

# Výběr komunikační technologie pro Internet věcí

**Pavel Sladek, Milos Maryska**  
Fakulta informatiky a statistiky  
Vysoká škola ekonomická v Praze  
[xslap13@vse.cz](mailto:xslap13@vse.cz); [milos.maryska@vse.cz](mailto:milos.maryska@vse.cz)

**Abstrakt:** Článek je věnován technologiím v oblasti Internetu věcí. Identifikujeme nejdůležitější parametry technologie pro Internet věcí a hlavní faktory ovlivňující jejich použitelnost. Druhým důležitým cílem tohoto příspěvku je návrh metodiky pro porovnávání technologií z oblasti internetu věcí. Uvádíme klíčové parametry, které lze použít pro porovnání a porovnáváme vybrané technologie IoT (Internet of Things) za použití různých metod multikriteriálního hodnocení.

**Klíčová slova:** Internet of Things, multikriteriální hodnocení, výběr, Internet věcí, komunikační technologie

**Abstract:** This paper is devoted to technologies in the area of Internet of Things. We are identifying most important parameters of technologies used for Internet of Things and most important factors influencing their usability. The second important goal of this paper is desing of a methodology for comparison of technologies used for Internet of Things. We specify key parameters that can be used for comparison and we are comparing selected IoT (Internet of Things) technologies using different methods of multiple-criteria decision analysis.

**Keywords:** Internet of Things, multiple-criteria decision analysis, IoT, communication technology

## 1. Úvod

Internet věcí neboli Internet of Things (IoT) je v posledních letech velmi skloňovaným termínem ač termín samotný je velmi starý. Termín IoT pochází již z roku 1999, kdy byl poprvé zmíněn Kevinem Ashtonem. (Ashton, 2009) Mezi roky 1999 a 2017 došlo k jeho postupnému vývoji, transformování a upřesňování nejdříve do termínu Industry 4.0 a následně i do termínu Industrial Internet of Things. Postupný vývoj je uveden na Obr. 1.



**Obr. 1 Evoluce Internet of Things, zdroj: (Sealevel, 2017)**

IoT ovlivňuje stávající nebo umožňuje nové business modely a má dopad i na osoby a lidskou společnost jako celek (Minerva et al., 2015). Popisu a oblastem dopadu konceptu IoT se věnuje například (Gubbi et al., 2013).

Význam IoT je zmiňován i prostřednictvím mnoha studií, mezi které patří například studie společnosti IDC, která předpovídá, že do roku 2020 bude IoT ve střední a západní Evropě disponovat více než 1,4 miliardy připojených zařízení a celosvětově to bude 37 miliard zřízen. Tato čísla lze doplnit finančním vyjádřením a v tomto ohledu

IDC předpovídá, že trh IoT bude do stejného období představovat roční obrát v objemu více než 24 miliard dolarů. (Kalál, 2016; Sládek and Maryška, 2017).

Většina nadnárodních společností vnímá Internet věcí jako strategickou aktivitu (Turner and MacGillivray, 2016). Hlavní důvody pro implementaci IoT řešení jsou zvýšení produktivity práce (24%), zkrácení doby uvedení produktů a služeb na trh (22,5%) a zlepšení automatizace procesů (21,7%). Průzkum Vodafone IoT Barometer 2016 identifikoval, že 63% společností budou spouštět IoT projekty a 76% organizací vnímá Internet věcí jako „kritický“ pro svůj budoucí úspěch (Vodafone, 2016).

Důležitost Internetu věcí (a příbuzných konceptů) potvrzuje i množství odkazů, které jsou k dispozici ve vyhledávači Google. Například termín Internet of Thing disponuje 248 miliony odkazů, Industry 4.0 (porovnání s IoT se věnuje například (Sládek and Maryška, 2017)) disponuje 209 miliony odkazů a Industrial Internet of Things (porovnání s IoT se věnuje například (Sládek and Maryška, 2017)) je zmíněn ve více než 157 milionech odkazů.

Internet věcí lze chápat jako evoluci technologie Internetu spočívající v integraci a propojení věcí každodenního světa, tedy propojení vestavěných věcí a zařízení s Internetem a prostřednictvím Internetu (Perera et al., 2014). Podstatou IoT je vzájemné propojení a ovládání fyzických předmětů za použití senzorů, které zajišťují nejen sběr dat a sledování vlastností prostředí, tedy pasivní senzory, ale současně v podobě aktivních senzorů umožňují aktivní provádění akcí a ovlivňování světa. V současné době dochází k pojmenovávání senzorů termínem „aktor“ (Loxone, 2017).

Aby Internet věcí byl implementovatelný, vyžaduje také bezdrátovou komunikaci jako jednu ze svých klíčových komponent. Bezdrátové komunikační technologie umožňují přenos dat a informací mezi zařízeními na různé vzdálenosti, v různých rychlostech a jsou známé a používané po desítky let. Internet věcí přichází s novými požadavky na komunikace a z tohoto důvodu vznikají nové technologie, které svými vlastnostmi odpovídají potřebám případů užití v prostředí Internetu věcí.

Jak z uvedeného vyplývá, klíčovým předpokladem pro IoT jsou technologie – v tomto případě zejména přenosové technologie. Komunikační technologie použitelné pro Internet věcí jsou charakteristické zejména třemi skutečnostmi:

- jejich větší množství,
- navzájem se liší svými vlastnostmi,
- nelze jednoznačně říci, které z těchto technologií použít pro implementaci aplikací a služeb.

Pro porovnání identifikovali klíčové technologie, které lze využít v rámci Internet of Things a dále atributy, které umožní detailní rozlišení, porovnání a posouzení využitelnosti jednotlivých typů komunikačních technologií v konkrétních situacích.

Rozhodování o výběru technologie není jednoduché a vybranou technologii může být obtížné změnit, pokud se ukáže jako nevhodná.

Cílem tohoto článku je identifikovat některé ze základních dimenzí, které lze využít jako klíčové prvky rozhodování a současně navrhnout metodiku, která umožní jednoduše, avšak na základě jasně stanovených parametrů vybrat, která z potenciálních technologií je pro daný případ nejlepší.

## 2. Metodologie

Nejlépeším způsobem pro výběr vhodné technologie je využití multikriteriální rozhodování, které umožní jednat s větším množstvím atributů a dále umožňuje nastavování vah a zejména je zpravidla uživatelsky přívětivé, srozumitelné a mentálně přijatelně náročné na zpracování a posouzení.

V kontextu tohoto článku jsme vybrali pro hodnocení 4 základních multikriteriálních metod a to:

- AHP (Analytic Hierarchy Process),
- Metoda váženého součtu,
- TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution),
- ELECTRE I.

Jednotlivé metody jsou stručně popsány v následujících podkapitolách a dále také vzájemně porovnány. Každou z vybraných a popsaných metod aplikujeme na vybraném příkladu a ověřujeme, že daná metoda je skutečně vhodná pro výběr konkrétní technologie.

Velmi důležitým prvkem porovnání je i identifikace rozdílů v hodnocení, ke kterým pravděpodobně dojde a jejich následné zhodnocení.

### 2.1 Charakteristika multikriteriálních metod

#### 2.1.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Metoda AHP vychází z posloupnosti párového srovnání účelně stanovených částí hodnoceného systému. V rámci hodnocení dochází k dekompozici problému do hierarchie podproblémů, které lze hodnotit odděleně.

Po stanovení hierarchie jsou porovnávány jednotlivé prvky mezi sebou a výsledky jsou zaznamenávány do Saatyho matic. Na základě těchto matic je následně sestavené hodnocení celkového problému a výběr varianty.

Použití metody AHP si vyžaduje sestavení Saatyho matice, které hodnotí párové preference mezi kritérii pomocí hodnot

Předpokladem využití metody je stanovení stupnice preferencí, jak je ilustračně uvedeno v Tab. 1.

**Tab. 1. vyjádření preferencí mezi kritérii, zdroj: (Fiala, 2013)**

*Použité hodnoty jsou např.:*

Vyjádření preferencí	
Číselné	Slovní
1	kritéria jsou stejně významná
3	první kritérium je slabě významnější než druhé
5	první kritérium je silně významnější než druhé
7	první kritérium je velmi silně významnější než druhé
9	první kritérium je absolutně významnější než druhé

Preference mezi kritérii jsou základem pro matici, kde jsou doplněné reciproční hodnoty u doplňujících prvků matice. Jde tedy po podíl hodnoty 1 a číselného

vyjádření preference z předchozí tabulky Tab. 1. Následně jsou spočítané váhy kritérií jako geometrický průměr, respektive vážený geometrický průměr, viz Tab. 2.

**Tab. 2 Saatyho matice preferencí mezi kritérii, zdroj: autoři**

	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium n	Geometrický průměr	Vážený geometrický průměr
Kritérium 1	1	1/7	1/5	1/3	0,49112	0,06358
Kritérium 2	7	1	5	7	4,43458	0,57413
Kritérium 3	5	1/5	1	5	2,03617	0,26362
Kritérium n	3	1/7	1/5	1	0,76214	0,09867
SUM					7,72401	

V dalším kroku již dochází k provedení vzájemného porovnání pro každou jednotlivou variantu pro každé kritérium. V případě pěti kritérií pak bude pět tabulek vzájemného porovnání, viz Tab. 3.

**Tab. 3 Saatyho matice preferencí mezi variantami pro kritérium 1, zdroj: autoři**

Kritérium 1	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta n	Geometrický průměr	Vážený geometrický průměr
Varianta 1	1	1/9	1	1	0,57735	0,08333
Varianta 2	9	1	9	9	5,19615	0,75000
Varianta 3	1	1/9	1	1	0,57735	0,08333
Varianta n	1	1/9	1	1	0,57735	0,08333
SUM					6,92820	

V dalším kroku se zjištěné hodnoty z jednotlivých Saatyho matic pro jednotlivá kritéria přepíše do komplexní tabulky a zjistí se celkový součet hodnocení pro vybranou variantu a stanoví se pořadí.

### 2.1.2 Metoda váženého součtu

Metoda váženého součtu se snaží o maximalizaci užítku a využívá předpokladu o lineární funkci užítku (Fiala, 2013). Převádí kritéria na maximalizační a pomocí jejich normalizace a za použití vah kritérií stanoví poměr užítku jednotlivých variant.

Pro výpočet váženého součtu potřebujeme stanovené váhy jednotlivých kritérií, kde použijí bodovací metodu s alokací 100 bodů, viz Tab. 4. Jde o tzv. Metfesselovu alokaci (Friebelová, 2008).

**Tab. 4 váhy kritérií stanovené bodovací metodou s alokací 100 bodů,**  
zdroj: (Fiala, 2013)

	Bodové hodnocení	Váha
Kritérium 1	8	0,08
Kritérium 2	40	0,40
Kritérium 3	25	0,25
Kritérium n	n	n*100
	100	

Váhy jednotlivých kritérií z předchozí tabulky se přenášejí do tabulky následující. Pro kombinaci každé technologie a každého kritéria se stanoví významnost na škále 0-1, kde nula je naprosto nevýznamné a 1 klíčové. Takto zjištěné hodnoty se následně násobí váhou kritéria a sčítají v rámci sloupce „Součet hodnocení“ pro každou variantu, viz Tab. 5.

**Tab. 5 Stanovení hodnocení a pořadí variant, zdroj: autoři**

Vážený součet	Kritérium 1	Kritérium 2	Kritérium 3	Kritérium n	Součet hodnocení	Pořadí varianty
Varianta 1	0	1	0,5	0	0,165	2
Varianta 2	1	1	0	0	0,12	3
Varianta 3	0,5	0,5	0,5	0	0,185	1
Varianta n	...	...	...	...		
Váha kritérií	0,08	0,04	0,25	n*100		

### 2.1.3 TOPSIS

Metoda TOPSIS je založená na předpokladu, že nejlepší varianta by měla mít nejmenší geometrickou vzdálenost od ideální varianty a největší geometrickou vzdálenost od bazální varianty.

V metodě TOPSIS se předpokládá maximalizační charakter všech kritérií.

Metoda TOPSIS probíhá v následujících krocích:

- stanovení vah kritérií (obdobně jako v předchozí variantě, viz Tab. 4)
- stanovení významu jednotlivých kritérií pro jednotlivé varianty (obdobně jako v předchozí variantě, viz Tab. 5)
- odmocnina ze sumy všech hodnot pro dané kritérium (tedy odmocnina ze sumy hodnot kritérií po sloupcích bez ohledu na variantu)
- vydělení významu kritérií variant (viz. Krok 2) pomocí odmocniny z předchozího kroku
- vytvoření normalizované matice prostřednictvím vynásobení váhy kritéria výsledkem z předchozího kroku
- definice ideální varianty prostřednictvím zaznamenání nejvyšší hodnoty z každého kritéria a bazální varianty prostřednictvím nejnižší hodnoty z každého kritéria
- zjištění vzdálenosti od bazální varianty jako druhé mocniny rozdílu normalizované hodnoty kritéria pro danou variantu a bazální varianty

- ❑ zjištění vzdálenosti od ideální varianty jako druhé mocniny rozdílu normalizované hodnoty kritéria pro danou variantu a ideální varianty
- ❑ identifikace relativní vzdálenosti od bazální varianty jako podíl vzdálenosti od bazální varianty a součtu vzdáleností od ideální a bazální varianty

Pořadí variant je stanovené následně na základě maximalizace relativní vzdálenosti od bazální varianty v tabulce, viz Tab. 6.

**Tab. 6 Vzdálenost ideální, bazální varianty a relativní vzdálenost v TOPSIS,**  
zdroj: (Fiala, 2013)

TOPSIS	Vzdálenost od ideální varianty	Vzdálenost od bazální varianty	Relativní vzdálenost od bazální varianty	Pořadí varianty
Varianta 1				
Varianta 2				
Varianta 3				
Varianta n				

### 2.1.4 ELECTRE I

Metoda ELECTRE I je založená na rozdělení variant na dvě indifferenční skupiny, efektivní a neefektivní varianty.

Předpokladem pro použití je znalost kritériální matice, normalizovaných vah kritérií a hranice preference a dis preference

Je nutné vytvořit matice preferencí a dispreferencí obsahující množiny kritérií, které jsou preferované nebo dispreferované mezi jednotlivými variantami.

Metoda ELEKTRE I probíhá v následujících krocích:

- ❑ stanovení vah kritérií (obdobně jako v první variantě, viz Tab. 3)
- ❑ stanovení významu jednotlivých kritérií pro jednotlivé varianty (obdobně jako v první variantě, viz Tab. 3)
- ❑ identifikace preferované varianty jako vzájemného porovnání kritérií v jednotlivých variantách – identifikace, kde má varianta 1 lepší výsledky (je preferovaná) než varianta porovnávaná, toto je třeba provést pro každou variantu
- ❑ identifikace nepreferované varianty jako vzájemného porovnání kritérií v jednotlivých variantách – identifikace, kde má varianta 1 horší výsledky (není preferovaná) než varianta porovnávaná, toto je třeba provést pro každou variantu
- ❑ sestavení matice výsledků porovnání preferovaných (ne-preferovaných) variant a kritérií a vzájemné vynásobení hodnoty váhy kritéria hodnotou 1 v průniku matice preferované varianty a kritéria
- ❑ provést součet výsledků porovnání pro jednotlivé preferované/nepreferované varianty (tedy po řádcích)
- ❑ identifikace číselné hodnoty preference na základě provedeného součtu v předchozím kroku pro každou variantu a to tak, že se dohledá příslušná hodnota (viz předchozí krok) k preferované variantě (viz krok 3)

- ❑ identifikace číselné hodnoty ne-preference na základě provedeného součtu v předchozím kroku pro každou variantu a to tak, že se dohledá příslušná hodnota (viz před-předchozí krok) k ne-preferované variantě (viz krok 4)
- ❑ vytvoření matice výsledné bodové hodnoty na základě porovnání bodové hodnoty preferované a nepreferované varianty, pokud má vyšší bodové hodnocení preferovaná varianta, pak tato vyhrává, jinak vyhrává varianta nepreferovaná

Výsledek hodnocení efektivních variant pomocí metody ELECTRE I je finálně agregovaný do tabulky, viz Tab. 7.

**Tab. 7 Výběr efektivní varianty v metodě ELECTRE I, zdroj: (Fiala, 2013)**

ELECTRE I	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta n	Výsledek hodnocení
Varianta 1	-	0	0	1	Neefektivní varianta
Varianta 2	1	-	1	1	Efektivní varianta
Varianta 3	0	0	-	1	Neefektivní varianta
Varianta n	0	0	0	-	Neefektivní varianta

## 2.2 Porovnání multikriteriálních metod

Každá z metod má své pozitivní a negativní stránky.

V případě metody AHP jsou klíčovou výhodou její jednoduchost pro zpracování, vytvoření přehledu rozhodovacího problému prostřednictvím tvorby hierarchie a tolerance různých typů kritérií. Nevýhodou je zejména množství párových porovnání, využití devíti bodové škály hodnocení a ovlivnění hodnocení přidáním nebo odebráním varianty.

Metoda váženého součtu je vhodná zejména pro kvantitativní kritéria. Je jednoduchá na výpočet, ale vychází z předpokladu lineárního užitku.

Výhodou metody TOPSIS je univerzálnost použití a objektivnost hodnocení. Nevýhodou je pracnost na zpracování výpočtu.

Výhoda metody ELECTRE I je identifikace nepřijatelných variant. Obvykle se následně používají jiné metody hodnocení po eliminaci variant. Nevýhodou je nestanovení pořadí variant.

## 2.3 Klíčové komunikační technologie

V současné době existuje velké množství komunikačních technologií, které lze využít v rámci konceptu Internet of Things. Mezi klíčové technologie, které považujeme za vhodné zmínit v rámci tohoto článku, patří:

- ❑ GSM dial up, vytáčené digitální připojení, digitální mobilní sítě GSM první generace
- ❑ WiFi, standardy z rodiny 802.11, lokální bezdrátové sítě
- ❑ ZigBee, osobní sítě s nízkým výkonem a omezeným dosahem
- ❑ Ingenu, proprietární technologie pro bezdrátovou komunikaci
- ❑ SIGFOX, úzkopásmová technologie s nízkým výkonem pro bezdrátovou komunikaci

- LoRa, úzkopásmová technologie s nízkým výkonem pro bezdrátovou komunikaci
- Telensa, úzkopásmová technologie s nízkým výkonem pro bezdrátovou komunikaci
- Weightless, úzkopásmová technologie s nízkým výkonem pro bezdrátovou komunikaci

Z důvodu velkého množství využitelných komunikačních technologií, je vhodné s ohledem na cíl tohoto článku jejich množství omezit. Omezení variant bude provedené volbou jednoho nebo více kritérií jako diskriminační. Varianty nespňující tato kritéria budou z hodnocení vyloučena. S ohledem na Internet věcí a jeho požadavky budou zvolena dva kritéria a to dosah komunikační technologie a energetická náročnost/výdrž komunikujícího zařízení.

Diskriminační požadavek na kritérium dosah bude specifikované jako dosah vyšší než 5 km v otevřeném prostoru a 1 km v městské zástavbě. Podstatou Internetu věcí je, že je nutné mít možnost umístit zařízení na větším prostoru s ohledem na významnou část use case, které jsou s IoT spojené.

Diskriminační požadavek na energetickou náročnost bude specifikovaný jako výdrž modemu v řádu let. Významná část IoT use case je spojená s tím, že je umístěný komunikující senzor v prostoru, kde nelze garantovat napájení jiné než z baterie.

Při použití těchto diskriminačních kritérií budou hodnocené následující varianty:

- Ingenu
- SIGFOX
- LoRa
- Telensa
- Weightless

## 2.4 Klíčové parametry komunikačních technologií

Obdobně jako existuje velké množství komunikačních technologií využitelných v konceptu IoT, existuje i velké množství atributů, které umožňují tyto technologie charakterizovat a popsat. Mezi klíčové atributy umožňující popis komunikačních technologií z našeho pohledu patří například:

- Pokrytí ČR (kvalitativní; celoplošné, lokální, není s případným upřesněním)
- Kmitočtové pásmo (kvalitativní; licencované, ISM – volné, případně upřesnění)
- Předpoklad dlouhodobé dostupnosti sítě (kvalitativní; N, A, ?)
- SLA pro garanci doručení zpráv (kvalitativní; N, A)
- Energetická náročnost modemu, výdrž na baterii (kvalitativní; dny, týdny, měsíce, měsíce/roky, roky (> 10 let))
- Dosah (km) country/rural (kvantitativní; km/m)
- Kapacita Uplink (kvantitativní; kbps případně s upřesněním)
- Kapacita Downlink (kvantitativní; kbps případně s upřesněním)
- Latence při běžném provozu: 7s (sensor do vnitřní DB) – 0; jednotky s – 1; do 100ms – 4 (z důvodu významného rozdílu mezi vteřinami a milisekundami)



- Zarušení zařízení (kvalitativní; snadné, snadné pomocí jammeru, značná odolnost proti zarušení, extrémní odolnost proti zarušení)
- Zarušení sítě (kvalitativní; snadné, snadné pomocí jammeru, zvýšené zarušení u více poskytovatelů, značná odolnost proti zarušení, extrémní odolnost proti zarušení)
- Zabezpečení integrity dat (kvalitativní; N, A, A-na úrovni IP, A-na úrovni fyzické vrstvy)
- Šifrování (kvalitativní; N, A s názvem algoritmu)
- Počet koncových zařízení / základnovou stanici (kvalitativní; jednotky, 32, desítky, stovky, stovky až tisíce, do 2500, jednotky tisíc, 5000max, 6000 při průměrné komunikaci 1 čidla 1x/hod, desítky tisíc, statisíce)

Omezení hodnocených kritérií bude provedené na základě následujících skutečností:

- Zásadní význam pro aplikace v oblasti IoT
- Rozdíly mezi hodnocenými variantami (pokud není významná diference, tak není nutné takové kritérium do hodnocení zařazovat)

Po aplikaci těchto omezení byla vybraná následující kritéria, která budou hodnocena mezi jednotlivými variantami:

- SLA pro garanci doručení zpráv, garance doručení zprávy má význam v mnoha případech
- Energetická náročnost modemu, výdrž na baterii, delší výdrž znamená delší servisní cyklus na komunikujících zařízeních
- Dosah (km) country/rural, vyšší dosah znamená lepší pokrytí
- Kapacita Downlink, vyšší přenosová kapacita umožňuje odesílání například obrázků nebo videa
- Latence při běžném provozu
- Zarušení zařízení, snadné zarušení znemožňuje užití v případech, kdy je potřeba garantovat komunikaci
- Počet koncových zařízení / základnovou stanici, vyšší počet zařízení na základnovou stanici je předpokladem pro vyšší lokální kapacitu sítě, kdy lze v jedné lokalitě uvažovat vysoké množství senzorů

### 3. Aplikace vybraných multikriteriálních metod

Předpokladem porovnání jednotlivých komunikačních technologií z pohledu jejich atributů a to prostřednictvím zvolených multikriteriálních hodnot je stanovení bazální a ideální varianty a současně i převod atributů na číselné vyjádření.

Jednotlivá kritéria byla převedena na hodnoty následujícím způsobem:

- SLA pro garanci doručení zpráv:** Ano – 1; Ne – 0
- Energetická náročnost modemu, výdrž na baterii:** Roky – 0, Roky (>10 let) – 1
- Dosah (km) country/rural:** 10/2 – 0; 20/2 – 1; 15/6 – 2 (z důvodu dobrého výkonu v zastavené oblasti); 50/3 – 3
- Kapacita Downlink:** 4x8 Byte – 0; 19 kbps – 1; 0,3 kbps-50 kbps – 1; 62,5 kbps – 2; 0,2-100 kbps – 2; 160 kbps – 3

- ❑ **Latence při běžném provozu:** 7s (sensor do vnitřní DB) – 0; jednotky s – 1; do 100ms – 4 (z důvodu významného rozdílu mezi vteřinami a milisekundami)
- ❑ **Zarušení zařízení:** Snadné – 0; Snadné pomocí jammeru – 1; Značná odolnost proti zarušení – 2; Extrémní odolnost proti zarušení – 3;
- ❑ **Počet koncových zařízení na základnovou stanici:** jednotky tisíc – 0; 5000 max. – 1; 6000 při průměrné komunikaci 1 čidla 1x/hod – 1; desítky tisíc – 2; statisíce – 3

Při převodu kvalitativních kritérií byla zvolena jako základ hodnota 0 pro usnadnění stanovení bazální varianty. Číselné vyjádření nebylo aplikované automaticky, ale s ohledem na kvalitativní význam hodnot jednotlivých kritérií. Všechna kritéria byla ohodnocena tak, aby hodnota kritéria byla maximalizační.

S ohledem na výše stanovené hodnoty lze stanovit i bazální (varianta označená jako D) a optimální variantu (varianta označená jako H) jako variantu s nejnižším, respektive nejvyšším hodnocením v jednotlivých kritériích.

### 3.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Prvním krokem v rámci AHP je definice vah kritérií. Váhy kritérií jsou uvedeny v Tab. 8.

**Tab. 8 Váhy kritérií, zdroj: autoři**

		Bodové hodnocení	Váha
K1	Garance doručení	8	0,08
K2	Výdrž na baterii	40	0,40
K3	Dosah	25	0,25
K4	Kapacita Downlink	10	0,10
K5	Latence	7	0,07
K6	Zarušení zařízení	5	0,05
K7	Zařízení na základnu	5	0,05
		100	

Aplikací postupu uvedeného v kapitole 2 jsme dospěli k výsledkům uvedeným v tabulce Tab. 9. Z tabulky vyplývá, že nejvíce preferovanou variantou z hlediska pořadí je technologie SIGFOX, která dosáhla v součtu hodnocení hodnoty 0,4. Druhá nejlepší technologie LoRa dosáhla pouze 0,25 bodu.

**Tab. 9 Výběr efektivní varianty v metodě AHP, zdroj: autoři**

AHP	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Součet	Pořadí
NB-IoT (LTE)	0,07692	0,05882	0,25941	0,46558	0,50111	0,12304	0,15183	0,17550	3.
SIGFOX	0,69231	0,41176	0,51010	0,04210	0,06474	0,51010	0,36006	0,40901	1.
LoRa	0,07692	0,41176	0,12304	0,08573	0,06474	0,05372	0,06402	0,24503	2.
Telensa	0,07692	0,05882	0,05372	0,20330	0,18470	0,25941	0,06402	0,08478	5.
Weightless	0,07692	0,05882	0,05372	0,20330	0,18470	0,05372	0,36006	0,08568	4.
Váha kritérií	0,07123	0,46948	0,25976	0,08334	0,05598	0,03373	0,02648		

### 3.2 Metoda váženého součtu

Aplikací postupů metody váženého součtu jsme zjistili, jak vyplývá z tabulky Tab. 10, že i v případě metody váženého součtu je nejlepší technologií na základě stanovených kritérií a jejich vah technologie SIGFOX. Technologie SIGFOX dosáhla celkového váženého užítku hodnoty 0,8. Druhá nejlepší technologie, i v tomto případě LoRa, dosáhla celkového váženého užítku pouze 0,53 bodu.

**Tab. 10 Výběr efektivní varianty v metodě váženého součtu, zdroj: autoři**

Vážený součet	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	Součet	Pořadí
NB-IoT (LTE)	0,00	0,00	0,67	1,00	1,00	0,33	0,67	0,38667	3.
SIGFOX	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,83000	1.
LoRa	0,00	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33	0,53333	2.
Telensa	0,00	0,00	0,00	0,67	0,25	0,67	0,33	0,13417	4-5.
Weightless	0,00	0,00	0,00	0,67	0,25	0,00	1,00	0,13417	4-5.
Váha kritérií	0,08	0,40	0,25	0,10	0,07	0,05	0,05		

### 3.3 TOPSIS

Aplikací postupů TOPSIS jsme zjistili obdobné výsledky jako v předchozích variantách. I v případě metody TOPSIS jsme jako nejlepší identifikovali technologii SIGFOX, která dosáhla relativní vzdálenosti od bazální varianty 0,788 bodu. Druhá nejlepší technologie, i v tomto případě LoRa, dosáhla relativní celkové vzdálenosti od bazální varianty 0,617 bodu. I v tomto případě jde o velký rozdíl, avšak podstatně menší než rozdíl mezi prvním a druhým místem zjištěným v metodách AHP a metodě váženého součtu. Souhrn je uvedený v Tab. 11.

**Tab. 11 Výběr efektivní varianty v metodě TOPSIS, zdroj: autoři**

TOPSIS	Vzdálenost od ideální varianty	Vzdálenost od bazální varianty	Relativní vzdálenost od bazální varianty	Pořadí varianty
NB-IoT (LTE)	0,30279	0,16582	0,35385	3.
SIGFOX	0,09672	0,35861	0,78758	1.
LoRa	0,18127	0,29158	0,61665	2.
Telensa	0,36080	0,05665	0,13569	4.
Weightless	0,36220	0,05395	0,12965	5.

### 3.4 ELECTRE I

Poslední z testovaných metod byla metoda ELECTRE I. Aplikací všech kroků v metodě ELECTRE I jsme zjistili, že efektivní variantou je i v tomto případě technologie SIGFOX. Souhrn je uvedený v Tab. 11.

**Tab. 11 Výběr efektivní varianty v metodě ELECTRE I, zdroj: autoři**

	ELECTRE I	V1	V2	V3	V4	V5	Výsledek hodnocení
V1	NB-IoT (LTE)	-	0	0	1	1	Neefektivní varianta
V2	SIGFOX	1	-	1	1	1	Efektivní varianta
V3	LoRa	0	0	-	1	1	Neefektivní varianta
V4	Telensa	0	0	0	-	1	Neefektivní varianta
V5	Weightless	0	0	0	1	-	Neefektivní varianta

## 4. Závěry

Pilotním ověřením vybraných multikriteriálních metod jsme zjistili, že všechny lze využít pro výběr vhodné technologie IoT.

Velmi zajímavým zjištěním je, že všechny metody dávají podobné výsledky. Všechny analyzované multikriteriální metody určují jako nejlepší variantu V2, SIGFOX. Soulad mezi jednotlivými variantami je daný pravděpodobně výběrem omezeného množství kritérií, která byla mezi sebou jasně vymezená z pohledu preference.

Komplexní porovnání výsledků jednotlivých variant hodnocených jednotlivými multikriteriálními metodami je uvedeno v následující tabulce Tab. 12.

**Tab. 12 Porovnání pořadí variant v jednotlivých multikriteriálních metodách, zdroj: autoři**

		AHP	Vážený součet	TOPSIS	ELECTRE I
V1	NB-IoT (LTE)	3.	3.	3.	Neefektivní varianta
V2	SIGFOX	1.	1.	1.	Efektivní varianta
V3	LoRa	2.	2.	2.	Neefektivní varianta
V4	Telensa	5.	4-5.	4.	Neefektivní varianta
V5	Weightless	4.	4-5.	5.	Neefektivní varianta

Dalším krokem v našem výzkumu, který je zaměřený na výběr nevhodnější technologie pro IoT bude provedení multikriteriálního hodnocení vybranými metodami na kompletní množině variant a kritérií. Toto povede k nutnosti vytvoření rozsáhlého aparátu hodnocení, který umožní porovnávat velké množství atributů pro větší množství variant. Jako první bude zvolena metoda váženého součtu a jako druhá metoda AHP.

## Poděkování

*Chtěli bychom poděkovat Ing. Antonínu Daňkovi za poskytnutí zdrojových dat o komunikačních technologiích a dále Fakultě informatiky a statistiky, která podpořila vznik tohoto článku prostřednictvím projektu IP400040.*

## Literatura

- Ashton, K., 2009: That “Internet of Things” Thing [WWW Document]. URL <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> (accessed 10.1.17)
- Fiala, P., 2013: *Modely a metody rozhodování*, 3., přeprac. vyd. Vysoká škola ekonomická v Praze, nakladatelství Oeconomica, Praha
- Friebelová, J., 2008: Vícekriteriální rozhodování za jistoty [http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/prednasky\\_komplet/skriptaRM\\_vicekritko.pdf](http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/prednasky_komplet/skriptaRM_vicekritko.pdf)
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M., 2013: Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener. Comput. Syst.* 29, 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Kalál, M., 2016: Capturing the IoT opportunity
- Loxone, 2017: Smart aktor. Loxone Čes
- Minerva, R., Biru, A., Rotondi, D., 2015: Towards a definition of the Internet of Things (IoT):
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P., Georgakopoulos, D., 2014: Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 16, 414–454. <https://doi.org/10.1109/SURV.2013.042313.00197>
- Sealevel, 2017. IoT, Industry 4.0, IIoT [WWW Document]. URL [http://www.sealevel.com/community/blog/wp-content/uploads/2016/09/IoTIIoTIndustry\\_Infographic.jpeg](http://www.sealevel.com/community/blog/wp-content/uploads/2016/09/IoTIIoTIndustry_Infographic.jpeg) (accessed 10.1.17)
- Sládek, P., Maryška, M., 2017: Internet of things in energy industry. Presented at the IDIMT 2017: Digitalization in Management, Society and Economy - 25th Interdisciplinary Information Management Talks, pp. 411–418
- Turner, V., MacGillivray, C., 2016. IoT Talks: IDC’s 2016 Global Decision Maker Survey
- Vodafone, 2016. The IoT Barometer 2016 [WWW Document]. URL <http://www.vodafone.com/business/iot/the-iot-barometer-2016> (accessed 1.10.17)

**JEL Classification: L86, L96**