

# AHP Editor v0.1

*doc. Ing. Pavel Šenovský, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství,  
Katedra ochrany obyvatelstva*

## Obsah

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Úvod.....                        | 1 |
| 1 Systém R a balík „ahp“ .....   | 1 |
| 2 AHP Editor v0.1 .....          | 3 |
| Příklad – výběr automobilu ..... | 6 |
| Literatura.....                  | 7 |

## Úvod

Tento text vznikl původně jako součást připravovaného nového vydání skript předmětu *Modelování rozhodovacích procesů* jako fragment kapitoly zaměřené na demonstraci použití metody AHP (Analytic Hierarchy Process).

Metoda AHP byla vyvinuta profesorem Saatyem [1] v 70. letech a doznala výrazného rozšíření pro řadu různých rozhodovacích problémů v různých oborech včetně bezpečnosti, viz např. v oblasti preferenčního hodnocení bezpečnosti infrastruktur [2, 3], informační bezpečnosti [4] a řada dalších.

V průběhu let vznikala také řada nástrojů, které ulehčovaly návrh hierarchické struktury a odvozování váhových koeficientů. Ze známějších lze zmínit např. software SuperDecisions [5], na jehož vývoji se podílel samotný prof. Saaty.

Pro modelování rozsáhlejších rozhodovacích problémů je však často výhodnější využití obecnějších výpočetních produktů, jako je např. R, které mohou poskytovat funkčnost různých metod (včetně AHP) a zároveň umožňují jejich zapojení do širšího workflow a dalších výpočtů. Tento dokument se zabývá právě takovými možnostmi.

## 1 Systém R a balík „ahp“

Systém R [6] je open source výpočetním prostředím původně zaměřeným na statistické výpočty. V současnosti je však R využíváno k řešení mnohem širšího portfolia problémů včetně např. výpočtů na superpočítačích.

Funkčnost metody AHP zajišťuje rozšiřující balík „ahp“ [7]. Tento balík implementuje několik funkcí umožňující odvození váhových koeficientů v hierarchii a skórování alternativ řešení a jeho vizualizaci.

Jednoduchý příklad použití je demonstrován níže:

```
library(ahp)
cars <- Load("c:/cesta/cars.ahp")
Calculate(cars)
library(data.tree)
print(cars, filterFun = isNotLeaf)
Analyze(cars)
AnalyzeTable(cars)
```

Výše uvedený příklad načte hierarchii a preference pomocí funkce Load ze souboru cars.ahp. Provede výpočet (funkce Calculate). Následně funkcí print na obrazovku vypíše načtenou hierarchii.

Funkce Analyze a AnalyzeTable pak vizualizují výsledek do tabelární podoby.

Z hlediska použití je nejproblematictější definice samotného vstupního souboru. Autoři balíku „ahp“ předpokládají jeho ruční vytvoření v YAML (YAML Ain't Markup Language) formátu umožňující jednoduchou serializaci různých údajů.

Formát podporovaný balíkem ve zjednodušené struktuře vypadá následovně:

**Version: 2.0**

**Alternatives: &alternatives**

**Jméno alternativy 1:**

        Vlastnost 1: hodnota vlastnosti

        Vlastnost 2: hodnota vlastnosti

    ...

**Jméno alternativy 2:**

    ...

**Goal:**

**preferences:**

**pairwise:**

            - [pol1, pol2, srovnání]

            - ...

**children:**

        hierarchie kritérií ...

I pro relativně jednoduché problémy tak vstupní soubor popisující problém může být poměrně složitý. Příklad s výběrem aut (cars.ahp) pracuje s hierarchií tvořenou 10-ti uzly. Rozhoduje se přitom mezi 6-ti variantami. Délka souboru popisující tento rozhodovací problém je přibližně 250 řádků dlouhá.

Ruční zadávání tak není zcela triviální a lze v ní poměrně jednoduše udělat chybu.

Pro zjednodušení návrhu hierarchií byl připraven jednoduchý nástroj AHP Editor. Kromě návrhu hierarchie umožňuje specifikovat také párově porovnání jednotlivých kritérií.

## 2 AHP Editor v0.1

Tento editor možné bezplatně stáhnout z odkazu:

<https://fbiweb.vsb.cz/~sen76/data/uploads/programy/AHPeditor%20v0.1.7z>

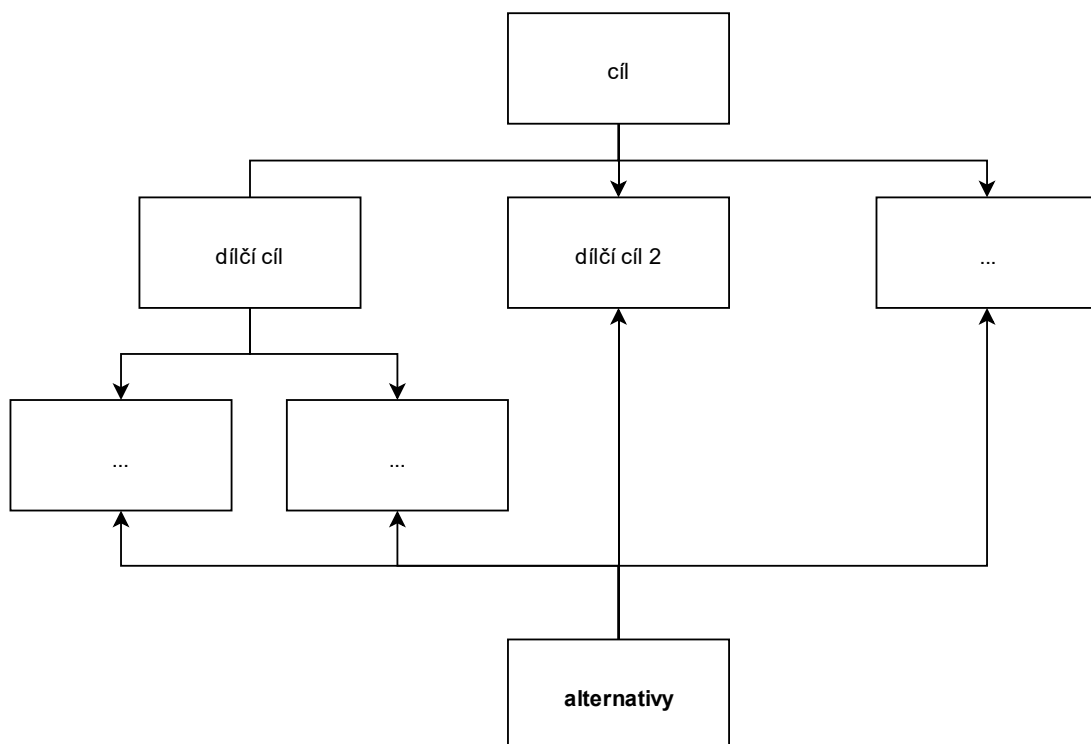
V současnosti je možno editor provozovat na moderních verzích operačního systému Windows s poslední verzí .NET Framework. Editor je distribuován včetně zdrojových kódů (jazyk C#) pod licencí MIT.

Editor v současnosti podporuje pouze podmnožinu funkcí podporovaných balíkem „ahp“ pro R. Neumožňuje např. odvozování váhových koeficientů na základě funkce nebo zpracování preferencí více než jednoho hodnotitele.

Základní použití je tak zaměřeno na vytvoření struktury a přímého párového porovnání.

GUI (grafické uživatelské rozhraní) editoru je založeno na dvou formulářích umožňující přípravu alternativ (obr. 2) a specifikaci hierarchie cílů a párové porovnání (obr. 3).

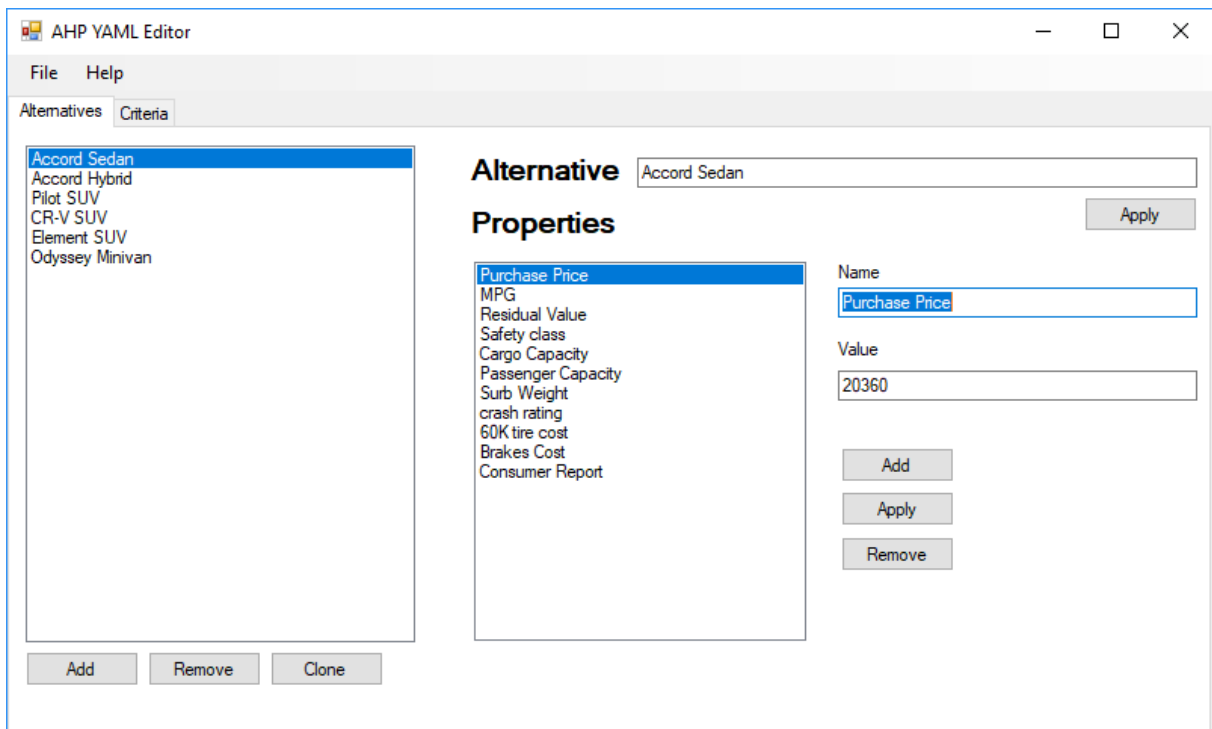
Rozhodovací situaci si lze strukturálně představit podobně jako na obr. 1.



Obr. 1: Struktura rozhodovacího problému zachyceného jako hierarchie

Alternativy v obr. 1 jsou charakterizovány vlastnostmi. V listových uzlech hierarchie cílů tak probíhá specifikace preferencí alternativ vzhledem k zpracovávanému dílčímu cíli. U nelistových uzlů probíhá párové porovnání uzlů o úroveň níže.

Metoda AHP jako taková připouští použití jen pro odvození váhových koeficientů v hierarchii cílů, balík „ahp“ pro R ale tento způsob použití nepodporuje.



Obr. 2: Definice alternativ

Při definici alternativ přidáváme jednotlivé alternativy kliknutím na tlačítko Add. Vytvořenou alternativu je možné následně přejmenovat v textovém políčku Alternative a kliknutím na tlačítko Apply.

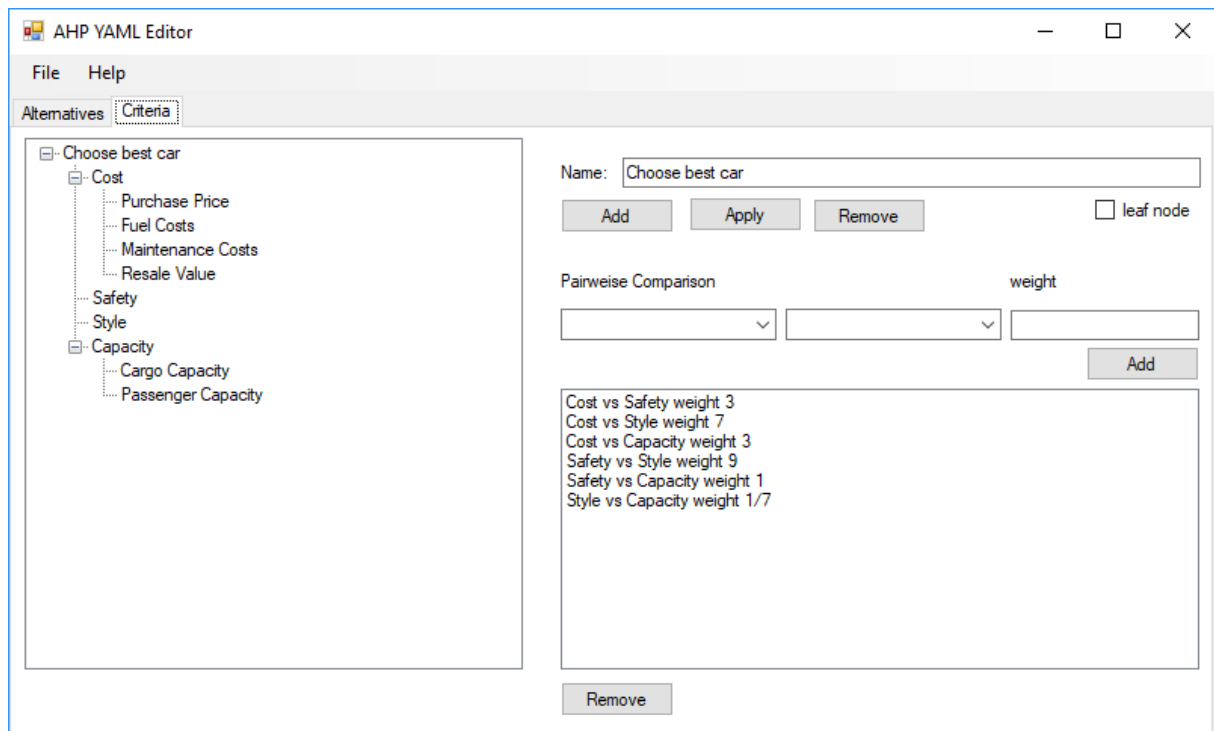
Pro jednotlivé alternativy je potřeba nadefinovat vlastnosti, které alternativu charakterizují z pohledu užitnosti. Vlastnost je vždy tvořena dvojicí jméno a hodnota. Hodnota přitom může, ale nemusí být číselná.

Pokud má být hodnota použita v rámci nějaké funkce, pak v případě zadávání desetinných čísel je žádoucí použít desetinnou tečku (v opačném případě bude položka zpracovávána v R jako text).

Hodnoty vlastností je možno přidat pomocí tlačítka Add, odebrat pomocí tlačítka Remove a změnu názvu nebo hodnoty právě vybrané vlastnosti aplikovat pomocí tlačítka Apply.

**Optimální postup je vytvořit jednu alternativu, pro ni pak definovat všechny potřebné vlastnosti. Tuto alternativu je pak následně možno klonovat pomocí tlačítka Clone.** Tímto způsobem je možno jednoduše zajistit, že všechny alternativy budou mít totožnou strukturu vlastností (což je vysoce žádoucí).

Po naklonování je samozřejmě potřeba změnit jméno naklonované alternativy a následně pak také doplnit hodnoty jednotlivých vlastností, tak aby odpovídaly dané alternativě.



Obr. 3. Definice kritérií a párové porovnání

Kliknutím na tlačítko Add (nahore pod name) se nový uzel v hierarchii pod právě vybraným uzlem. Apply změní jméno právě vybraného uzlu hierarchie. Remove pak odstraní právě vybraný uzel v hierarchii a to včetně uzlů jemu podřízených. Odebráním kořenového uzlu tak efektivně smaže celý strom kritérií.

Každý uzel má dvě vlastnosti a to jméno a informace o tom, zda je jedná o listový uzel nebo ne. Listový uzel je takový, který v hierarchii nemá ani jednoho potomka. U nelistových uzlů se předpokládá provedení párového porovnání uzlů jemu přímo podléhajících.

Pro uzel vyber nejlepší auto (choose best car) na obr. 3 tak bude provedeno párové porovnání mezi:

- Náklady (cost)
- Bezpečností (safety)
- Stylem (style)
- Kapacitou (capacity)

Párové srovnání se provádí v sekci Pairwise comparison. Nastavuje se z polí se seznamem kritéria, která mají být porovnána a pak váha. Váha se nastavuje jako celé číslo v intervalu 1 – 9, kde 1 reprezentuje totožnou váhu obou kritérií (indiferenci hodnotitele vůči těmto kritériím) a 9 pak maximální dominanci prvního kritéria nad druhým. V případě, že by dominovat mělo druhé kritérium je potřeba váhu zadat jako 1/X např. 1/9 pro situaci kdy druhé kritérium dominuje nad kritériem prvním.

Párová porovná z pohledu datových struktur tvoří matici jejíž jednotlivé části (oddělené diagonálou) je možné odvodit, viz tab. 1 níže.

Tab. 1: Tabulka preferencí pro výběr nejlepšího vozu

|            | Náklady | Bezpečnost | Styl | Kapacita |
|------------|---------|------------|------|----------|
| Náklady    | 1       | 3          | 7    | 3        |
| Bezpečnost | 1/3     | 1          | 9    | 1        |
| Styl       | 1/7     | 1/9        | 1    | 1/7      |
| Kapacita   | 1/3     | 1          | 7    | 1        |

Vzhledem k možnosti odvození je nutno zadat pouze v tab. 1 zvýrazněná porovnání, zbytek je schopen systém odvodit sám.

Preference je možno přidat volbou dvojice kritérií a jim přináležející váze při vzájemném porovnání a kliknutím na tlačítko Add. Přidané párové porovnání následně není možné editovat, ale je možné jej vybrat a smazat (a případně v upravené podobě následně znovu navést).

Pro listové uzly předpokládá Editor párové porovnání jednotlivých alternativ (viz obr. 2).

Definovaný rozhodovací problém je možno uložit: Menu File -> Save do formátu JSON popisující strukturu rozhodovací situace v objektové hierarchii editoru. Tento soubor je možno později otevřít a pokračovat v editaci. JSON soubor ale není možné importovat do balíku „ahp“ v R.

Pro použití v tomto balíku je potřeba provést export do YAML formátu pomocí menu File -> Export YAML. Pro tyto soubory nabízí editor příponu souboru .ahp.

## Příklad – výběr automobilu

Jedná se o příklad výběru nového rodinného vozu s omezením rozpočtu 25 000 USD. Jedná se o demonstrační příklad původně vyvinutým Saatym pro demonstrační účely. Jeho znění lze v různých podobách najít v literatuře.

Příklad v Editoru byl zpracován na základě varianty popsané na Wikipedii [8].

Kontrolní soubor pro editor (cars.json) a výstupní YAML soubor (cars.ahp) je možno stáhnout z následující adresy:

<https://fbiweb.vsb.cz/~sen76/data/uploads/programy/cars.7z>

pro pohodlnější experimentování s Editorem.

Po importu do R balík „ahp“ detekuje následující hierarchii (příkaz print):

```

1 Root
  levelName

```

```

2  |--Cost
3      |--Purchase Price
4      |--Fuel Costs
5      |--Maintenance Costs
6      °--Resale value
7  |--Safety
8  |--Style
9  °--Capacity
10     |--Cargo Capacity
11     °--Passenger Capacity

```

AnalyzeTable pak vygeneruje následující tabulku (tab. 2) s odvozenými vahami ve sloupci weight popisující váhy jednotlivých uzlů v hierarchii. Jednotlivé alternativy řešení je možno porovnávat odvozenými hodnotami pro celek (root) nebo jednotlivá kritéria v hierarchii.

Tab. 2: Hierarchie AHP a porovnání alternativ

|                           | Weight | Accord<br>Sedan | Odyssey<br>Minivan | Accord<br>Hybrid | CR-V<br>SUV | Element<br>SUV | Pilot<br>SUV | Inconsistency |
|---------------------------|--------|-----------------|--------------------|------------------|-------------|----------------|--------------|---------------|
| <b>Root</b>               | 100.0% | 22.0%           | 21.2%              | 18.3%            | 15.8%       | 13.3%          | 9.3%         | 7.5%          |
| <b>Cost</b>               | 51.0%  | 12.8%           | 4.7%               | 9.1%             | 11.3%       | 11.2%          | 1.9%         | 1.5%          |
| <b>Purchase Price</b>     | 24.9%  | 6.1%            | 2.4%               | 0.6%             | 6.1%        | 9.1%           | 0.6%         | 8.0%          |
| <b>Fuel Costs</b>         | 12.8%  | 2.9%            | 1.1%               | 6.2%             | 1.3%        | 0.9%           | 0.4%         | 3.1%          |
| <b>Resale Value</b>       | 8.2%   | 1.8%            | 0.9%               | 0.8%             | 3.4%        | 0.9%           | 0.5%         | 0.5%          |
| <b>Maintenance Costs</b>  | 5.1%   | 1.9%            | 0.3%               | 1.5%             | 0.5%        | 0.4%           | 0.5%         | 4.0%          |
| <b>Safety</b>             | 23.4%  | 5.1%            | 10.2%              | 5.1%             | 0.8%        | 0.5%           | 1.8%         | 8.0%          |
| <b>Capacity</b>           | 21.5%  | 2.8%            | 6.0%               | 2.8%             | 3.1%        | 1.4%           | 5.5%         | 0.0%          |
| <b>Passenger Capacity</b> | 17.9%  | 2.4%            | 4.9%               | 2.4%             | 2.4%        | 0.8%           | 4.9%         | 0.0%          |
| <b>Cargo Capacity</b>     | 3.6%   | 0.3%            | 1.1%               | 0.3%             | 0.6%        | 0.6%           | 0.6%         | 0.2%          |
| <b>Style</b>              | 4.1%   | 1.5%            | 0.3%               | 1.5%             | 0.6%        | 0.1%           | 0.2%         | 10.1%         |

Ve sloupci inconsistency je prováděno hodnocení párového porovnání ve smyslu porovnání s náhodným výběrem. Prakticky se jedná o hodnotu indexu konzistence AHP metody. Hodnoty do 10 % jsou obvykle považovány za přiměřenou přesnost.

## Literatura

- [1] SAATY, Thomas L., VARGAS, Luis G. *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. 2 vyd. Springer, 2012. 346 s. ISBN 978-1-4614-3596-9.
- [2] ŘEHÁK, D., ŠENOVSKÝ, P. Preference risk assessment of electric power critical infrastructure. 2014, roč. 36, s. 469–474. doi: 10.3303/CET1436079. ISSN 1974-9791.
- [3] ŘEHÁK, David, BERNATÍK, Aleš, NOVOTNÝ, Petr. Preference Risk Assessment of Hazardous Substances Road Transportation. In: *Safety and Reliability: Methodology and*

*Applications - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014*. s. 1671–1676, ISBN 978-1-138-02681-0

[4] PAN, L., TOMLINSON, A. A systematic review of information security risk assessment. *International Journal of Safety and Security Engineering*. 2016, roč. 6, č. 2, s. 270–281. doi: 10.2495/SAFE-V6-N2-270-281. ISSN 2041-904X.

[5] CDF. *SuperDecisions* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://sdbeta.superdecisions.com/>

[6] *R: The R Project for Statistical Computing* [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://www.r-project.org/>

[7] GLUR, Christoph. *ahp: Analytic Hierarchy Process* [online]. 2018. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://CRAN.R-project.org/package=ahp>.

[8] Analytic hierarchy process – car example[online]. *Wikipedia* 2017.