rôzne metódy. V článku sme použili metódu AHP, ktorú sme overili v príslušnom softvéri. Pomocou metódy analytického hierarchického postupu - AHP, na základe zvolených kritérií, sme určili poradie najvhodnejšieho izolačného materiálu.

Pre riešenie našej úlohy sme zvolili 4 kritéria: cena materiálu, súčiniteľ tepelnej vodivosti, trieda horľavosti a čas zapálenia. Vybrali sme si 4 hodnotené druhy materiálov a tým boli polystyrén, minerálna vlna, drevovláknitá doska a korok. Spomedzi štyroch materiálov na základe stanovených kritérií bola najlepšia hodnotená minerálna vlna, v poradí ako druhý materiál bol polystyrén EPS, následne drevovláknitá doska a na poslednom mieste bol korok. Pre overenie metódy AHP sme použili on-line program BPMSG AHP priority calculator, ktorý na základe zvolených kritérií určil poradie vybraných materiálov. Program potvrdil správnosť manuálneho spracovania metódy AHP. On-line program je menej náročnejší na prácnosť a čas ako manuálne počítanie.

Nevýhodou metódy je napríklad: Ak je používané verbálne ohodnotenie, potom je škála hodnotenia vytvorená hodnotiacim subjektom. Taktiež môžete si myslieť, že jedno kritérium je menej dôležité ako druhé, AHP metóda však dokáže opak. Vytváranie stromovej štruktúry je zaťažené istou mierou subjektivity. Počet porovnaní, ktoré musia byť zrealizované, môžu robiť metódu časovo náročnou, ak je veľký počet kritérií alebo alternatív na porovnávanie.

Jednou z výhod AHP je použitie párového verbálneho ohodnotenia umožňuje jednoduchší úsudok. AHP požaduje, aby bolo urobených viacej porovnaní, ako je potrebné na stanovenie váh. Prehľadnosť je zabezpečená formálnym štruktúrovaním problému.

Napriek svojim slabým stránkam sa metóda analytický hierarchický proces používa, pretože je to pomerne jednoduchá pomôcka. Vytvorenie hierarchickej štruktúry nie je až také jednoduché, ale používanie tohto nástroja si nevyžaduje žiadne špeciálne znalosti zo strany spoločnosti (respondentov).

## LITERATÚRA

- Bpmsg ahp priority calculator (2019, Novemer 11). Retrieved November 11, 2019, from <http://bpmsg.com/>
- EuroPanels. (2020). Technické rady. Čo je to reakcia na oheň?. Retrived September 16,2020, from, <http://www.europanels.pl/sk/technicke-rady/co-to-jest-reakcja-na-ogien/>
- Gášpercová, S., Ceľuch, A., (1/2018). Impact of flame burning on weight loss of wooden fibreboard. *Crisis management*. 5-10.
- Hadáček, L., Loveček, T., Soušek, R., (2/2019). Decision support in risk management. *Crisis management*. 28-34. <https://drepo.uniza.sk/handle/hdluniza/32>
- Hudáková, M. a kol. (2013). Metódy a techniky v procese manažmentu rizika.
- Hudáková, M. (2011). Manažérske metódy a techniky.
- Hrablík-Chovanová, H., Sakál, P. (2011). Operačná analýza časť I.
- Máca, J., Leitner, B. (2019, November 10). Operačná analýza I.: deterministické metódy operačnej analýzy. Retrieved November 10, 2019, from <http://fbiw.uniza.sk/ktvi/>
- Netopilová, M., Kačíková, D., Osvald, A., (2010). Reakce stavebních výrobku na oheň. Ostrava, Edice SPBI Spektrum.
- Osvald, A., Flachbart, J., (2/2017). Fires facade of the skyscraper. *Crisis management*. 55-56.
- Slamková, E., a kol. (1997). Operačná a systémová analýza.
- Veľková, V., Osvald, A., Lalík, V., Zachar, M., (3/2011). Bezpečnosť využívania stavebných izolačných materiálov. *Krízový manažment*. 33-40

---

### Michaela Horváthová, Ing.

Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina  
e-mail: [michaela.horvathova@fbi.uniza.sk](mailto:michaela.horvathova@fbi.uniza.sk)

### Linda Makovická-Osvaldová, doc., Bc., Ing., PhD.

Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina  
e-mail: [linda.makovicka@fbi.uniza.sk](mailto:linda.makovicka@fbi.uniza.sk)

---