

ANALITIČNO VREDNOTENJE LESENIH OKEN Z UPORABO AHP IN QFD METODE

analytical evaluation of wooden windows by using AHP
and QFD method

Povzetek: V članku je predstavljena analiza pomembnosti različnih dejavnikov pri izdelavi in prodaji lesenih oken tako s strani kupcev, kot tudi s strani strokovnjakov. V ta namen smo uporabili dve metodi: analitični hierarhični proces (AHP) in razvoj funkcije kakovosti (QFD). Po AHP metodi je najpomembnejši tehnični dejavnik pri lesenih oknih vrsta zasteklitve, sledijo ji površinska obdelava, tipi oken in lesna vrsta, ki imajo podobno težo. Pri QFD se je kot najpomembnejši dejavnik izkazala površinska obdelava, kiji sledi vrsta zasteklitve. Primerjava rezultatov kaže, da sta obe metodi dali podobne rezultate, saj je razlika le pri prvih dveh dejavnikih (površinska obdelava in vrsta zasteklitve), medtem ko so ostali dejavniki enako razporejeni. Ključne besede: lesena okna, analitični hierarhični proces, razvoj funkcije kakovosti

Abstract: This paper presents an analysis of the importance of different factors in the production and sale of wooden windows, from customers and as well as from professionals point of view. We used two methods: analytic hierarchy process (AHP) and quality function deployment (QFD). According to the AHP method the most important technical factor of wooden windows is type of glass, followed by three factors that have similar weights: surface finishes, types of windows and wood species used. By QFD the most important factor is surface finishes, which is followed by type of glass. The comparison of the results obtained by both methods shows differences only at the two most important factors (surface finishes and type of glass), while for other factors, results are similar.

Key words: wooden windows, analytic hierarchy process, quality function deployment

1. UVOD

V zadnjem času se delež uporabe PVC profilov za stavbno pohištvo v Sloveniji zelo povečuje. Pod stavbno pohištvo sicer spada širok nabor izdelkov, s katerimi opremimo stavbo v končni fazi gradnje: notranja in zunanja vrata, okna, polkna, rolete, montažne stene in stopnice. V raziskavi smo se osredotočili na okna. V letu 2010 je bilo 40 % nepovratnih sredstev, ki jih slovenski Eko sklad namenja za zamenjavo zunanjega stavbnega pohištva, porabljenih za novo stavbno pohištvo, izdelano iz PVC profilov (EKO

sklad, 2010). V letošnjem letu (2011) Eko sklad, z namenom spodbujanja vgradnje naravnih materialov, sredstva namenja samo za zamenjavo starih z lesenimi okni.

Na področju vgradnje oken v nove stavbe trenutno ni nobenega predpisa, ki bi spodbujal vgrajevanje lesenih oken, tako morajo proizvajalci sami s kakovostnimi izdelki (lesena okna) prepričati kupce k taki izbiri. Z raziskavo smo želeli ugotoviti, kateri in kako pomembni so dejavniki pri izdelavi in prodaji lesenih oken. Pri tem nas je zanimalo, kaj o tem menijo kupci in kaj strokovnjaki s področja lesarstva.

Razvrščanje dejavnikov spada na področje večkriterijskega odločanja (Belton in Stewart, 2002), kjer smo izmed več metod izbrali analitični hierarhični proces (AHP) (Saaty, 1980). AHP nudi hierarhično strukturo modela, sama

* dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-B) Ljubljana, e-pošta: matejjost@bf.uni-lj.si

† mag., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, SI-Ljubljana, e-pošta: petra.groselj@bf.uni-lj.si

metoda pa je kljub močnim matematičnim temeljem, kar dela njene rezultate zanesljive, enostavna za uporabo. Poleg tega je zelo prilagodljiva in omogoča, da upoštevamo tako empirične podatke kot subjektivne ocene, pa tudi nedoločenost in nemerljivost posameznih kriterijev, ter s tem zajamemo vso kompleksnost realnih večkriterijskih problemov. Metoda je bila uporabljena tudi v številnih aplikacijah na različnih področjih (Vaidya in Kumar, 2006).

Kot pomoč pri razvoju in načrtovanju novih izdelkov ali pri izboljšanju že obstoječih, pri analiziranju potreb kupcev in odločanju o najprimernejših strategijah se uporablja tudi metoda razvoja funkcije kakovosti (QFD) (Chan in Wu, 2002). Ta omogoča pretvorbo mnenj, želja in potreb kupcev v bolj inženirski jezik tehničnih karakteristik in specifikacij (Akao in Mazur, 2003).

Obe metodi sta bili že večkrat kombinirani z uporabo drugih metod in tudi med seboj (Andronikidis in sod., 2009; Ho, 2008; Kamvysi in sod., 2010; Mayyas in sod., 2011).

2. METODE

2.1. AHP

Pri metodi AHP najprej zgradimo hierarhično drevo, ki ima na vrhu izbrani cilj, pod njim so kriteriji in podkriteriji, na dnu pa alternative. Osnova AHP so primerjave parov na istem nivoju glede na elemente, ki so višje v hierarhiji (Saaty, 2006). Pri parnih primerjavah uporabljamo 9-stopenjsko lestvico (Preglednica 1).

Inverzni primerjavi priredimo obratno vrednost, vse primerjave pa zapišemo v matriko parnih primerjav A . Vektor uteži w izračunamo iz matrike A z metodo lastnih vektorjev (Saaty, 2006):

$$A w = \lambda_{\max} w, \quad (1)$$

kjer je λ_{\max} največja lastna vrednost matrike A . Praksa kaže, da parne primerjave niso popolnoma konsistentne. Nekonsistentnost je sprejemljiva, če je konsistentni količnik (CR) manjši od 0,1. Za matriko parnih primerjav A izračunamo CR_A kot razmerje med konsistentnim indeksom (CI_A)

Preglednica 1. Lestvica parnih primerjav

vrednost	definicija
1	kriterija i in j sta enako pomembna
3	kriterij i je nekoliko pomembnejši od j
5	kriterij i je precej pomembnejši od j
7	kriterij i je močno pomembnejši od j
9	kriterij i je ekstremno pomembnejši od j
2, 4, 6, 8	vmesne vrednosti

matrike A :

$$CI_A = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

kjer je n red matrike A , in povprečnim indeksom vseh matrik reda n :

$$CR_A = \frac{CI_A}{RI} \quad (3)$$

2.2. QFD

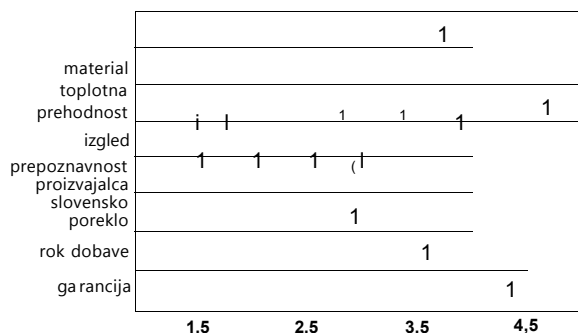
Metoda QFD poteka v več korakih (Chan in Wu, 2005). Najprej je potrebno ugotoviti, kdo so potencialni kupci in kakšne so njihove potrebe ter določiti kriterije, ki so pomembni za kupce. Kupci v naslednjem koraku ocenijo kriterije. Zatem izberemo dejavnike, ki določajo tehnične lastnosti produkta in raziščemo, kakšne in kako močne so povezave med kriteriji kupcev in tehničnimi dejavniki. Sledi ugotavljanje povezav med tehničnimi dejavniki, ki jih zapišemo v korelacijsko matriko. Končne uteži, ki povedo, kako pomembni so tehnični dejavniki za kupce, izračunamo kot vsoto produktov ocen kriterijev in moči povezave s posameznim tehničnim dejavnikom po vseh kriterijih za vsak tehnični dejavnik posebej. Vse dobljene rezultate predstavimo v hiši kakovosti.

Pri naši raziskavi smo najprej s pomočjo strokovnjakov določili kriterije, za katere smo menili, da so pomembni kupcem pri izbiri oken. Izbrali smo naslednje kriterije: cena, vrsta materiala za okenski profil, toplotna prehodnost (celotno okno; tudi zrakotesnost), izgled okna, prepoznavnost (reference) proizvajalca, slovensko poreklo, rok dobave, garancija. Zatem smo določili tehnične dejavnike, ki vplivajo na to, kakšna bodo izdelana lesena okna. Izbrani tehnični dejavniki so: predpisi za gradnjo (PURES - UL, 2010), uporabljena lesna vrsta, površinska obdelava, vrsta zasteklitve (izolativna, varnostna, refleksna ...), okovje, tipi oken (enokrilno, dvokrilno, zaokroženo ...). Dobljeni kriteriji kupcev in tehnični dejavniki so bili osnova za AHP model in hišo kakovosti za metodo QFD.

Glas kupcev oziroma razvrstitev kriterijev kupcev smo dobili z anketiranjem obiskovalcev sejma pohištva - Ambient Ljubljana (od 9. do 14. 11. 2010). Vzorec je bil velikosti $n = 183$. Kriterije so anketiranci ocenjevali s pomočjo 5-stopenjske Likertove lestvice. Za primerjavo ocen kriterijev med anketiranci, ki so prišli na sejem z namenom, da bodo v bližnji prihodnosti kupili nova okna, in ostalimi anketiranci smo uporabili t-test za povprečja. Statistično obdelavo smo naredili s pomočjo računalniškega programa SPSS.

3. REZULTATI IN RAZPRAVA

Najprej smo izračunali povprečne ocene kriterijev kupcev, ki smo jih dobili z anketiranjem. Izračunana povprečja za vsak kriterij prikazuje Slika 1.



Slika 1. Povprečna ocena kriterijev kupcev pri izbiri novih oken

Rezultati kažejo, da je ljudem najpomembnejša toplotna prehodnost oken, sledi ji garancija, ki jo podjetje nudi za okna. Na tretjem mestu po pomembnosti je material, iz katerega so izdelana okna, zatem pa izgled oken. Cena pri izbiri oken ne igra najpomembnejše vloge, saj jo najdemo šele na petem mestu. Na šestem mestu je dolžina roka dobave. Najmanj pomembna kriterija sta prepoznavnost proizvajalca in slovensko poreklo, ki imata kljub vsemu oceno skoraj 3. V nadaljnji raziskavi smo ta dva kriterija združili v enega samega: proizvajalec.

Primerjava v razvrstitvi kriterijev med tistimi anketiranci, ki so prišli na sejem za namenom, da bodo v bližnji prihodnosti kupili nova okna ($n_1 = 17$), in ostalimi ($n_2 = 166$), je pokazala, da pri nobenem kriteriju ni statistično značilnih razlik v ocenah.

Zatem smo zgradili hierarhični model, na katerem temelji metoda AHP (Slika 2). V AHP modelu smo parno primerjali tehnične dejavnike glede na kriterije, ki so pomembni kupcem pri izbiri oken. Enačba (4) prikazuje matriko parnih primerjav, kjer smo ugotavljali, kateri dejavnik ima večji vpliv na ceno lesenih oken, in njen konsistentni količnik.

$$\begin{matrix}
 & S & m & p & z & o & i \\
 \begin{matrix} i \\ m \\ p \\ z \\ o \\ i \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 3 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 4 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} & CR = 0,051 & (4)
 \end{matrix}$$

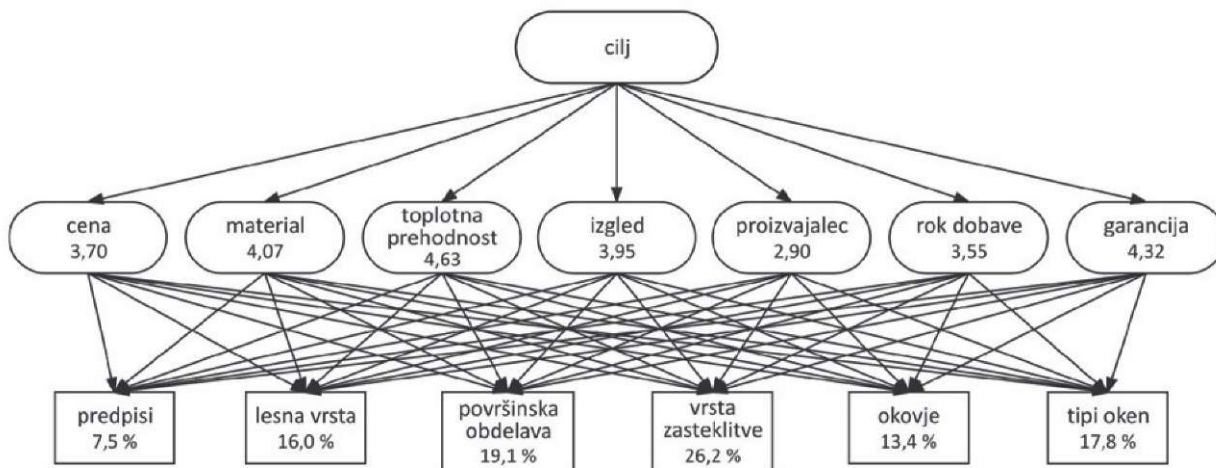
Pri matrikah parnih primerjav smo pazili, da so vse matrike sprejemljive nekonsistentnosti, sicer smo najbolj nekonsistentne ocene še enkrat preverili in ustrezno prilagodili. Za vsako matriko parnih primerjav smo s pomočjo enačbe (1) izračunali vektor uteži $w_k = (w_{1k}, \dots, w_{6k})$. Vse vektorje uteži prikazujejo vrstice Preglednice 2.

Rezultati kažejo, da na ceno najbolj vpliva vrsta zasteklitve. Vrsta lesa, zasteklitve in okovja določa, kakšen material bo vgrajen v okna. Toplotna prehodnost je najbolj odvisna od vrste zasteklitve. Na izgled ima največji vpliv izbrani tip oken in površinska obdelava. Izbira proizvajalca oziroma njegov ugled med kupci je najbolj odvisen od površinske obdelave. Na rok dobave najbolj vplivajo število različnih tipov oken, število različnih vrst lesa, iz katerega so izdelana okna ter površinska obdelava. Na garancijo pa ima največji vpliv okovje, površinska obdelava in vrsta zasteklitve.

Končne uteži w_i za tehnične dejavnike smo dobili z uteženo vsoto (5) vseh uteži w_{ik} za izbrani dejavnik i , kjer so uteži u_k povprečne ocene kriterijev, ki smo jih dobili z anketiranjem kupcev (Slika 1):

preglednica 2. vektorji uteži za tehnične dejavnike glede na kriterije, ki so pomembni kupcem pri izbiri oken

	predpisi	lesna vrsta	površinska obdelava	vrsta zasteklitve	okovje	tipi oken
cena	6,8 %	16,7 %	14,2 %	31,9 %	10,3 %	20,1 %
material	4,4 %	30,0 %	11,1 %	29,4 %	14,8 %	10,2 %
toplotna prehodnost	17,6 %	6,0 %	5,6 %	53,5 %	11,5 %	5,7 %
izgled	3,3 %	17,8 %	25,8 %	7,8 %	5,5 %	39,8 %
proizvajalec	3,7 %	11,8 %	40,7 %	23,2 %	11,4 %	9,1 %
rok dobave	3,6 %	25,2 %	18,9 %	12,4 %	6,0 %	34,0 %
garancija	9,7 %	6,4 %	25,0 %	19,4 %	31,5 %	8,1 %



Slika 2. AHP model s hierarhijo cilja, kriterijev kupcev z njihovimi ocenami pomembnosti in s tehničnimi dejavniki s končnimi uteži za razvrstitev

$$w_i = L \quad (5)$$

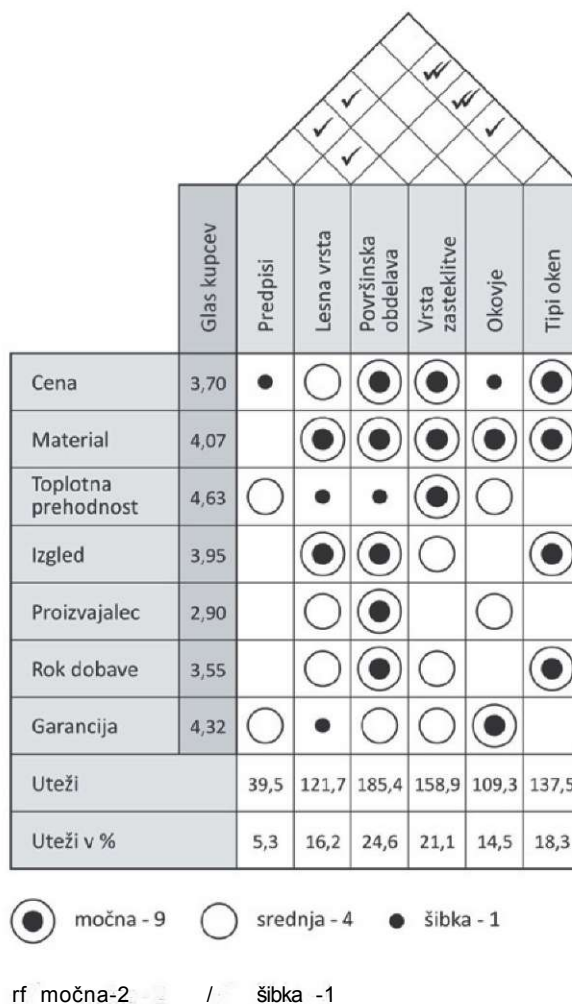
Odločitveno drevo s povprečnimi ocenami kriterijev u_k $k = 1, \dots, 7$, in s končnimi uteži w_i , $i = 1, \dots, 6$, za tehnične dejavnike prikazuje Slika 2.

Po AHP metodi je najpomembnejši tehnični dejavnik vrsta zasteklitve, ki po odstotkih precej odstopa od ostalih dejavnikov. Sledijo površinska obdelava, tipi oken in lesna vrsta, ki imajo precej podobne vrednosti v odstotkih. Na petem mestu je okovje. Pričakovano na zadnjem mestu je dejavnik predpisi, ki je osnova, ki se je mora izdelovalec držati, nima pa dodane vrednosti.

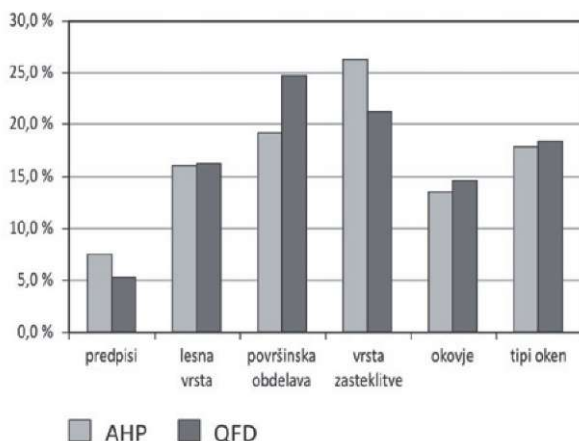
Pri QFD metodi smo najprej določali, kako močna je povezava med posameznimi tehničnimi dejavniki in kriteriji, ki so pomembni kupcem. Uporabili smo ocene: 9 za močno povezavo, 4 za srednje močno in 1 za šibko povezanost. Rezultati so zapisani v hiši kakovosti v osrednjem delu (Slika 3). Ugotavljali smo tudi, kako tehnični dejavniki vplivajo drug na drugega. Uporabili smo ocene: 2 za močno povezavo in 1 za šibko. Rezultate najdemo v korelacijski matriki, ki predstavlja streho hiše kakovosti (Slika 3). Končne uteži za tehnične dejavnike so izračunane v zadnjih dveh vrsticah hiše kakovosti (Slika 3).

Po QFD metodi je najpomembnejši tehnični dejavnik površinska obdelava, ki mu sledi vrsta zasteklitve. Razlika v odstotkih ni velika. Na tretjem mestu so tipi oken, zatem pa lesna vrsta in okovje. Najmanj pomemben dejavnik so predpisi.

Za konec smo primerjali končne uteži, dobljene z metodo AHP in QFD. Primerjavo kaže graf na Sliki 4.



slika 3. hiša kakovosti za problem izbire oken



Slika 4. Primerjava uteži za tehnične dejavnike, dobljene z metodo AHP in QFD

Opazna je le razlika med najpomembnejšima tehničnima dejavnikoma: površinsko obdelavo in zasteklitvijo. Po AHP metodi je najpomembnejši dejavnik zasteklitvev, po QFD pa površinska obdelava. Podrobnejši pregled izračunov pokaže, da ima pri obeh metodah površinska obdelava večjo povezanost oziroma večji vpliv na kriterije izgled, proizvajalec in rok dobave; vrsta zasteklitve pa večji vpliv na toplotno prehodnost. Pri kriterijih cena, material in garancija imata po metodi QFD oba dejavnika enako velik vpliv, po metodi AHP pa ima zasteklitvev večji vpliv na ceno in material, površinska obdelava pa na garancijo. Te razlike privedejo do razlik v končnih utežeh. Ostali dejavniki so pri obeh metodah enako razvrščeni in tudi uteži imajo zelo podobne vrednosti.

4. SKLEP

Ugotovili smo, da je pri načrtovanju lesenih oken smiselno upoštevati, kateri kriteriji so pomembni potencialnim kupcem, ter kako so ti kriteriji povezani s tehničnimi dejavniki, ki vplivajo na izdelavo lesenih oken. Za razvrstitev tehničnih dejavnikov po pomembnosti za kupca smo uporabili dve metodi. Metoda AHP je poznana kot metoda za določanje uteži in razporejanje dejavnikov ne glede na področje raziskovanja. Metoda QFD pa je metoda, ki se tipično uporablja pri načrtovanju in odločanju o novih izdelkih. Kljub različnemu ozadju sta dali obe metodi zelo podobne rezultate in jih s tem dodatno potrdili. V nadaljnjih raziskavah bomo uporabili še kombinacijo obeh metod, da bi s tem hkrati izkoristili močne strani obeh.

Rezultati kažejo, da bi morali proizvajalci lesenih oken največ pozornosti posvetiti izbiri vrste zasteklitve in površinski obdelavi. Seveda pa niso zanemarljivi tudi drugi dejavniki. Kupci si želijo čim večjo možnost individualne izbire oblike oziroma tipa oken, veliko izbiro lesnih vrst

za okna in kvalitetno okovje. Osnova vsega pa je seveda izpolnjevanje predpisov, ki so navedeni v Pravidniku o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES), ki opredeljuje mejne vrednosti za učinkovito rabo energije stavbe kot celote (UL, 2010).

LITERATURA

1. **Akao Y., Mazur G.H. 2003.** The leading edge in QFD: past, present and future. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1):22-35.
2. **Andronikidis A., georgiou A.c., gotzamani K., Kamvysi K. 2009.** The application of quality function deployment in service quality management. *The TQM Journal*, 21(4):319-333.
3. **Belton v., Stewart T.J. 2002.** Multiple Criteria Decision Analysis: An integrated approach. Norwell, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
4. **chan L.-K., Wu M.-L. 2002.** Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143(3):463-497.
5. **chan L.-K., Wu M.-L. 2005.** A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example. *Omega*, 33(2):119-139.
DOI: 10.1016/j.matdes.2011.01.001.
6. **Eko sklad 2010.** Nepovratne spodbude le za lesena okna. Eko sklad, Slovenski okoljski javni sklad. http://www.ekosklad.si/pdf/Sporocila/Sporocilo_za_medije___lesena_okna.pdf
7. **Ho W. 2008.** Integrated analytic hierarchy process and its applications - A literature review. *European Journal of Operational Research*, 186(1):211-228.
8. **Kamvysi K., gotzamani K., georgiou A.c., Andronikidis A. 2010.** Integrating DEAH and DEANP into the quality function deployment. *The TQM Journal*, 22(3):293-316.
9. **Mayyas A., Shen Q., Mayyas A., Abdelhamid M., Shan D., Qattawi A., Omar M. 2011.** Using Quality Function Deployment and Analytical Hierarchy Process for material selection of Body-In-White. *Materials & Design* In Press, Corrected Proof
10. **Saaty T.L. 1980.** The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.
11. **Saaty T.L. 2006.** Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. Pittsburgh: RWS Publications.
12. **UL (2010)** Pravidnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. 52/2010, 7840-7847
13. **vaidya O.S., Kumar S. 2006.** Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1):1-29.