

Hodnocení Web GIS aplikací a nástrojů pro jejich tvorbu pomocí AHP

*Evaluation of Web GIS Applications
and their Development Tools Using AHP*

Miroslav Pásler*

Abstrakt

Analyticko-hierarchický proces (AHP) je široce využívaným přístupem v oblasti rozhodovacích procesů, hodnocení a skupinovém rozhodování. Je oblíben zejména pro svá specifika související s konzistentností hodnotitelových rozhodnutí a přístupu k dekompozici daného problému. AHP a jeho formy jsou také využívány v oblasti geografických informačních systémů (GIS) a to při řešení mnoha různých problémů. V tomto článku je AHP použit jako metoda výběru možných hodnotících kritérií a stanovení vah kritérií pro hodnocení Web GIS aplikací interaktivně prezentujících zájmové body a nástrojů sloužících k tvorbě tohoto druhu Web GIS aplikací. V rámci výzkumu byly stanoveny váhy kritérií dotazováním hodnotitelů rozdělených do kategorií dle jejich vztahu k tvorbě a využití Web GIS aplikací. Proces hodnocení je vztažen ke konkrétní Web GIS mapové aplikaci. Článek konfrontuje výsledky šetření s výstupy předešlých prací hledajících nejvhodnější nástroj pro tvorbu podobných Web GIS aplikací. Součástí článku je také zhodnocení konzistentnosti rozhodnutí hodnotitelů vzhledem ke stanoveným kategoriím.

Klíčová slova: AHP, hodnocení, konzistentnost, rozhodování, Web GIS.

Abstract

The Analytic hierarchy process (AHP) is a widely used approach in the field of decision making, evaluation and group decision making processes. It is popular especially for its specifics related to consistency of an evaluator's decisions and an approach to decomposition of a certain problem. AHP and its forms are also exploited in the area of geographic information systems (GIS) while solving variety of multiple problems. In this article the role of AHP is a method of determining a set of criteria and weights of the criteria of evaluating Web GIS applications which are presenting points of interest and of evaluating the development tools. Within the research weights of criteria were defined by interviewing evaluators divided into categories according to their relationships to creation and usage of Web GIS applications. The evaluation process focuses on a particular Web GIS map

* Institute of System Engineering and Informatics, Faculty of Economics and Administration, University of Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, Czech Republic

✉ miroslav.pasler@student.upce.cz

presentation. The article compares results of this research with results of previous works which were searching for the best development tool of similar Web GIS applications. This article also includes an assessment of evaluators' decision making consistency according to their categories.

Keywords: AHP, Web GIS, Evaluation, Decision making, Consistency.

1 Úvod

Článek se zabývá používáním agilních metodik ve světě a v České republice. Základ agilních metodik tvoří principy a hodnoty, které byly definovány v roce 2001 v agilním manifestu (Beck et al., 2001). Od té doby vznikají různé agilní metodiky, které jsou zaměřeny na specifické oblasti. Jako příklad lze uvést nejrozšířenější metodiku Scrum, která se soustředí na řízení agilního vývoje softwaru a dále metodiku Extrémního programování, která se soustředí na techniky vývoje softwaru. Agilní metodiky byly zprvu vnímány velice skepticky, protože byly v rozporu s dlouhodobě vyvíjenými tradičními (rigorózními) metodikami, které jsou založeny na detailním plánování a robustním vývojovém modelu.

2 Úvod

Od doby, kdy byl na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let dvacátého století profesorem Thomasem L. Saatyem představen princip analyticko-hierarchického procesu (AHP), našla tato metoda široké uplatnění napříč mnoha obory lidské činnosti. Metodika AHP je neodmyslitelně spjata s oblastí rozhodování a rozhodovacích procesů, konkrétně pak s multi-kriteriálním rozhodováním, tedy procesem, kdy je vybírána nejlepší alternativa na základě dvou, ale zpravidla více, hodnotících nebo posuzovacích kritérií. Tato specifikace vede k ne příliš překvapujícímu faktu, že metoda AHP je používána všude tam, kde je vyžadován specifický, metodický a systémový přístup k rozhodování. Výjimkou z oblasti uplatnění AHP nejsou ani geografické informační systémy (GIS).

Tento článek navazuje na předchozí práce autora (uvedeno v následující kapitole) týkající se výběru nejvhodnějšího nástroje pro tvorbu Web GIS aplikací. Výzkum je prováděn na konkrétní modelové aplikaci interaktivně prezentující rozmístění kontejnerů na recyklovaný odpad v Pardubicích. Součástí aplikace jsou funkce, vlastnosti a možnosti vybrané tak, aby porovnání jejich významu bylo zobecnitelné na Web GIS aplikace obdobného charakteru, tedy takové, které prezentují bodové vrstvy v rámci zájmového území. Příkladem takových aplikací mohou být interaktivní mapy zastávek autobusů (například s možností zobrazení jízdního řádu), restauračních zařízení (například včetně otevírací doby), schránek geokeší apod. Zmíněná aplikace prezentující kontejnery na recyklovaný odpad byla vytvořena ve třech vybraných nástrojích pro tvorbu Web GIS aplikací. Konkrétně se jednalo o Google Maps API, ArcGIS API a Mapy.cz API (ve všech případech je myšleno rozhraní pro JavaScript). Ve zmíněných předchozích pracích byla váha stanovených kritérií určena metodou vzájemného kvantitativního párového srovnání (Saatyho metodou). Stejně tak ohodnocení alternativ (tedy jednotlivých nástrojů) bylo provedeno touto metodou. V obou případech bylo ohodnocení provedeno autorem. Tento fakt je žádoucí u ohodnocení alternativ (jednotlivých nástrojů), kde u některých kritérií je posouzení ze strany autora aplikace jedinou možností. Jinak je tomu u stanovení vah jednotlivých kritérií, kdy se zdá vhodné, aby byl zohledněn úsudek většího počtu lidí. Právě použití metodiky AHP ke sběru a vyhodnocení priorit uživatelů i odborníků si klade za cíl tento příspěvek. V rámci sběru dat, byli

hodnotitelé rozdělení do dvou skupin dle jejich přístupu k vývoji a využívání Web GIS aplikací, přičemž metodika hodnocení pomocí párového srovnání kritérií byla zachována. V článku jsou výsledky hodnocení konfrontovány s výstupy zmíněných předchozích prací. Z důvodů podrobněji zmíněných dále byl přehodnocen výčet posuzovaných kritérií.

Metoda AHP mimo jiné umožňuje stanovovat míru nekonzistence hodnotitelových rozhodnutí. Jedná se o významné specifikum této metody (a příbuzných popř. odvozených metod), jež nese určitou informaci o hodnotitelově přístupu, charakteru rozhodování, ale může mnoho napovědět i o rozložení kritérií v rámci hierarchického procesu. Výstupní hodnota tohoto ukazatele je v rámci práce také analyzována a to s ohledem na zvolené kategorie hodnotitelů.

3 Rešerše a výzkumné metody

Jak bylo zmíněno v úvodu této práce, analyticko hierarchický proces (AHP) byl formulován Thomasem L. Saatyem v knize *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* (Saaty, 1980). Od té doby byl princip AHP rozšiřován, upravován, vysvětlován a aplikován mnoha autory včetně samotného T. L. Saatyho. Jedná se o metodiku hojně citovanou a využívanou, jak dokládá například práce *Analytic hierarchy process: An overview of applications* (Vaydia, 2006), která mapuje využití AHP napříč vědními disciplínami a obory lidské činnosti. Relevanci, vzhledem k tomuto příspěvku, mají zejména ta využití AHP, která aplikují rozhodovací přístup AHP v geografických informačních systémech (GIS). Protože samotná problematika GIS je značně obsáhlá, i zde lze nalézt velké množství aplikací AHP a to zejména v souvislosti s hodnocením. Příkladem mohou být publikace v *Computers and Electronics in Agriculture* věnované zejména hodnocení využití krajiny a půdy (Akinci et al., 2013). Bohaté je také využití přímo v geoinformatice a Web GIS a to jak pro skupinové hodnocení tak jako součást geograficky orientovaných systémů pro podporu rozhodování (Karnatak et al., 2007).

Problematicke Web GIS se obsáhle a uceleně věnuje především práce *Web GIS: Principles and Applications* (Fu, 2011), kde jsou popsány základní možnosti a principy vizualizace geografických informací v prostředí webu, jsou zde uvedeny základní přístupy a architektury Web GIS aplikací, jejich souvislost s architekturou klient-sever a možnosti využití Web GIS s ohledem na moderní trendy vývoje prostředí internetu. Autoři definují pojem Web GIS jako: „jakýkoli GIS, který používá webové technologie ke komunikaci mezi komponentami.“ Praktické využití Web GIS se vzhledem ke své povaze odehrává spíše v rovině aplikační než vědecké, přesto lze najít práce věnující se především moderním trendům ve vývoji Web GIS aplikací, jak je tomu například v pracích S. Di Martina (Di Martino et al., 2007).

Princip metody AHP je vyčerpávajícím způsobem popsán v mnoha původních pracích, je tedy nad rámec tohoto příspěvku se do větší hloubky věnovat jeho podstatě. Nicméně základní seznámení s metodikou vzhledem k řešenému problému je žádoucí. Následující popis metodiky AHP a jeho základních principů vychází zejména z práce T. L. Saatyho *Decision Making for Leaders* publikované v roce 1999 (Saaty, 1999), která svým rozsahem umožňuje podrobný popis metody zejména se zaměřením na princip dekompozice v hierarchii problému a konkrétní příklady z praktického využití metodiky.

Jestliže v prvním kroku bude abstrahováno od matematické roviny AHP, nabízí tato metoda postup dekompozice rozhodovacího problému do několika úrovní. Dle Saatyho (Saaty, 1999, s. 21) nejvyšší úroveň hierarchie představuje vlastní cíl rozhodování (výběru), tedy nejlepší alternativu. V druhé úrovni se nacházejí hodnotící kritéria, která se mohou hierarchicky rozpadat na sub-kritéria. Nejnižší úroveň hierarchického rozložení rozhodovacího problému

dle AHP představují vlastní alternativy, mezi kterými probíhá výběr. Vzhledem k předchozímu popisu si lze celou hierarchii graficky představit jako hranově ohodnocený orientovaný graf, kde jednotlivé uzly představují pojmenované alternativy, kritéria a cíl, ohodnocení hran mezi kritérii a cílem představují váhy jednotlivých kritérií a ohodnocení hran mezi alternativami a kritérii (předpokládejme všeobecný případ, kdy je každá alternativa hodnocena vzhledem ke každému kritériu) představuje vlastní hodnocení daných alternativ k příslušným kritériím. Orientaci hran lze chápat jako reprezentaci procesu výběru, tedy jejich orientace bude směřovat od nejnižší úrovně (zvolených alternativ) směrem k nejvyšší (konkrétní nejlepší alternativě). Vlastní hierarchická struktura rozhodovacího problému řešeného v tomto příspěvku je graficky zpracována v následující kapitole.

Matematická podstata AHP v její základní podobě byla plně rozvinuta samotným Saatyem a je dobře popsána například v jeho příspěvku z roku 1987 (Saaty, 1987). Celý princip výběru vychází z volby nejlepší alternativy A^* z množiny alternativ $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ dle následujícího vztahu:

$$A^* = \text{MAX}_j \{A_j\} \quad (1)$$

kde A_j představuje ohodnocení j -té alternativy dle vztahu:

$$A_j = \{w_1, w_2, \dots, w_m\} \cdot \{v_{1j}, v_{2j}, \dots, v_{mj}\} \quad (2)$$

Ve vztahu (2) představuje vektor $\mathbf{w} = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ normované váhy reprezentující relativní důležitost jednotlivých kritérií a tedy ohodnocení hran mezi nejvyšší a prostřední vrstvou hierarchie. Druhý vektor ve vztahu (2) představuje ohodnocení j -té alternativy dle daných kritérií. Ohodnocení alternativ dle kritérií tedy tvoří matici $\mathbf{V} = \{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1n}; v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2n}; \dots; v_{m1}, v_{m2}, \dots, v_{mn}\}$ pro m kritérií a n alternativ.

Klíčovou roli v postupu navrženém Saatyem (Saaty, 1987) hraje sestavení matice párového kvantitativního srovnání (Saatyho matice). Ta je sestavována vždy pro prvky ze stejné hierarchické úrovně. Slouží tedy pro stanovení vah kritérií a k ohodnocení alternativ dle jednotlivých kritérií. Pro vlastní ohodnocení alternativ je tato metoda vhodná zejména v případech kvalitativního hodnocení alternativ, pro kvantitativní ohodnocení (například pokud je kritériem cena, výkon apod.) není nezbytná. Saatyho matice pro m prvků má velikost $m \times m$ a představuje kvantitativně vyjádřenou významnost každého prvku vůči každému. Sám Saaty navrhl škálu od jedné do devíti, kdy hodnota jedna představuje shodnou významnost obou prvků (například kritéria C_1 a C_2) a hodnota devět představuje maximální důležitost jednoho prvku vůči druhému. Z uvedených faktů a za předpokladu symetričnosti porovnání je Saatyho matice tvořena čísly od jedné do devíti a jejich reciprokými hodnotami, přičemž hlavní diagonála (kde je porovnáván význam prvku samého se sebou) je tvořena jedničkami. Hypoteticky tak stačí získat hodnoty nad diagonálou pro vytvoření celé matice. Z toho lze odvodit vzájemný vztah mezi počtem porovnávaných prvků m a počtem nutných srovnání k jako:

$$k = \frac{m(m-1)}{2} \quad (3)$$

Výpočet vlastního ohodnocení pro jednotlivé prvky (ať už jsou to váhy kritérií nebo ohodnocení alternativ) vychází z určení nejvyššího vlastního čísla sestavené Saatyho matice. Metodik výpočtu vah však existuje více a výsledky, které dávají, se liší jen minimálně. Vhodným kompromisem mezi přesností a jednoduchostí výpočtu je použití metod vycházející z geometrického průměru prvků v řádcích Saatyho matice (Ishizaka, 2006).

Jedno ze specifíků metody AHP vychází ze Saatyho slov o tom, že lidé jsou ve svých rozhodnutích spíše nekonzistentní (Saaty, 1999). Proto metodika AHP a určení ohodnocení pomocí párového srovnání nejen že umožňuje existenci nekonzistence v rozhodnutích, ale přímo dokáže tuto nekonzistentnost kvantifikovat pomocí konzistenčního indexu (consistency index – CI) a konzistenčního poměru (consistency ratio – CR). Rozhodnutí o tom, jaká míra nekonzistence je přijatelná, je vždy na autorovi příslušné studie. Saaty považoval za rozumnou hranici hodnotu konzistenčního poměru 0,1 (10%). V případech, kdy konzistenční poměr vyjde vyšší, je na zvážení přehodnotit některé soudy (Saaty, 1987).

Zejména z praktického hlediska, ať již s ohledem na případnou výpočetní náročnost nebo s ohledem na náročnost na hodnotitele a složitost zpracování výsledků, hraje velmi důležitou roli počet párových srovnání vyjádřených vztahem (3). Je třeba vzít v úvahu, že pokud je použit systém AHP pro skupinová rozhodování nebo hodnocení, může mít vysoký počet srovnání několik negativních průvodních jevů odvislých od situace. Při rozhodování v krizových situacích, kdy hraje významnou roli doba rozhodování, je počet srovnání hlavním faktorem, který degraduje AHP metodiku pro použití v této oblasti. Při použití AHP v hodnocení může mít vysoký počet srovnání negativní dopad na hodnotitelova rozhodnutí zejména v souvislosti s konzistencí, protože udržet konzistentní odpovědi pro velký počet srovnání je logicky těžší a to i za předpokladu, že hodnocení pomocí konzistenčního poměru zohledňuje počet srovnávaných prvků. Vzhledem k uvedeným argumentům je vhodné při větším počtu kritérií zvážit některou z možností, jak redukovat počet párových srovnání. Pakliže nebudeme uvažovat možnost nahrazení párového srovnání některou alternativní metodou stanovení vah kritérií (například některou z přímých metod) ani možnost predikování hodnotitelových rozhodnutí, jeví se jako nejrozumnější použití dekompozice množiny kritérií do skupin, tak aby byla vytvořena kritéria a sub-kritéria, kdy jsou vždy párově srovnána pouze sub-kritéria v rámci jim nadřazeného kritéria a poté kritéria mezi sebou. Počet párových srovnání k je tak redukován dle následujícího vztahu:

$$k = \frac{l(l-1)}{2} + \sum_{i=1}^l \frac{m_i(m_i-1)}{2} \quad (4)$$

pokud je m sub-kritérií v i -tém kritériu z l kritérií. To tedy znamená, že například pro 10 sub-kritérií rozdělených do dvou skupin po pěti je redukován počet srovnání dle vztahů (3) a (5) ze 45 na 21. Ne vždy však logika úlohy dovoluje dekomponovat kritéria na sub-kritéria.

Pro sběr dat a vyhodnocování dílčích výsledků za použití metody AHP byl v této práci použit software Transparentchoice. Jedná se o webovou aplikaci umožňující tvůrci projektu vytvořit hierarchii rozhodovacího problému tj. určit cíl rozhodování, stanovit kritéria a sub-kritéria, stanovit alternativy a přidat libovolné množství hodnotitelů. U každého hodnotitele je možné nastavit, zda má hodnotit pouze kritéria nebo porovnávat i alternativy. Hodnocení je prováděno dotazováním hodnotitele dle párového srovnávání, kdy vybírá vždy významnost na škále 1-9 resp. 1-1/9. Díky faktu, že se jedná o webovou aplikaci lze proces hodnocení distribuovat paralelně mezi velký počet hodnotitelů a značně tak urychlit sběr dat. Výsledky hodnocení lze po té zpracovat dle skupin hodnotitelů.

4 Řešení a výsledky

4.1 Charakteristika řešeného problému

V rámci předcházejících prací na toto téma (Pásler, 2014a; Pásler, 2014b) byla řešena problematika výběru nejvhodnějšího nástroje na tvorbu určitého druhu Web GIS aplikací.

Nástroje byly hodnoceny na základě tvorby konkrétní Web GIS aplikace prezentující rozmístění kontejnerů na recyklovaný odpad v Pardubicích. Kritéria hodnocení nástrojů byla zvolena tak, aby výběr mohl být zobrazen na použití daného nástroje na tvorbu Web GIS aplikací obdobného charakteru tj. prezentující bodové vrstvy v rámci zájmového území.

Hodnocení nástrojů včetně stanovení vah kritérií v předchozích pracích bylo provedeno autorem. Cílem práce prezentované v tomto příspěvku je provedení stejného hodnocení ze strany uživatelů aplikací tohoto charakteru a ze strany potenciálních tvůrců Web GIS aplikací zmíněného charakteru. V rámci tohoto jsou konfrontovány výsledky hodnocení skupin hodnotitelů s výsledky hodnocení v předchozích pracích. Ze strany hodnotitelů jsou párově porovnávána pouze kritéria hodnocení a příslušná sub-kritéria. Samotné hodnocení alternativ tedy jednotlivých nástrojů vzhledem ke kritériím je stejně jako v předchozích pracích provedeno autorem. Některá kritéria jsou takového charakteru, že by hodnocení skupinou osob postrádalo smysl.

Zejména vzhledem k faktu, že byla skupina hodnotitelů rozdělena na dvě pod skupiny tak, aby byla oddělena skupina potenciálních tvůrců Web GIS aplikací od skupiny koncových uživatelů, byla přepracována hierarchie problému. Některá hodnotící kritéria byla odebrána nebo upravena. Dále vzhledem k potenciálně velkému počtu vzájemných porovnání (viz předchozí kapitola) byla hodnotící kritéria zařazena do dvou skupin tak, že první skupina kritérií má předpokládanou vysokou váhu pro koncové uživatele a druhá skupina pro potenciální tvůrce aplikací. Při použití tohoto postupu se ukazuje jako velká výhoda metoda kvantitativního porovnání, která umožňuje každému hodnotiteli na škále 1-9 posoudit jak moc se cítí být koncovým uživatelem v kontrastu s tím, jak moc se cítí být potenciálním tvůrcem Web GIS aplikací a to bez ohledu na to, do jaké ze dvou zmíněných skupin byl hodnotitel předem zařazen.

4.2 Charakteristika skupin hodnotitelů

Jak bylo nastíněno v předchozím textu, hodnotitelé byli rozděleni do dvou skupin dle povahy jejich zkušeností s Web GIS aplikacemi. V dalším textu bude skupina uživatelů bez přímých zkušeností s tvorbou Web GIS aplikací označována jako skupina *koncoví uživatelé*. Tato skupina je tvořena převážně studenty prvních a druhých ročníků bakalářského studia na Univerzitě Pardubice a lidmi z řad širší neodborné veřejnosti. Druhou skupinu tvoří hodnotitelé se vzděláním v oboru GIS a tvorby Web GIS aplikací. Tato skupina je převážně tvořena studenty, kteří absolvovali předmět *Služby mapových serverů*, jehož součástí je i tvorba Web GIS aplikace, a dále doktorandi a odborníci z různých pracovišť univerzit v ČR se zkušenostmi s tvorbou Web GIS aplikací. Tato skupina je v dalším textu označována jako *vývojáři*. Každá z obou skupin je tvořena 20 hodnotiteli.

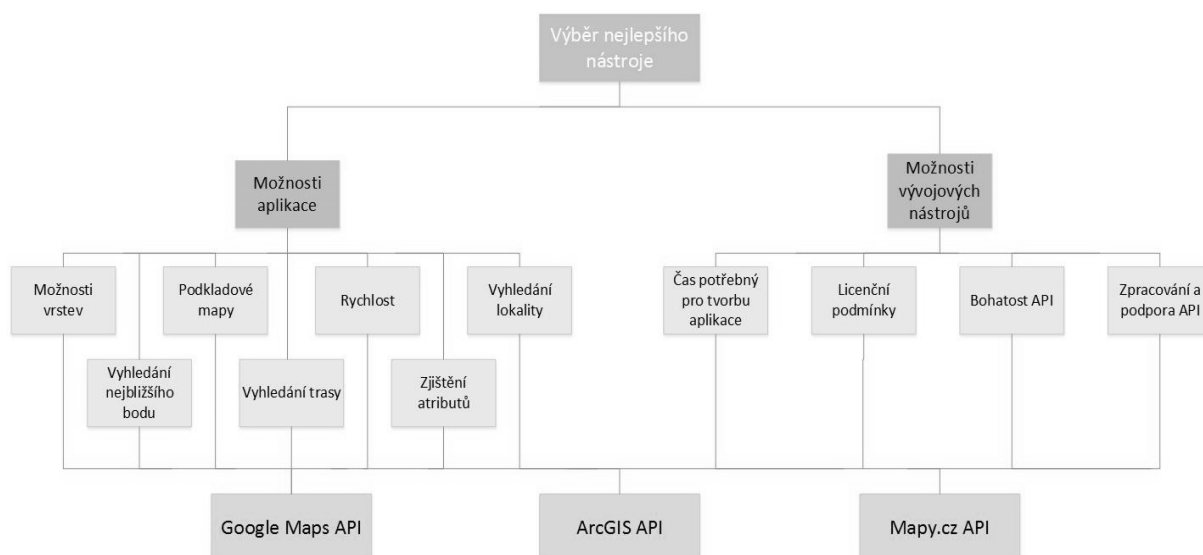
4.3 Hodnotící kritéria a hierarchická struktura

Hodnotící kritéria a sub-kritéria jsou uvedena v následujícím seznamu včetně dodržené hierarchie a stručného popisu.

- **Možnosti aplikace** – soubor kritérií, která zajímají zejména koncového uživatele, protože souvisejí s vlastními nástroji poskytovanými aplikací.
 - **Možnosti vrstev** – představuje možnost zobrazení typů bodů jako samostatné mapové vrstvy, která se dá samostatně zobrazovat nebo skrývat.
 - **Podkladové mapy** – Představuje počet a typy použitelných (poskytovaných) podkladových map.

- **Rychlost** – představuje průměrnou rychlost potřebnou pro odezvu aplikace na stanovené úkony (načtení mapy, vyhledání nejbližšího zájmového bodu, vyhledání trasy k nejbližšímu bodu).
- **Vyhledání lokality** – umožňuje vyhledat konkrétní lokalitu (ulici, městskou část atp.) v rámci zájmového území.
- **Vyhledání nejbližšího zájmového bodu** – umožňuje nalézt nejbližší zájmový bod daného typu ze zvoleného místa na mapě.
- **Vyhledání trasy** – představuje možnost vyhledání trasy k nejbližšímu zájmovému bodu od zvoleného místa na mapě.
- **Zjištění atributů** – představuje možnost zobrazení atributů o vybraném bodu zájmu.
- **Možnosti vývojových nástrojů** – soubor kritérií, které zajímají především vývojáře, protože souvisejí s možnostmi a způsobem práce s jednotlivými nástroji.
 - **Čas potřebný pro tvorbu aplikace** – představuje čas, který je zhruba potřebný pro dosažení stejného výsledku (podoby aplikace) v jednotlivých nástrojích.
 - **Licenční podmínky** – představují možnosti využití nástroje vzhledem k licenčním podmínkám (zda je zdarma, open source, za jakých omezení atp.).
 - **Bohatost API** – představuje souhrn všech (tedy i nevyužitých) nástrojů, možností a funkcí API daného nástroje. Jinak řečeno představuje možnosti pro usnadnění vývoje aplikací tohoto druhu z hlediska vývojáře (předdefinované funkce, možnosti nastavení atp.)
 - **Zpracování a podpora API** – Představuje přehlednost, bohatost a srozumitelnost nápovědy, tutoriálu, dokumentace atp. dále také možnosti zpětné vazby od vývojářů, "živost" nástroje a komunity obecně atd.

Podobného popisu bylo použito i v rámci hodnocení ze strany hodnotitelů, přičemž všechna hodnocení probíhala asistovanou formou (buď s fyzickou přítomností autora projektu, nebo možností elektronické formy supervize) pro případ potřeby dovysvětlení nejasností v popisu kritérií. Vzhledem k tomu, že byla kritéria hierarchicky rozdělena tímto způsobem, je dle vztahu (4) počet párových srovnání (otázek) předložených každému hodnotiteli celkem 28 oproti 55, pokud by hierarchické rozdělení nebylo využito. Vlastní hierarchická struktura včetně alternativ a cíle je zachycena na obrázku (Obr. 1). Graf je kreslen jako neorientovaný, pokud by hranám měla být přiřazena orientace je nutno mít na paměti, že při tvorbě hierarchie se postupuje od cíle přes kritéria k alternativám, ale při výběru nejlepší alternativy je orientace obrácená.



Obr. 1. Hierarchická struktura problému. Zdroj: autor.

4.4 Výsledky hodnocení

Výsledné hodnocení bylo získáno pomocí nástrojů aplikace Transparentchoice, která mimo jiné umožňuje třídění výsledků dle skupin. Dále tato aplikace umožňuje u každého hodnotitele nastavit, zda má hodnotit pouze kritéria nebo také alternativy. V konkrétním případě řešeném v tomto článku všech 40 hodnotitelů hodnotilo pouze kritéria, alternativy byly stejně jako v původních pracích hodnoceny autorem. Obě skupiny hodnotitelů tedy stanovily váhy kritérií dle svých priorit. Váhy kritérií včetně rozdělení na sub-kritéria dle jednotlivých skupin v konfrontaci s váhami zvolenými autorem pomocí stejné metodiky zobrazuje následující tabulka (Tab. 1).

	Autor		Koncoví uživatelé		Vývojáři	
Možnosti aplikace	0,125	0,125	0,800	0,800	0,333	0,333
Možnosti vývojových nástrojů	0,875	0,875	0,200	0,200	0,667	0,667
Možnosti vrstev	0,292	0,037	0,048	0,038	0,085	0,028
Podkladové mapy	0,106	0,013	0,090	0,072	0,053	0,018
Rychlost	0,178	0,022	0,138	0,110	0,125	0,042
Vyhledání lokality	0,053	0,007	0,198	0,158	0,137	0,046
Vyhledání nejbližšího bodu	0,096	0,012	0,188	0,150	0,293	0,098
Vyhledání trasy	0,031	0,004	0,215	0,172	0,191	0,064
Zjištění atributů	0,244	0,031	0,123	0,098	0,116	0,039
Bohatost API	0,409	0,358	0,250	0,050	0,289	0,193
Čas potřebný pro tvorbu aplikace	0,322	0,282	0,250	0,050	0,246	0,164
Licenční podmínky	0,104	0,091	0,250	0,050	0,175	0,117
Zpracování a podpora API	0,165	0,145	0,250	0,050	0,289	0,193

Tab. 1. Váhy kritérií dle skupin hodnotitelů. Zdroj: autor.

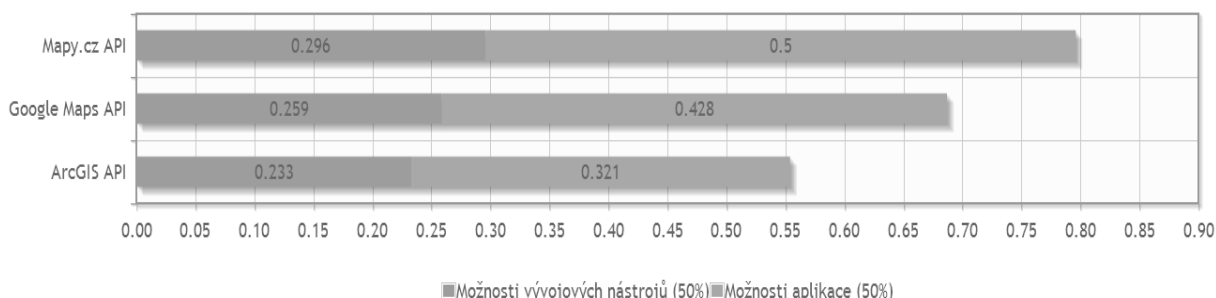
Jak bylo zmíněno, soubor kritérií byl oproti předchozímu hodnocení poupraven, to znamená, že nelze dosáhnout úplného srovnání za každé jednotlivé kritérium, proto tabulka zobrazuje jako hodnocení autora hodnocení provedené před sběrem dat od hodnotitelů, při zachování původních priorit, ale aplikaci na nový soubor kritérií.

Výsledky hodnocení kritérií uvedené v tabulce (Tab. 1) ukazují, že hodnotitelé očekávaným způsobem rozhodli o vzájemné důležitosti skupin sub-kritérií dle jejich rozdělení do skupin. Koncoví uživatelé upřednostňují možnosti aplikace větší měrou, než upřednostňují Vývojáři možnosti vývojových nástrojů. Určení vah je rozděleno na kategorie *lokální* a *globální*. V rámci lokálního srovnání jsou vždy porovnávána sub-kritéria v rámci jedné kategorie (jednoho ze dvou hlavních kritérií), u globálního srovnání je zohledněno stanovení priorit vzhledem k hlavním kritériím. Součet lokálních vah tedy dává hodnotu jedna za každou kategorii zvlášť, součet globálních vah dává hodnotu jedna za všechny váhy dohromady.

V tabulce (Tab. 1) jsou zvýrazněny ty hodnoty, které v dané kategorii odpovídají nejvyšším resp. nejnižším vahám. Zde lze nalézt výrazný rozpor v prioritách jednotlivých skupin hodnotitelů. Ještě výraznější rozpor je pak mezi původním hodnocením provedeným autorem a skupinovým hodnocením uživatelů. Zatímco dle původního hodnocení například kritérium *Vyhledání trasy* bylo ohodnoceno jako relativně nejméně významné, hodnotitelé ze skupiny koncových uživatelů ho naopak považují za relativně nejvíce významné. Tento poznatek má významný dopad na výsledné hodnocení nástrojů, jak je uvedeno dále.

Původní výsledek v závislosti na předchozích pracích, v nichž byly váhy kritérií stanoveny autorem a samotný soubor hodnotících kritérií se drobně lišil od souboru použitého v této práci, byl následovný: Google Maps API – 38,2%, ArcGIS API – 31,4%, Mapy.cz API 30,4%. Jak je z výsledků patrné, přestože rozdíl mezi jednotlivými nástroji dle původního hodnocení nebyl příliš velký, jako nejvhodnější nástroj dle tohoto hodnocení se jeví Google Maps API (Pásler, 2014a).

Součástí možných výstupů aplikace Transparentchoice je i grafický výstup hodnocení alternativ. Tento výstup však není dostatečně vypovídající, protože nezobrazuje hodnocení za jednotlivá sub-kritéria, ale pouze za kategorie jak ilustruje obrázek níže (Obr. 2).



Obr. 2. Ilustrace grafického výstupu aplikace Transparentchoice. Zdroj: autor.

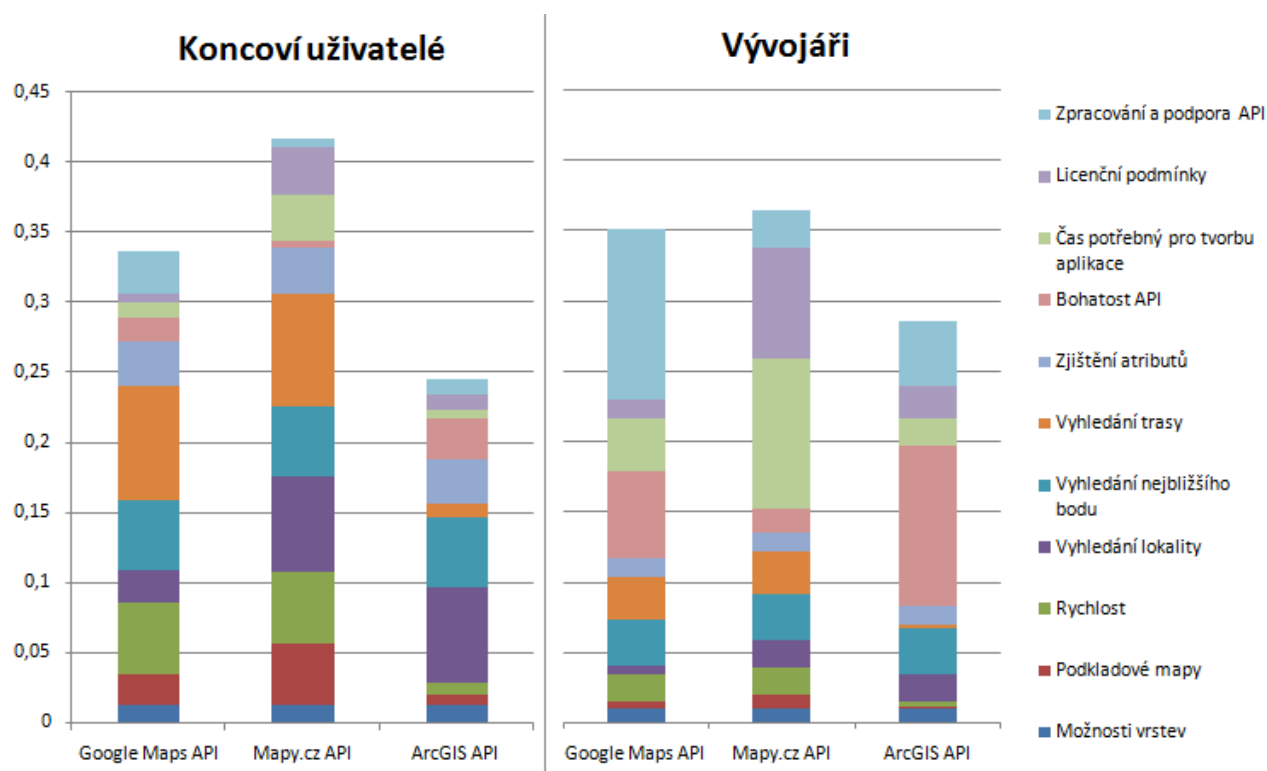
Výstupy byly tedy dodatečně zpracovány za jednotlivé skupiny na základě ohodnocení alternativ (jednotlivých nástrojů), které zobrazuje tabulka níže (Tab. 2). Ohodnocení bylo taktéž provedeno párovým srovnáním, tudíž výsledná tabulka již zohledňuje, zda se jednalo o kritérium maximalizačního nebo minimalizačního typu.

	Google Maps API	Mapy.cz API	ArcGIS API
Možnosti vrstev	0,33	0,33	0,33
Podkladové mapy	0,30	0,60	0,10
Rychlost	0,46	0,46	0,08
Vyhledání lokality	0,14	0,43	0,43
Vyhledání nejbližšího bodu	0,33	0,33	0,33
Vyhledání trasy	0,47	0,47	0,05
Zjištění atributů	0,33	0,33	0,33

Bohatost API	0,32	0,09	0,59
Čas potřebný pro tvorbu aplikace	0,23	0,65	0,12
Licenční podmínky	0,12	0,68	0,20
Zpracování a podpora API	0,63	0,14	0,24

Tab. 2. Ohodnocení alternativ. Zdroj: autor.

Na základě tabulek (Tab. 1 a 2), které zachycují váhy jednotlivých kritérií dle skupin resp. ohodnocení alternativ, byl vytvořen následující grafický výstup (Obr. 3), který zohledňuje vliv vah na výsledné ohodnocení.



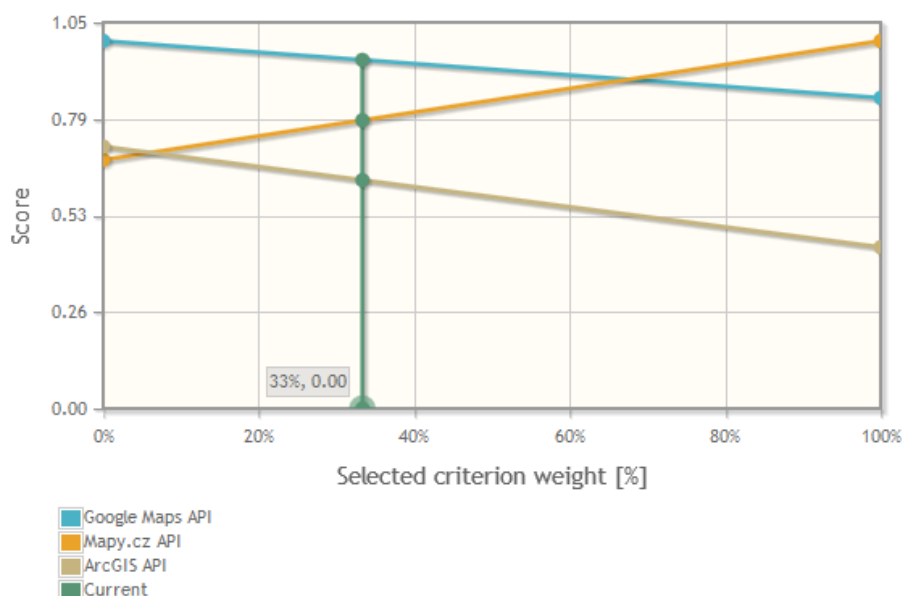
Obr. 3. Výsledné hodnocení alternativ dle vybraných skupin hodnotitelů. Zdroj: autor.

Z obrázku (Obr. 3) je patrný vliv preferencí jednotlivých skupin. U obou skupin při zachování ohodnocení alternativ se jeví jako nejvhodnější nástroj Mapy.cz API. Nástroj ArcGIS API z pohledu koncových uživatelů znevýhodňuje zejména vysoká priorita kritéria *Vyhledání trasy*. Naopak z pohledu Vývojářů poráží Mapy.cz API Google Maps API jen velmi těsně a to zejména díky bohatosti, zpracování a podpoře API. Výsledky procentního finálního hodnocení jednotlivých nástrojů za obě skupiny i celkově zobrazuje následující tabulka (Tab. 3). Součástí tabulky je i výsledné hodnocení při stanovení vah kritérií autorem včetně výsledku z dřívějšího hodnocení, kdy byl stanoven jiný set kritérií.

	Google Maps API	Mapy.cz API	ArcGIS API
Původní hodnocení autorem	38,2%	30,4%	31,4%
Současné hodnocení autorem	32,5%	34,5%	33,0%
Hodnocení dle koncových uživatelů	33,7%	41,7%	24,6%
Hodnocení dle vývojářů	35,0%	36,4%	28,5%
Celkové hodnocení za obě skupiny	34,1%	39,3%	26,5%

Tab. 3. Finální hodnocení nástrojů. Zdroj: autor, (Pásler, 2014a).

U obou skupin byla dosažena míra nekonzistence do 10%. Hodnota CR pro skupinu koncových uživatelů činí 0,07, u vývojářů pak 0,06. Nízkých hodnot je dosaženo zejména způsobem zpracování výsledků, kdy je výsledné hodnocení každého párového srovnání bráno jako geometrický průměr. Výraznější odchylky od konzistentnosti rozhodnutí jednotlivých hodnotitelů jsou tedy značně vyhlazeny. Použitý nástroj také umožňuje vizualizovat analýzu citlivosti výsledků vzhledem ke změnám vah, jak ilustruje obrázek níže (Obr. 4). Z něho je mimo jiné patrné, že se zvyšující se vahou kritéria *Možnosti aplikace* se zvyšuje také relativní hodnocení alternativy *Mapy.cz API*.



Obr. 4. Příklad analýzy citlivosti pro kritérium *Možnosti aplikace*. Zdroj: autor.

5 Diskuze

Jak vyplývá z předchozího textu, využití metody AHP jde nad rámec pouhého stanovení vah kritérií popřípadě ohodnocení alternativ. Jedná se také o metodiku, která nabízí návod jak dekomponovat rozhodovací problém. Stanovení nové množiny hodnotících kritérií a jejich vhodné rozdělení na sub-kritéria do dvou skupin, tak, že preference hodnotitelů je vyjádřitelná právě přidělením vyššího hodnocení jedné ze skupin kritérií, se ukázalo jako přístup, který přinesl v některých případech zcela odlišné výsledky oproti předchozím pracím.

V rámci práce byly hodnoceny tři vybrané nástroje pro tvorbu Web GIS aplikací. Nástrojů na trhu existuje větší množství. Metodika hodnocení popsaná v tomto a předchozích článcích autora je zobecnitelná v tom smyslu, že na případné ohodnocení jakéhokoli dalšího nástroje dle uvedených kritérií lze snadno aplikovat uvedenou metodiku a zjištěné hodnoty vah kritérií.

Vzhledem k povaze řešeného problému a jeho specifikům neexistují relevantní zdroje, s nimiž by bylo možné konfrontovat dosažené výsledky s výjimkou předchozích prací autora citovaných výše v textu.

6 Závěr

Hlavním cílem příspěvku bylo prezentovat zjištěné priority hodnotitelů, kteří při použití metodiky vzájemného kvantitativního párového srovnání určovali priority kritérií hodnotících

nástroje pro tvorbu Web GIS aplikací. Na problematiku bylo nahlíženo jako na rozhodovací problém, k jehož řešení byla využita metoda AHP. Jako cíl byl stanoven výběr nejvhodnějšího nástroje a hodnotící kritéria byla hierarchicky dekomponována, tak, že vznikly dvě skupiny sub-kritérií. Podobně hodnotitelé byli rozděleni do dvou stejně velkých skupin dle jejich vztahu k využití a tvorbě Web GIS aplikací (koncoví uživatelé a vývojáři). K zjištění priorit uživatelů zmíněnou metodikou bylo využito specializované webové aplikace pro podporu více-kritériálního rozhodování.

Zjištěné výsledky byly porovnány za jednotlivé skupiny hodnotitelů a konfrontovány s výsledky předchozích prací. Byly zjištěny významné rozdíly v prioritách jednotlivých skupin v rámci obou skupin kritérií i v rámci celkového ohodnocení. Výstupní priority obou skupin se navíc liší od priorit autora, na jejichž základě bylo provedeno předchozí hodnocení. Lze tedy říci, že stanovení důležitosti jednotlivých kritérií autorem není dostatečně reprezentativní metoda, která by vedla k výběru nejvhodnějšího nástroje.

Na základě zmíněného byl jako nevhodnější stanoven nástroj Mapy.cz API. Jako druhý byl zvolen nástroj Google Maps API a jako třetí nástroj ArcGIS API. Stejného výsledku bylo dosaženo v rámci jednotlivých skupin i celkově. Jedná se o odlišný výsledek, než jaký byl prezentován jako výstup předchozích prací. Tento fakt není chybou logiky předchozích prací, pouze dokládá, že zjištění priorit na základě hromadného rozhodnutí vede k odlišným v tomto případě lépe zobecnitelným výsledkům.

Seznam použitých zdrojů

- Akinci, H., Ozalp, A., & Turgut, B.** (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, (97), 71-82.
- Di Martino, S., Ferrucci, F., Paolino, L., Sebillo, M., Vitiello, G., & Avagliano, G.** (2007). A WebML-based visual language for the development of Web GIS applications. In *IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing, VL/HCC 2007* (pp. 209-212). United States.
- Fu, P., & Sun, J.** (2011) *Web GIS: Principles and Applications*. Redlands: ESRI Press.
- Ishizaka, A., & Lusti M.** (2006). How to derive priorities in AHP: a comparative study. *Central European Journal of Operations Research*, 14(4), 387-400. doi: 10.1007/s10100-006-0012-9
- Karnatak, H. Ch., Sameer, S., Karamjit, B., & Roy, P. S.** (2007). Multicriteria Spatial Decision Analysis in Web GIS Environment. *Geoinformatica*, 11(4), 407-429.
- Pásler, M.** (2014a). Multi-criteria decision-making used in selection of the best web gis development tool. In *System approaches'14*, (pp. 51-57).
- Pásler, M.** (2014b). Web GIS mapová prezentace kontejnerů na recyklovaný odpad. In *Mezinárodní Masarykova konference 2014* (pp. 3288-3306).
- Saaty, T. L.** (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- Saaty, T. L.** (1987). The Analytic Hierarchy process – what it is and how it is used. *Math modelling*, 9(3), 161-176.
- Saaty, T. L.** (1999). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Vaidya, O.S., & Kumar, S.** (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1-29. doi: 10.1016/j.ejor.2004.04.028