

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta biomedicínského inženýrství

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Květen 2016

Bc. Ondřej Novák



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**  
**Katedra biomedicínské techniky**

Název diplomové práce:

**Využití citlivostních analýz v rámci  
hodnocení zdravotnické techniky**

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví

Autor diplomové práce: Bc. Ondřej Novák

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivana Kubátová, Ph.D.

---

**Kladno 2016**

## Z a d á n í   d i p l o m o v é   p r á c e

Student: **Ondřej Novák**  
Studijní obor: Systémová integrace procesů ve zdravotnictví  
Téma: **Využití citlivostních analýz v rámci hodnocení zdravotnické techniky**  
Téma anglicky: The use of sensitivity analyses in the context of health technology assessment

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je zhodnocení využití citlivostních analýz pro potřeby hodnocení zdravotnické techniky. Proveďte analýzu možnosti citlivostních analýz jak v oblasti zdravotnictví, tak v jiných oborech. Jednotlivé metody či modely aplikujte v rámci hodnocení nákladové efektivity u plicních ventilátorů. V návaznosti na statistické zpracování dat vyberte vhodný model pro řešení této problematiky. Model aplikujte u konkrétní zdravotnické techniky a následně vyhodnoťte možnosti modelu a jeho využití při nákupu zdravotnické techniky.

### Seznam odborné literatury:

- [1] Saltelli, A., Ratto, M., et al., Global Sensitivity Analysis: The Primer, Wiley, West Sussex, 2008, ISBN 978-0-470-05997-5
- [2] Goddman, C.S., HTA 101 - Introduction to health technology assessment, Virginia USA, 2004
- [3] Saltelli, A., Tarantola, S., Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models, Wiley, West Sussex, 2004, ISBN 0-470-87093-1
- [4] Brent, R.J., Cost-benefit Analysis and Health Care Evaluations, Edward Elgar Publishing. USA. , 2003, ISBN 1 84064 844 9

Vedoucí: Ing. Ivana Kubátová, Ph.D.

Zadání platné do: 29.09.2016

.....  
vedoucí katedry / pracoviště

.....  
děkan

V Kladně dne 20.05.2016

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Využití citlivostních analýz v rámci hodnocení zdravotnické techniky“ vypracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Kladně 16.5.2016

.....

Bc. Ondřej Novák

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucí své diplomové práce, Ing. Ivaně Kubátové, PhD., za cenné rady, a za trpělivost a vstřícnost při psaní této práce. Děkuji také Ing. Jířimu Havlíkovi za podnětné připomínky. Jsem také vděčný svým rodičům a své sestře za podporu během celého studia.

**Název diplomové práce:**

Využití citlivostních analýz v rámci hodnocení zdravotnické techniky

**Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá možnostmi využití citlivostních analýz v procesu hodnocení zdravotnických technologií, potažmo zdravotnické techniky. první část práce vystihuje současný stav využívání těchto analýz v oblasti zdravotnictví a především v procesech hodnocení zdravotnických technologií. Práce shrnuje různé typy používaných citlivostních analýz, jejich přínosy a limity. Také je zde zahrnuta případová studie, která demonstruje aplikování citlivostní analýzy na nejčastěji používanou ekonomickou analýzu z oblasti hodnocení zdravotnických technologií. Případová studie se primárně zabývá hodnocením plicních ventilátorů a jsou na ni aplikovány různé typy citlivostních analýz v několika možných designech.

**Klíčová slova:**

hodnocení zdravotnických technologií, citlivostní analýza, analýza nákladové efektivity

**Master's Thesis title:**

The use of sensitivity analyzes in the kontekst of health technology assessment

**Abstract:**

This thesis is focused on the opportunities for the application of sensitivity analysis in the process of health technology assessment, particularly of medical equipments. The first part of the thesis outlines the current state of application of these analysis in the health care area and especially within the processes of medical technologies assessments. The thesis sums up various types of sensitivity analysis employment, their benefits as well as their limits. The thesis also includes a case study that demonstrates the application of the sensitivity analysis on the most frequently used economic analysis in the field of health technology assessment. The case study primarily focuses on an assessment of pulmonary ventilators and various types of sensitivity analysis in several possible designs.

**Key words:**

health technology assessment, sensitivity analysis, cost-effectiveness

# Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretické základy práce .....	11
1.1 Hodnocení zdravotnických technologií .....	11
1.2 Citlivostní analýzy.....	13
1.3 Teoretické využití citlivostních analýz .....	19
1.4 Druhy citlivostních analýz .....	22
1.4.1 Jednocestná citlivostní analýza.....	22
1.4.2 Vícecestná citlivostní analýza .....	24
1.4.3 Pravděpodobnostní citlivostní analýza.....	26
1.5 Praktické využití citlivostních analýz .....	28
1.6 Praktické využití citlivostních analýz ve zdravotnictví .....	32
2 Metody .....	39
2.1 Citlivostní analýza .....	39
2.2 Deterministická citlivostní analýza .....	40
2.3 Pravděpodobnostní citlivostní analýza .....	40
3 Případová studie .....	42
3.1.1 Jednocestná citlivostní analýza.....	45
3.1.2 Vícecestná citlivostní analýza .....	65
3.1.3 Pravděpodobnostní citlivostní analýza.....	73
3.1.4 Výsledky případové studie .....	74
4 Diskuze .....	75
5 Závěr .....	81
Seznam použité literatury.....	82
Seznam obrázků.....	90
Seznam tabulek.....	91
Přílohy .....	93



# Úvod

V našem systému zdravotnictví figurují tři základní a nejdůležitější subjekty: poskytovatelé zdravotní péče (např. nemocnice), uživatelé zdravotní péče (pacienti) a plátcí zdravotní péče (především pojišťovny). Toto schéma organizace zdravotnictví ukazuje na jednu ze základních odlišností trhu se zdravotní péčí a standardního trhu, se kterým se můžeme setkat v jiných sektorech, a to na rozpolcenost platby za zdravotní péči a užívání této péče. To může mít za následek nepříliš příznivou finanční situaci ve zdravotnictví, kdy můžeme v posledních několika letech prakticky neustále slyšet požadavky profesních a odborových organizací na zvýšení platů zdravotníků. To potvrzuje přírůstek českého zdravotnictví k Bermudskému trojúhelníku – peníze do systému přichází, nicméně se ztratí neznámo kde. Příčin neustálého nedostatku peněz ve zdravotnictví může být několik. Zcela oprávněně musíme zohlednit tzv. health gap, tedy rychlý vývoj zdravotnických technologií, které umožňují razantní posun v diagnostice a léčbě mnohých onemocnění, ale nesou s sebou i daleko vyšší finanční náklady na zdravotnictví. Výzkum je zapotřebí financovat, poté je zapotřebí, aby nemocnice vynalezenou technologii odkoupily a vhodně a efektivně implementovaly do praxe, s čímž jsou spojené další náklady. Zde už můžeme narazit na nenasytnost některých nemocnic, které touží mít veškeré nejnovější a nejmodernější vybavení. Je správné chtít poskytovat svým pacientům tu nejlepší možnou péči, je však zároveň velmi důležité chovat se zodpovědně i ke svému rozpočtu, protože jedno bez druhého nemůže existovat. Otázka vlastního nákupu – kdy nakoupit a za kolik – je pak, zdá se, jedna ze zásadních pro udržitelný rozvoj zdravotnictví a klidnou atmosféru v tomto resortu.

Problém je v tom, že v ne každé nemocnici si umí spočítat výhodnost a nevýhodnost, případně potřebnost a nepotřebnost, zakoupení nové zdravotnické techniky nebo osvojení si nové diagnostické či terapeutické metody apod. Pravdou je, že je velmi problematické odhadnout a vůbec pak i kvantifikovat přínosy daného přístroje, diagnostické metody apod., natož pak vyjádřit související náklady. Nemůžeme zohlednit pouze pořizovací náklady, protože ty v mnohých případech představují pouhý zlomek nezbytných výdajů, daleko důležitější mohou být provozní náklady, náklady na údržbu aj. Pro racionalizaci nákupů a zavádění zdravotnických technologií začal být před mnoha lety rozvíjen koncept hodnocení zdravotnických technologií. Ten se zabývá posuzováním všech podstatných parametrů a atributů, které s danou technologií souvisí. Abychom vždy vybrali tu nejvýhodnější technologii, měli bychom ji vybírat z vícero možných variant. Nabízí se však otázka, podle čeho bychom se měli rozhodovat, podle jakých parametrů. V hodnocení zdravotnických technologií se prosazuje multikriteriální hodnocení a rozhodování, čímž se vyhneme nutnosti výběru pouze jednoho kritéria, na základě které bychom se rozhodovali, ale zároveň tak vyvstává otázka, jaká kritéria bychom měli pro hodnocení nastavit a jak je pak vůbec realizovat. Kvalitativní data je nutné převést na kvantitativní, protože ta jsou pak dále, spolu s ostatními daty, agregována do výsledného hodnocení, které je představováno jedním číslem. Zde je však nutné vyzdvihnout související nejistotu daného hodnocení. V žádném odvětví, tím spíše ne v medicíně, nemůžeme opomenout riziko chyby. Čím více parametrů posuzujeme, tím větší váhu může celkové hodnocení mít, avšak stejně tak se otevírá více dveří pro nejistotu hodnocení a zanesení chyby do výsledného

hodnocení. Je proto velmi žádoucí pokusit se kvantifikovat také tuto nejistotu a zjistit, na která hodnocená kritéria je nutné brát větší zřetel. K tomu nám mohou pomoci citlivostní analýzy. Tyto analýzy variují získané (vstupní) hodnoty a ukazují, jakým způsobem může změna (potenciální chyba) na vstupních parametrech ovlivnit celkový výsledek. Tato odchylka se v mnohých případech nemusí rovnat vstupní odchylce, protože matematickými operacemi prováděnými během výpočtů se může daná chyba multiplikovat, či na druhou stranu může mít minimální dopady na výsledné hodnocení. Toto nemůžeme nikdy předem predikovat, avšak je žádoucí, abychom o těchto skrytých interakcích věděli, abychom je také mohli zvážit při vlastním vyhodnocení studie.

V dnes prováděných studiích je proto kladen důraz na to, aby byly citlivostní analýzy jejich nedílnou součástí. Citlivostních analýz je mnoho druhů, neexistují však žádná doporučení, jaká citlivostní analýza by se měla použít pro kterou studii, podle kterých kritérií by toto mělo být rozhodováno a jaká kritéria jsou pro toto irelevantní. Cílem této práce je proto popsat jednotlivé druhy analýz a definovat jejich použití. V poslední části této práce pak budou vybrané citlivostní analýzy aplikovány na praktický příklad nákupu zdravotnické techniky, na kterém bude demonstrováno, jak by se měla citlivostní analýza realizovat a jaké výhody a nevýhody mohou mít jednotlivé citlivostní analýzy ve vzájemném porovnání mezi sebou.

# 1 Teoretické základy práce

V této části práce jsou shrnuty veškeré teoretické poznatky, které jsou nezbytné pro pochopení celé problematiky a zároveň představují východisko pro vypracování navazující praktické části této diplomové práce.

## 1.1 Hodnocení zdravotnických technologií

Hodnocení zdravotnických technologií (Health Technology Assessment, HTA) je systematický proces, při kterém dochází k posouzení všech atributů a parametrů dané technologie, které jsou relevantní pro její zhodnocení. Můžeme říci, že HTA nám pomáhá identifikovat důsledky rozhodnutí o implementaci určité zdravotnické technologie, a to jak důsledky krátkodobé, tak především dlouhodobé. Díky své multidisciplinaritě nedochází k posouzení čistě ekonomických nebo technických aspektů, ale ve výsledku hodnocení jsou zohledněny technické vlastnosti, bezpečnost technologie, její účinnost jak v podmínkách klinických zkoušek, tak při běžném používání v praxi, dále ekonomické dopady, ale také dopady legislativní, sociální, etické a politické [1–3].

HTA se vyvinulo z tzv. hodnocení technologií (Technology Assessment, TA), které vzniklo v polovině 60. let minulého století. To souviselo s technologickým růstem moderní společnosti a zvyšováním podílu přístrojů používaných v různých odvětvích. Za kolébku HTA tedy můžeme považovat posuzování technologií souvisejících s těžářským průmyslem, meteorologií, chemickým průmyslem, zemědělstvím anebo jadernou energií. Mezi jedny z prvních technologií, které byly takto posuzovány, také patří vývoj umělého srdce, ale také různé screeningové programy, díky čemuž tak můžeme začít hovořit o TA jako o HTA [1, 4]. Systematický rámec HTA byl pak poprvé stanoven v roce 1975 v U. S. Office of Technology Assessment (OTA), kde byla o rok později publikována první oficiální zpráva z této oblasti *Development of medical technology, opportunities for assessment* [5]. První studie z oblasti HTA [6–8], které tato organizace publikovala během následujících let, formovaly nezbytné parametry každé další studie, na které je zapotřebí se zaměřit a které jsou dodnes ústřední kostrou HTA studií, a to účinnost, bezpečnost a nákladovou efektivitu, přičemž ústřední metodou pro získávání takovýchto informací byly systematické přehledy literatury [9]. Během konce 80. let se pak myšlenka HTA začala šířit do celého světa. Tomu napomohlo také působení Světové banky (World Bank, WB) a Světové zdravotnické organizace (World Health Organization, WHO). WB sponzorovala řadu konferencí na téma HTA a přímo také vydávala doporučení některým zemím, aby implementovaly prvky HTA do svého systému zdravotnictví. To se týkalo například zemí jako Malajsie, Polsko, Rumunsko nebo Srbsko. WHO už ve své deklaraci z roku 1978 [10] vyzývala k poskytování zdravotní péče na základě prakticky a vědecky ověřených metod a technologií. V roce 1985 zařadila dokonce WHO mezi své hlavní cíle pro všechny své členské státy, aby určily oficiální mechanismy k systematickému posuzování vhodného využití zdravotnických technologií. Toto se však setkalo s pouze malou odezvou a WHO ve své další verzi jejích hlavních vizí a cílů v roce 1991 tento bod zcela vypustila.

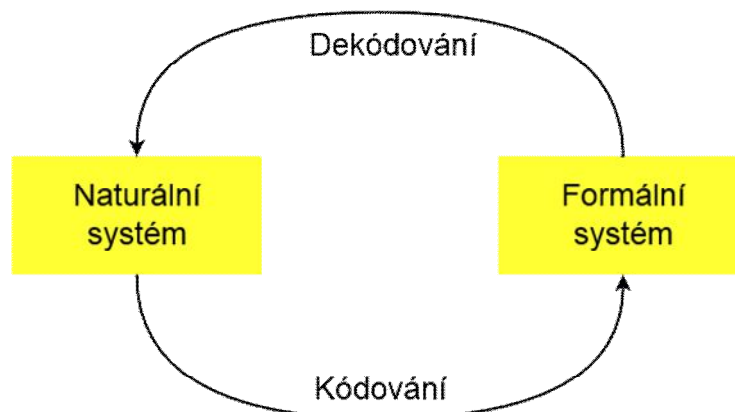
HTA můžeme také chápat jako jakousi nástavbu tzv. medicíny založené na důkazech (Evidence-Based Medicine, EBM), o které můžeme nalézt první zmínky již v literatuře z raných 50. let 20. století, nicméně její širší využití je prosazováno až od 80. let [11]. Tento koncept vyžaduje, aby jakékoli použití nové zdravotnické technologie, bylo podloženo důkazy, že tato technologie je účinná nejen v širší indikační oblasti, ale že u pacientů s tou či onou diagnózou je její využití skutečně opodstatněné, protože existují vědecké studie o tom, že může dojít k pozitivnímu ovlivnění stavu pacienta. Tato myšlenka *důkazů* je zahrnuta i v konceptu HTA, ten je však rozšířen především o ekonomickou stránku, tedy o zhodnocení nákladů a benefitů, které s sebou daná technologie nese. V dnešní době, kdy dochází k razantnímu vývoji nových a nových zdravotnických technologií a jejich cena stoupá úměrně s jejich technologickou úrovní, musí každý řádný hospodář dobře zvážit, zda veškeré přínosy, ekonomické i neekonomické, budou stát za náklady, které bude nezbytné vynaložit při osvojení si dané zdravotnické technologie.

Větší množství parametrů, které jsou při hodnocení zvažovány, s sebou ale nese i větší riziko nesprávnosti konečného výsledku. Hovoříme o určité míře nejistoty, kterou můžeme dále klasifikovat na nejistotu prvního a druhého řádu [12]. Každá tato nejistota je asociována s odlišnými možnostmi zanesení chyby v hodnocení. Nejistota prvního řádu je charakterizována rizikem, že konečné výsledky – v tomto případě hodnocení – jsou chybné, a to buď díky nesprávným vstupním datům, nebo díky chybě při zpracovávání těchto dat. Nejistota druhé řádu potom přímo souvisí se vstupními daty – reprezentuje otázku, zda máme dostatečné množství dostatečně reprezentativních dat pro to, abychom mohli danou technologii objektivně hodnotit. Z výše uvedeného je patrné, že nejistota prvního a druhého řádu jsou spolu úzce spojeny a pokud se objeví jeden typ této nejistoty, je pravděpodobné, že bychom měli počítat i s „druhou“ nejistotou. Mnohdy, i přes největší vynaložené úsilí, se nám nepodaří odstranit tuto nejistotu, protože nemáme jiné možnosti, jak zkvalitnit vstupní data, jejich sběr, zpracování atd. V takovémto případě bychom měli mít přehled o tom, jakým způsobem by mohla chyba v jednotlivých parametrech změnit konečný výsledek, jinými slovy, jak je výstup hodnocení závislý na jednotlivých vstupních datech. To nám pomůže indikovat, s kterým parametrem souvisí jaká míra nejistoty. Otázkou není, zda je s hodnocením spojena nejistota, protože jistá míra nejistoty bude s hodnocením spojena více či méně v každém případě – neexistují metody ani nástroje, které by ji dokázaly úplně odstranit, ale je pro nás důležité vědět, „kolik“ nejistoty je s výsledkem asociováno, z čehož nám poté vyplyne celková spolehlivost a důvěryhodnost hodnocení, a jaký může mít vliv na celkový výsledek [13, 14].

## 1.2 Citlivostní analýzy

Hunink et al. [15] nazývají citlivostní analýzy poměrně jednoduše jako „co-když“ analýzu (what-if analysis). Co se stane, pokud budeme variovat různé proměnné v dané studii. Sledováním výsledků pak můžeme zjistit, jaký velký efekt nejistoty mohou jednotlivé parametry mít na konečný výsledek či rozhodnutí. Viel et al. [16] pak hovoří o citlivostní analýze jako o „*sérii analýz vedoucích k posouzení, zda změna jakýchkoliv předpokladů nebo parametrů studie povede k odlišným výsledkům a závěrům.*“

Jednu z mnoha dalších definic citlivostních analýz nabízí Saltelli et al. [17]: „*Citlivostní analýza je studie zabývající se skutečností, jak může být nejistota ve výstupech modelu (numerického nebo jakéhokoliv jiného) rozdělena mezi různé zdroje nejistoty vstupních dat modelu.*“ Zde je důležité definovat, co je vlastně *model*. Model je zjednodušený, systematický a často i vizuální způsob zobrazení pochopení vzájemných vztahů prvků určitého systému, se kterými chceme při modelování určitým způsobem operovat [18]. Modelováním pak můžeme rozumět proces, jehož výsledkem je abstraktizace modelu skutečného světa [19]. To můžeme ilustrovat níže uvedeným obrázkem převzatým od Rosem [20].



Obrázek 1: Modelování. Zdroj: vlastní zpracování dle [20]

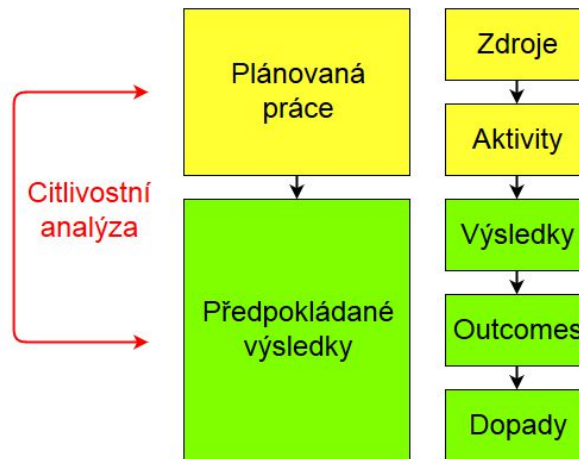
Zde máme na levé straně jakýsi přirozený, naturální systém. Ten můžeme chápat jako svět kolem nás, ve kterém jsou zahrnuty veškeré skutečnosti, které nás obklopují – každý detail je zde zachycen a může hrát kruciólní roli. Pro potřeby realizace různých studií, zde tedy především v kontextu modelování, je důležité zachytit co nejvěrněji veškeré tyto zdánlivé třeba i maličkosti, abychom získali skutečně relevantní výsledky. Pro výpočetní požadavky je důležité vyjádřit veškeré tyto vztahy matematickými, které na obrázku představují tzv. formální systém. V něm jsou přesně definovány vztahy a závislosti jednotlivých prvků systému, které tak mohou být matematicky uchopeny a zohledněny při výpočtech přímo souvisejících s danou studií (na obrázku je tento proces konverze do matematického vyjádření znázorněn *kódováním*). S množstvím takto logicky propojených prvků systému dochází i k úměrnému růstu věrohodnosti a úplnosti modelu, díky čemuž získáme dokonalejší výsledky studie, které budou s větší pravděpodobností odpovídat naturálnímu systému. Pro správnou interpretaci těchto výsledků je pak důležité správně dekodovat tyto

výsledky, které vychází z matematického vyjádření, do původních, naturálních vztahů, které jsou nám přirozenější. Lze logicky odvodit, že čím detailnější model bude, tzn. čím více prvků bude do modelu zahrnuto, tím bude výpočetně náročnější zpracování této studie – jak tvorba modelu, tak vlastní výpočet –, avšak bude také daleko přesnější. Na druhou stranu, u jednodušších modelů můžeme očekávat, že jejich vytvoření je daleko jednodušší, že jsou daleko flexibilnější a vyžadují méně dat, než daleko komplexnější modely, jsou tak i daleko rychleji vypočitatelné a především je pak jejich velkou předností, že jejich výsledky lze snadněji interpretovat. V praxi tak musíme najít „pro nás optimální rovnováhu“ mezi všemi požadavky, které na model budeme mít. Je zřejmé, že by pro nás měl největší přínos co nejdetailnější model, musíme však vzít v potaz časovou a znalostní náročnost vytvoření takového modelu, kde již není výjimkou, že jsou nezbytné poměrně rozsáhlé znalosti matematiky, statistiky, programování a dalších příbuzných oborů [19].

V kontextu citlivostních analýz je vhodné představit si detailnější strukturu modelu, která je zobrazena i na níže uvedeném obrázku. Především si musíme uvědomit, že model utváří dvě základní jednotky [18]:

- plánovaná práce,
- předpokládané výsledky.

Plánovaná práce popisuje veškeré zdroje a aktivity, které zamýšlíme v našem modelu využít. Zdroje bývají i v české literatuře někdy označovány jako *inputs* a jsou jimi myšlena veškerá data, která budou do našeho modelu vstupovat. Můžeme je klasifikovat dle mnohých kritérií do několika skupin, například na zdroje lidské, finanční, organizační, společenské aj. Aktivitami pak rozumíme veškeré úkony, které budou s výše zmiňovanými vstupními daty realizovány. Můžeme sem zařadit veškeré procesy, nástroje, události, technologie aj., díky kterým docílíme žádoucí změny vstupních dat na jiné, výstupní, případně získání jiných, vlastních výsledků. Tyto předpokládané výsledky můžeme rozdělit na výstupy (přímé výsledky přeměny vstupních zdrojů), *outcomes* (specifické změny v chování, vědění, funkčnosti aj., které můžeme opět klasifikovat dle různých kritérií, například na základě faktoru času na krátkodobé a dlouhodobé, nebo pak například na ekonomické, technické, společenské aj.) a *ěsledky* (principiální očekávané i neočekávané dopady, které se zpravidla objevují v dlouhodobém horizontu, většinou ve výhledu 7 – 10 let) [18]. A právě na tomto obrázku můžeme vidět názorné propojení dvou základních celků *modelu* pomocí citlivostní analýzy, která zkoumá interakce mezi těmito dvěma částmi modelu.



Obrázek 2: Model. Zdroj: vlastní zpracování dle[18]

Z hlediska terminologie se v mnohých publikacích můžeme také v souvislosti s *modelem* a *modelováním* setkat s termínem *factor*. Faktorem může být nazvána jakákoli část modelu, která může být změněna ještě před vlastním modelováním, což samozřejmě představuje další zdroj nejistoty v modelu [17].

Citlivostní analýza má za úkol informovat nás o tom, zda výsledek naší studie je senzitivní nebo naopak robustní vzhledem k možným nežádoucím, rušícím faktorům [21]. Pokud máme jakýkoli ekonomický model, jeho číselné hodnoty mohou být vždy předmětem chyby. Citlivostní analýza tak může být v poněkud širším pojetí také definována jako vyhledávání těchto potenciálních chyb a stanovování jejich dopadů vzhledem k výsledkům dané studie. Dochází tak ke generování nových informací týkajících se alternativních strategií. Zjednodušeně můžeme princip citlivostních analýz popsat tak, že změníme výchozí model v určitých parametrech a budeme sledovat, jak se změní chování modelu, k jakým změnám dojde. V praxi si musíme odpovědět na tři základní otázky charakterizující každou citlivostní analýzu:

- co, jaké parametry budeme variovat,
- co budeme pozorovat,
- jaký zvolíme design analýzy.

Pokud řešíme otázku, co variovat, máme dvě možnosti. Jednak můžeme pracovat s kvantitativními, numerickými daty, anebo s kvalitativními daty. Ze statistické praxe je zřejmé, že je snazší a daleko variabilnější pracovat s numerickými parametry. U nich můžeme citlivostní analýzu realizovat prostřednictvím [14]:

- změny podílu určitého parametru na celkovém výsledku,
- změny předmětu studie, např. minimalizování rizika přijmutí strategie namísto maximalizace zisku,
- omezení prahových hodnot určitých parametrů (například zvýšení dostupnosti některých zdrojů),
- změny počtu restriktivních opatření (například odstranění některých opatření, která mohou vyjadřovat osobní preference pro nebo proti posuzovanému scénáři),

- změny počtu operací, které budou v rámci modelu realizovány,
- změny technických parametrů.

Pokud bychom chtěli v rámci citlivostní analýzy pracovat s kvalitativními daty, často se dopracujeme k otázkám, kdy existují pouze dvě možné odpovědi, a to odpovědi ve smyslu *ano* nebo *ne*. Příkladem může být otázka, *zda legislativa povolí zavedení dané zdravotnické technologie* nebo *zda nemůže být daná technologie zakázána z environmentálních důvodů*. V takovém případě je výsledek závislý především na množství takovýchto otázek a na vrstevnatosti modelu. Oproti numerickým parametrům je zde proto daleko užší variabilita, avšak to zdaleka neznamená, že nemůže dojít k výraznému ovlivnění výsledku studie, spíše naopak, protože tato jednoznačná odpověď může směřovat ke zcela jiným výsledkům studie, než byly ty původní, případně může znamenat nepřekonatelnou překážku a studie tak může skončit neúspěšně hned ve svých počátcích.

Dále bychom se také měli zabývat otázkou, *co* budeme během citlivostní analýzy sledovat. Nabízí se sledovat, jak se změní výsledné hodnoty, nicméně už zde musíme myslet na následnou interpretaci výsledků. Změnu můžeme vyjádřit v absolutních hodnotách, nebo také v relativních. Zde je pak otázka, k jakému základu pozorovanou změnu vztáhneme. Můžeme porovnávat původní hodnoty před citlivostní analýzou a po ní u původního scénáře, případně u 2 alternativních scénářů, anebo vícero scénářů.

Design citlivostní analýzy pak znamená, jakým způsobem budou kombinovány parametry, které budou variovány a na jakých, případně kolika, úrovních bude k variacím docházet. Zde je důležité zachytit možnost korelace dvou a vícero parametrů, kterou můžeme z výsledků citlivostní analýzy vysledovat. Korelace může být pozitivní i negativní, případně žádnou korelaci objevit nemusíme. Zvláštním případem designu studie může být faktoriální design, kde je citlivostní analýza prováděna pro všechny možné kombinace parametrů. Tento design však může být velmi náročný, protože pokud bychom si vzali pětiúrovňový model, ve kterém je osm parametrů, které bychom sledovali, kompletní taková analýza by vyžadovala 390 625 operací a výsledků. Pokud bychom odhadli, že realizace jedné operace zabere minutu, celkový čas analýzy by se blížil době 9 měsíců, přičemž výsledky této analýzy by byly tak rozsáhlé, že jejich efektivní interpretace by byla takřka nemožná. V praxi proto musíme přistoupit při faktoriálním designu k redukci počtu parametrů a úrovní modelu [14].

Citlivostní analýza by měla být nedílnou součástí metodologie každé studie [14], protože už dle Fiacco [22] nemůže být výsledkům dané studie bez těchto informací dokonale porozuměno, a nemohou tak být ani správně interpretovány. Podle Pannell [14] patří citlivostní analýzy k nejužitečnějším a vůbec nejvíce používaným metodologickým technikám v aplikované ekonomii. Na přínosy zahrnutí citlivostních analýz také výrazně poukazuje evropská síť agentur HTA – EUnetHTA – v souvislosti s jejím modelem studií HTA [23], ve kterém už jsou citlivostní považovány jako nezbytná součást každé studie HTA. Citlivostní analýza byla také charakterizována jako *analýza poslední linie*, která chrání studii před bias poté, co již bylo vynaloženo veškeré možné úsilí na její ochranu před zkreslením jejích dat, ať už z hlediska designu studie, sběru dat nebo jejich analýzy [24, 25].



Citlivostní analýzu jako nezbytnou součást studií také vidí americká Food and Drug Administration (FDA) nebo European Medicines Association (EMA), které ve svých směrnících výslovně doporučují její využívání pro zjišťování citlivosti výsledků studie k různým limitacím dat, předpokladů a analytických přístupů k analýze nasbíraných dat, a dále vyzdvihují potřebnost hodnocení robustnosti výsledků primárních studie právě skrze citlivostní analýzy [26]. V tomto názoru se k nim přidává i široce respektovaná britská agentura HTA – National Institute of Health and Care Excellence (NICE), která také doporučuje využívání citlivostních analýz ve studiích HTA, především pak k objevování alternativních scénářů a nejistoty v nákladově-efektivních výsledcích [27].

Thabane et al. [28] vidí hlavní přínos citlivostních analýz v souvislosti s randomizovanými kontrolovanými studiemi v získání odpovědí na otázky výzkumníků či následných čtenářů studie, které jsou především:

- jak důvěryhodné jsou výsledky primární studie,
- změní se výsledky primární studie, pokud změníme definice outcomes,
- změní se výsledky primární studie, pokud změníme metodologický postup analýzy,
- změní se výsledky primární studie, pokud zohledníme chybějící či neúplná data, respektive zda se změní výsledky primární studie, pokud použijeme metody, které nám umožní racionálně doplnit chybějící data,
- jak velký vliv mají drobné odchylky od protokolu na závěrečná ustanovení primární studie,
- jaký vliv může mít na výsledky studie ignorování korelace mezi jednotlivými sledovanými parametry
- jak se změní výsledky primární studie, pokud bychom předpokládali jiné než normální rozdělení dat, nebo pokud by v nasbíraných datech bylo větší množství odlehlých pozorování,
- jak se změní výsledky primární studie, pokud bychom se blíže podívali pouze na určitou skupinu dat (např. pouze od určitých pacientů),
- jak se změní výsledky primární studie, pokud bychom plně realizovali zkoumanou intervenci u všech pozorovaných subjektů, tj. jakého stupně shody bychom dosáhli?

Pokud jsou odpovědi na výše uvedené otázky v souladu s výsledky primární studie, tedy pokud se výsledky citlivostní analýzy shodují s výsledky primární studie, znamená to pro výzkumníky jednoznačný důkaz, že jejich výsledky jsou robustní, tedy že veškeré faktory, které byly v rámci studie, potažmo citlivostní analýzy, zvažovány, mají žádný, nebo pouze minimální vliv. V opačném případě je zapotřebí důkladně interpretovat nejistotu související s danou studií a v ideálním případě navrhnout další opatření, která by ji mohla redukovat či eliminovat.

Pannell [14] pak uvádí přínosy citlivostních analýz z jiného úhlu pohledu, a to jako informace, které nám mohou citlivostní analýzy poskytnout, tedy jaké výsledky citlivostní analýzy můžeme obdržet. Jsou to především informace:

- o robustnosti optimálního řešení v kontextu různých hodnot parametrů modelu,

- o okolnostech, za kterých se může změnit výsledek studie,
- o tom, jak se výsledek studie mění za různých okolností,
- o tom, jak by se změnilo rozhodnutí založené na výsledcích studie, pokud by byly ignorovány okolnosti změněné na základě citlivostní analýzy, oproti původní, výchozí strategii.

Tyto informace pro nás mohou být extrémně přínosné především v okamžicích, kdy jsou výsledky studie nosnými pilíři rozhodnutí, které musí být následně učiněno, což je v podstatě téměř vždy. Pokud změny v hodnotách jednotlivých parametrů významně neovlivní výsledek studie, hovoříme o robustnosti studie. Ta je důležitá především proto, že nám potvrzuje záměr implementace výsledku nebo doporučení. Na druhou stranu, pokud na základě citlivostní analýzy není identifikována robustnost studie, můžeme alespoň určit citlivost jednotlivých parametrů k různým okolnostem a určit tak variabilitu výsledků v závislosti na změně nastavení modelu [14, 28].

Nejistota, která je přítomná v téměř každém modelu, je jeden z hlavních důvodů, proč by se měla citlivostní analýza provádět. Právě pomocí citlivostní analýzy můžeme získat odpovědi na otázky typu *U jakých vstupních parametrů bychom se měli snažit co nejvíce eliminovat nejistotu, abychom získali co nejkvalitnější výsledky?* nebo *Pokud můžeme eliminovat nejistotu pouze u jednoho vstupního parametru, který máme vybrat?* Pokud můžeme v některých případech říci, že žádná nejistota není s daným parametrem asociována, i přesto může být téměř jisté, že v jiném čase a na jiném místě může dojít ke změně současných výsledků, a proto je i v tomto případě odůvodněné aplikovat na studii citlivostní analýzu. V tomto případě můžeme hovořit o citlivostní analýze namísto robustnosti spíše jako o indikátoru rizikovosti přijmutí určité strategie vyplývající z výsledků studie, i za různých okolností. Vyjádřením rozdílu mezi rizikovostmi původních výsledků a pozměněných (tedy výsledků citlivostní analýzy) můžeme také kvantifikovat *míru rizikovosti*, která by měla být zohledněna při učinění definitivního rozhodnutí vyplývajícího z primární studie [14, 17].

Citlivostní analýza úzce souvisí s teorií rozhodování. Snaží se nám odhalit, jaká strategie – rozhodnutí – je ta nejoptimálnější. To je taková, která nám přinese největší očekávaný benefit. Ten může představovat finanční profit, ale také sociální blahobyt, očekávaný užitek aj. Je důležité, aby ten, kdo sestavuje model, nevnášel do modelu vlastní osobní preference a očekávání ohledně budoucích výsledků. Pro správné rozhodování pak nabízí Bayesovská rozhodovací teorie dva nástroje:

- rozhodovací teorie nabízí rámec pro srovnání několika strategií, s kterými je asociována určitá nejistota a riziko,
- Bayesova věta představuje rigorózní a konzistentní metodu pro úpravu pravděpodobnostní distribuce nejistých hodnot parametrů modelu po obdržení nových informací z provedené citlivostní analýzy.

Kombinací těchto dvou nástrojů získáme konzistentní nástroj pro hodnocení různých alternativních scénářů a strategií [14].

### 1.3 Teoretické využití citlivostních analýz

Jak již bylo řečeno, citlivostní analýzy sledují možné změny výsledků studie v důsledku změny podmínek a nastavení parametrů. To má vést k rozpoznání citlivosti výsledků na jiné okolnosti. Indikace je tedy dle této logiky zřejmá, můžeme se však setkat s několika celostními pohledy, které poměrně jasně definují scénáře, za kterých by měla být citlivostní analýzy použita. Příkladem může být níže uvedená tabulka.

Tabulka 1: Využití citlivostních analýz

Využití citlivostních analýz	
Rozhodování nebo vydání doporučení pro rozhodující	testování robustnosti výsledků
	identifikování kritických hodnot a prahových hodnot, kdy dochází ke změně optimální strategie
	identifikování senzitivity nebo důležitosti proměnných
	identifikování dalších „optimálních“ možností
	tvorba doporučení závisejících na aktuálních okolnostech
	porovnání hodnot jednoduchých a komplexnějších rozhodovacích strategií
	zhodnocení rizikovosti dané strategie nebo scénáře
Komunikace	vytváření doporučení daleko věrohodnějších, srozumitelnějších a přesvědčivějších
	umožnění rozhodujícím zasáhnout do nastavení okolností
Zvýšení srozumitelnosti a kvantifikovatelnosti systému	stanovení vztahů mezi vstupy a výstupy
	porozumění vztahům mezi vstupy a výstupy
	stanovení testovacích hypotéz
Stavba modelu	testování validity a přesnosti modelu
	hledání chyb v modelu
	zjednodušování modelu
	kalibrace modelu
	vypořádání se s chybějícími nebo „slabými“ daty
	prioritizace v získávání jednotlivých informacích

Zdroj: [14]

Podobně jako Pannell [14] se zaměřili na možné indikační scénáře také Thabane et al. [28], avšak především v souvislosti s klinickými zkouškami. Příklady jsou uvedeny níže.

## ***Odlehlá pozorování***

Odlehlá pozorování mohou v některých případech výrazně zkreslit výsledky studie. Závisí to především na množství těchto odlehlých pozorování a na celkovém množství sebraných dat. Odlehlým pozorováním rozumíme data, která se výrazně liší od zbytku sady dat. Může se jednat o chybu v měření nebo sběru dat, ale také to může být zcela přirozený jev, který je způsobený třeba i naším, nereprezentativním výběrem vzorku subjektů. Řešením objektivizace studie by měla být skutečná klasifikace odlehlých pozorování např. Z-skórem nebo graficky – boxplotem, následně by pak měla být provedena citlivostní analýza spočívající v zahrnutí a nezahrnutí odlehlých pozorování, aby bylo zjištěno, jaký mají vliv na primární studii [29]. Tento problém může být ilustrován studií zabývající se subakutní bolestí zad [30], kde právě odlehlá pozorování značně zkreslila závěry studie.

## ***Nedodržování protokolu nebo jiné odchylky od protokolu***

Při realizaci klinických zkoušek může někdy dojít k tomu, že účastníci zkoušky důsledně nedodržují veškeré pokyny, které od lékařů či jiných odborníků dostali, a tak by mohlo opět dojít ke zkreslení konečných výsledků (opět v závislosti na celkovém počtu účastníků a na počtu těchto *nezodpovědných* účastníků) [31, 32]. Nejčastěji se s takovými odchylkami můžeme setkat v intervenčním výzkumu [33], kde pak vlivem tohoto může dojít umělému podhodnocení léčivých účinků dané technologie. V takovém případě je pak velmi důležité zohlednit zjistit robustnost konečných výsledků, abychom zjistili, jak moc senzitivní a konzistentní jsou. V praxi se pak doporučuje provést randomizovanou kontrolovanou studii na principu intention-to-treat (ITT) (účastníci jsou zde vyhodnocováni podle větve, do které byli náhodně vybráni [34]) a poté se provede citlivostní analýza, buďto per-protocol (PP), ve které jsou účastníci, kteří nedodrželi protokol, vyloučeni, nebo analýza as-treated (AT), ve které jsou data účastníků vyhodnocováni na základě skutečně obdržené léčby či jiné intervence [35]. Ve výsledku se data ITT a PP (nebo AT) porovnají, a jsou-li shodná, můžeme říci, že výsledky studie jsou robustní [36].

## ***Dopady chybějících dat***

I přes sebelepší a důkladnější přípravu studie se může stát, že veškerá data nebudeme s to získat. S chybějícími daty se proto můžeme velmi často setkat v mnohých studiích. Můžeme zde rozlišit tři možné příčiny chybějících dat [28]:

- data chybí náhodně (missing at random, MAR)
- data chybí nenáhodně, systematicky, (missing not at random, MNAR) nebo
- data chybí absolutně náhodně (missing completely at random, MCAR).

Rozdíl mezi MAR a MCAR je v tom, že u MAR chybí data, protože nebylo možné je získat, nebyla splněna určitá podmínka pro sběr dat. Například pokud bychom chtěli sledovat hladinu vápníku v krvi u těhotných žen a my bychom nezískali dostatečné

množství těhotných žen, tak nemůžeme získat data o hladině vápníku v krvi. Zatímco u MCAR není žádná taková „podmínka“ pro sběr dat, jedná se tedy o zcela náhodný jev.

### ***Následky změny definování outcomes***

Někdy se můžeme setkat s tím, že v průběhu realizace klinické studie jsou požadovány určité, předem stanovené hodnoty, které mají dosáhnout minimálně 80 %, 85 % a 90 % určité hodnoty, nicméně výsledky takovéto studie mohou být značně zavádějící, protože může být daleko těžší dosáhnout 90 % než 80 %. Proto by zde měla být aplikována citlivostní analýza, aby bylo patrné, jak změna prahové hodnoty může ovlivnit sledovaný efekt [28].

Dalšími možnými indikacemi pro citlivostní analýzu mohou být například změna zvolených analytických metod při korelaci některých parametrů, dopad vzájemně souvisejících rizik ve studii, kde se očekávají kombinované outcomes, nebo dopad již výchozí nerovnováhy v randomizované kontrolované studii. Detailněji je tato problematika rozebrána v [28].

Morris et al. [21] navrhuji pro identifikaci toho, zda je žádoucí a užitečné provést citlivostní analýzu, odpovědět na tři následující otázky:

- 1) Řeší navrhovaná citlivostní analýza stejnou otázku, problematiku, jako primární analýza (studie)?
- 2) Je možné, aby navrhovaná citlivostní analýza dospěla k jinému závěru než primární analýza (studie)?
- 3) Pokud navrhovaná citlivostní analýza došla k jinému závěru, než jaký má primární analýza (studie), existuje určitá míra nejistoty o tom, který výsledek je správný?

Pokud je na všechny tři otázky odpovězeno pozitivně, je doporučeno provést analýzu citlivosti. Tento rozhodovací mechanismus byl primárně určen pro randomizované kontrolované studie, nicméně je možné jej využít i pro observační studie, nebo i pro studie, u kterých by byla citlivostní analýza realizována post hoc.

## 1.4 Druhy citlivostních analýz

Jak již bylo řečeno, citlivostní analýzy mohou mít několik podob. Od nejjednodušších analýz, až po ty daleko komplexní vycházející z práce s pravděpodobností výskytu různých variací v parametrech a celém modelu, tak i z Bayesovské teorie rozhodování. Pannell [14] zdůrazňuje, že velmi nápomocná a efektivní může být i jednoduchá citlivostní analýza bez zahrnutí pravděpodobností určitých stavů, a zároveň říká, že právě jednoduchost citlivostní analýzy je její velkou výhodou, protože analýze, které nebude porozuměno, nebude ani plně uvěřeno. I ty nejjednodušší citlivostní analýzy mohou být důvěryhodným nástrojem pro podporu rozhodování, pokud jsou jejich výsledky správně interpretovány.

Z výše uvedeného vyplývá, že citlivostních analýz může být mnoho. Podle jejich charakteru a detailnějšího účelu je můžeme klasifikovat do tří skupin, například dle Degasperi a Gilmore [37] nebo Saltelli et al. [38]:

**Lokální metody** citlivostních analýz jsou zaměřeny na jeden konkrétní bod v celém modelu. Mezi tyto metody patří například jednocestná citlivostní analýza.

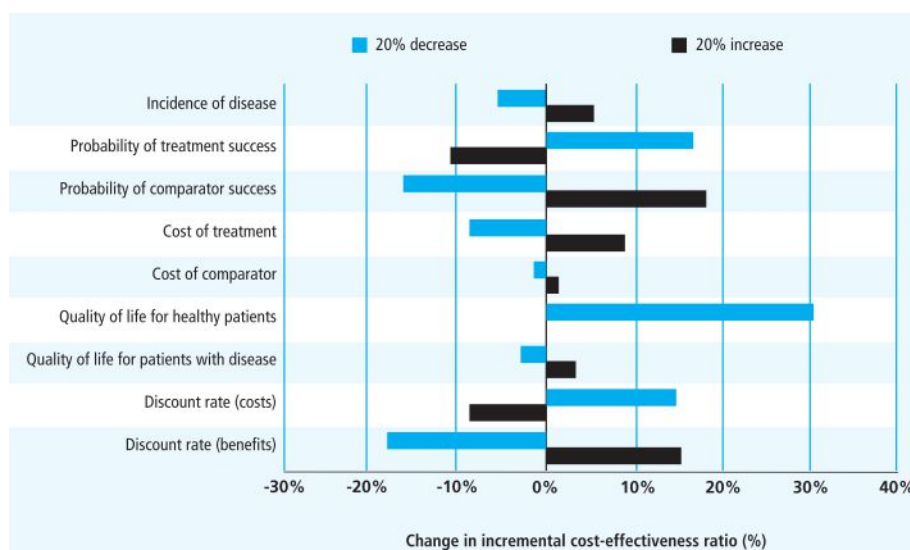
**Screeningové metody** citlivostních analýz se používají v případě, že je v modelu nezbytné identifikovat nejdůležitější parametry. Jiným způsobem to není možné provést, protože model je tak komplikovaný a rozsáhlý, že nejlepší volbou je právě screeningová citlivostní analýza. Hlavní požadavky na tyto metody jsou výpočetní jednoduchost a zároveň poskytování kvalitních informací o tom, které parametry jsou fixní, neměnné, i v případě, že data, ze kterých analýza vychází, jsou spíše slabá. Pokud jsou následně identifikovány nejdůležitější parametry, mohou již být dále zpracovávány výpočetně daleko náročnějšími metodami.

**Globální metody** představují třetí skupinu citlivostních analýz a jak je již z názvu patrné, jedná se o nejkompaktnější a nejnáročnější metody. Tyto metody se snaží ozejmít celý prostor, ve kterém se mohou parametry modelu pohybovat, nebo alespoň část tohoto rozsahu, kde je vysoce pravděpodobné, že se mohou pohybovat skutečné hodnoty těchto parametrů. U těchto metod platí přímá úměra, že jsou sice výpočetně nejnáročnější, ale na druhou stranu nám poskytnou nejpodrobnější informace o zkoumaném modelu.

### 1.4.1 Jednocestná citlivostní analýza

Nejjednodušší citlivostní analýza, která může být realizována, je jednocestná citlivostní analýza (one-way sensitivity analysis, OWSA). Během této analýzy je vybrán jeden parametr, který je „jedenkrát“ variován a je sledováno, jaký má tato změna dopad na celkové výsledky studie, resp. modelu. Můžeme tedy například vzít parametr efektivity a zvětšit jej o 10 %, což může zapříčinit, že nákladová efektivita se sníží o 20 %. Sledujeme tedy vliv pouze jednoho parametru na celý model. Neznamena to však, že tuto analýzu následně nemůžeme aplikovat i na jiný parametr, avšak postupně. Vždy musí být změněn pouze jeden parametr, zatímco všechny ostatní zůstanou na své základní, výchozí hodnotě [39].

Volba parametru, který bude změněn, je čistě na výzkumníkovi, ale samozřejmě záleží, co chce provedenou citlivostní analýzou zjistit. Pokud bude chtít zjistit, jak je výsledek studie citlivý například na cenu spotřebního materiálu, změni výši ceny tohoto materiálu a bude sledovat, k jakým změnám dojde. Pokud bude chtít zjistit, jaký parametr má na výsledek největší vliv, musí výzkumník v případě použití jednocestné citlivostní analýzy zvýšit a snížit všechny parametry o stejnou hodnotu a po každé jednotlivé změně každého parametru musí sledovat výsledné hodnoty a ta, u které zaznamená největší výkyv, indikuje ten parametr, vůči kterému je celý model nejvíce senzitivní. V takovémto případě může výzkumník během provádění citlivostní analýzy získat velké množství dat, které je vhodné, především pro přehlednost, zobrazit graficky, pro což se běžně používá tzv. **tornado diagram** [40], který můžeme pro čistě ilustrativní příklad vidět níže na obrázku. Možností, jak také zvýšit přehlednost dat je zaměřit se pouze na tzv. klíčové parametry, u kterých se předpokládá zásadní vliv na výsledky modelu, případně jsou tyto klíčové parametry z nějakého důvodu středem našeho zájmu.



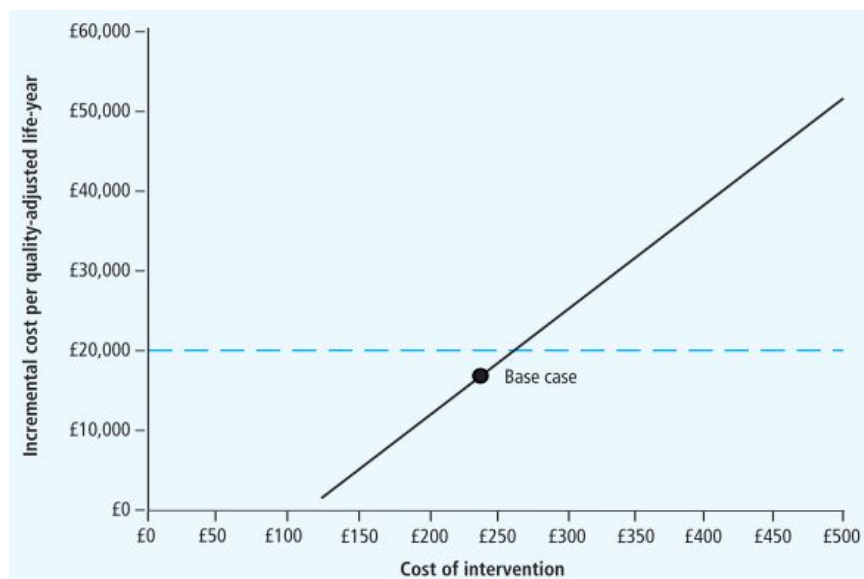
Obrázek 3: Tornado diagram

Zdroj: [39]

Zatímco vizuálně nám tornado diagram pomůže rychle se zorientovat v nově nasbíraných datech, má jednu nevýhodu a to, že nám nezobrazí, s jakou jistotou by mohla být takto variovaná vstupní data skutečně potkána v praxi. Podle definice jednocestné citlivostní analýzy bychom totiž měli všechny parametry stejně mírou. V některých případech si však můžeme být téměř stoprocentně jisti, že hodnotu daného parametru známe a že je tedy zbytečné ji variovat. To může být například případ ceny nějakého konkrétní lékařské intervence, kterou jsme si jisti, ale přesto bychom ji museli variovat na nejnižší a nejvyšší možnou. Obdobně může dojít ke střetu v případě, že nebudou daná data vůbec existovat. Například pokud by studie sledovala pouze krátkodobá data o mortalitě užívajících nějaký lék, ale na základě citlivostní analýzy by hodnotila dlouhodobé dopady, o kterých by však neměla nasbírána žádná data [39].

Pokud bychom chtěli k této citlivostní analýze přistoupit ještě detailněji, můžeme sledovat, jak se budou měnit výstupy modelu, pokud budeme měnit hodnoty zvoleného

parametru v celém jeho rozsahu. Řeč je o tzv. **prahové analýze**. Tento vztah můžeme velmi jednoduše zobrazit i graficky, kde budou výstupy modelu závislé na každé možné vstupní hodnotě. Takováto analýza má výhodu především v tom, že zde můžeme poměrně snadno stanovit prahovou hodnotu, při které se může hlavní výstup modelu změnit [39]. Tuto analýzu ilustruje graf na níže uvedeném obrázku, na kterém můžeme vidět, že prahová hodnota nákladové efektivity pro danou zdravotnickou intervenci byla zastřešena hranicí £20.000. Pokud bude daná intervence oceněna na maximálně £270, bude nákladově efektivní. Pokud by cena této intervence stoupla nad £270, stala by se více či méně nákladově neefektivní.



Obrázek 4: Prahová analýza

Zdroj: [39]

Někteří autoři [37, 41, 42] také někdy hovoří o *one-way sensitivity analysis* jako o *one-at-a-time sensitivity analysis*, což vychází z její definice, že v jednu chvíli je vždy variován pouze jeden parametr.

### 1.4.2 Vícecestná citlivostní analýza

Zatímco jednocestná citlivostní analýza je zaměřena na sledování dopadů variování vždy jednoho parametru v jednom momentě, vícecestná citlivostní analýza (*multi-way sensitivity analysis*, MWSA) umožňuje sledovat dva a více parametrů najednou [39].

Dvoucestná citlivostní analýza (*two-way sensitivity analysis*, TWSA) je nejjednodušší ukázkou MWSA. Jsou v ní zachyceny dva parametry, většinou ty, které jsou v celém modelu považovány za klíčové, a ty jsou následně souběžně variovány napříč jejich rozsahy a jsou zaznamenávány změny ve výstupech. Tyto změny jsou sledovány pro každou kombinaci obou parametrů. Teoreticky bychom mohli získat nekonečně mnoho kombinací, protože je pouze na nás, jak velké či malé intervaly mezi jednotlivými



nastaveními modelů si zvolíme. V praxi však musíme počítat s tím, že i z poměrně malého množství intervalů v rozsahu hodnot parametrů získáme relativně velké množství dat, které pak musíme interpretovat. Vzhledem k možnostem výpočetní techniky by toto nemělo představovat problém, ale jak již bylo zmíněno výše, citlivostní analýza, stejně jako každá jiná analýza, by si měla zachovat určitou míru jednoduchosti a přehlednosti, aby byla snadno srozumitelná nejen pro odborníky v oboru. V případě dvoucestné citlivostní analýzy je vhodné uspořádat výsledky do matice, ve které jsou veškerá data přehledně seskupena. Ukázka takové matice je uvedena níže na obrázku. V oblasti hodnocení zdravotnických technologií se velmi často setkáme při dvoucestných citlivostních analýzách s variováním parametrů jako jsou náklady, efektivita, přínosy, užitek apod. To vychází ze základních studií HTA, kterými jsou nákladové analýzy, mezi které nejčastěji řadíme analýzu nákladové efektivity, analýzu nákladů a přínosů, analýzu nákladů a užitku aj. [1]

		Price of intervention							
		£0	£100	£200	£300	£400	£500	£600	£700
Effectiveness of intervention	0%	Cost saving	£4,662	£7,459	£11,935	£19,096	£30,553	£48,885	£78,215
	5%	Cost saving	£4,200	£6,720	£10,752	£17,203	£27,525	£44,040	£70,464
	10%	Cost saving	£3,780	£6,048	£9,677	£15,483	£24,773	£39,636	£63,418
	15%	Cost saving	£3,402	£5,443	£8,709	£13,935	£22,295	£35,673	£57,076
	20%	Cost saving	£3,062	£4,899	£7,838	£12,541	£20,066	£32,105	£51,368
	25%	Cost saving	£2,756	£4,409	£7,054	£11,287	£18,059	£28,895	£46,232
	30%	Cost saving	£2,480	£3,968	£6,349	£10,158	£16,253	£26,005	£41,608
	35%	Cost saving	£2,232	£3,571	£5,714	£9,142	£14,628	£23,405	£37,448
	40%	Cost saving	£2,009	£3,214	£5,143	£8,228	£13,165	£21,064	£33,703

Obrázek 5: Dvoucestná citlivostní analýza

Zdroj: [39]

Obdobně jako dvoucestná citlivostní analýza může být použit termín **třícestná citlivostní analýza** (three-way sensitivity analysis, TWSA) atd. Musíme však počítat s tím, že jak stoupá počet sledovaných parametrů, stoupá i obtížnost a komplexnost analýzy. To lze ošetřit tím, že použijeme tzv. **extrémní citlivostní analýzu** (extreme sensitivity analysis, ESA). To znamená, že namísto variování parametrů v celém jejich rozsahu hodnot, je budeme variovat pouze v jejich extrémních hodnotách, tedy v hodnotách nejvyšších a nejnižších. Získáme tak méně dat ke zpracování, ale přesto si zachováme představu o *nejhorších a nejlepších* variantách, které by mohly nastat [39].

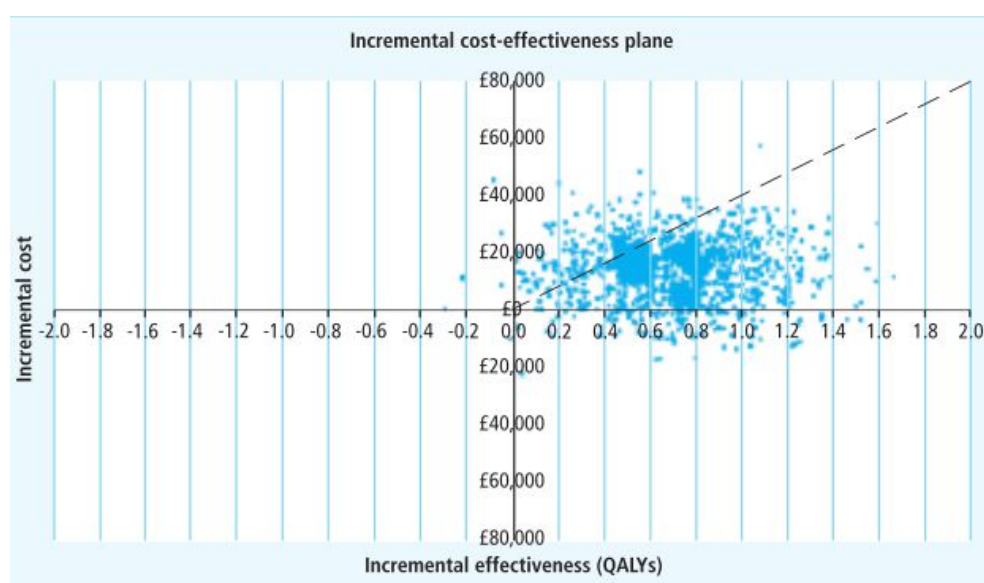
V některých studiích se můžeme setkat i s kombinací použití jednocestné a vícecestné citlivostní analýzy. Příkladem může být studie nákladů a přínosů elektronické zdravotnické dokumentace v primární péči od Wang et al. [43], ve které byla nejdříve provedena jednocestná citlivostní analýza u všech parametrů modelu. Vyhodnocením výsledků bylo identifikováno 5 klíčových parametrů, na které pak byla následně aplikována vícecestná senzitivní analýza.

### 1.4.3 Pravděpodobnostní citlivostní analýza

Zatímco u výše uvedených typů citlivostních analýz je pracováno s tzv. bodovými hodnotami, někdy může být žádoucí, abychom použili pravděpodobnostní citlivostní analýzu (probabilistic sensitivity analysis, PSA), která se na tyto hodnoty dívá poněkud šířeji. Princip je popsán na následujícím příkladu. Pro vypracování naší studie můžeme použít data z jiné, již publikované studie, nejlépe meta-analýzy, ze které se dozvíme, že úspěšnost dané intervence je 60 %. Nicméně v takové studii často najdeme i interval spolehlivosti, který je s uvedenou hodnotou spojený. Například 95% interval spolehlivosti v tomto případě může být stanoven na úspěšnost intervence od 42 % do 77 %. A při realizaci pravděpodobnostní citlivostní analýzy použijeme namísto bodové hodnoty 60 % právě tento interval. Parametrům se v této analýze často nepřisuzuje vlastní hodnota, ale jsou charakterizovány svou distribucí v modelu. Tyto rozsahy jsou charakterizovány [39]:

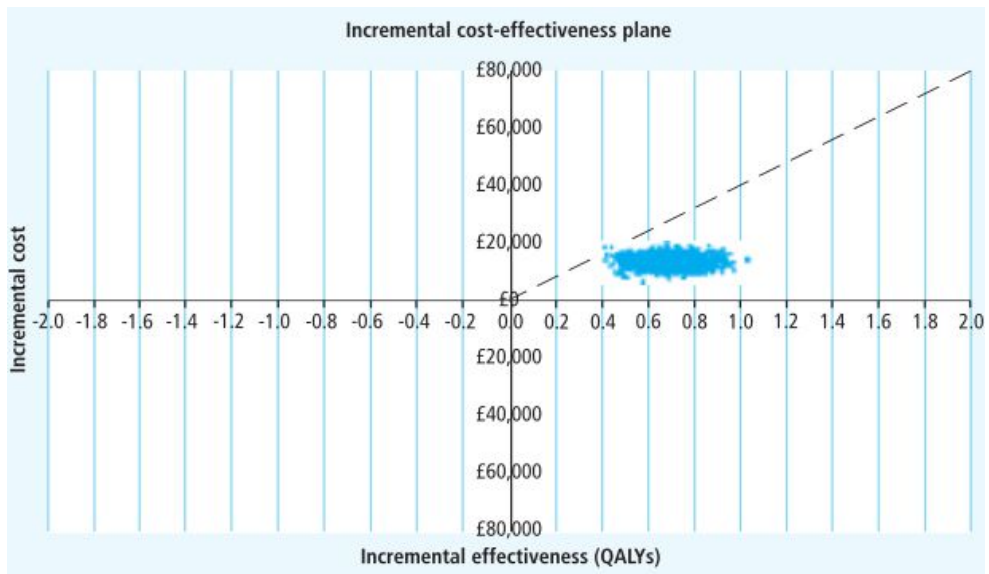
- průměrnou hodnotou,
- směrodatnou odchylkou,
- pravděpodobnostním rozdělením dat (typem distribuce dat).

K této analýze už je zapotřebí software, který umí provést pravděpodobnostní citlivostní analýzu, např. TreeAge nebo CrystalBall. Zde je potom automaticky kontrolováno, že nastavení parametrů může odpovídat skutečnosti. To znamená, že pravděpodobnost bude v rozsahu hodnot od 0 do 1 a nikdy nenabude záporných hodnot. Software pak podle nastavení modelu mnohokrát náhodně simuluje zvolené hodnoty. Každé jednotlivé simulaci se říká *iterace* a těchto iterací se může během provádění jedné citlivostní analýzy provést až několik desítek až stovek tisíc. Výsledky jsou pak většinou prezentovány jako cost-effectiveness scatter plane, který je také uveden na obrázku níže pod textem. V něm jeden každý bod reprezentuje simulované hodnoty a my tak můžeme vidět jejich konzistenci.



Obrázek 6: Cost-effectiveness scatter plane - velká míra nejistoty

Zdroj: [39]



Obrázek 7: Cost-effectiveness scatter plane - malá míra nejistoty

Zdroj: [39]

## 1.5 Praktické využití citlivostních analýz

Citlivostní analýzy jsou ze své podstaty velmi užitečné a využívané v mnoha odvětvích. Zjištění závislosti výsledků na vstupních datech může být klíčové pro řadu rozhodnutí, která musí být učiněna, a tak není překvapující, že se s nimi můžeme setkat napříč téměř všemi vědními odvětvími. Tato kapitola shrnuje jejich běžné i méně časté využití v různých oborech.

První oblastí, ve které se můžeme poměrně často setkat s citlivostními analýzami, jsou studie z oblasti environmentálních věd. Například Ishida et al. [44] se zabývali zdravotní zátěží dětské podvýživy na lidský organismus a celkový vývoj populace (ze socioekonomického pohledu) v souvislosti s různými scénáři změn klimatu. Ve studii byly použity jednotky DALY (disability-adjusted life years), se kterými se také můžeme setkat v HTA, které slouží jako jakýsi protiklad častěji používaného QALY (quality-adjusted life years). Zatímco QALY v sobě zahrnuje časový faktor a kvalitu života (1 QALY = 1 rok života prožitý s nejvyšší kvalitou života), DALY vypovídá především o celkové zátěži daného onemocnění, postižení, zdravotního stavu, nebo předčasné smrti na celou společnost a kvantifikuje tak počet let, které jsou právě kvůli zmíněným příčinám *ztracené*, což představuje možné ztracené přínosy, o které společnost přišla – například vykonaná práce, příspěvky do státního rozpočtu prostřednictvím odvedených daní apod. [1, 45]. Sestavený model byl následně podroben pravděpodobnostní citlivostní analýze o 10 000 iteracích. Možné budoucí klimatické podmínky byly charakterizovány 12 modely nebo scénáři, které byly během citlivostní analýzy simulovány pomocí simulace Monte Carlo, stejně jako další regresní modely a koeficienty. Výsledky studie ukázaly, že počet DALY může v roce 2050 klesnout v rozmezí 28 – 63 % v závislosti na vnějších podmínkách. Nikoliv však v závislosti na klimatických podmínkách (ty mají dle provedené citlivostní analýzy pouze minimální vliv na budoucí zátěž), ale především na socioekonomických. Výsledky studie se v rámci citlivostní analýzy značně lišily především podle geografických oblastí a demografických scénářů. Druhým parametrem, se kterým je ve studii asociována největší nejistota, je regresní model. Nejmenším zdrojem nejistoty jsou, jak již bylo řečeno, globální cirkulační klimatologické modely [44].

Wang et al. [46] zasahuje svou studií do environmentálního prostředí a ekologie prostřednictvím chemie, kdy zkoumá obousměrnou výměnu elementární plynné rtuti na rozhraní vzduch-povrch na základě nejnovějších poznatků o proudění a odporu mezi atmosférou a biosférou. Primární studií bylo zjištěno, že zatímco voda a půda slouží jako čisté zdroje elementární rtuti, vegetace ji naopak vychytává, a tak snižuje její koncentraci v okolí. To dokazují i nižší hodnoty koncentrace rtuti ve vodě a v půdě v letních měsících, protože vegetace je v tomto období bujnější než v zimě, a tak je jí daleko více absorbována. V rámci studie byla provedena citlivostní analýza za účelem zjištění citlivosti na změnu fyzikálních a environmentálních parametrů v modelu. Byl zvolen dvouúrovňový faktoriální design a počet všech variovaných fyzikálních a environmentálních parametrů dosáhl 40. Výsledkem pak bylo zjištění, že největší vliv na koncentraci rtuti mají atmosférický smykový tok, koncentrace rozpuštěné plynné rtuti a teplota vzduchu.

Již mnoho let je diskutována otázka znečištění vzduchu, především pak v souvislosti s klimatickými změnami a výrazným snižováním kvality vdechovaného vzduchu. Studie ukázaly, že takovéto ovlivnění kvality je také úzce asociováno s řadou dalších parametrů, jako jsou například teplota a vlhkost vzduchu, množství srážek, intenzita slunečního záření nebo rychlost větru. Této problematice se věnují také Markakis et al. [47], kteří zvažují různé klimatické scénáře pro pařížské ovzduší ve výhledu první poloviny 21. století. Zvažován je lokální a regionální pohled a právě citlivostní analýza ukázala, že především díky těkavým organickým sloučeninám je nutné rozlišovat měřítka, ve kterých jsou prováděny simulace koncentrace ozonu.

Do klimatologie a meteorologie spadá i další příklad využití citlivostních analýz, a to studie Guo et al. [48], která zkoumá možnosti modelování oblačnosti, především oblaků tzv. stratocumulů a cumulů. V rámci primární studie byla realizována pravděpodobnostní citlivostní analýza za použití tzv. kvazi Monte Carlo metody vzorkování. Výsledky citlivostní analýzy ukázaly, že většinu rozptýlení simulovaných mraků lze vysvětlit počtem variovaných parametrů. Pro stratocumulus byly určeny jako nejpodstatnější ty parametry, které se vztahují k newtonovským a vztakovým zákonitostem, pro cumulus jsou nejvlivnější ty parametry, které jsou spojeny s šikmostí dráhy vertikální rychlosti mraků, což mimo jiné ukazuje na výraznou vazbu mezi vlastnostmi mraků a jejich dynamikou. Výše identifikované parametry jsou v případě stratocumulů velmi citlivé na vertikální rozložení, zatímco u cumulů byla pozorována pouze malá míra senzitivity.

Zhang et al. [49] využili citlivostní analýzu při zjišťování, která z variant výroby biodieselového paliva je nejlepší nejen z ekonomické stránky, ale také z ekologické. V souvislosti se zvětšujícím se tlakem na odpoutání se od fosilních paliv, který je dán především jejich vyčerpatelností, se řada pokrokových výrobců zaměřuje na výrobu tzv. biopaliv. Jedním z nich může být právě bionafta. O tom se poprvé začalo hovořit již v pozdních 80. letech 20. století a dnes je známo několik postupů jeho výroby. Zhang et al. právě hodnotí čtyři nejaktuálnější možnosti výroby bionafty – alkalickým a acidickým katalytickým procesem, výrobou využívající již použitý olej (používaný v kuchyni) anebo olej ještě nepoužitý. Ekonomická výkonnost výroby bionafty je podmíněna znalostí mnoha faktorů, mezi něž můžeme zařadit například výrobní kapacitu závodu, technologické procesy, náklady na výrobní materiál nebo jiné chemikálie a další. Nicméně pro určení ekonomické životaschopnosti je pak nezbytné určit také efekty těchto různých druhů výroby, kterými si však nemůžeme být 100% jisti. Proto byla na výsledky studie aplikována citlivostní analýza, jejíž výsledky mají za úkol také poskytnout další informace právě pro optimalizaci výroby bionafty. Celkem bylo identifikováno 9 parametrů modelu, na které byl použit částečný faktoriální design citlivostní analýzy, který zahrnoval 32 kol simulací. Výsledky pak bylo zjištěno, že největší vliv na ekonomickou výnosnost mají kapacita závodu, cena oleje a konečná cena bionafty, a to u všech zvažovaných technologických postupů výroby bionafty.

S citlivostními analýzami se také můžeme setkat ve výrobním průmyslu, v oblasti kosmonautiky, kdy například Pirk a Souto [50] použili citlivostní analýzu při hledání způsobu implementace akustických materiálů do vesmírné rakety, především kvůli

minimalizaci nežádoucích akusticko-vibračních projevů, které musí být u raketoplánů výrazně redukovány nebo eliminovány.

Další ukázkou využití citlivostních analýz může být studie Nilsson et al. [51], kteří se zabývali konstrukcí větrných turbín pro větrné elektrárny. Cílem studie bylo určit střední hodnoty proudění větru, výroby elektrické energie a tahu, které závisí na výběru aerodynamických dat a geometrii lopat turbíny. Pro analýzu citlivosti geometrie lopat turbíny a aerodynamických charakteristik pro predikci výkonnosti větrných farem byly použity tři různé konfigurace ostří a aerodynamických parametrů, které rozlišovaly tři různé úrovně intenzity turbulencí a změnu vzdálenosti mezi turbínami. Výsledky citlivostní analýzy ukázaly, že tvar lopat turbíny a jejich aerodynamické vlastnosti se nemění jen při velmi malých turbulencích, se kterými se v praxi (v běžných podmínkách v přírodě) téměř nesetkáme. V reálných podmínkách mají tyto parametry jen minimální vliv na množství vyrobené energie.

Levine a Renelt [52] se podrobně zabývali využitím citlivostních analýz už počátkem 90. let 20. století. Předmětem jejich bádání byla ekonomika Spojených států amerických a jejich hrubý domácí produkt. Na základě již existujících studií řešili otázku, zda jsou výsledky jednotlivých studií robustní, nebo naopak citlivé i na mírné změny proměnných. Do svého výzkumu zahrnuli publikované studie z období od roku 1960 až do roku 1989 a v první řadě si všimli, že i když existuje řada odborných příspěvků na toto téma, velká část autorů zvažovala při snaze odhadnout statisticky významný vztah mezi růstem hrubého domácího produktu a konkrétními proměnnými pouze malé množství jednotlivých proměnných. Mnoho autorů se zabývalo vztahem mezi opatřeními fiskální politiky a růstem produktu, ale ignorovali potenciální důležitost obchodní politiky, zatímco jiní autoři se zabývali právě vztahem mezi obchodní politikou a růstem, ale nezohlednili důležitost fiskální politiky. Svou studií se proto snažili zodpovědět otázku, za jak důvěryhodné můžeme považovat výsledky jednotlivých studií. Jejich závěry lze shrnout takto:

- mezi průměrnými mírami růstu a průměrným podílem investic na hrubém domácím produktu existuje výrazná pozitivní korelace,
- mezi podílem investic na hrubém domácím produktu a průměrným podílem obchodu na hrubém domácím produktu existuje výrazná pozitivní korelace,
- stejných výsledků, kterých se dosáhlo při výpočtech s podílem exportu na hrubém domácím produktu, mohlo být dosaženo za využití ukazatele celkového obchodu nebo podílu dovozu (z toho se dá vyvodit závěr, že využití exportu jako jednoho z indikátorů by se nemělo interpretovat jako cesta k nalezení vztahů mezi růstem a exportem jako takovým, ale spíše jako způsob vyjádření závislosti mezi růstem a obchodem obecně),
- velké množství opatření obchodní politiky nebylo výrazně korelováno s mírou růstu v případech, kdy byl do modelu zahrnut podíl investic,
- existuje relativně výrazná podpora pro tuto podmíněnou hypotézu: existuje robustní negativní korelace mezi původní úrovní příjmů a růstem v letech 1960 až 1989 v případech, že modely zahrnují vyšší původní úroveň investic do lidského kapitálu (tyto výsledky však neplatí pro období 1974 až 1989),

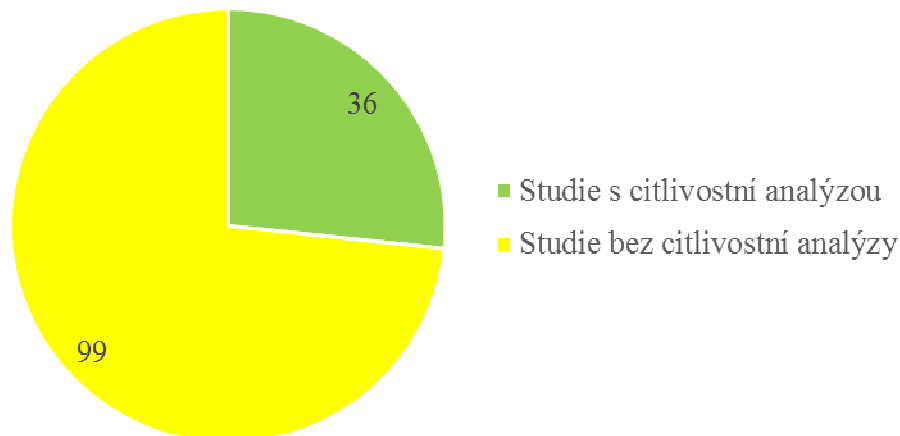
- žádný z široké palety fiskálních indikátorů není významněji korelován s růstem nebo podílem investic,
- všechny ostatní politické a ekonomické indikátory nejsou výrazně korelovány s růstem nebo podílem investic.

Transformací důchodových systémů některých evropských zemí, především Itálie a Švédska, v 90. letech 20. století se zabývali Nistico a Bevilacqua [53]. V těchto zemích došlo k výrazným změnám, které spočívaly v přesném určení toho, jaké příspěvky budou účastníci systému odvádět při zachování průběžného systému (pay-as-you-go system). V této studii je řešen faktor průběhu profesního života účastníka systému, kdy autoři zvažovali tři možné varianty: konkrétní účastník systému může mít vyšší než průměrný, stejný jako průměrný anebo nižší než průměrný růst mezd v porovnání s průměrným vývojem mezd v systému. Dopady těchto různých variant byly následně podrobeny citlivostní analýze, která měla za úkol zjistit největší citlivost k různým scénářům, ve kterých byly zvažovány délka profesního života, věková hranice odchodu do důchodu a běžná míra výnosu na všech individuálních účtech účastníků systému. Výsledky citlivostní analýzy říkají, že ačkoliv je zvyšování věkové hranice odchodu do důchodu nejefektivnější strategií, jak se vyrovnat s negativními důsledky zvyšující se délky dožití obyvatel na výši penzí, je nepopíratelnou skutečností, že veřejnost tento postup (tedy zvyšování věkové hranice pro odchod do důchodu) přijímá velmi negativně.

Pro využití citlivostních analýz v socioekonomických studiích hovoří Ligmann-Zielinska et al. [54], kteří vyzdvihují především využití jednocestné citlivostní analýzy. Považují ji za nepoužívanější citlivostní analýzu v oblasti socioekonomických studií, především kvůli její jednoduchosti a snadnosti vysledování změn ve výstupech asociovaných s jednotlivými parametry [55, 56]. Zároveň jsou si však vědomi jejích limitů, které spočívají především v problematickém výběru variovaného parametru, pokud nechceme variovat všechny. Dále uvádí jako značné omezení v přínosech jednocestné citlivostní analýzy absenci možnosti sledovat změny v primárních výsledcích v okamžiku, kdy by byly variovány dva a více parametrů zároveň. K tomu je nutné vzpomenout i na fakt, že jednocestná citlivostní analýza předpokládá pouze lineární vztah mezi vstupy a výstupy modelu [54].

## 1.6 Praktické využití citlivostních analýz ve zdravotnictví

I přes doporučení řady institucí a autorů, která jsou zmíněna i v předcházejících kapitolách, se citlivostní analýzy stále běžně nevyskytují jako jejich automatická součást. Vypovídá o tom i studie Thabane et al. [28], ve které jsou sledovány studie z oblasti hodnocení zdravotnických technologií a příbuzných oborů. Na obrázku níže můžeme vidět, že pouze 26 % publikovaných studií obsahovalo citlivostní analýzu.

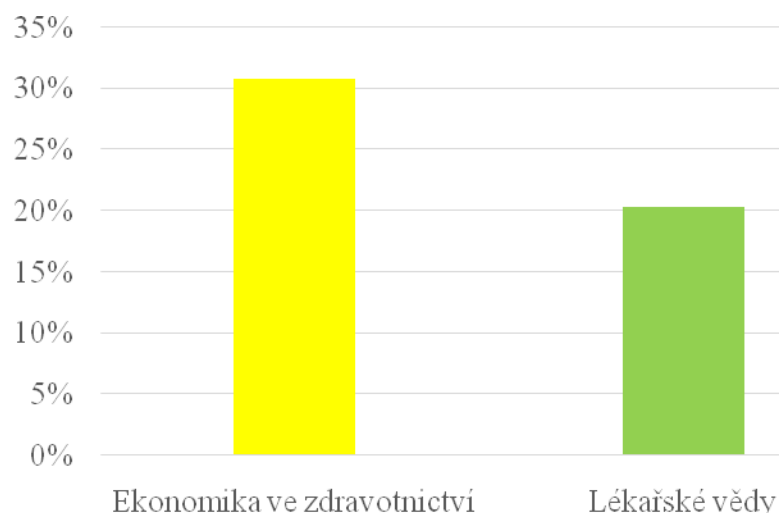


Obrázek 8: Studie obsahující citlivostní analýzu

*Zdroj: vlastní zpracování dat z [28]*

Pokud bychom porovnali studie z oblasti ekonomiky ve zdravotnictví (Pharmacoeconomics, Medical Decision Making, European Journal of Health Economics, Health Economics a Journal of Health Economics) a časopisy zaměřené více přímo lékařské vědy (British Medical Journal, New England Journal of Medicine, Lancet, Journal of the American Medical Association a Canadian Medical Association Journal), můžeme vidět, že v implementaci citlivostních analýz si lépe vedou ekonomičtější zaměřená periodika, nicméně stále se jedná pouze o jednu třetinu studií. Nejčastěji se můžeme setkat s citlivostní analýzou u studií, které se zabývají nákladovou efektivitou (cost-effectiveness analysis, CEA), analýzou nákladů a užitku (cost-utility analysis, CUA) nebo analýzou dopadů na rozpočet (budget impact analysis, BIA).





**Obrázek 9: Srovnání využití citlivostních analýz v různých vědních oborech**

*Zdroj: vlastní zpracování dat z [28]*

I přes výše uvedená, citlivostním analýzám ne příliš lichotivá čísla, můžeme ve zdravotnictví nalézt řadu příkladů jejich využití. Průřez možnostmi jejich implementace do studií je uveden dále v této kapitole.

Steenland a Greenland [57] popsali možnost využití pravděpodobnostních citlivostních analýz v epidemiologii na příkladu studie, která se zabývala výskytem rakoviny plic ve spojitosti s expozicí křemenu, který je v současnosti klasifikován jako karcinogenní látka. V realizované kohortové studii byla analyzována data od 4 626 jedinců, kteří byli v rozmezí let 1950 a 1996 vystaveni po dobu minimálně 9 let relativně vysoké expozici křemene. Výsledky interpretované pomocí intervalů spolehlivosti však nerefletovaly veškerou nejistotu spojenou se studií, a tak kvůli klasifikovatelnosti a kvantifikovatelnosti nejistoty byla použita pravděpodobnostní citlivostní analýza. Dalším důvodem pro její použití byl fakt, že zde bylo nutné zabránit výraznému bias výsledků díky kuřáctví nebo nekuřáctví jedinců zahrnutých do studie. Původní výsledky tento parametr nezohledňovali, avšak vzhledem k předmětu studie – výskytu rakoviny plic v souvislosti s expozicí křemenu – a výrazné spojitosti výskytu rakoviny plic a kuřáctví je nutné vzít v potaz také tento parametr, což zde zohlednila právě pravděpodobnostní citlivostní analýza. Takovéto kvantitativní vyjádření pravděpodobnosti pro specifikování parametrů daného modelu je daleko realističtějším obrazem skutečnosti a může tedy také poskytnout daleko přesnější charakteristiky nejistoty [58]. Musíme však vzít v potaz, že citlivostní analýza může pomoci při zamezení vzniku bias, ale mnohdy může být i problém jenom rozpoznat veškeré parametry, kterou jsou bias přímo ohroženy (případně ohroženy ve větší míře než parametry ostatní) [59]. Běžné citlivostní analýzy mohou být, jako v tomto případě, nahrazeny pro větší výtěžnost pravděpodobnostními citlivostními analýzami, u kterých musíme sice neznámé vstupní parametry vždy charakterizovat určitými pravděpodobnostními vlastnostmi, ale oproti deterministickým citlivostním analýzám u nich můžeme opakovaně odhadovat výsledky, které pak díky tomuto budou daleko přesnější. Autoři studie zde proto vyslovují přání, aby byly právě

pravděpodobnostní citlivostní analýzy častěji používány v epidemiologických studiích pro explicitní vyjádření nejistoty a kvantifikování jejích zdrojů [57].

Williams et al. [30] použili jednocestnou citlivostní analýzu ve své analýze nákladů a užítku léčby subakutní bolesti zad na osteopatické klinice. Předmět této studie byl vybrán vzhledem k tomu, že se jedná o jednu z velmi frekventovaných diagnóz, s jejichž léčbou jsou pak spojeny relativně velké finanční náklady. V závěru studie byla realizována jednocestná citlivostní analýza u tří parametrů modelu, které byly předem autory vytipovány jako parametry, které mohou mít zásadní vliv na konečné výsledky studie. Citlivostní analýza poukázala na nedostatečnou robustnost výsledných dat a velkou tendenci k citlivosti na náhodné chyby. Byl proto doporučen další sběr dat pro realizaci další studie.

Liu et al. [60] vypracovali metaanalýzu zkoumající závislost výskytu post-transplantační rakoviny v oblasti hlavy a krku u pacientů po transplantaci jater. Autoři našli v prvním kole výběru vědeckých artiklů 964 zdrojů, ve kterých byly informace o dohromady 56 507 pacientech. Pro vlastní metaanalýzu bylo však vhodných pouze 10 studií, ze kterých byl vyvozen závěr, že pacienti po transplantaci jater jsou skutečně ohroženi větším rizikem onemocnění rakovinou oblasti hlavy a krku. Zpracovávaná data a především pak výsledky studie byly podrobeny testu heterogenity, citlivostní analýze a zkrácením výsledků publikováním jednotlivých studií. Pro realizaci citlivostní analýzy byla vybrána jednocestná citlivostní analýza, která měla zhodnotit vliv každé jedné zahrnuté analýzy na celkové výsledky. Toho bylo dosaženo tak, že postupně byla vždy jedna studie vyjmuta z množiny definitivně vybraných studií a autoři sledovali, jak se změnila celkové výsledky. Během této jednocestné citlivostní analýzy tak nebyl sledován jeden parametr, ale vliv celé studie na konečné výsledky. Výsledek citlivostní analýzy byl takový, že žádná jednotlivá studie neměla významný vliv na celkové výsledky, což naznačuje velikou spolehlivost dat z vybraných studií pro metaanalýzu.

Di Pascoli et al. [61] publikovali analýzu nákladové efektivity používání beta blokátorů nebo endoskopického zákroku u pacientů s cirhózou jater a *mírnými* jícnovými varixy. Autoři zvolili k výpočtu nákladové efektivity stochastickou analýzu založenou na rozhodovacích stromech, díky čemuž pak snadno mohli aplikovat na výsledky pravděpodobnostní citlivostní analýzy. Vytvořili rozhodovací model pro dvě různé strategie, které mohli postupovat podle několika možných scénářů. Jednotlivé scénáře byly pravděpodobnostně charakterizovány a bylo realizováno 800 000 simulací jednotlivých rozhodování. Pro zhodnocení dopadů variability těchto jednotlivých výsledků byla provedena pravděpodobnostní analýza. Citlivostní analýza jasně ukázala robustnost výsledků, která byla hodnocena na základě 100 000 vzorků samplovaných ze všech možných strategií a scénářů původně sestavených rozhodovacích stromů.

Wang et al. [62] publikovali metaanalýzu zabývající se terapií infekce *Helicobacterem pylori*. Tato metaanalýza měla za cíl zhodnotit úspěšnost a bezpečnost standardně používaných postupů při léčbě této infekce a *nových postupů*, k čemuž bylo vybráno celkem 49 studií vyhovujících stanoveným kritériím pro zahrnutí do metaanalýzy. Kumulativní metaanalýza pak byla doplněna citlivostní analýzou. Citlivostní analýza identifikovala jednu vybranou studii, která byla zahrnuta do metaanalýzy, na kterou byly

velmi senzitivní celkové výsledky studie. Autoři ji tak na základě citlivostní analýzy vyloučili z vybraných studií, protože díky ní docházelo ke značnému zkreslení výsledků.

Zwerling et al. [63] vytvořili strukturovaný přehled modelování nových diagnostických strategií pro tuberkulózu, který se zabýval především přehledem současných praktik a doporučení pro praxi do budoucna. Tento artikel si kladl za cíl poskytnout přehledné informace o nákladové efektivitě a epidemiologických dopadech diagnostiky aktivní tuberkulózy. Získaná data by měla být podkladem pro rozhodování v této oblasti, především pro možnosti dlouhodobého plánování a přerozdělování finančních prostředků. Z celkové počtu 5 619 nalezených záznamů bylo vybráno 36 artiklů, na základě kterých byl vytvořen tento přehled. U všech studií, které byly vybrány, byly sledovány citlivostní analýzy, které byly realizovány u všech studií separátně. Nejčastěji se jednalo o jednocestnou nebo dvoucestnou citlivostní analýzu, jen výjimečně byla použita vícecestná citlivostní analýza, pravděpodobnostní analýza nikoliv.

Výše uvedené příklady použití citlivostních analýz ve zdravotnictví jsou shrnuty v níže uvedené Tabulka 2.

Tabulka 2: Využití citlivostní analýz ve zdravotnictví

Číselná reference	Autor	Název studie	Předmět studie	Použitá citlivostní analýza	Závěr studie
[64]	Ekwueme et al.	Cost analysis of screening for, diagnosing, and staging prostate cancer based on a systematic review of published studies.	Analýza je zaměřena na výpočet nákladů na zdroje potřebné pro screening, diagnostiku a staging rakoviny prostaty. Stanovené náklady pro Spojené státy americké jsou pak porovnány s jinými průmyslovými zeměmi.	Vícecestná citlivostní analýza	Citlivostní analýza neodhalila výraznou citlivost výsledků na některé parametry modelu a můžeme tak vyhodnotit výsledky studie jako robustní.
[65]	Marston et al.	Cost analysis of the development and implementation of a spatial decision support system for malaria elimination in Solomon Islands.	Studie analyzující náklady na eliminaci malárie na Šalamounových ostrovech.	Jednocestná citlivostní analýza	Citlivostní analýza identifikovala náklady, které je možné ušetřit a snížit tak požadavky na rozpočet na eliminaci malárie.
[66]	Jensen et al.	In Denmark kidney transplantation is more cost-effective than dialysis.	Studie porovnává nákladovou efektivitu transplantace ledvin a dialýzy.	Pravděpodobnostní citlivostní analýza	Výsledky studie jsou dostatečně robustní a nedojde k výrazné změně výsledků při variování dílčích parametrů modelu.
[57]	Steenland, Greenland	Monte Carlo sensitivity analysis and Bayesian analysis of smoking as an unmeasured confounder in a study of silica and lung	Kvantifikace neznámého stupně nejistoty ohledně vlivu kouření ve studii zabývající se vlivem expozice křemene na osoby u nichž následně vznikla rakovina plic nebo	Pravděpodobnostní citlivostní analýza	Pravděpodobnostní citlivostní analýza by měla být součástí všech epidemiologických studií.

		cancer.	jiné onemocnění.		
[30]	Williams et al.	Cost-utility analysis of osteopathy in primary care: Results from a pragmatic randomized controlled trial.	Analýza nákladů a užítku léčby subakutní bolesti zad na osteopatické klinice.	Jednocestná citlivostní analýza	Celkové výsledky studie nejsou dostatečně robustní a mohou být ovlivněny náhodnými chybami.
[60]	Liu et al.	Increased incidence of head and neck cancer in liver transplant recipients: a meta-analysis.	Metaanalýza závislosti výskytu rakoviny v oblasti hlavy a krku u pacientů po transplantaci jater.	Jednocestná citlivostní analýza	Žádná jednotlivá studie nemá výrazný vliv na celkové výsledky studie, můžeme tedy říci, že vybrané studie pro metaanalýzu jsou spolehlivé a její výsledky robustní.
[61]	Di Pascoli et al.	Cost-effectiveness analysis of beta-blockers vs endoscopic surveillance in patients with cirrhosis and small varices.	Analýza nákladové efektivity používání beta blokátorů a endoskopické intervence u pacientů s cirhózou jater a mírnými jícnovými varixy.	Pravděpodobnostní citlivostní analýza	Výsledky studie byly podrobeny citlivostní analýze sámplováním 100 000 vzorků ze simulovaných dat a byla tak zjištěna robustnost výsledků analýzy nákladové efektivity.
[62]	Wang et al.	Standard triple therapy for Helicobacter pylori infection in China: A meta-analysis.	Metaanalýza hodnotící úspěšnost a bezpečnost možných terapií infekce Helicobacterem pylori.	Jednocestná citlivostní analýza	Citlivostní analýza odhalila jednu studii, na kterou byly velmi citlivé konečné výsledky metaanalýzy, a proto byla vyřazena z vybraných studií.

[63]	Zwerling et al.	Modeling of Novel Diagnostic Strategies for Active Tuberculosis – A Systematic Review: Current Practices and Recommendations.	Strukturovaný přehled literatury hodnotící nákladovou efektivitu a epidemiologické dopady diagnostiky aktivní tuberkulózy.	Jednocestná citlivostní analýza Dvoucestná citlivostní analýza	<i>dílčí výsledky u jednotlivých zahrnutých studií</i>
[67]	Hutchings et al.	Estimating the budget impact of orphan drugs in Sweden and France 2013-2020.	Studie předpovídající potřebné výdaje na tzv. <i>orphan</i> léky v Evropě se zohledněním dopadů na zdravotní systém Švédska a Francie.	Jednocestná citlivostní analýza	Sensitivní analýza potvrdila, že výsledky jsou dostatečně robustní.

*Zdroj: Vlastní zpracování dat*

## 2 Metody

Metody citlivostních analýz mohou být klasifikovány na základě mnohých parametrů. Asi nejjednodušší členění je na základě toho, zda se jedná o deterministické postupy, anebo o postupy stochastické, jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2. Frey a Patil [68] pak uvádí například členění na citlivostní analýzy (1) matematické, (2) statistické a (3) grafické.

*Matematické metody citlivostních analýz* hodnotí citlivost výstupů modelu na kolísání jednoho nebo několika vstupních parametrů v rámci daného rozsahu. Klíčový je zde rozsah možné odchylky parametru - tyto metody neadresují změny výstupů vzhledem ke vstupům, ale mohou hodnotit dopady rozsahů odchylky vstupních dat. Mohou být také používány pro hledání nejdůležitějších vstupů modelu, verifikaci a validaci [69–72].

*Statistické metody citlivostních analýz* zahrnují provádění simulací, ve kterých jsou vstupním datům přiřazeny pravděpodobnostní distribuce a hodnocení výstupů a citlivosti modelu tak probíhá na základě pravděpodobnostních rozdělení na rozdíl od deterministického určení odchylky v případě matematických metod. Tímto způsobem může být, podle druhu použité citlivostní analýzy, variován jeden i více parametrů najednou a může tak být i sledována interakce změn několika parametrů v jednom čase. Se statistickými metodami se pak úzce pojí simulace Monte Carlo, různé metody vzorkování dat, různé techniky vyhodnocení senzitivity modelu, regresní analýza, analýza rozptylu a další [68, 73, 74].

*Grafické metody citlivostních analýz* představují vizuální reprezentaci citlivostních analýz ve formě grafů, tabulek aj. Tyto metody mohou být také použity jako screeningové metody k vyjádření komplexních závislostí mezi některými vstupy a výstupy před prováděním dalších analýz. V praxi většinou doplňují matematické a statické metody [75, 76].

### 2.1 Citlivostní analýza

Matematicky můžeme definovat citlivostní analýzu podle Borgonovo a Plischke [77] následujícím způsobem. Model posuzuje vztahy mezi vstupy a výstupy, přičemž výstupy jsou kvantifikováním zájmu pro ty, co následně rozhodují. Řekněme, že máme  $n$  vstupních parametrů a  $D$  výstupů modelu. Označíme je  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  a  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_D\}$ . Poté tedy můžeme napsat:

$$y = g(x) \quad (1)$$

kde  $g: X \rightarrow Y$ ,  $X \subseteq \mathbb{R}^n$  a  $Y \subseteq \mathbb{R}^D$ .  $X$  zde pak můžeme nazývat *vstupním prostorem*. Pro  $x$  a  $y$  potom existuje řada alternativních názvů v závislosti na oboru, ve kterém se s těmito daty pracuje. Například v ekonomii jsou nazývány exogenní a endogenní proměnné,

v inženýrství bývá  $\mathbf{x}$  nazýváno vektor parametrů, ve statistice pak jako faktor nebo proměnná.

## 2.2 Deterministická citlivostní analýza

Nejjednodušším způsobem, kterým můžeme zjistit, zda jsou data citlivá nebo robustní, je jednocestná citlivostní analýza, nazývána někdy také jako *one-at-a-time* analýza (OAT). Tuto analýzu můžeme vyjádřit následujícím způsobem (podle [77]). Nejprve si musíme označit *základnu vstupních dat*  $\mathbf{x}^0$ , někdy také nazývanou jako *referenční hodnota*, a *citlivost vstupních parametrů modelu*  $\mathbf{x}^+$ . Odpovídající vektor změn vstupů modelu je pak definován:

$$\Delta^+ = \mathbf{x}^+ - \mathbf{x}^0 = (\Delta^+x_1, \Delta^+x_2, \dots, \Delta^+x_n). \quad (2)$$

Citlivostní analýza je na modelu vypočítána variováním jednoho vstupního parametru v daném čase z referenční hodnoty  $\mathbf{x}^0$  na citlivostní hodnotu  $\mathbf{x}^+$ . Měření je pak kvantifikováno jako:

$$\Delta_i^+ y = g(x_i + \Delta x_i^+, x_{-i}^0) - g(x^0) \quad (3)$$

kde platí, že  $(x_i + \Delta x_i^+, x_{-i}^0)$  je bod obsažený v oblasti  $X$  odpovídající posunutí  $x_i$  k citlivostní hodnotě  $\mathbf{x}^+$ . Z obecného hlediska tedy můžeme říci, že  $\Delta_i^+ y$  jsou konečné změny v  $y$  vyvolané jednotlivými změnami ve vstupních parametrech.

Jak již bylo řečeno dříve (kapitola 1.4.1), modifikování referenční hodnoty  $\mathbf{x}^0$  na citlivostní hodnotu  $\mathbf{x}^+$  se často provádí o  $\pm 10\%$  nebo o  $\pm 20\%$ , Hamby [78] však považuje za vhodnější měnit o  $\pm$  směrodatnou odchylku, což dle autora činí citlivostní analýzu přínosnější.

## 2.3 Pravděpodobnostní citlivostní analýza

Při aplikování pravděpodobnostní citlivostní analýzy předpokládáme, že máme k dispozici informace o pravděpodobnostním rozdělení vstupních dat, ať už s nějakými korelacemi nebo bez. V takovém případě můžeme zavést pojem *pravděpodobnostní prostor*  $(X, \mathcal{B}(X), \mathbb{P}_x)$ , kde  $\mathbb{P}_x$  je právě pravděpodobnostní distribuce vstupních parametrů, která je tak asociována s výše zmíněným *vstupním prostorem*  $X$ . Vstupní parametry se tak stávají náhodným vektorem, který je označen  $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ , tedy  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  pak popisuje jednu z možných realizací parametru.  $F_x(\mathbf{x})$  popisuje kumulovanou distribuční funkci vstupních parametrů modelu a pokud jsou všechny vstupní parametry absolutně spojité,  $f_x(\mathbf{x})$  popisuje hustotu pravděpodobnosti.  $F_{x_i}(x_i)$  a  $f_{x_i}(x_i)$  tedy popisují odpovídající marginální kumulativní distribuční funkci a hustotu. Směrodatnou odchylku



vstupního parametru modelu  $X_i$  pak můžeme označit  $\sigma_i$ . Pokud jsou všechny vstupní parametry nezávislé, můžeme jejich distribuci rozepsat pomocí rovnice:

$$F_X(x) = \prod_{i=1}^n F_i(x_i). \quad (4)$$

Nejistota související se vstupními parametry činí  $y$  náhodnou proměnnou, kterou můžeme zapsat jako  $Y = g(X)$  a jejíž distribuci můžeme získat pomocí  $X$  a to díky rovnici:

$$F_Y(\cdot) = F_X(g^{-1}(\cdot)). \quad (5)$$

Obdobně jako u  $X$ , i  $Y$  můžeme popsat kumulovanou distribuční funkcí  $F_Y(y)$  a v případě spojitých parametrů popisujeme hustotu  $f_Y(y)$ . Směrodatnou odchylku označíme  $\sigma_Y$ . Nicméně ve většině případů nemáme k dispozici veškerá potřebná data, a tak je zapotřebí použít simulaci Monte Carlo. Během ní dojde ke generování náhodného vzorku o velikosti  $N \times n$ , který odpovídá distribuci vstupních dat a vyhodnotí výstupy modelu ve shodě s každou realizací  $X$ . Získáme tak vzorek o velikosti  $N \times D$ , který reprezentuje  $N$  realizací výstupů modelu. Pomocí tohoto vzorku je možné získat empirickou kumulativní distribuční funkci výstupů modelu [77, 79].

Pro výpočet pravděpodobnostní citlivostní analýzy bylo navrženo mnoho postupů, mezi nejčastěji používané patří především neparametrické metody, metody založené na rozptylu dat, na nezávislosti dat, na hodnotách informací a na simulaci Monte Carlo [80–84].

### 3 Případová studie

V této části práce bude uvedena případová studie z oblasti hodnocení zdravotnických přístrojů, na kterou budou aplikovány různé citlivostní analýzy. Na základě výsledků těchto analýz pak bude vyhodnoceno používání citlivostních analýz ve studiích HTA zabývajících se přístrojovou technikou.

Studie, na níž bude aplikována citlivostní analýza, je zaměřena na hodnocení plicních ventilátorů [85]. Byly porovnávány čtyři přístroje umělé plicní ventilace za účelem výběru toho nejlepšího k nákupu na anesteziologicko-resuscitační oddělení Nemocnice České Budějovice. Tato studie primárně vznikla za účelem ilustrování použití různých metod hodnotového inženýrství pro stanovení vah kritérií u multikriteriálního rozhodování jakožto vhodného nástroje pro stanovení efektu přístroje při počítání analýzy nákladové efektivity. Bylo zde tedy použito několik metod hodnotového inženýrství i několik postupů multikriteriálního hodnocení, nicméně citlivostní analýza zde bude aplikována pouze na Saatyho matici v kombinaci s metodou TOPSIS, která dle celkových výsledků studie minimalizuje potenciální chyby hodnotitelů.

Jak již bylo řečeno, ve studii byly pro nákup zvažovány čtyři přístroje:

- Evita 4 (Dräger),
- Evita XL (Dräger),
- Galileo (Hamilton),
- Avea (Cheiron),

kteřé byly zahrnuty do výběru na základě splnění parametrů zadávací dokumentace nákupu plicních ventilátorů. Výběr těchto přístrojů byl závislý na splnění:

- medicínského účelu přístroje,
- ventilačních parametrů,
- monitorovacích možností přístroje a
- dalších požadavků na specifikaci.

U vybraných přístrojů pak bylo nezbytné určit ty parametry, které jsou zásadní pro stanovení efektu přístroje, nikoliv jen pro zahrnutí přístrojů do studie. Jedná se o vstupní parametry studie, které jsou pak výchozími parametry pro citlivostní analýzu, která zde bude aplikována. Přehled těchto parametrů i s jejich hodnotami je uveden níže v Tabulka 3 a Tabulka 4.

**Tabulka 3: Ceny plicních ventilátorů**

	Pořizovací cena (Kč)	Cena spotřebního materiálu (Kč)	Cena náhradních dílů (Kč)	Cena servisu (Kč)
Evita 4 (Dräger)	697 777	19 590	9 468	7 400
Evita XL (Dräger)	1 100 000	19 590	9 468	7 400
Galileo (Hamilton)	742 940	13 840	5 800	5 300
Avea (Cheirón)	719 755	8 400	7 500	4 300

**Tabulka 4: Technické parametry plicních ventilátorů**

	Rozměry přístroje (cm <sup>3</sup> )	Možnost propojení s klinickým informačním systémem	Hmotnost přístroje (kg)
Evita 4 (Dräger)	243 897	0	32
Evita XL (Dräger)	226 606	1	42
Galileo (Hamilton)	180 377	1	44
Avea (Cheirón)	156 406	1	36

Důvody pro zahrnutí a výběr těchto parametrů jsou detailně popsány v původní studii [85] a zde proto nebudou dále diskutovány.

Pro stanovení efektu přístroje je nejprve nutné určit váhu jednotlivých parametrů. Tuto váhu určila skupina odborníků na daném oddělení, kteří i ve spolupráci se zástupci oddělení z řad lékařů, sester, ale například i ekonomem oddělení určili formou brainstormingu váhy jednotlivých kritérií. Pro účely této práce bude nadále počítáno pouze s váhami kritérií, které byly zpracovány Saatyho metodou, která nejen že umožňuje vzájemně porovnávat jednotlivá kritéria, ale také dokáže kvantifikovat, o kolik je jedno hodnocené kritérium důležitější než druhé. Výsledné váhy kritérií Saatyho matice jsou uvedeny v následující Tabulka 5.

**Tabulka 5: Váhy kritérií**

Kritérium	Váha kritéria
Cena spotřebního materiálu	0,183
Cena náhradních dílů	0,183
Cena servisu	0,183
Rozměry přístroje	0,035
Možnost propojení s KIS	0,396
Hmotnost přístroje	0,021

Zde je důležité zdůraznit potřebu aplikování citlivostní analýzy, protože váha kritéria je zásadní pro další výpočty studie a k jejímu stanovení dochází na základě hodnocení odborníků, pro jejichž výběr však v dnešní době neexistují jednotné postupy, a tak může dojít i k nevědomému subjektivizování studie, což je problematika, která obecně

přesahuje rámec této práce. Je obtížné říci, kdo je odborník, co je kritériem pro jeho určení a prakticky nikdy nemůžeme vyloučit jeho čistě subjektivní ovlivnění hodnocení. Proto bychom vždy měli mít představu o tom, k jakým změnám na výstupech studie může dojít v případě, že by se vstupní data pohybovala v jiných hodnotách, a proto je vhodné aplikovat citlivostní analýzu.

Pro multikriteriální hodnocení je zde zvažována metoda TOPSIS, která minimalizuje vzdálenosti od ideální varianty a maximalizuje vzdálenosti od varianty bazální. Vstupní data, která jsou uvedena výše v Tabulka 3 a Tabulka 4 musela být nejprve převedena na maximalizační nebo minimalizační povahu, aby s nimi mohlo být nadále počítáno stejným způsobem. Zde byla vybrána maximalizační povaha a výchozí hodnoty pro multikriteriální hodnocení jsou shrnuty v Tabulka 6, normalizovaná a vážená kritériální matice pro metodu TOPSIS jsou pak uvedeny v Tabulka 7 a Tabulka 8.

**Tabulka 6: Výchozí hodnoty pro multikriteriální hodnocení**

	Cena spotřebního materiálu	Cena náhradních dílů	Cena servisu	Rozměry přístroje	Možnost propojení s KIS	Hmotnost přístroje
Evita 4 (Dräger)	-19 590	-9 468	-7 400	-243 897	0	-32
Evita XL (Dräger)	-19 590	-9 468	-7 400	-226 606	1	-42
Galileo (Hamilton)	-13 840	-5 800	-5 300	-180 377	1	-44
Avea (Cheirón)	-8 400	-7 500	-4 300	-156 406	1	-36

**Tabulka 7: Normalizovaná kritériální matice**

	Cena spotřebního materiálu	Cena náhradních dílů	Cena servisu	Rozměry přístroje	Možnost propojení s KIS	Hmotnost přístroje
Evita 4 (Dräger)	-0,611	-0,577	-0,592	-0,595	0,000	-0,419
Evita XL (Dräger)	-0,611	-0,577	-0,592	-0,553	0,577	-0,540
Galileo (Hamilton)	-0,431	-0,354	-0,424	-0,440	0,577	-0,564
Avea (Cheirón)	-0,262	-0,457	-0,344	-0,382	0,577	-0,463

**Tabulka 8: Vážená kritériální matice**

	Cena spotřebního materiálu	Cena náhradních dílů	Cena servisu	Rozměry přístroje	Možnost propojení s KIS	Hmotnost přístroje
Evita 4 (Dräger)	-0,112	-0,105	-0,108	-0,021	0,000	-0,009
Evita XL (Dräger)	-0,112	-0,105	-0,108	-0,019	0,229	-0,011

Galileo (Hamilton)	-0,079	-0,065	-0,077	-0,015	0,229	-0,012
Avea (Cheirón)	-0,048	-0,084	-0,063	-0,013	0,229	-0,010
Ideální hodnoty	-0,048	-0,065	-0,063	-0,013	0,229	-0,009
Bazální hodnoty	-0,112	-0,105	-0,108	-0,021	0,000	-0,012

Celkový efekt je pak metodou TOPSIS vypočítán pomocí vzdáleností variant od bazálních a ideálních hodnot, výsledky jsou uvedeny v následující Tabulka 9.

**Tabulka 9: Výsledné efekty plicních ventilátorů**

	Vzdálenost variant od ideálních hodnot	Vzdálenost variant od bazálních hodnot	Výsledek	Výsledné pořadí
Evita 4 (Dräger)	0,245	0,003	0,012	4
Evita XL (Dräger)	0,088	0,229	0,721	3
Galileo (Hamilton)	0,034	0,237	0,873	2
Avea (Cheirón)	0,019	0,243	0,928	1

O výběru přístroje nakonec rozhodla analýza nákladové efektivity, která počítala s výše zjištěným efektem a pořizovací cenou přístroje. Jako nejlépe hodnocený přístroj nakonec vyšel plicní ventilátor Avea firmy Cheirón. Kompletní výsledky ekonomické analýzy jsou uvedeny níže v Tabulka 10.

**Tabulka 10: Analýza nákladové efektivity**

	Analýza nákladové efektivity	
	Efekt / Cena	Cena / Efekt
Evita 4 (Dräger)	1,759E-08	56 860 975
Evita XL (Dräger)	6,551E-07	1 526 428
Galileo (Hamilton)	1,175E-06	851 041
Avea (Cheirón)	1,289E-06	775 728

### 3.1.1 Jednocestná citlivostní analýza

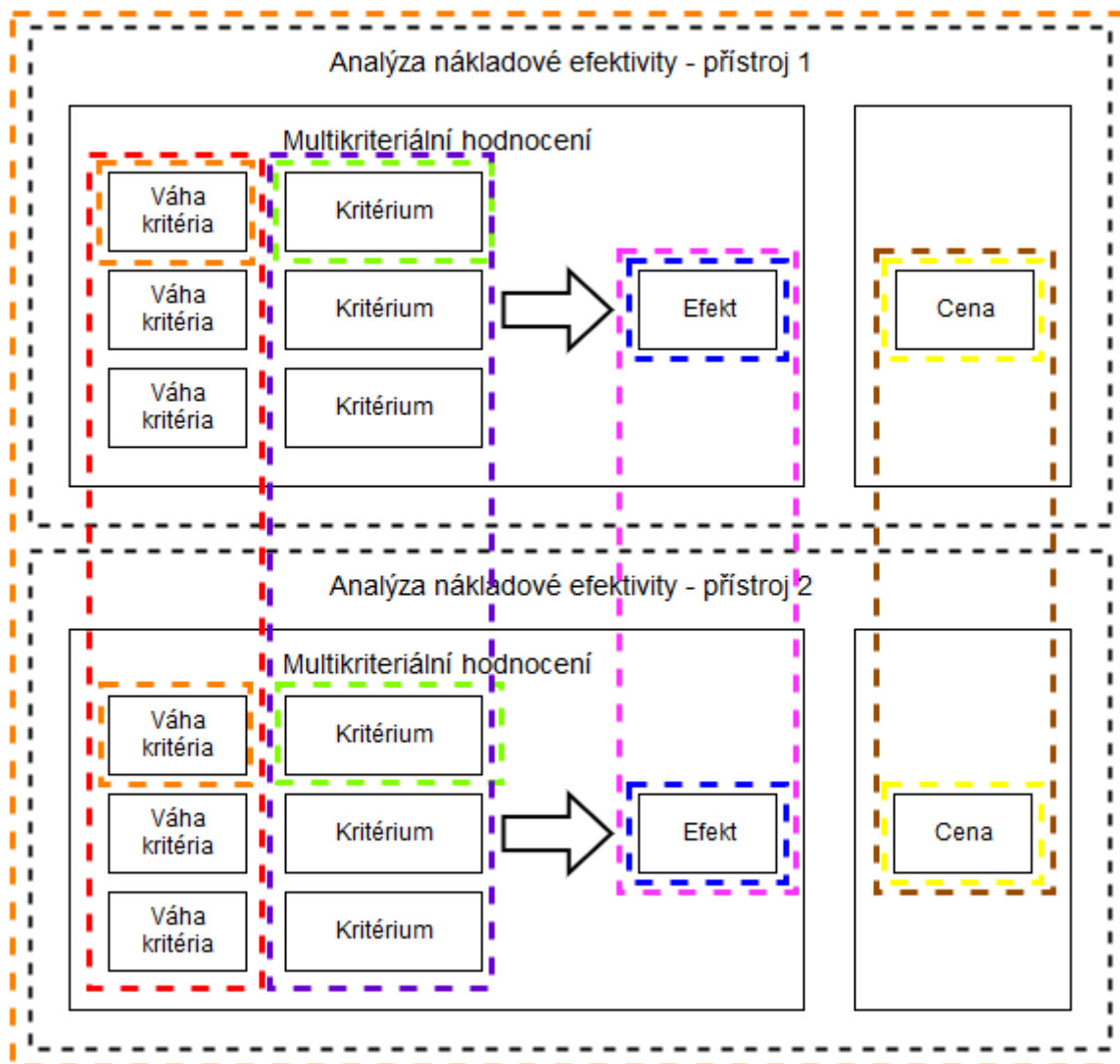
Jako první zde bude ilustrována aplikace nejjednodušší citlivostní analýzy – jednocestné citlivostní analýzy, a to v souladu s postupy a metodami popsány v kapitole 1.4.1 a v kapitole 2.2. Jako výchozí data jsou použity údaje uvedené v Tabulka 6, resp. v Tabulka 7.

I při dodržení podmínky, že variován je vždy pouze jeden parametr v čase, se nám nabízí celá řada možností, jak můžeme citlivostní analýzu aplikovat. Můžeme vzít jeden parametr, například *Cenu spotřebního materiálu*, a postupně ji variovat u všech čtyř

přístrojů a sledovat dopady těchto změn na konečné výsledky. Druhým příkladem může být změna daného parametru u všech čtyř přístrojů najednou, kdy už se však s takovýmto designem studie dostáváme na pomezí jednocestné a vícecestné citlivostní analýzy, protože měníme sice jeden parametr, ale u čtyř přístrojů najednou. Při jednocestné citlivostní analýze můžeme také separovat čtyři přístroje zahrnuté do studie a u každého z nich realizovat samostatně citlivostní analýzu, čímž bychom se vyhnuli problematice přiblížení se vícecestné citlivostní analýze, avšak následná syntéza dat pro celkové vyhodnocení citlivostní analýzy by tak bylo daleko náročnější. Lze říci, že citlivostní analýzu můžeme aplikovat způsobem, jakým sami uznáme za vhodné, ale musíme vždy adekvátně designu citlivostní analýzy interpretovat zjištěné výsledky a zasadit je do správného kontextu.

V případě multikriteriálního hodnocení bychom také neměli zapomínat na to, že zde pracujeme nejen se vstupními parametry jako takovými, ale přínosem může být také aplikování citlivostní analýzy na váhy kritérií, které mohou být sice vyhodnocovány různými metodami, ale prozatím jsou vždy zdrojem dat pro jejich určení odborníci, kteří mohou zanechat subjektivní chybu do celého hodnocení. Proto bychom mohli posuzovat jednocestnou citlivostní analýzu i jako nástroj pro minimalizaci možných negativních dopadů hodnocení odborníky a můžeme ji tedy aplikovat i na *váhy parametrů*.

Následující Obrázek 10 shrnuje všechna možná pojetí jednocestné citlivostní analýzy, která připadají při její realizaci v úvahu, na obecném modelu ekonomické analýzy použité v původní studii zabývající se výběrem plicního ventilátoru. Navržené jednocestné citlivostní analýzy jsou pak dále detailněji popsány a realizovány v dalších oddílech této práce.



Obrázek 10: Jednocestná citlivostní analýza

Během analýzy budou tedy parametry variovány o  $\pm 20\%$  své hodnoty a následně, dle doporučení Hambyho [78], i o  $\pm$  hodnotu směrodatné odchylky (SD). Na výstupech bude sledován vliv na výslednou hodnotu efektu přístrojů, ale i na celkové výsledky analýzy nákladové efektivity, na základě kterých dochází k výběru přístroje pro nákup.

Použité hodnoty nákladové efektivity všech přístrojů jsou pro lepší orientaci a přehlednost vynásobeny hodnotou  $10^8$ . Všechny tabulky a obrázky jsou vytvořeny vlastním zpracováním dat ze studie [85].

### 3.1.1.1 Variování jednoho parametru postupně u všech přístrojů

V prvním případě se setkáme se situací, kdy se v jednom čase změní pouze jeden parametr u jednoho přístroje. Ten samý parametr je postupně měněn u všech čtyř zvažovaných přístrojů, přičemž se hodnota parametru při posunu variace parametru vrací na původní hodnotu. Přitom jsou sledovány výstupy, u nichž dochází ke změnám. V tomto případě je za výstup považován výsledek analýzy nákladové efektivity.

Během jednocestné citlivostní analýzy se nejčastěji používá variování parametru  $o \pm 10 \%$  nebo  $o \pm 20 \%$ . Zde byl zvolen design zahrnující druhou variantu, tedy  $\pm 20 \%$ . Dle doporučení Hambyho [78] zde bude uveden i design zahrnující variování parametrů  $o \pm$  směrodatnou odchylku (SD).

Variování prvního parametru (*Cena spotřebního materiálu*) je ilustrováno v Tabulka 11. Podle výše popsaného klíče došlo ke změnám vstupního parametru a byl sledován celkový výsledek hodnocení přístrojů. Vzniklá matice je však na první pohled ne příliš přehledná, především kvůli lišícím se řádům výsledkům CEA, a zorientování v ní může být problematické. Proto jsou v

Tabulka 12 uvedeny rozdíly mezi nově získanými hodnotami a původními hodnotami CEA. Tyto absolutní hodnoty mohou být pro porovnání mezi jednotlivými hodnotami zkreslující, a proto byly převedeny na relativní vyjádření nárůstu nebo úbytku hodnot CEA, jak je uvedeno v Tabulka 13. Nejprve došlo k variování pomocí procentuálních hodnot, poté je v Tabulka 14, Tabulka 15 a Tabulka 16 uveden obdobný postup, avšak s tím rozdílem, že v designu citlivostní analýzy byla použita směrodatná odchylka.



Tabulka 11: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (

	Původní hodnoty	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	1,76	1,71	12,31	12,08	1,76	1,76	1,76	1,78	1,74
Evita XL	65,5	65,6	65,5	62,1	68,7	65,5	65,5	66,9	64,1
Galileo	118	118	118	118	118	111	124	121	114
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

Tabulka 12: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (rozdíl hodnot)

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-0,047	10,549	10,325	0,000	0,000	0,000	0,017	-0,019
Evita XL	0,087	0,000	-3,383	3,216	0,000	0,000	1,402	-1,444
Galileo	0,257	0,000	0,257	0,000	-6,171	6,052	3,703	-3,706
Avea	0,255	0,000	0,255	0,000	0,000	0,000	-0,091	0,102

Tabulka 13: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot)

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-265%	59981%	58712%	0%	0%	0%	94%	-107%
Evita XL	13%	0%	-516%	491%	0%	0%	214%	-220%
Galileo	22%	0%	22%	0%	-525%	515%	315%	-315%
Avea	20%	0%	20%	0%	0%	0%	-7%	8%

**Tabulka 14: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (SD)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	1,76	16,4	1,69	1,76	16,0	1,76	1,76	1,69	1,80
Evita XL	65,5	65,5	65,7	69,8	60,9	65,5	65,5	60,9	69,6
Galileo	118	118	118	118	118	127	106	106	127
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

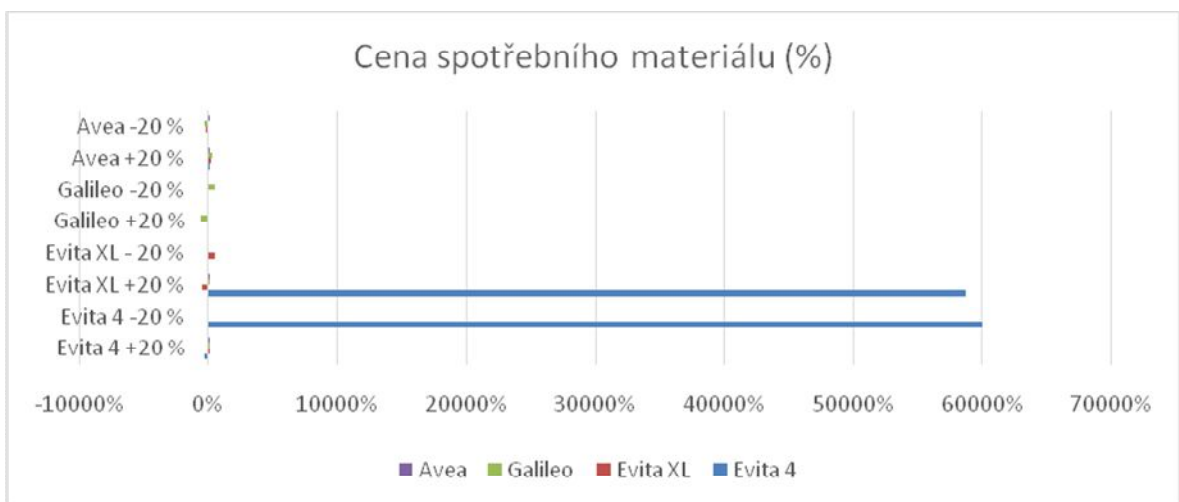
**Tabulka 15: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	14,650	-0,066	0,000	14,284	0,000	0,000	-0,066	0,045
Evita XL	0,000	0,164	4,283	-4,645	0,000	0,000	-4,645	4,137
Galileo	0,000	0,382	0,000	0,382	9,218	-11,609	-11,390	9,023
Avea	0,000	0,363	0,000	0,363	0,000	0,000	0,363	-0,244

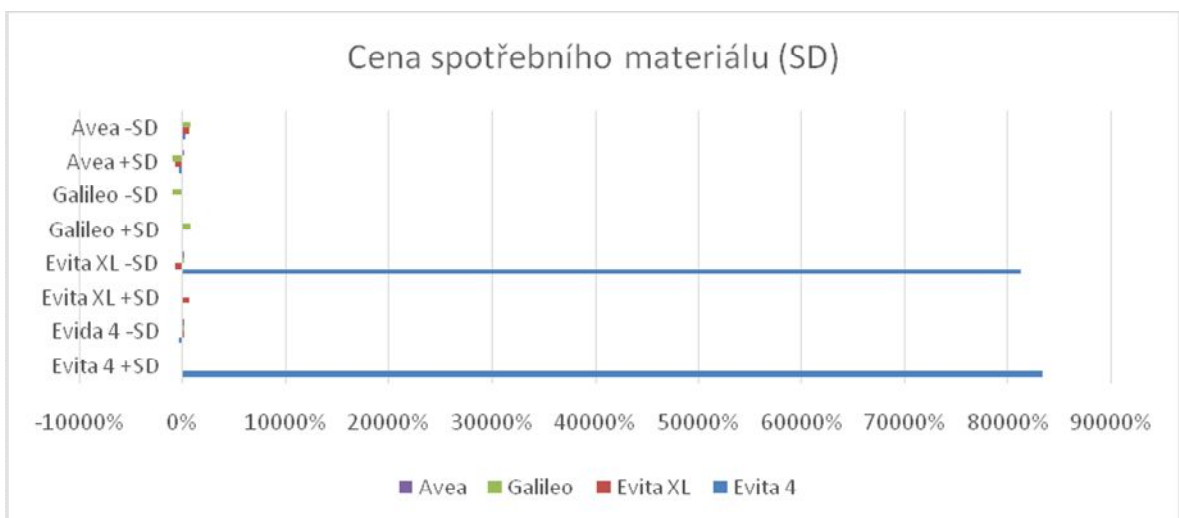
**Tabulka 16: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	83304%	-378%	0%	81221%	0%	0%	-378%	255%
Evita XL	0%	25%	654%	-709%	0%	0%	-709%	631%
Galileo	0%	33%	0%	33%	784%	-988%	-969%	768%
Avea	0%	28%	0%	28%	0%	0%	28%	-19%

Z výše uvedených výsledků citlivostní analýzy můžeme vidět různou citlivost přístrojů na izolovanou změnu jednoho parametru, a to jak v případě použití variování o procentuální hodnotu, anebo o směrodatnou odchylku. Například výsledky ekonomické analýzy při změně ceny spotřebního materiálu u přístroje Galileo se změní pouze u tohoto přístroje, výsledky ostatních přístrojů na tuto změnu nijak nereagují. Jinak je tomu například v prvním případě, kdy zvýšení ceny spotřebního materiálu pro přístroj Evita 4 vedlo ke změnám výsledků ekonomické analýzy u všech přístrojů, nejvýrazněji však u přístroje Evita 4. Pro rychlé vyhodnocení je vhodné použít grafické zobrazení na níže uvedeném Obrázek 11 a Obrázek 12. Z nich je na první pohled patrné, že na změnu ceny spotřebního materiálu jsou nejcitlivější přístroje Evita 4 a Evita XL. V porovnání designů citlivostní analýzy, tedy při zhodnocení otázky použití procentuálního variování nebo směrodatné odchylky, jsou shodně identifikovány nejcitlivější přístroje, avšak na změnu ceny spotřebního materiálu reagují inverzně, jak je níže patrné.

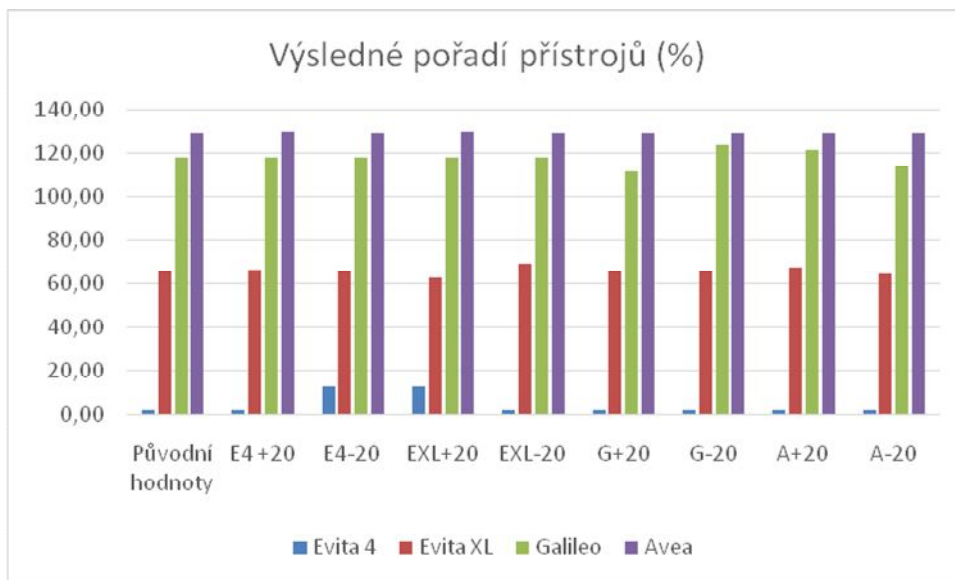


Obrázek 11: Cena spotřebního materiálu (%)

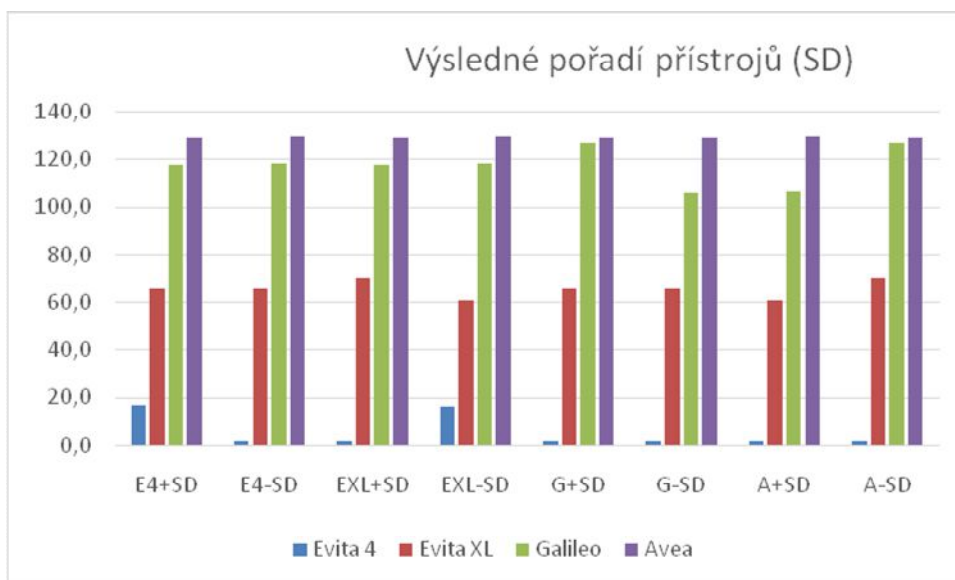


Obrázek 12: Cena spotřebního materiálu (SD)

I přesto, že dva přístroje byly určeny jako velmi citlivé, výsledné pořadí přístrojů, které indikovalo nákup přístroje Avea, se však v žádném případě nezměnilo, a to jako v případě procentuálních změn (Obrázek 13), tak v případě směrodatné odchylky (Obrázek 14) a vždy by tak byl zakoupen přístroj Avea. Přístroj Galileo však v některých případech poměrně výrazně snížil rozdíl mezi jím a vítězným přístrojem.



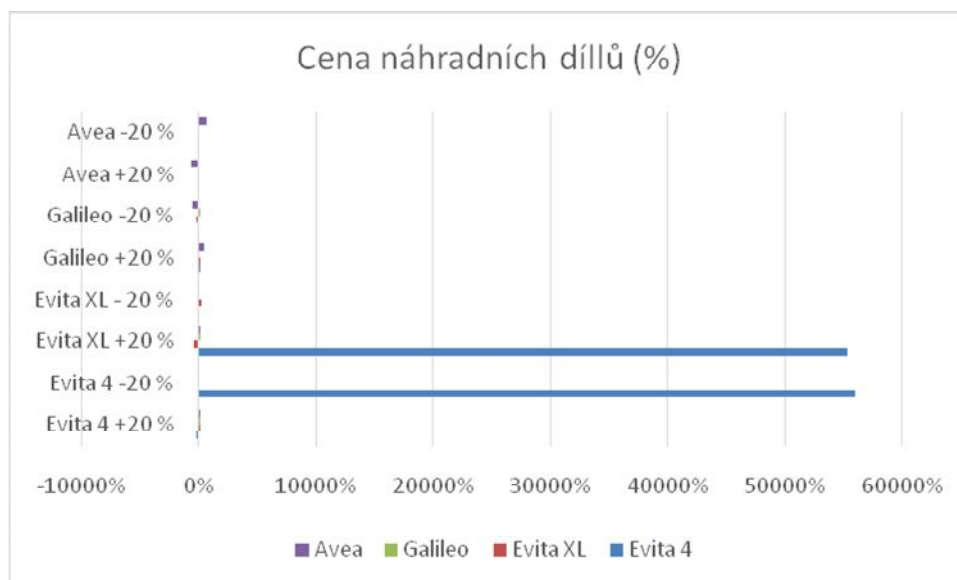
Obrázek 13: Výsledné pořadí přístrojů (%) při variování ceny spotřebního materiálu



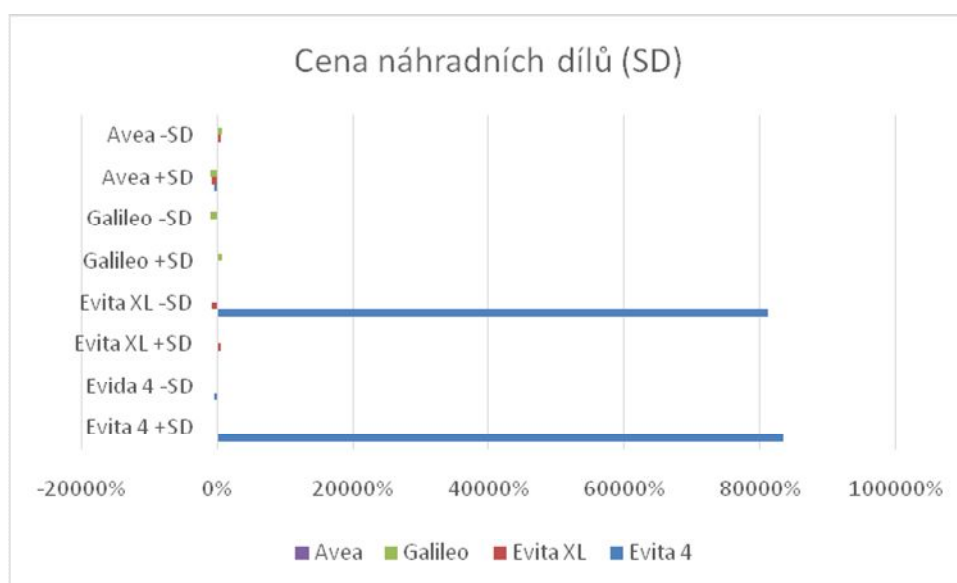
Obrázek 14: Výsledné pořadí přístrojů (SD) při variování ceny spotřebního materiálu

U zbývajících parametrů zde budou uvedeny pouze grafické výsledky citlivostní analýzy, kompletní data jsou uvedena v Přílohy.

Výsledky citlivostní analýzy vzhledem k ceně náhradních dílů jsou obdobné jako výše uvedené, opět přístroje Evita 4 a Evita XL jsou nejnáchylnější ke změně výsledků ekonomické analýzy v závislosti na tomto parametru, viz Obrázek 15 a Obrázek 16.



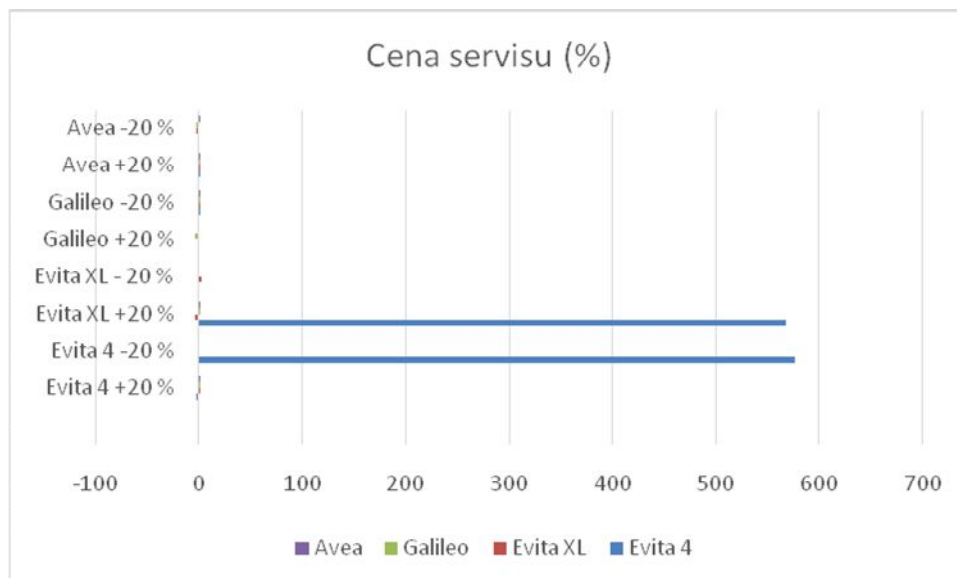
Obrázek 15: Cena náhradních dílů (%)



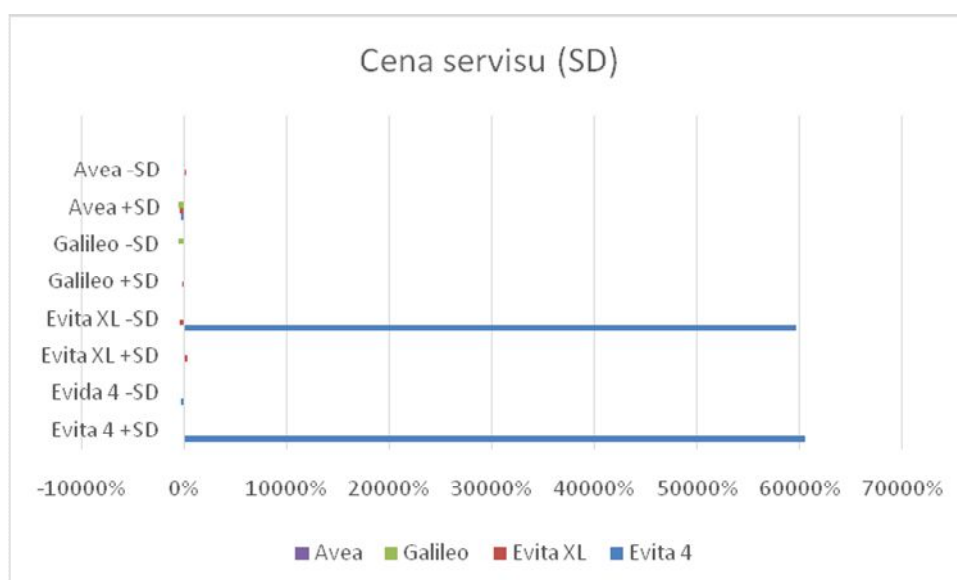
Obrázek 16: Cena náhradních dílů (SD)

Na konečné pořadí přístrojů však tento parametr taktéž neměl žádný vliv a v každém případě by byl zakoupen přístroj Avea.

K ceně servisu jsou citlivé také již výše zmíněné přístroje. Jak přístroj Evita 4, tak přístroj Evita XL jsou náchylné na změnu ceny servisu v případě, že dojde k této změně u těchto dvou přístrojů. Změna ceny servisu u jiných přístrojů nehraje velkou roli ve změně výsledků jakéhokoli přístroje v kontextu těchto dvou nejvýraznějších variací. Výsledky jsou ilustrovány níže na Obrázek 17 a Obrázek 18.

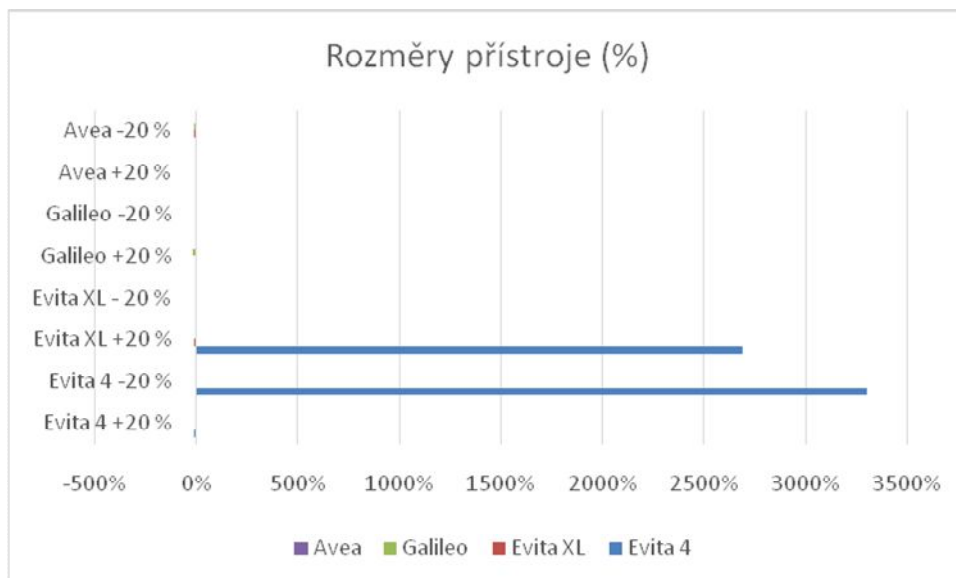


Obrázek 17: Cena servisu (%)

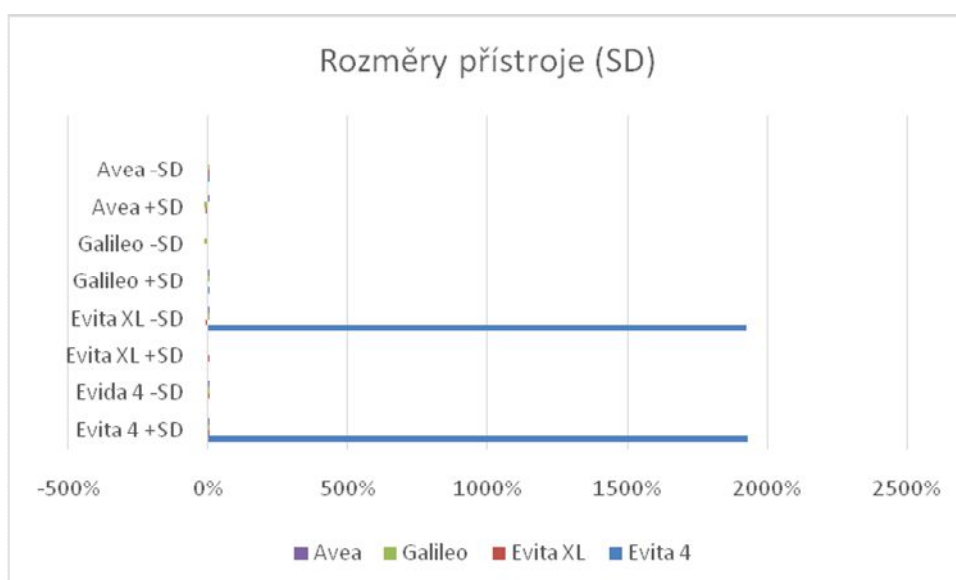


Obrázek 18: Cena servisu (SD)

Zbývající tři hodnocené parametry se již netýkaly *ceny*, ale byly technického rázu. Rozměry přístroje se vy výsledcích opět shodovaly s dosud uvedenými výsledky, tedy nejcitlivější na změnu velikosti přístroje jsou přístroje Evita 4 a Evita XL, avšak je zde opět patrný pokles v dominanci těchto výsledků nad ostatními přístroji a kombinacemi změny rozměrů přístroje. Výsledky jsou uvedeny na Obrázek 19 a Obrázek 20.



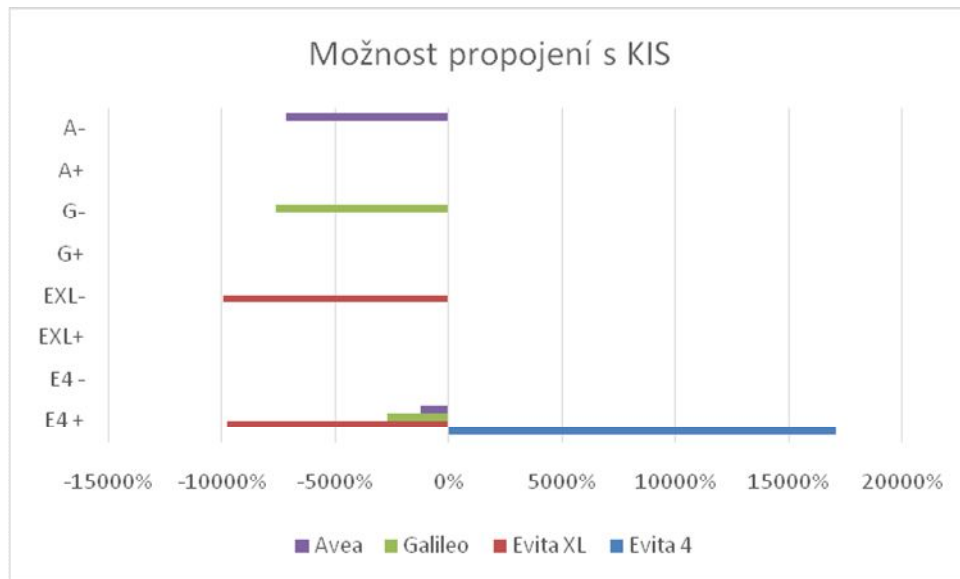
Obrázek 19: Rozměry přístroje (%)



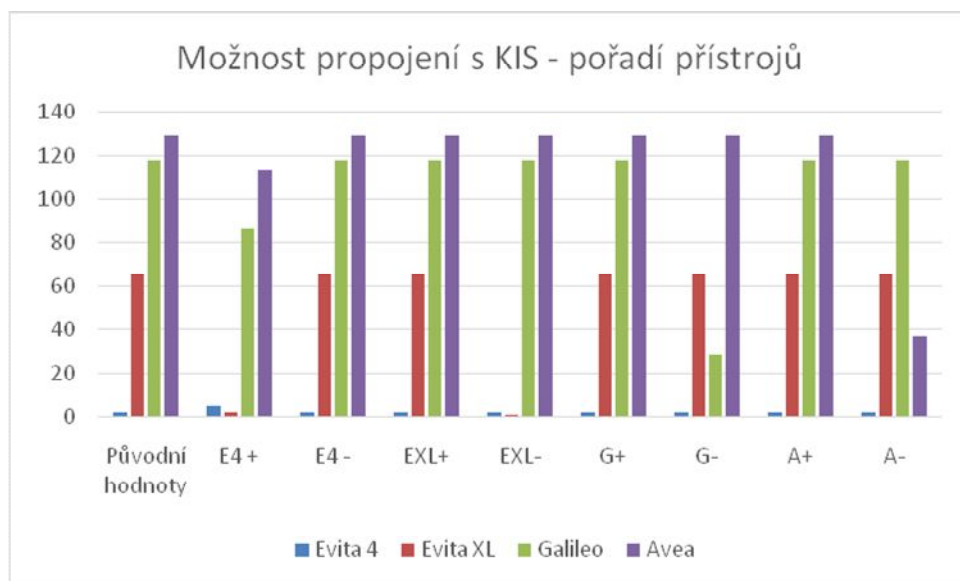
Obrázek 20: Rozměry přístroje (SD)

Pestřejší výsledky už můžeme pozorovat u parametru týkajícího se možnosti propojení přístroje s klinickým informačním systémem. Tento parametr je také specifický tím, že v primárních hodnotách je označen hodnotou 1, pokud existuje možnost propojení, a hodnotou 0 pak v případě, kdy není možné přístroj propojit s informačním systémem. Docházelo-li by tedy postupně ke změnám možnosti (schopnosti) propojení přístroje, tedy pokud přístroj, který je nyní propojitelný najednou nebyl a naopak přístroj Evita 4, který nyní není možné propojit s informačním systémem, bylo možné propojit, došlo by ke změnám nejen hodnot celkových efektů přístroje (viz Obrázek 21), ale tyto změny by byly tak výrazné, že by mohly i změnit konečné pořadí přístrojů. To je konkrétně případ, kdy by dosud vítězný přístroj Avea nebylo možné propojit s klinickým informačním systémem. Tehdy by v analýze nákladové efektivity vyšel na prvním místě přístroj Galileo a bylo by

doporučeno zakoupit právě jej (viz Obrázek 22). Můžeme si zde všimnout toho, že největší změny v nákladové efektivitě bylo dosaženo simulováním toho, že přístroj Evita 4 by bylo možné propojit s informačním systémem. Změna, které tímto bylo dosaženo, je daleko větší než případy, kdy dosud propojitelné přístroje by se staly nepropojitelnými. Dalo by se tedy předpokládat, že pokud bychom přístroj Avea učinili nepropojitelným a Evita 4 propojitelným, na prvním místě konečných výsledků by se mohl umístit i přístroj Evita 4. Tento design citlivostní analýzy už však neodpovídá jednocestné citlivostní analýze, a proto zde není znázorněn – zde se proto jedná pouze o domněnku.



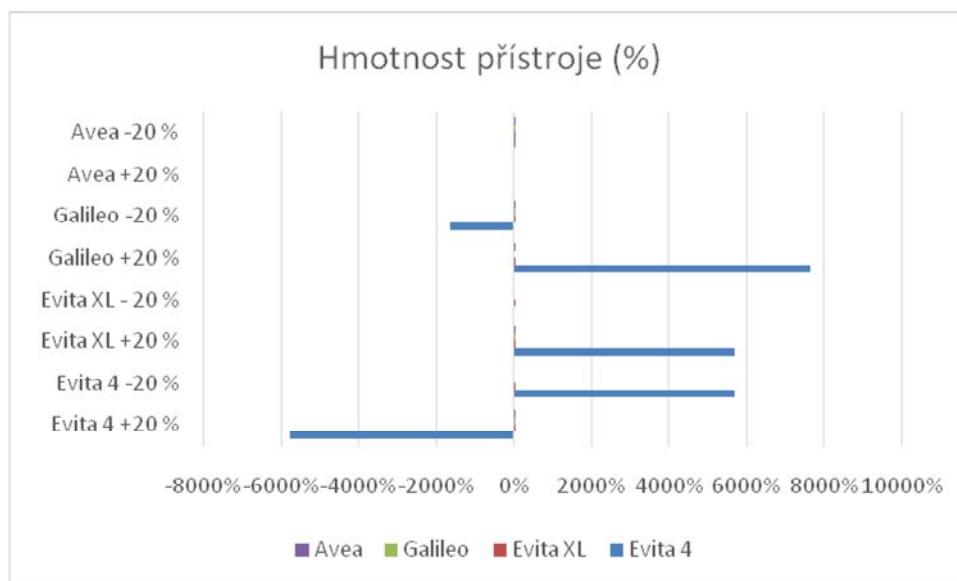
Obrázek 21: Možnost propojení s KIS



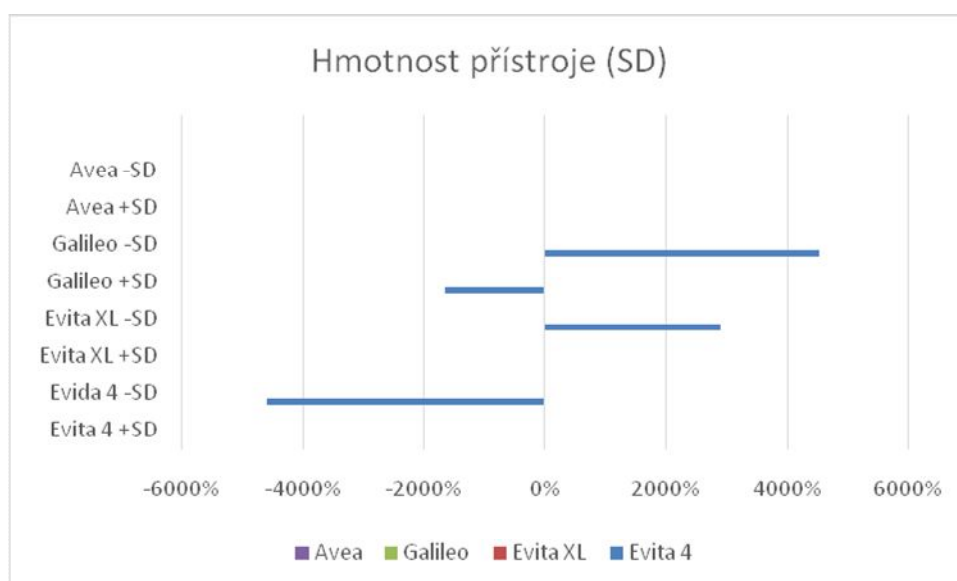
Obrázek 22: Možnost propojení s KIS - pořadí přístrojů



Posledním parametrem, který byl v tomto úseku variován, je hmotnost přístroje. Z níže uvedeného Obrázek 23 je patrné, že na změnu hmotnosti přístroje je nejvíce citlivý přístroj Evita 4. U něj, pokud dojde k nárůstu jeho váhy, dojde k nejvýraznějšímu úbytku jeho celkového hodnocení, naopak pokud dojde k jejímu snížení, dojde ke zvýšení nákladové efektivity přístroje, stejně jako za situací, kdy dojde k nárůstu hmotnosti přístroje Evita XL a Galileo. S tímto korelují i výsledky v případě použití směrodatné odchylky jakožto ukazatele citlivosti výsledků, obdobně jako je tomu u výše uvedených parametrů.



Obrázek 23: Hmotnost přístroje (%)



Obrázek 24: Hmotnost přístroje (SD)

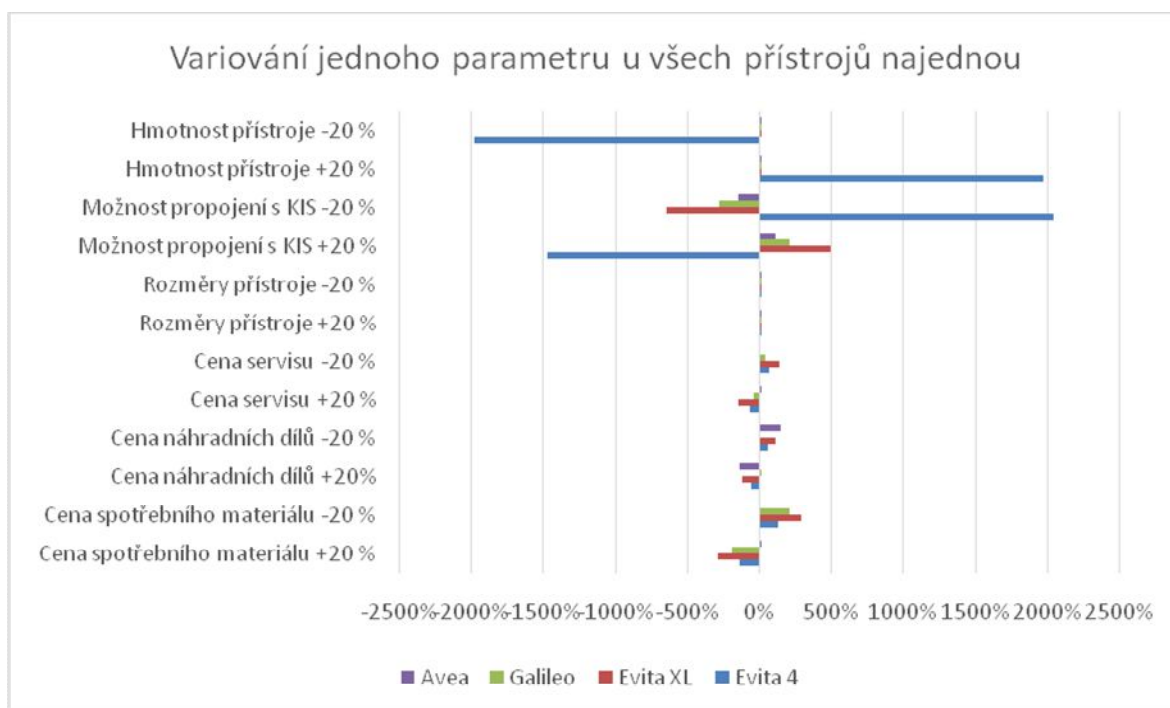
### 3.1.1.2 Variování jednoho parametru u všech přístrojů najednou

V předcházející kapitole 3.1.1.1 byla pojata jednocestná citlivostní analýza tak, že jeden parametr byl v daném čase variován u jednoho přístroje. Jinou možností, jak lze chápat variování jednoho parametru v jednom čase, je variovat ho u všech přístrojů najednou. Daný parametr je zde tedy chápán poněkud komplexněji.

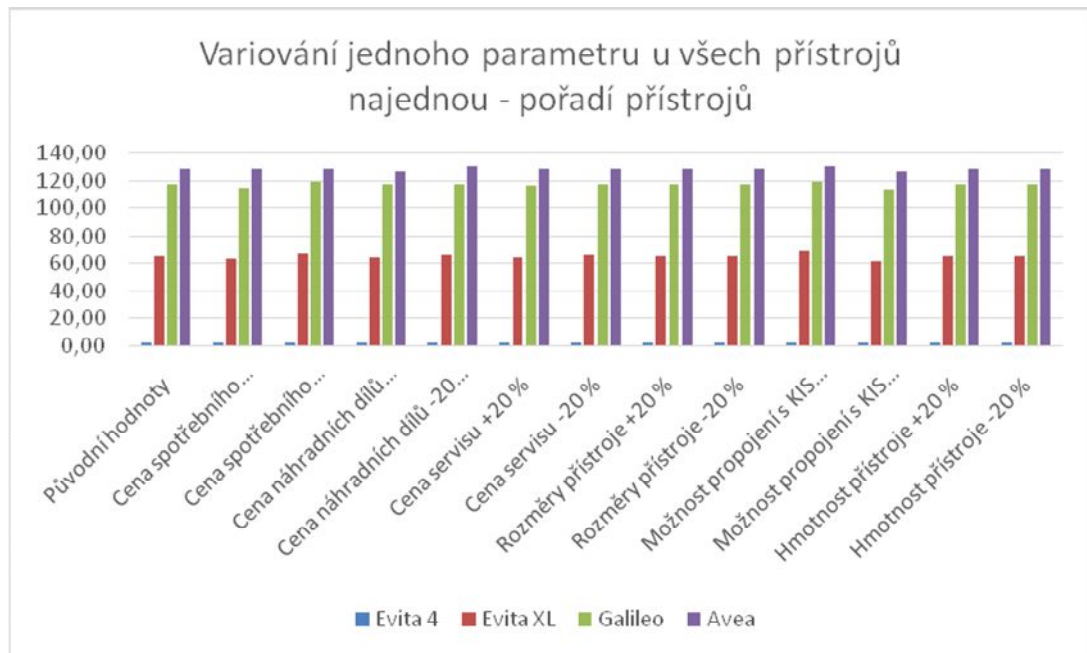
V případě procentuálních změn ( $\pm 20\%$ ) získáme výsledky znázorněné na Obrázek 25. Na první pohled je patrné, že největších změn ve výsledcích je dosaženo u přístroje Evita 4 a to v případě, že je variován parametr hmotnost přístroje a možnost propojení s klinickým informačním systémem. Tato senzitivita je zachycena i v již dříve uvedené analýze, kdy byly tyto parametry variovány individuálně. Při změně ceny spotřebního materiálu dochází k největším změnám u přístroje Evita XL, Avea je pak v této analýze nejcitlivější na cenu náhradních dílů. Jak však můžeme vidět na Obrázek 26, v ani jednom případě nedojde ke změně výsledného pořadí přístrojů a vždy by byl tedy zakoupen přístroj Avea.

Tento design citlivostní analýzy byl proveden i s variováním v rozsahu směrodatné odchylky hodnot, avšak v tomto případě došlo k nulovým změnám od původních hodnot.

Úplné hodnoty jsou uvedeny v Přílohy.



Obrázek 25: Variování jednoho parametru u všech přístrojů najednou



Obrázek 26: Variování jednoho parametru u všech přístrojů najednou - pořadí přístrojů

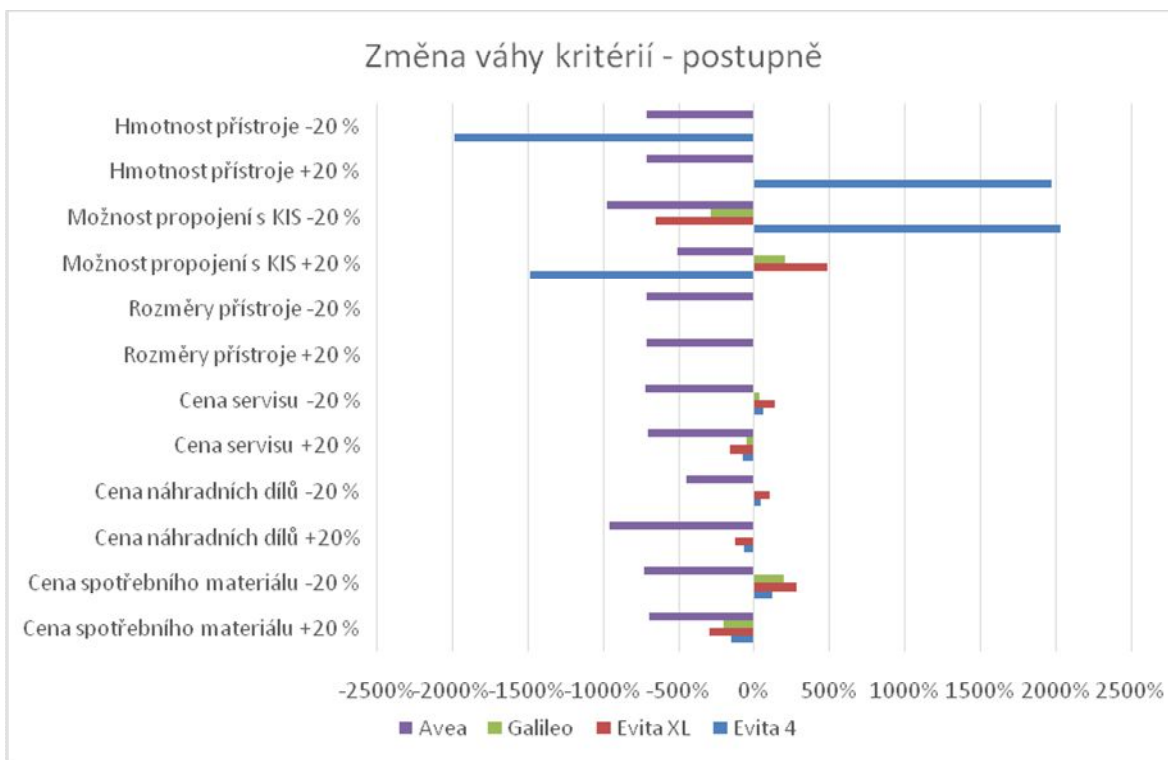
### 3.1.1.3 Variování váhy kritérií postupně u všech parametrů

Pro získání efektu pro zjištění nákladové efektivity se provádí multikriteriální hodnocení v kombinaci s metodami hodnotového inženýrství. Dosud zde byly variovány pouze hodnocené parametry pro multikriteriální hodnocení, avšak každému tomuto parametru musela být také určena jeho váha, právě pomocí metod hodnotového inženýrství. Váhy kritérií tak můžeme chápat jako další vstupní parametr, který může být variován a může mít poměrně zásadní vliv na konečné výsledky.

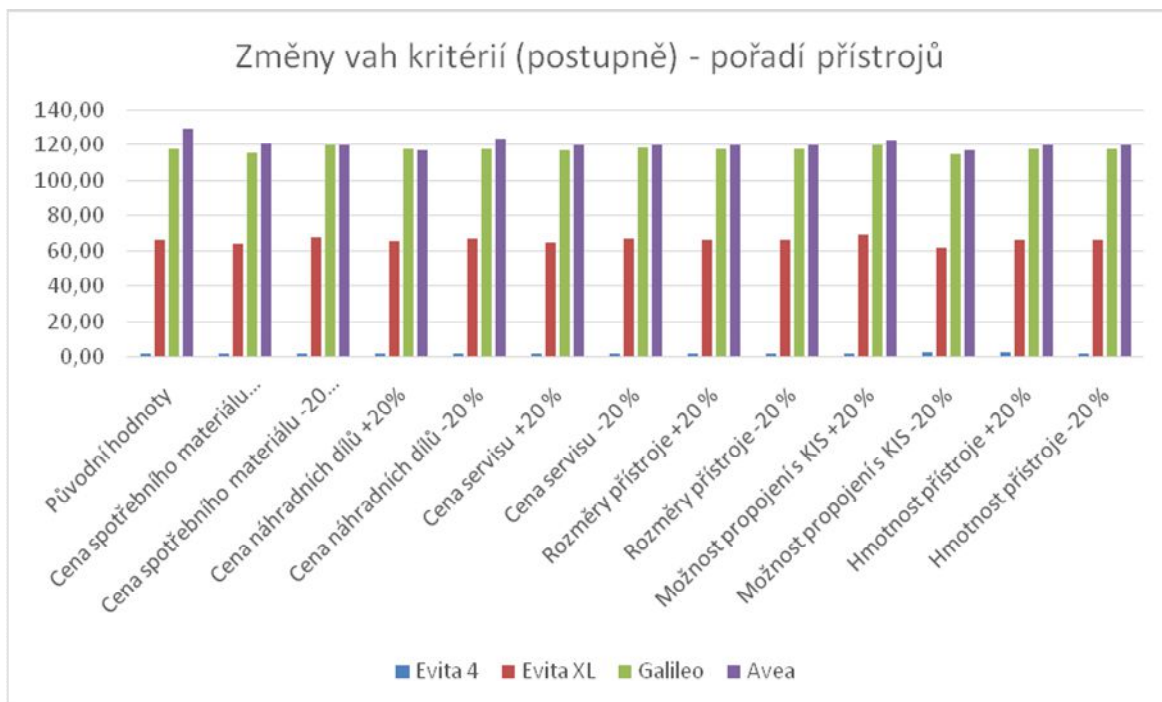
Váhy kritérií byly opět variovány o  $\pm 20\%$  a byl sledován vliv na konečné výsledky analýzy nákladové efektivity, potažmo výsledné pořadí přístrojů. Na Obrázek 27 můžeme vidět opět největší citlivost přístroje Evita 4 na parametry hmotnost přístroje a možnost propojení s klinickým informačním systémem, což indikovala i předcházející citlivostní analýza zaměřená na variování všech parametrů (viz Obrázek 25). Oproti ní je zde však i patrná citlivost přístroje Avea na všechny zvažované varianty změny vah kritérií, přibližně ve stejném rozsahu.

Důležité je však podívat se na výsledné pořadí přístrojů, došlo-li by k těmto změnám v hodnotách vah kritérií (Obrázek 28). Zde můžeme vidět, že nákladová efektivita přístroje Avea a Galileo se v mnohých případech liší minimálně, v případě změny váhy ceny spotřebního materiálu je dokonce přístroj Galileo nákladově neefektivnější.

Úplné hodnoty jsou uvedeny v Přílohy.



Obrázek 27: Změna váhy kritérií – postupně



Obrázek 28: Změna vah kritérií (postupně) - pořadí přístrojů

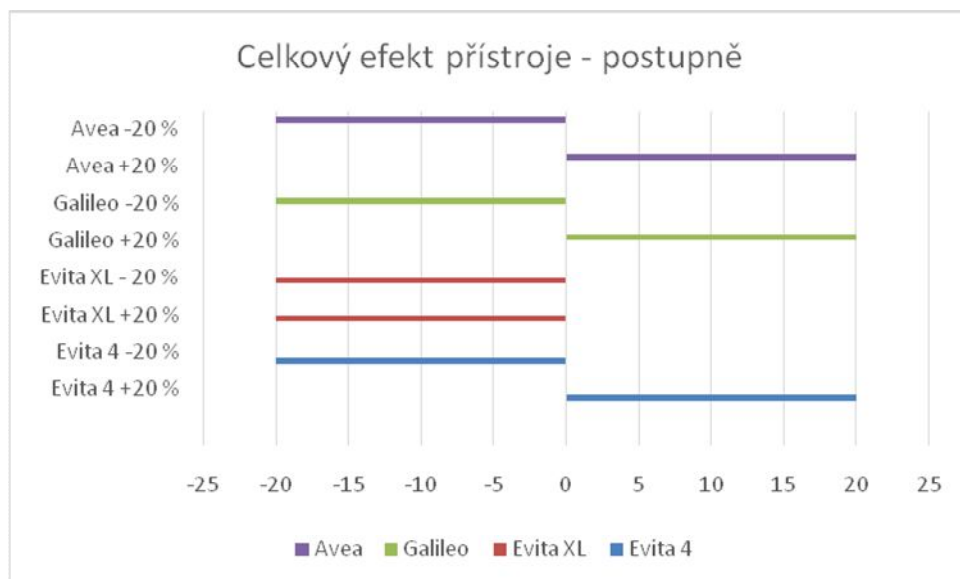
### 3.1.1.4 Variování váhy kritérií najednou u všech parametrů

Obdobně jako u jednotlivých parametrů, i zde bychom mohli váhy všech kritérií variovat najednou. Avšak i zde dojde ve výsledcích k nulové změně výsledné nákladové efektivity.

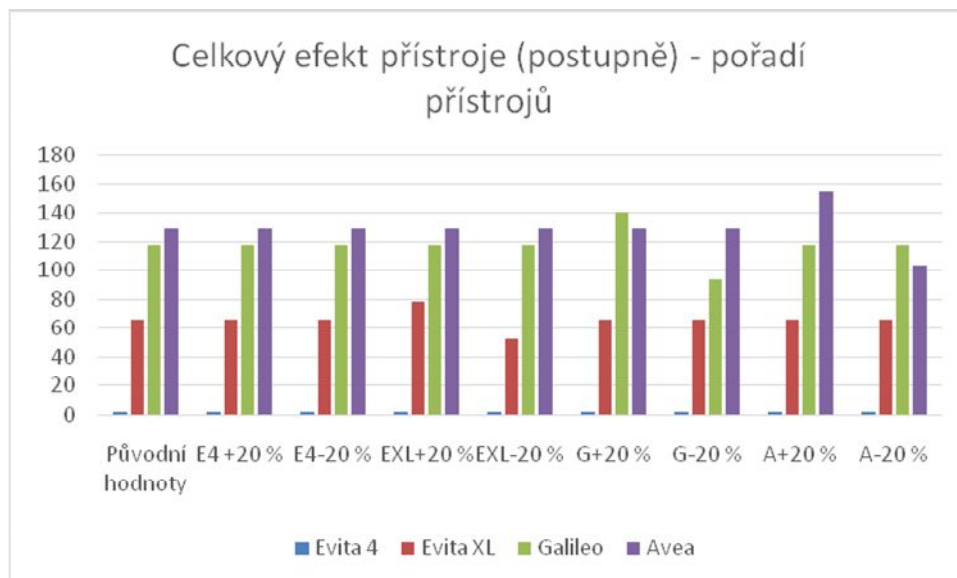
### 3.1.1.5 Variování celkového efektu přístroje postupně

Celkový efekt přístroje je nezbytný pro vypočítání nákladové efektivity přístrojů. Jeho hodnotu můžeme získat různými metodami, které mohou mít různé mechanismy, které zajistí, aby byly co nejvíce potlačeny subjektivní vlivy hodnotitelů či statistické chyby, a my bychom nemuseli jednotlivě hodnotit každý vstupní parametr, ale mohli bychom variovat právě až celkový efekt přístroje. V pomyslné hierarchii jednotlivých mezivýsledků se zde dostáváme co nejbližší konečnému výsledku, tedy hodnotě nákladové efektivity a konečnému pořadí přístrojů, což však také znamená, že komplexnost výsledků se zvyšuje, tedy že celkový efekt zahrnuje řadu parametrů, na které by mohla působit řada faktorů zapříčiňujících dané změny na straně výstupů a tyto faktory už nemůžeme detailněji specifikovat, protože změnu celkového efektu by mohlo způsobit mnoho příčin.

Při variování celkového efektu o  $\pm 20\%$  původní hodnoty můžeme na Obrázek 29 vidět, že došlo k proporcionálnímu snížení nebo zvýšení u všech zvažovaných přístrojů. Důležitý je však pohled na výslednou nákladovou efektivitu těchto možných scénářů, která je znázorněna na Obrázek 30. Zde si už můžeme všimnout, že v případě, že by došlo ke snížení celkové efektivity přístroje Avea o 20 %, by se na prvním místě umístil přístroj Galileo, stejně tak jako za situace, že by o stejnou hodnotu stoupl celkový efekt přístroje Galileo. Jiné změny nemají na výsledné pořadí přístrojů žádný vliv.



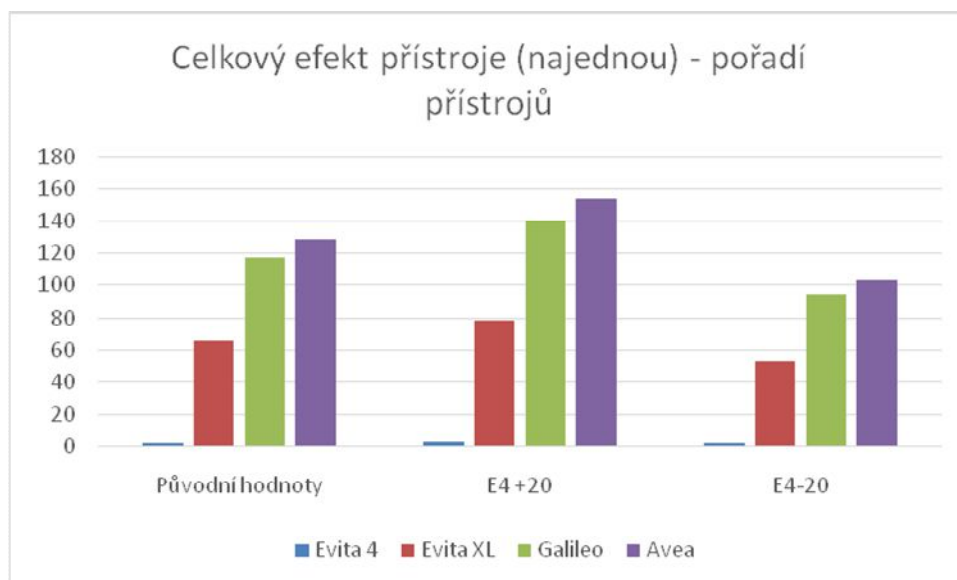
Obrázek 29: Celkový efekt přístroje – postupně



Obrázek 30: Celkový efekt přístroje (postupně) - pořadí přístrojů

### 3.1.1.6 Variování celkového efektu přístroje najednou

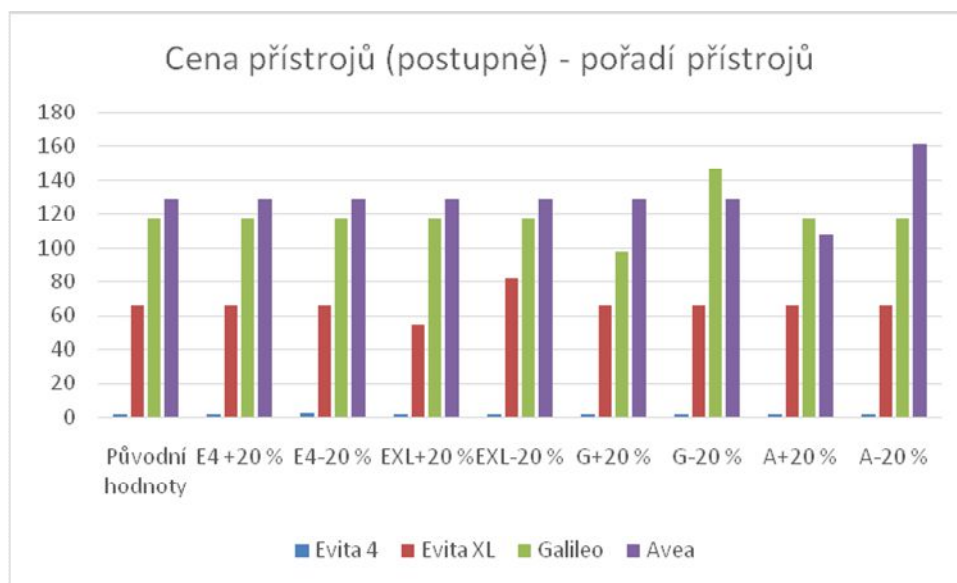
Obdobně bychom mohli variovat celkové efekty u všech přístrojů najednou, což však opět způsobí proporcionální změny nákladové efektivity u všech přístrojů, tedy výsledné pořadí přístrojů zůstane nezměněno, jak dokládá i níže uvedený Obrázek 31.



Obrázek 31: Celkový efekt přístroje (najednou) - pořadí přístrojů

### 3.1.1.7 Variování ceny přístroje postupně

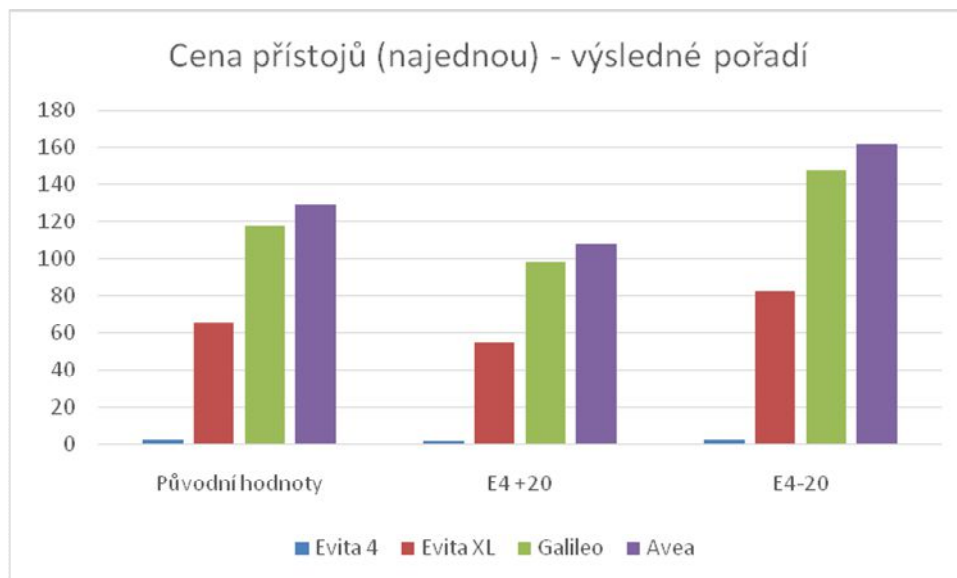
Stejně jako celkový efekt, můžeme variovat i cenu přístroje. Opět je zde uveden příklad snížení a zvýšení ceny přístroje o 20 % u každého přístroje zvlášť a je sledován především vliv na výsledné pořadí přístrojů, které můžeme vidět na Obrázek 32. Můžeme zde vidět pouze jediný případ, kdy by došlo ke změně pořadí hodnocených přístrojů, a to v případě, že by cena přístroje Galileo klesla o 20 %. To by vedlo ke zvýšení jeho nákladové efektivity nad hodnoty přístroje Avea.



Obrázek 32: Cena přístrojů (postupně) - pořadí přístrojů

### 3.1.1.8 Variování ceny přístroje najednou

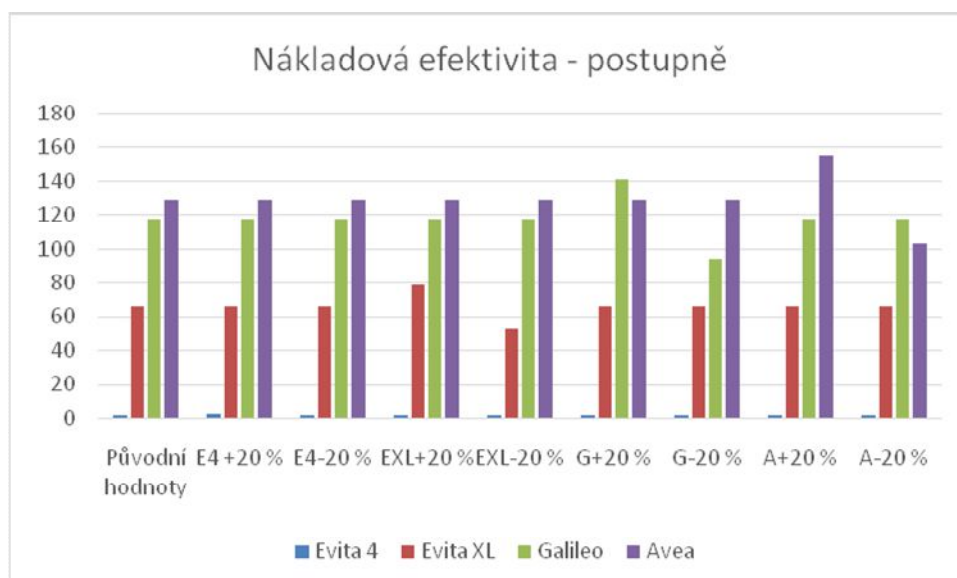
Pro úplnost je zde uvedena i citlivostní analýza zahrnující změnu ceny u všech přístrojů najednou, avšak výsledky jsou obdobné jako u změny celkového efektu u všech přístrojů v jednom čase.



Obrázek 33: Cena přístrojů (najednou) - výsledné pořadí

### 3.1.1.9 Variování nákladové efektivity postupně

Na *nejvyšší* úrovni pak stojí variování konečné nákladové efektivity o  $\pm 20\%$  původní hodnoty. Tímto můžeme získat informace o pomyslné vzdálenosti jednotlivých nákladových efektivit zvažovaných přístrojů. Z Obrázek 34 můžeme vidět, že zde dojde ke změně pořadí opět pouze v případě snížení nákladové efektivity přístroje Avea nebo při zvýšení nákladové efektivity přístroje Galileo.

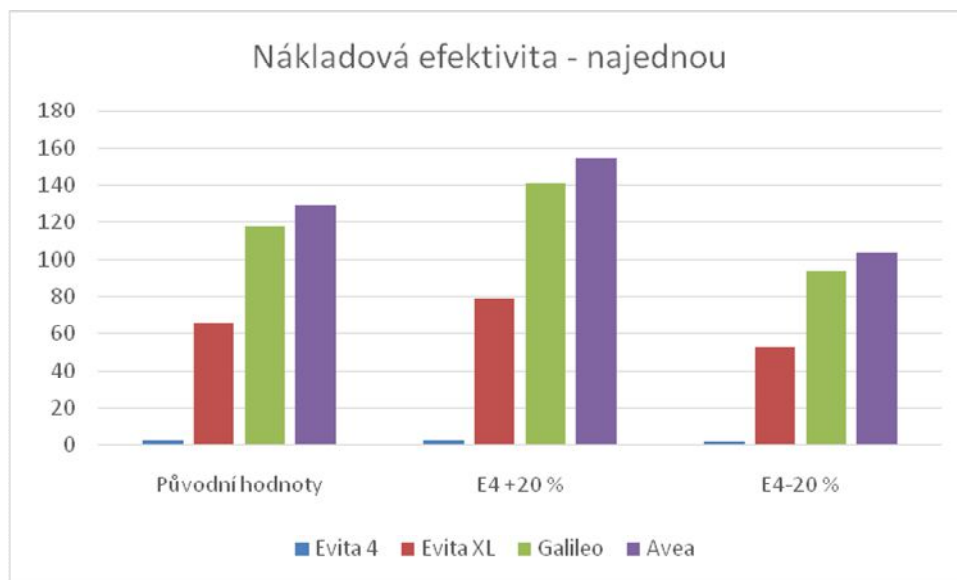


Obrázek 34: Nákladová efektivita – postupně



### 3.1.1.10 Variování nákladové efektivity najednou

Je zřejmé, že v tomto případě dojde opět pouze k proporčním změnám a nebude nijak změněno výsledné pořadí hodnocených přístrojů.



Obrázek 35: Nákladová efektivita - najednou

### 3.1.2 Vícecestná citlivostní analýza

Na základě poznatků shrnutých v kapitole 1.4.2 a v kapitole 2.2 zde bude na původní studii [85] aplikována dvoucestná citlivostní analýza, dále pak také multicestná extrémní citlivostní analýza a grafické znázornění výše zmíněných metod.

#### 3.1.2.1 Dvoucestná citlivostní analýza

Při dvoucestné citlivostní analýze je důležité vybrat dva klíčové parametry, které zásadně ovlivňují výsledek studie. V případě, že vezmeme v potaz analýzu nákladové efektivity jako celku, jednoznačně za tyto dva parametry dosadíme efekt přístroje a jeho cenu. Pro ilustraci jsou zde uvedeny variace těchto parametrů v rozsahu  $\pm 20\%$  od původních hodnot výsledků analýzy, v 4% intervalech.

Níže uvedená Tabulka 17 představuje dvoucestnou citlivostní analýzu analýzy nákladové efektivity přístroje Evita 4. Z uvedené matice můžeme vyčíst celkem 121 možných výsledků CEA, pokud by došlo k popsáním variacím původních hodnot. Získaná data jsou poměrně široká, a proto může být problematické jim porozumět a správně je interpretovat. Jednou možností, jak je zpřehlednit, je nejprve procentuálně vyčíslit změnu výsledné hodnoty. Procentuální hodnoty jsou uvedeny v Tabulka 18. Tímto jsme však získali další, stejně rozsáhlou sadu dat. Pro jejich zpřehlednění je možné použít podmíněné formátování s barevným škálováním, jak je znázorněno v Tabulka 19. Další možností, jak

zřehlednit získaná data, je jejich grafické znázornění, jako je uvedeno na níže uvedeném Obrázek 36.

Tabulka 17: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4

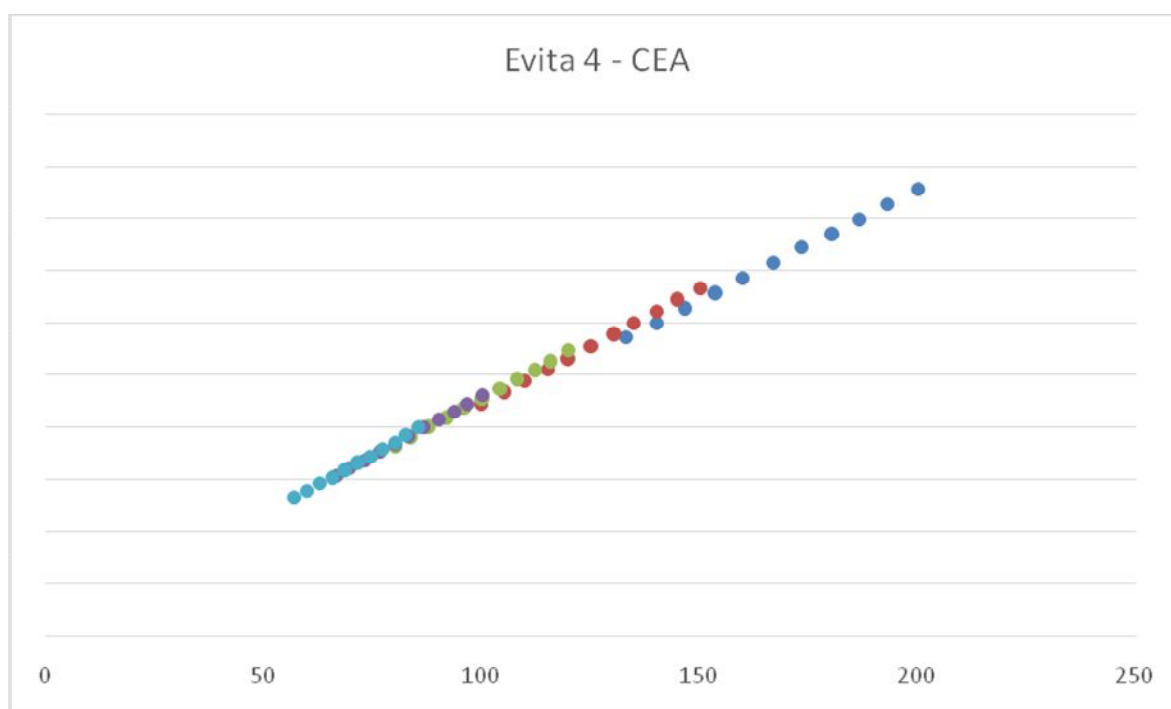
		Cena přístroje										
Efektivita přístroje	%	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+8	+12	+16	+20
	-20	2,75	2,29	1,97	1,72	1,53	1,38	1,25	1,15	1,06	0,98	0,92
	-16	2,89	2,41	2,06	1,81	1,61	1,44	1,31	1,20	1,11	1,03	0,96
	-12	3,03	2,52	2,16	1,89	1,68	1,51	1,38	1,26	1,16	1,08	1,01
	-8	3,16	2,64	2,26	1,98	1,76	1,58	1,44	1,32	1,22	1,13	1,05
	-4	3,30	2,75	2,36	2,06	1,83	1,65	1,50	1,38	1,27	1,18	1,10
	0	3,44	2,87	2,46	2,15	1,91	<b>1,72</b>	1,56	1,43	1,32	1,23	1,15
	+4	3,58	2,98	2,56	2,24	1,99	1,79	1,63	1,49	1,38	1,28	1,19
	+8	3,71	3,10	2,65	2,32	2,06	1,86	1,69	1,55	1,43	1,33	1,24
	+12	3,85	3,21	2,75	2,41	2,14	1,93	1,75	1,61	1,48	1,38	1,28
	+16	3,99	3,32	2,85	2,49	2,22	1,99	1,81	1,66	1,53	1,42	1,33
	+20	4,13	3,44	2,95	2,58	2,29	2,06	1,88	1,72	1,59	1,47	1,38

Tabulka 18: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4 - procentuální změny CEA

		Cena přístroje										
Efektivita přístroje	%	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+8	+12	+16	+20
	-20	160	133	115	100	89	80	73	67	62	57	53
	-16	168	140	120	105	94	84	76	70	65	60	56
	-12	176	147	126	110	98	88	80	73	67	63	59
	-8	184	153	131	115	102	92	84	77	71	66	61
	-4	192	160	137	120	106	96	87	80	74	69	64
	0	200	167	143	125	111	<b>100</b>	91	83	77	72	67
	+4	208	173	149	130	116	104	95	87	80	74	69
	+8	216	180	154	135	120	108	98	90	83	77	72
	+12	224	187	160	140	124	112	102	94	86	80	74
	+16	232	193	166	145	129	116	105	97	89	83	77
	+20	240	200	172	150	133	120	109	100	92	85	80

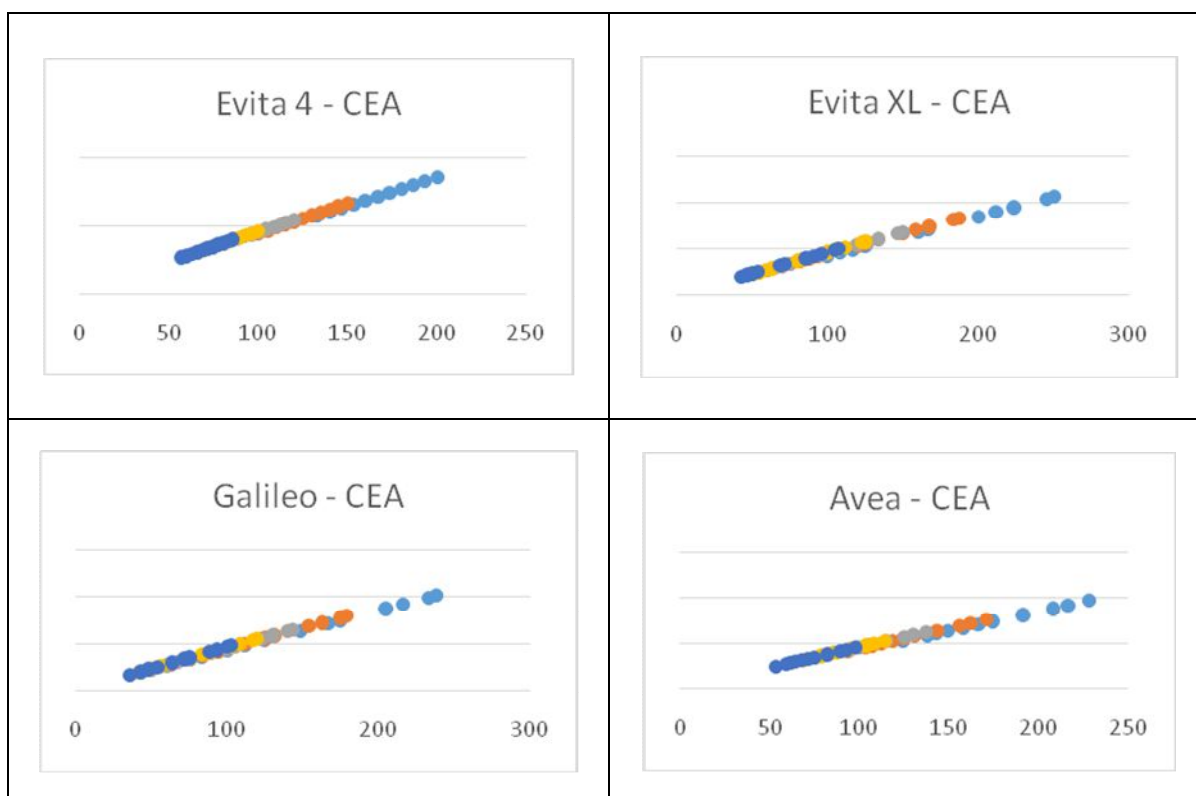
Tabulka 19: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4 - procentuální změny CEA, barevné škálování

		Cena přístroje											
		%	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+8	+12	+16	+20
Efektivita přístroje	-20	160	133	115	100	89	80	73	67	62	57	53	
	-16	168	140	120	105	94	84	76	70	65	60	56	
	-12	176	147	126	110	98	88	80	73	67	63	59	
	-8	184	153	131	115	102	92	84	77	71	66	61	
	-4	192	160	137	120	106	96	87	80	74	69	64	
	0	200	167	143	125	111	100	91	83	77	72	67	
	+4	208	173	149	130	116	104	95	87	80	74	69	
	+8	216	180	154	135	120	108	98	90	83	77	72	
	+12	224	187	160	140	124	112	102	94	86	80	74	
	+16	232	193	166	145	129	116	105	97	89	83	77	
	+20	240	200	172	150	133	120	109	100	92	85	80	



Obrázek 36: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4, grafické znázornění

Pro úplnost dvoucestné citlivostní analýzy v rámci této studie jsou na následujícím Obrázek 37 uvedeny i citlivostní analýzy nákladové efektivity u zbývajících tří hodnocených přístrojů.



Obrázek 37: Dvoucestná citlivostní analýza, všechny přístroje

V ani jednom výše zobrazeném případě nejsou v grafu patrné extrémní hodnoty či četná odlehlá pozorování, na základě čehož můžeme usuzovat, že výsledky nejsou výrazně citlivé na variované parametry.

### 3.1.2.2 Dvoucestná citlivostní analýza založená na jednocestné CA

Pro ilustraci dvoucestné citlivostní analýzy je zde uveden i příklad, kdy jsou kombinovány parametry, které v několika citlivostních analýzách v kapitole 0 vykazovaly zvýšenou citlivost, konkrétně tedy cena spotřebního materiálu a hmotnost přístroje. Tato analýza je demonstrována u přístroje Evita 4 v níže uvedené Tabulka 20.

Tabulka 20: Dvoucestná citlivostní analýza hmotnost přístroje-cena spotřebního materiálu - Evita 4 - procentuální změny CEA, barevné škálování

		Cena spotřebního materiálu											
		%	-20	-16	-12	-8	-4	0	+4	+8	+12	+16	+20
Hmotnost přístroje	-20	12,46	10,23	7,97	5,75	3,76	2,76	2,74	2,73	2,71	2,70	2,68	
	-16	12,42	10,18	7,91	5,66	3,61	2,56	2,55	2,53	2,252	2,50	2,49	
	-12	12,39	10,14	7,86	5,58	3,48	2,36	2,35	2,34	2,32	2,31	2,30	
	-8	12,36	10,1	7,80	5,50	3,35	2,16	2,15	2,14	2,13	2,11	2,10	
	-4	12,33	10,07	7,75	5,43	3,22	1,96	1,95	1,94	1,93	1,92	1,91	
	0	12,31	10,03	7,71	5,37	3,11	1,76	1,75	1,74	1,73	1,72	1,71	
	+4	12,29	10,01	7,67	5,31	3,00	1,56	1,55	1,54	1,53	1,52	1,51	
	+8	12,27	9,98	7,64	5,26	2,91	1,36	1,35	1,34	1,33	1,32	1,31	
	+12	12,25	9,96	7,61	5,21	2,82	1,15	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	
	+16	12,23	9,94	7,58	5,17	2,74	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	
	+20	12,22	9,93	7,56	5,14	2,68	0,75	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	

Na rozdíl od analýzy sledující změnu hodnoty efektu a ceny přístroje (Tabulka 19) jsou zde maximální hodnoty nákladové efektivity získány v rozdílné kombinaci snížení či zvýšení sledovaných parametrů. Zároveň je zde (i především díky barevnému škálování) patrný i skok v nákladové efektivitě mezi 4% snížením a nulovým snížením ceny spotřebního materiálu. Toto ukazuje na větší citlivost výsledků nákladové efektivity na vstupní parametry, avšak ani tak nedojde ke změně natolik výrazné, aby došlo ke změně výsledného pořadí hodnocených přístrojů.

### 3.1.2.3 Extrémní citlivostní analýza

Extrémní citlivostní analýza má oproti klasické dvoucestné citlivostní analýze hlavní výhodu v tom, že ji lze poměrně rychle a snad vypočítat i při zahrnutí velkého množství parametrů, které se budou v jednu chvíli měnit. Rychlost je dána tím, že tato analýza bere v potaz pouze extrémní hodnoty, což jsou maximální a minimální možné hodnoty. V rámci zachování kontinuity s předcházejícími analýzami byla tato hodnota zde zvolena jako 20%.

Volba parametrů pro tuto analýzu závisí zcela na tom, kdo tuto analýzu provádí. Nemusíme se zde omezovat na *pouhé* dva parametry, které bychom měnili, protože výpočetní náročnost je mnohem menší než při použití klasické dvoucestné citlivostní analýzy uvedené v kapitole 3.1.2.1 a 3.1.2.2. Zde uvedená citlivostní analýza variuje vstupní parametry:

- váha kritéria
  - o cena spotřebního materiálu,

- cena náhradních dílů,
- cena servisu,
- kritéria
  - cena spotřebního materiálu,
  - cena náhradních dílů,
  - cena servisu,
  - cena přístroje.

Tato kritéria byla zvolena především z toho důvodu, že není moc pravděpodobné, že by došlo ke změně velikosti nebo hmotnosti přístroje, pravděpodobnější je změna ceny, ať už celkové ceny přístroje, nebo potom cena spotřebního materiálu atp. Při výběru těchto parametrů je brána v potaz pravděpodobnost jejich změny, ale v žádném případě ji nesmíme považovat za pravděpodobnostní citlivostní analýzu. Tato *pravděpodobnost* je zde brána pouze jako jakýsi klíč pro výběr parametrů pro tuto analýzu, není zde však nijak kvantifikována a ani s ní ve vlastní extrémní citlivostní analýze není počítáno.

Váhy kritérií jsou potom variovány z toho důvodu, že jsou postavena na informacích od odborníků, jejichž subjektivita však nikdy nemůže být vyloučena (na jakékoliv úrovni), a tak je vždy dobré mít představu o tom, o kolik by se změnila výsledná nákladová efektivita, kdybychom ve skupině odborníků měli experty s odlišnými názory.

Níže uvedená Tabulka 21 a Tabulka 22 shrnují různé scénáře (V1-V8), podle kterých jsou data variována. Výsledky citlivostní analýzy jsou shrnuty na níže uvedeném Obrázek 38 a Obrázek 39.

**Tabulka 21: Extrémní citlivostní analýza, zvýšení hodnot**

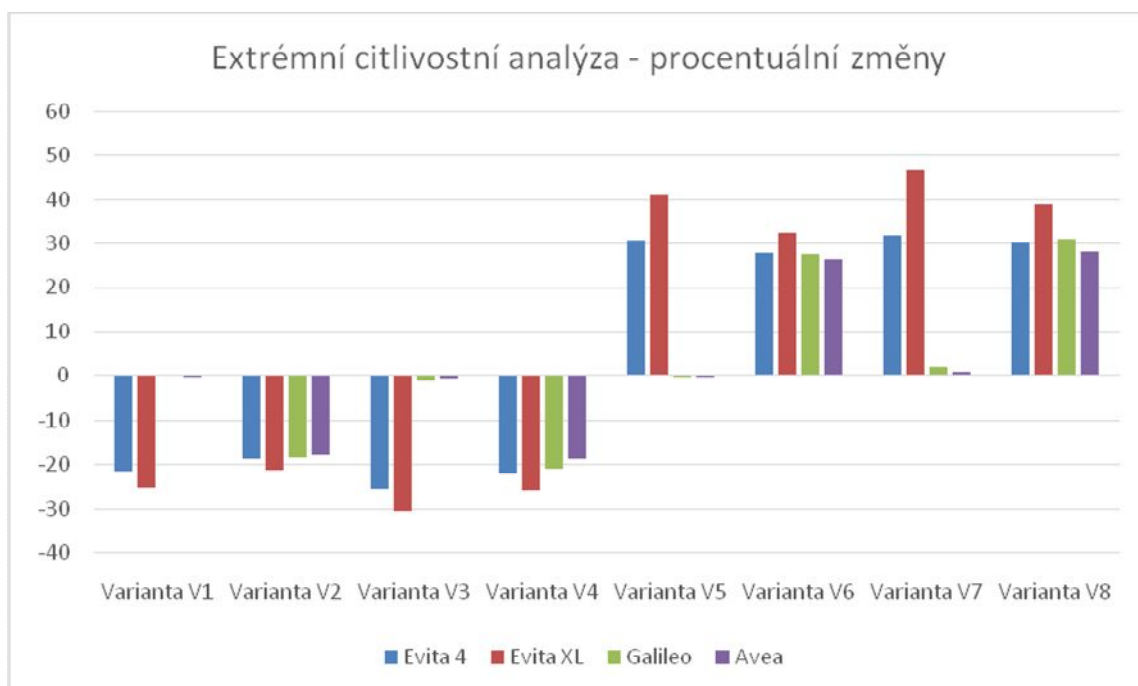
		V1	CEA	V2	CEA	V3	CEA	V4	CEA
Váha kritéria	Cena spotřebního materiálu	100 %	-	100 %	-	+20 %	-	+20 %	-
	Cena náhradních dílů	100 %	-	100 %	-	+20 %	-	+20 %	-
	Cena servisu	100 %	-	100 %	-	+20 %	-	+20 %	-
Evita 4	Cena spotřebního materiálu	+20 %	1,38	+20 %	1,43	+20 %	1,31	+20 %	1,37
	Cena náhradních dílů	+20 %		+20 %		+20 %			
	Cena servisu	+20 %		+20 %		+20 %			
	Cena přístroje	+20 %		+20 %		+20 %			
Evita XL	Cena spotřebního materiálu	+20 %	48,9	+20 %	51,7	+20 %	45,6	+20 %	48,6
	Cena náhradních	+20 %		+20 %		+20 %			

	dílů								
	Cena servisu	+20 %		+20 %		+20 %		+20 %	
	Cena přístroje	+20 %		+20 %		+20 %		+20 %	
Galileo	Cena spotřebního materiálu	100 %	118	+20 %	96	100 %	116	+20 %	93
	Cena náhradních dílů	100 %		+20 %		100 %		+20 %	
	Cena servisu	100 %		+20 %		100 %		+20 %	
	Cena přístroje	100 %		+20 %		100 %		+20 %	
Avea	Cena spotřebního materiálu	100 %	129	+20 %	106	100 %	128	+20 %	105
	Cena náhradních dílů	100 %		+20 %		100 %		+20 %	
	Cena servisu	100 %		+20 %		100 %		+20 %	
	Cena přístroje	100 %		+20 %		100 %		+20 %	

Tabulka 22: Extrémní citlivostní analýza, snížení hodnot

		V5	CEA	V6	CEA	V7	CEA	V8	CEA
Váha kritéria	Cena spotřebního materiálu	100 %	-	100 %	-	-20 %	-	-20 %	-
	Cena náhradních dílů	100 %	-	100 %	-	-20 %	-	-20 %	-
	Cena servisu	100 %	-	100 %	-	-20 %	-	-20 %	-
Evita 4	Cena spotřebního materiálu	-20 %	2,3	-20 %	2,25	-20 %	2,32	-20 %	2,29
	Cena náhradních dílů	-20 %		-20 %		-20 %			
	Cena servisu	-20 %		-20 %		-20 %			
	Cena přístroje	-20 %		-20 %		-20 %			
Evita XL	Cena spotřebního materiálu	-20 %	92,5	-20 %	86,7	-20 %	96	-20 %	91
	Cena náhradních dílů	-20 %		-20 %		-20 %			
	Cena servisu	-20 %		-20 %		-20 %			

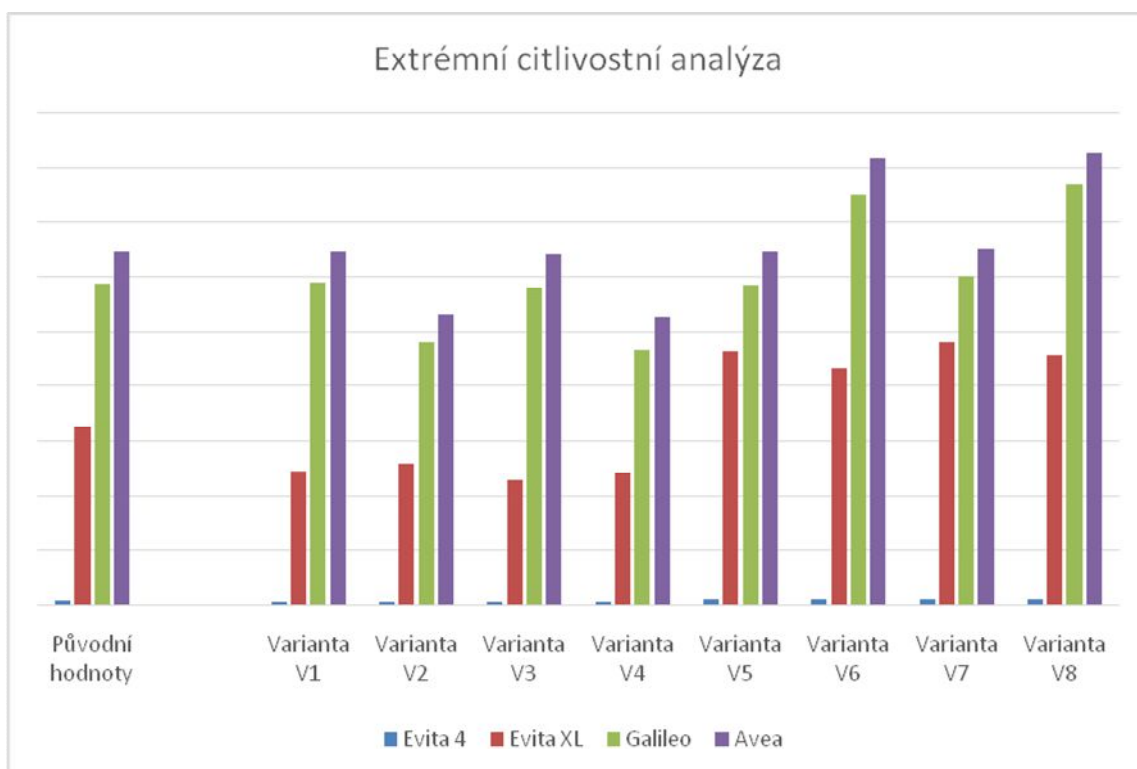
	Cena přístroje	-20 %		-20 %		-20 %		-20 %	
Galileo	Cena spotřebního materiálu	100 %	117	-20 %	150	100 %	120	-20 %	154
	Cena náhradních dílů	100 %		-20 %		100 %		-20 %	
	Cena servisu	100 %		-20 %		100 %		-20 %	
	Cena přístroje	100 %		-20 %		100 %		-20 %	
Avea	Cena spotřebního materiálu	100 %	129	-20 %	163	100 %	130	-20 %	165
	Cena náhradních dílů	100 %		-20 %		100 %		-20 %	
	Cena servisu	100 %		-20 %		100 %		-20 %	
	Cena přístroje	100 %		-20 %		100 %		-20 %	



Obrázek 38: Extrémní citlivostní analýza - procentuální změny

Z obrázku je patrné, že největší citlivost na provedené změny má nákladová efektivita přístroje Evita XL. Důležité je však sledovat i výsledné hodnoty, které můžeme vidět níže na Obrázek 39a které nám říkají, že i přes změnu nákladové efektivity přístroje Evita XL, ve všech scénářích zůstává nákladově nejefektivnější přístroj Avea.





Obrázek 39: Extrémní citlivostní analýza

### 3.1.3 Pravděpodobnostní citlivostní analýza

Pravděpodobnostní citlivostní analýza má oproti výše zmíněným deterministickým metodám citlivostních analýz tu výhodu, že daleko reálněji odráží skutečné změny jednotlivých parametrů modelu na základě pravděpodobnosti variování jejich hodnoty. V případě jejího aplikování na studii hodnotící přístrojovou zdravotnickou techniku zde však narazíme na problém určení pravděpodobnosti těchto změn, protože neexistuje žádné vodítko, na základě kterého by ji bylo možné určit.

Pokud bychom apriorně předpokládali, že je pravděpodobnost volby daného přístroje stejná u všech zvažovaných přístrojů, jak je tomu na začátku jejich hodnocení, nezmění nám tato pravděpodobnost žádným způsobem konečné výsledky nákladové efektivity, protože změny budou opět proporcionální. Dalším problémem je definování hodnot variovaných parametrů. K jejich charakteristice je nutné použít průměrnou hodnotu a dále například směrodatnou odchylku a je nezbytné k nim přiřadit také správné pravděpodobnostní rozdělení. To však není u žádného z parametrů známé. Předpokládali-li bychom normální rozdělení, jak tomu standardně bývá, opět nebudeme pozorovat žádné změny na výstupech modelu, protože během simulace bude pracováno převážně s průměrnou hodnotou, se kterou jsme pracovali i v *nepravděpodobnostní* metodě i během samotné realizace ekonomické analýzy.

### 3.1.4 Výsledky případové studie

Jednocestná citlivostní analýza zde byla realizována v několika designech. Při změně jednoho parametru multikriteriálního hodnocení v jednom čase jsou přístroje Evita 4 a Evita XL výrazně citlivé na všechny parametry týkající se *ceny* (cena spotřebního materiálu, servisu, náhradních dílů). I přes tuto citlivost však nedošlo ke změně výsledného pořadí přístrojů a vždy měl nejvyšší nákladovou efektivitu přístroj Avea. Všechny přístroje byly citlivé na změnu parametru hmotnost přístroje, avšak konečný výsledek také nezměnil výsledné pořadí přístrojů. Ke změně pořadí došlo pouze u variování parametru možnost propojení s klinickým informačním systémem, který byl variován specifickým způsobem (ano/ne). Při variování všech parametrů najednou byla pozorována největší citlivost přístroje Evita 4 na parametry hmotnost přístroje a možnost propojení s klinickým informačním systémem, avšak opět bez změny konečného pořadí. Stejně výsledky mělo i postupné variování vah kritérií hodnocených parametrů, v případě jejich variování u všech parametrů najednou byla pozorována nulová senzitivita. Variováním celkového efektu postupně u všech čtyř hodnocených přístrojů vedlo k procentuálně stejným změnám u všech přístrojů a v tomto případě se přístroj Galileo ocitl jako nákladově nejefektivnější. Změna celkového efektu přístroje neindikovala citlivost žádného přístroje na daný parametr. Při postupném variování cen přístrojů se za situace snížení ceny přístroje Galileo tento přístroj jevil jako nákladově nejefektivnější, variování cen všech přístrojů najednou nezpůsobilo žádné změny v hodnocení. Při změně celkové nákladové efektivity se opět přístroj Galileo umístil na prvním místě, avšak pouze v jednom z osmi možných scénářů, variování tohoto parametru u všech přístrojů najednou opět nevedlo k žádným změnám.

Dvoucestná citlivostní analýza kombinovala parametry celkového efektu a ceny přístroje v rozsahu  $\pm 20\%$  v  $4\%$  intervalech a neindikovala žádnou významnou citlivost přístrojů k těmto parametrům, obdobně jako tomu bylo v případě kombinace variovaných efektů ceny spotřebního materiálu a hmotnosti přístroje.

Extrémní citlivostní analýza zvažovala opět několik možných kombinací, avšak v ani jednom případě opět nedošlo ke změně konečného pořadí. Nejcitlivější byl na tyto změny přístroj Evita XL.

Pravděpodobnostní citlivostní analýza nepřinesla v tomto konkrétním případě žádné informace o citlivosti studie.

Z výsledků je patrné, že některé přístroje byly senzitivní vůči některým parametrům, avšak ve většině případů (vezmeme-li v úvahu množství aplikovaných citlivostních analýz a počet případů změny pořadí) nevedly tyto změny ke zpochybnění hodnocení vítězného přístroje. Výstupy studie tedy můžeme považovat za robustní, bez významné závislosti na změně vstupních dat.

## 4 Diskuze

Větší množství finančních prostředků ve zdravotnictví přináší zvýšenou pozornost také na jejich efektivní vynakládání. Vzhledem k tomu, že mezi hlavní finanční toky ve zdravotnictví nepatří jenom platy a mzdy zaměstnanců, ale také prostředky vynaložené na nákup zdravotnické techniky či jiných zdravotnických technologií, je zapotřebí nalézt správné nástroje pro posouzení nákupu či výběru zdravotnické technologie jako takové. Ve zdravotnictví však můžeme narazit na řadu otázek, které je obtížné hodnotit, především také z etických důvodů, protože z určitého úhlu pohledu srovnáváme poskytnutou péči o pacienty a peníze vynaložené na tuto péči. Je zřejmé, že každý pacient by měl dostat co nejvyšší úroveň zdravotní péče, avšak v důsledku sledování tohoto *cíle* došlo v minulých letech například k tomu, že se vysoce specializovaná a drahá zdravotnická technika vyskytla v řadě menších, blízce sousedících zdravotnických zařízeních. Nabízí se pak otázka na využitost těchto přístrojů. *Výhodně* nakoupit zdravotnickou techniku neznamená jen nakoupit *levně*, ale i *rozumně*. Hodnocení zdravotnických technologií (HTA) se mimo jiné zabývá právě hodnocením nákupů zdravotnické techniky nejen z pohledu finančního, ale také z pohledu opodstatnění celého nákupu a výběru vhodného přístroje, terapeutického postupu aj. a ke komplexnosti tohoto hodnocení napomáhají právě i citlivostní analýzy.

Tato práce je zaměřena na problematiku nákupu zdravotnické techniky, což je specifická oblast z důvodu obtížného hodnocení zdravotnických přístrojů. Peníze jsou v dnešní době stále velmi důležité a mnohdy hrají velmi výraznou roli v našem rozhodování, ale, jak již bylo zmíněno výše, není žádoucí vybírat přístroj jenom na základě jeho pořizovací ceny. Při nákupu je důležité rozklíčovat všechny další spojené náklady – nezaměřit se pouze na cenu, za kterou je přístroj kupován, ale najít i další náklady na provoz, nezbytný servis a další spojené výdaje, které by musely být vynaloženy, ať už kvůli vlastnímu provozu, zastarávání přístroje anebo nezbytným kontrolám stanoveným platnou legislativou. Vedle ceny je však důležité zohlednit i jiné faktory, které mohou mít vliv na rozhodnutí a výběr přístroje. Jedná-li se o zdravotnickou techniku, je zřejmé, že je u nich možné hodnotit řadu technických parametrů. Je pak nutné vyřešit, kdo bude tyto parametry hodnotit. Technik či biomedicínský inženýr bude mít zřejmě jiné priority než lékař si zdravotní sestra obsluhující daný přístroj v praxi, stejně tak bude mít jiné nároky ekonom zdravotnického zařízení. A konečně, zcela odlišné preference může mít samotný pacient. Možností, jak řešit problematiku hodnocení zdravotnické techniky, může být multikriteriální hodnocení. S jeho pomocí je možné posoudit vícero parametrů od více zainteresovaných osob najednou. Posuzuje-li však více osob více parametrů, automaticky se zde bude vyskytovat daleko více „*co kdyby*“. Co kdyby přístroj hodnotily jiné osoby? Co kdyby měl přístroj ten či onen parametr namísto toho a toho? Co kdyby byl přístroj levnější? Měli bychom proto mít představu o *důležitosti* jednotlivých hodnocených parametrů jako takových, ale i o hodnotitelích a o míře jejich vlivu na celé hodnocení. Řešením tohoto problému mohou být citlivostní analýzy.

Citlivostní analýzy nejsou vynálezem HTA, nejsou ani vynálezem z poslední doby. S citlivostními analýzami se setkáváme již řadu let v mnohých odvětvích, někdy ani

nemusíme vědět, že se o citlivostní analýzu jedná, protože jak bylo uvedeno i v případové studii v této práci, může mít řadu podob a provedení. V posledních letech stoupá výskyt studií, ve kterých je aplikována citlivostní analýza na výsledky studie, aby byla zjištěna robustnost či senzitivita dat. Lze předpokládat stejný trend jako u statistického zpracování dat v odborných člancích, kdy dříve byly v impaktovaných časopisech publikovány články i bez výzkumu a následného statistického zpracování dat, dnes, i v souvislosti s *evidence based medicine*, je nutné každou práci doložit i vlastním výzkumem. Je tedy otázkou času, kdy se citlivostní analýzy zařadí mezi vyžadované součásti vědeckých publikací, protože pokud pracujeme s nějakými daty, měli bychom rozhodně mít představu i o tom, která jsou pro nás klíčová a která tolerují určitou variabilitu.

Pro hodnocení zdravotnické techniky (v rámci HTA) je nejčastěji používána ekonomická analýza – analýza nákladové efektivity [40, 65, 66, 86]. Pro stanovení efektů přístrojové techniky je možné použít multikriteriální hodnocení, které oproti často užívanému hodnocení či porovnávání různých variant umožňuje zohlednit vícero kritérií, nikoliv jen nejčastěji používanou cenu [85]. Tento postup se kombinuje také s metodami hodnotového inženýrství, které jsou využitelné pro stanovení vah kritérií, která jsou hodnocena. Tato kombinace zajišťuje komplexní hodnocení, tedy hodnocení s daleko vyšší vypovídající hodnotou, protože umožňuje hodnotit techniku z několika úhlů pohledu.

Metody hodnotového inženýrství však stojí na názorech odborníků, jak bylo ve zde uvedené případové studii blíže popsáno v kapitole 3, avšak v současné době neexistuje žádný způsob, jakým bychom mohli určit, *kdo* je odborníkem a *kdo* je laikem, neexistují žádná kritéria, na základě jejichž splnění by se člověk odborníkem stal, neexistuje seznam odborníků, ze kterého by se mohli vybírat pro potřeby hodnocení nějakého přístroje a především neexistuje ani žádný standardizovaný způsob, jakým bychom mohli odborníka vybrat (řekněme z již existující skupiny expertů), aby se podílel na našem hodnocení v rámci nějaké konkrétní studie. Vždy tak musíme počítat se subjektivním ovlivněním výsledků dané analýzy. Jako autoři studie ji můžeme ovlivnit volbou expertů, experti zase mohou ovlivnit výsledky studie svým subjektivním hodnocením, a to ať už vědomě, tak i nevědomě. Netřeba zkoumat, který případ je závažnější, ovlivnění výsledků je problém tak jako tak. Z toho důvodu bychom měli mít představu, jakým způsobem by se výsledné hodnocení mohlo změnit, kdybychom zvolili jiné experty, popř. kdyby se váha jednoho nebo více kritérií změnila, tedy kdyby se změnil celkový efekt hodnoceného přístroje, potažmo celá nákladová efektivita. Došlo by tehdy ke změně pořadí hodnocených přístrojů, na základě kterého je doporučováno zakoupení přístroje? Nebo jsou výsledky natolik suverénní a robustní, že ke změně nedojde? Například technické parametry typu velikosti či hmotnosti přístroje mohou hrát významnou roli pro personál, který s daným přístrojem pracuje, avšak pro ekonomu nemocnice pravděpodobně nebudou významné. Toto souvisí právě i s výše zmiňovanou skupinou odborníků, kteří mají přístroj hodnotit. Není stanoveno, zda se má jednat o ekonomy nebo lékaře atp. Nejedná se tedy pouze o *reprezentativnost výběru vzorku expertů* či jejich *kvalifikaci pro to být expertem*, ale také o správnou strukturu této skupiny.

Nejde však jen o určování vah kritérií. Samotné parametry a jejich hodnoty, a především pak jejich změny, mohou vést ke změně konečných výsledků studie. Samozřejmě záleží na parametrech, které jsou v hodnocení zvažované. Ve zde demonstrované případové studii (viz kap.3) byla polovina parametrů, na kterých bylo multikriteriální hodnocení postaveno, asociována s *cenou*. Jde především o cenu spotřebního materiálu, cenu servisu a cenu náhradních dílů. Otázce peněz není možné se vyhnout. Ani po rozklíčování *dalších* nákladů, které nejsou zahrnuty ve vlastní ceně přístroje, není možné s jistotou říci, zda námi odhadované výdaje budou v budoucnu skutečně vynaloženy. Je to z toho důvodu, že je jen velmi obtížně predikovatelné, jak se bude cena samotného přístroje či dalších, s ním souvisejících služeb, vyvíjet. Může docházet k morálnímu zastarávání dané technologie a velmi rychle může být vynalezena nová, daleko efektivnější, která nahradí nebo učiní technologie dosud používané více ekonomičtějšími. Výrobce se může dostat do problémů nebo naopak začít velmi výrazně prosperovat, tedy ceny přístrojů mohou v relativně krátkém časovém období růst či klesat. Například k nedávné ekonomické krizi bychom také mohli zvažovat souvislosti s vývojem ekonomiky státu či s globálními vlivy.

V současné době neexistují v České republice žádná doporučení, jak citlivostní analýzy aplikovat v praxi. Jak bylo názorně ukázáno ve zde uvedené případové studii, můžeme citlivostní analýzy chápat a klasifikovat z mnoha úhlů pohledu.

Jedno členění citlivostních analýz vychází z počtu variovaných parametrů, jak bylo uvedeno v kap.1.4. Pro to, jaký typ citlivostní analýzy zvolit, je důležité uvědomit si, co chceme použitou citlivostní analýzou zjistit. Pokud budeme variovat nejzákladnější (prvotní) parametry hodnocení, se kterými je pak na několika dalších, následujících úrovních hodnocení dále pracováno, získáme detailní představu o tom, jaký parametr má jaký vliv, avšak musíme pak počítat s narůstající náročností realizace citlivostní analýzy. Na případové studii (viz kap.) bylo demonstrováno celkem deset jednocestných citlivostních analýz, tedy analýz, kdy byl vždy změněn pouze jeden parametr a byl sledován vliv na výstupy studie. Volbu variovaného parametru můžeme provést na základě dvou předpokladů. Buďto budeme variovat parametr, který je apriori předmětem našeho zájmu, v takovém případě bychom si však měli klást otázku, proč je pro nás právě tento parametr důležitý (s čímž pak souvisí další otázka, *proč* je pro nás zrovna tento parametr důležitý), nebo budeme variovat parametry všechny, což nám umožní získat informace o všech parametrech, na základě čehož můžeme identifikovat ty nejrizikovější. Z logiky vyplývá, že daleko větší výpovědní hodnotu pro nás bude mít druhý uvedený případ, avšak zde je důležité si uvědomit, že čím více parametrů budeme variovat, tím rozsáhlejší analýzu musíme provést. Pokud pak budeme variovat velké množství parametrů, získáme také rozsáhlejší soubor dat, které musíme pro vyhodnocení citlivostní analýzy správně statisticky zpracovat. Tím mohou narůstat požadavky na schopnosti zpracovávání dat a jejich následnou analýzu. Vedle toho bychom také měli zohlednit to, jakým způsobem budeme citlivostní analýzu počítat. Jednoduché citlivostní analýzy bychom mohli spočítat i bez využití sofistikovaných výpočetních technologií, rozsáhlejší analýzy je možné provádět například v programu MS Excel, což je pravděpodobně volba velké části

výzkumníků, nebo můžeme použít sofistikovanější programy, jako může být například program TreeAge.

V případové studii použité v této práci (viz kap. 3) bylo pro názornost předvedeno několik možných pojetí citlivostní analýzy a jako variovaný parametr tak zde byl považován:

- parametr multikriteriálního hodnocení,
- váha kritéria,
- celkový efekt přístroje,
- cena přístroje,
- nákladová efektivita přístroje.

Parametry uvedené v tomto pořadí mají snižující se výpovědní hodnotu o variování tohoto prvku, jak již bylo naznačeno výše. Půjdeme-li od základů hodnocení, získáme nejdetailejší představu o senzitivě dat. Pokud bychom měnili nákladovou efektivitu jednotlivých přístrojů, tak tato změna by mohla být zapříčiněna změnou ceny přístroje nebo efektu přístroje (nebo samozřejmě obojím). Efekt přístroje však v sobě dále agreguje váhu kritéria a i samotné kritérium [85].

Otázkou tedy zůstává, zda nám bude k užitku fakt, že při změně celkového efektu se změní nákladová efektivita přístrojů, třeba i výsledné pořadí, protože nebudeme vědět, v jakém případě by mohlo k takové změně hodnoty efektu dojít, jelikož v sobě obsahuje další řadu parametrů, které takovou změnu mohou způsobit, a to v různém rozsahu jejich variování. Je tedy jasné, že variovaný parametr musíme volit vzhledem k tomu, jak moc vypovídající chceme, aby pro nás byl. Rozsah variování parametru je běžně volen  $\pm 20\%$  původní hodnoty, můžeme však volit tento rozsah dle svého uvážení. Mohli bychom použít rozsah  $\pm 50\%$ , je však sporné, zda je reálné, že by cena přístroje najednou klesla na polovinu, případně se o polovinu zvýšila. Tady bychom si měli položit otázku, jaké pozadí pro nás má citlivostní analýza mít, tedy jak velké procentuální rozpětí zvolit – i v kontextu toho, jak mohou být takové změny realistické. Pokud však budeme počítat s 50% odchylkami, jsou už méně pravděpodobné, avšak pro názornost senzitivity či robustnosti dat pro nás mohou být stejně tak dobře vypovídající a v tomto duchu by mohly být použity rozsahy variování i více než 50 % (podrobněji popsáno v kap. 3). Možnost variování parametrů o směrodatnou odchylku v této případové studii měla sice inverzní výsledky v rámci jednotlivých přístrojů, avšak vždy byl identifikován ten samý přístroj. Směrodatnou odchylku však nelze použít u všech parametrů, jak je patrné ve zde uvedené případové studii, viz kap. 3, a tak pro zachování konzistence je zřejmě vhodnější používat procentuální odchylky.

Na provedených citlivostních analýzách bychom si měli také všimnout toho, že když změním jeden parametr u jednoho přístroje, může dojít k ovlivnění nákladové efektivity i u jiných přístrojů. To je dáno charakterem multikriteriálního hodnocení a tím, že jednotlivé parametry jsou následně matematickými operacemi vzájemně propojeny, a tak může dojít ke změně výsledků u všech parametrů. Nejedná se tak o *chybu*. Ve většině případů však nedošlo k tak výrazné změně nákladové efektivity jednotlivých přístrojů, aby bylo změněno jejich celkové pořadí. I přes to, že přístroje Evita 4 a Evita XL (viz kap. 3)

v některých případech vykazovaly velikou citlivost na změnu některých parametrů, zbývající dva přístroje jim byly v původním hodnocení natolik vzdálené, že na změnu pořadí toto nestačilo. Naopak přístroj Galileo a přístroj Avea si byly natolik blízké (viz kap.3), že v některých případech došlo právě u těchto přístrojů ke změně pořadí a Avea by se umístila až na druhém místě, avšak těchto případů bylo pouze minimum a v kontextu všech provedených citlivostních analýz jsou tyto odchylky prakticky nevýznamné.

Design jednocestných citlivostních analýz se lišil také v tom, zda byl daný parametr variován u všech přístrojů postupně, anebo najednou. Z výsledků vyplývá, že při změně parametrů najednou dochází k proporcionalním změnám ve výsledcích nákladové efektivity, a proto je daleko vhodnější používat postupný design analýzy (viz kap.3).

Při provádění citlivostní analýzy můžeme také zvažovat, zda je reálné, že všechny parametry analýzy by se mohly skutečně změnit. Při hodnocení zdravotnické techniky je posuzována řada především technických parametrů jako například hmotnost přístroje. V některých citlivostních analýzách provedených v této práci byly variovány právě i tyto parametry, což však může narazit na pravděpodobnost změny těchto parametrů. Zatímco možnost propojení přístroje s informačním systémem může být upravena, zůstává otázkou, jak reálné je například snížení hmotnosti přístroje pro plicní ventilaci pro zvýšení jeho celkového efektu či přínosu.

Problematické je provádění pravděpodobnostní citlivostní analýzy v rámci zde uváděného typu studie. Pro provedení pravděpodobnostní citlivostní analýzy je zapotřebí znát specifické statistické hodnoty pro charakterizování jednotlivých parametrů. Tato data jsou však u zdravotnické techniky nedostupná. Není možné získat informace o pravděpodobnosti změny hmotnosti daného přístroje, stejně tak je problematické získat informace o změně ceny přístroje a předpokládat její vývoj. Mohli bychom sledovat její dosavadní vývoj v čase a na základě těchto informací indikovat určitý trend ve vývoji ceny, avšak, jak již bylo zmíněno výše, na cenu může mít vliv řada vnějších, výrobcem neovlivnitelných faktorů, a potom je opět diskutabilní, nakolik by byly takovéto parametry relevantní. Pokud bychom předpokládali stejnou pravděpodobnost změny u všech přístrojů, výsledky analýzy se nijak nezmění a její provádění je zbytečné. Stejný problém je i s charakterizováním daných parametrů. Neznáme pravděpodobnostní rozdělení těchto parametrů, předpokládali bychom tedy normální rozdělení. Pro charakterizování tohoto rozdělení potřebujeme znát průměrnou hodnotu a například směrodatnou odchylku. Obě tyto hodnoty je možné vypočítat, ale použijeme-li normální rozdělení u všech parametrů, které chceme variovat, program, který k simulaci použijeme, bude vždy počítat právě s průměrnými hodnotami, se kterými jsme počítali i bez použití simulace, ať už zvolíme jakékoli množství iterací. Jak je tedy patrné i z literatury [77, 87–89], neznáme-li přesná, úplná data k tomu, abychom mohli provést pravděpodobnostní citlivostní analýzu a jenom neodhadovali nastavení parametrů, neměli bychom tuto analýzu provádět, protože její výsledky pak mohou být zkreslené a nemají významnou vypovídající hodnotu. V oblasti HTA je možné pravděpodobnostní analýzu velmi dobře aplikovat například při porovnávání různých terapeutických postupů, kdy bychom například porovnávali laparoskopickou a otevřenou operaci [68, 74, 90, 91]. V takovém případě máme k dispozici data o tom, jaké komplikace jsou s konkrétní terapií spojené, jaké s sebou

nesou následky apod. S takovými daty můžeme poté dopodrobna simulovat různé scénáře. V případě zdravotnické techniky je však nemožné taková data získat, a proto je pravděpodobnostní citlivostní analýza nevhodná pro tento typ studií.

Dosud byly diskutovány především vstupní parametry, které mají být variované, ale ještě by měly být zmíněny i výstupy, které sledujeme. V případové studii zde uvedené byla sledována výsledná nákladová efektivita přístrojů a především pak konečné pořadí hodnocených přístrojů, které bylo důležité pro nákup dané techniky. Sledovat bychom však mohli na vícero – nižších – úrovních. Mohli bychom například sledovat také to, jak se změní celkový efekt přístroje, avšak tato změna je právě odražena i ve zmíněném konečném pořadí. Vždy je však důležité zasadit výsledky do správného kontextu a správně je interpretovat.



## 5 Závěr

Citlivostní analýza je vhodným doplněním studií zabývajících se hodnocením zdravotnických technologií. Tato práce byla zaměřena na její využití v případě hodnocení zdravotnické techniky. Analýza současného stavu využívání citlivostních analýz uvedená v první části této práce ukazuje, že i přes velké přínosy tohoto typu analýzy je stále poměrně málo využívána v oblasti HTA, především pak při hodnocení zdravotnické přístrojové techniky. Vedle přehledu různých druhů v současnosti používaných citlivostních analýz obsahuje tato práce případovou studii, na které je demonstrován příklad aplikace citlivostní analýzy v několika jejích podobách a v různých designech analýz. Případová studie se zakládá na ekonomické analýze nákladové efektivity, která je jednou z nejčastěji používaných analýz pro hodnocení zdravotnických přístrojů za účelem výběru přístroje pro nákup daným zdravotnickým zařízením. Výsledky této práce mohou být shrnuty takto:

- citlivostní analýza má přínos pro hodnocení zdravotnické techniky,
- realizace citlivostní analýzy u zdravotnické techniky má svá specifika, která indikují vhodnost použití deterministických metod citlivostních analýz,
- stochastická citlivostní analýza není vhodná pro studie hodnotící přístrojovou techniku, protože není možné získat úplná data pro její objektivní provedení,
- větší přínos má design citlivostní studie s postupným variováním jednoho parametru u jednoho hodnoceného přístroje než u všech najednou,
- čím základnější parametr bude variován, tím detailnější informace o možných příčinách změny výstupů studie můžeme získat.

Zde uvedená případová studie popisuje způsoby, jakými může být citlivostní analýza aplikována i na jiné druhy studií, tato práce ukazuje především způsob analýzy primární studie tak, aby na ni mohla být aplikována citlivostní analýza.

## Seznam použité literatury

- [1] GOODMAN, Clifford S. Goodman , C. S. HTA 101: Introduction to Health Technology Assessment. In: U.S. National Library of Medicine [online]. National Institutes of Health, January 2004. [cit. 25. 11. 2013]. [online]. 2014. Dostupné z: [http://www.nlm.nih.gov/nichsr/hta101/ta101\\_c1.html](http://www.nlm.nih.gov/nichsr/hta101/ta101_c1.html).
- [2] DONNELL, John C O, Sissi V PHAM, Chris L PASHOS, David W MILLER a Marilyn Dix SMITH. Health Technology Assessment : Lessons Learned from Around the World — An Overview. 2009, roč. 12.
- [3] ISPOR. *Health Care Cost, Quality, and Outcomes: ISPOR Book of Terms*. 1. vyd. 2003. ISBN 978-0974328904.
- [4] BANTA, David. What is technology assessment? *International journal of technology assessment in health care* [online]. 2009, roč. 25 Suppl 1, s. 7–9. ISSN 0266-4623. Dostupné z: doi:10.1017/S0266462309090333
- [5] DADDARIO, Emilio Q, Daniel V De SIMONE, Robert M BALL a Helen E NELSON. Development of Medical Technology : Opportunities for Assessment. *United States Congress, Office of Technology Assessment*. 1976, s. 101.
- [6] OTA. Assessing the Efficacy and Safety of Medical Technologies. *Congress of The United States, Office of Technology Assessment*. 1978, s. 1–133.
- [7] OTA. The implications of cost-effectiveness analysis of medical technology. *Congress of The United States, Office of Technology Assessment*. 1980, s. 219.
- [8] OTA. Policy Implications of the Computed Tomography ( CT ) Scanner November. *Congress of The United States, Office of Technology Assessment*. 1978, č. 186.
- [9] BANTA, David a Egon JONSSON. History of HTA : Introduction [online]. 2009, roč. 1, s. 1–6. Dostupné z: doi:10.1017/S0266462309090321
- [10] FENDALL, N R. Declaration of Alma-Ata. *Lancet* [online]. 1978, roč. 2, č. 8103, s. 1308. ISSN 01406736. Dostupné z: doi:10.1016/S0140-6736(79)90622-6
- [11] BELSEY, Jonathan a Tony SNELL. What is evidence-based medicine? *Bandolier* [online]. 2009, č. May, s. 1–10. ISSN 1326-5377. Dostupné z: <http://www.medicine.ox.ac.uk/bandolier/painres/download/whatis/ebm.pdf>
- [12] BRIGGS, Andrew H., Milton C. WEINSTEIN, Elisabeth a L FENWICK, Jonathan KARNON, Mark J. SCULPHER a a. David PALTIEL. Model parameter estimation and uncertainty: A report of the ISPOR-SMDM modeling good research practices task force-6. *Value in Health* [online]. 2012, roč. 15, č. 6, s. 835–842. ISSN 10983015. Dostupné z: doi:10.1016/j.jval.2012.04.014
- [13] CLEMEN, Robert Taylor a Terence REILLY. *Making Hard Decisions with Decision Tools*. B.m.: B.m.: Thomson Learning, 2000. ISBN 0534365973.
- [14] PANNELL, David J. Sensitivity analysis of normative economic models: Theoretical framework and practical strategies. *Agricultural Economics* [online]. 1997, roč. 16, č. 2, s. 139–152. ISSN 01695150. Dostupné z: doi:10.1016/S0169-5150(96)01217-0
- [15] HUNINK, M G. Decision Making in Health and Medicine: Integrating Evidence and Values. *Journal of the Royal Society of Medicine* [online]. 2002, roč. 95, č. 2, s. 108–109. ISSN 0141-0768. Dostupné z: doi:10.1258/jrsm.95.2.108-a
- [16] VIEL, J F, D POBEL a A CARRÉ. *Incidence of leukaemia in young people around*

- the La Hague nuclear waste reprocessing plant: a sensitivity analysis*. [online]. ISBN 0277-6715 (Print)n0277-6715 (Linking). Dostupné z: doi:10.1002/sim.4780142114
- [17] SALTELLI, Andrea, Stefano TARANTOLA, Francesca CAMPOLONGO a Marco RATTO. *Sensitivity Analysis in Practice* [online]. 2004. ISBN 0470870931. Dostupné z: doi:10.1002/0470870958
- [18] W.K. KELLOGG FOUNDATION. *Logic Model Development Guide*. 1. vyd. 2004.
- [19] KOTIADIS, Kathy a Stewart ROBINSON. Conceptual modelling: Knowledge acquisition and model abstraction. *Proceedings - Winter Simulation Conference* [online]. 2008, č. September 2015, s. 951–958. ISSN 08917736. Dostupné z: doi:10.1109/WSC.2008.4736161
- [20] KAMPIS, George. *Life itself. A comprehensive inquiry into the nature, origin, and fabrication of life* [online]. 1995. ISBN 0231075642. Dostupné z: doi:10.1016/0303-2647(95)90013-6
- [21] MORRIS, Tim P, Brennan C KAHAN a Ian R WHITE. Choosing sensitivity analyses for randomised trials: principles. *BMC medical research methodology* [online]. 2014, roč. 14, s. 11. ISSN 1471-2288. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2288-14-11
- [22] FIACCO, Anthony V. *Introduction to Sensitivity and Stability Analysis in Nonlinear Programming (Anthony V. Fiacco)* [online]. 1985. ISBN 0122544501. Dostupné z: doi:10.1137/1027038
- [23] EUNETHTA JOINT ACTION 2, Work Package 8. The HTA Core Model ® Version 2.1 [online]. 2015, s. 1–453. Dostupné z: <http://www.corehta.info/BrowseModel.aspx>
- [24] STORM, Brian L., Stephen E. KIMMEL, Sean HENNESSY, Suzanne L. WEST, Mary Elizabeth RITCHEY a Charles POOLE. Validity of pharmacoepidemiology drug and diagnosis data. *Textbook of Pharmacoepidemiology* [online]. 2013, roč. 2. Dostupné z: doi:10.1002/9781118344828.ch12
- [25] SCHNEEWEISS, Sebastian. Sensitivity analysis and external adjustment for unmeasured confounders in epidemiologic database studies of therapeutics. *Pharmacoepidemiology and Drug Safety* [online]. 2006, roč. 15, č. 5, s. 291–303. ISSN 10538569. Dostupné z: doi:10.1002/pds.1200
- [26] USFDA. International Conference on Harmonisation; Guidance on Statistical Principles for Clinical Trials. Guideline E9. Statistical principles for clinical trials. *Federal Register*. 1998, roč. 63, č. February, s. 49583–49598. ISSN 0277-6715.
- [27] NATIONAL INSTITUTE FOR HEALTH AND CARE EXCELLENCE. Guide to the methods of technology appraisal 2013 [online]. 2013, č. April, s. 1–93. Dostupné z: <http://www.nice.org.uk/media/D45/1E/GuideToMethodsTechnologyAppraisal2013.pdf>
- [28] THABANE, Lehana, Lawrence MBUAGBAW, Shiyuan ZHANG, Zainab SAMAAAN, Maura MARCUCCI, Chenglin YE, Marroon THABANE, Lora GIANGREGORIO, Brittany DENNIS, Daisy KOSA, Victoria BORG DEBONO, Rejane DILLENBURG, Vincent FRUCI, Monica BAWOR, Juneyoung LEE, George WELLS a Charles H GOLDSMITH. A tutorial on sensitivity analyses in clinical trials: the what, why, when and how. *BMC medical research methodology*

- [online]. 2013, roč. 13, č. 1, s. 92. ISSN 1471-2288. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2288-13-92
- [29] *Guidelines for reporting descriptive statistics in health research: Nurse Researcher: Vol. 15, No. 2 (RCNP)* [online]. Dostupné z: [http://rcnpublishing.com/doi/abs/10.7748/nr2008.01.15.2.72.c6331?url\\_ver=Z39.88-2003&rfr\\_id=ori:rid:crossref.org&rfr\\_dat=cr\\_pub=pubmed&](http://rcnpublishing.com/doi/abs/10.7748/nr2008.01.15.2.72.c6331?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub=pubmed&)
- [30] WILLIAMS, Nefyn H., Rhiannon T. EDWARDS, Pat LINCK, Rachel MUNTZ, Richard HIBBS, Clare WILKINSON, Ian RUSSELL, Daphne RUSSELL a Barry HOUNSOME. Cost-utility analysis of osteopathy in primary care: Results from a pragmatic randomized controlled trial. *Family Practice* [online]. 2004, roč. 21, č. 6, s. 643–650. ISSN 02632136. Dostupné z: doi:10.1093/fampra/cmh612
- [31] MORDEN, James P, Paul C LAMBERT, Nicholas LATIMER, Keith R ABRAMS a Allan J WAILOO. Assessing methods for dealing with treatment switching in randomised controlled trials: a simulation study. *BMC medical research methodology* [online]. 2011, roč. 11, č. 1, s. 4. ISSN 1471-2288. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2288-11-4
- [32] BORRELLI, Belinda. The assessment, monitoring, and enhancement of treatment fidelity in public health clinical trials. *J Public Health Dent* [online]. 2012, roč. 71, s. 1–21. Dostupné z: doi:10.1111/j.1752-7325.2011.00233.x.The
- [33] YE, Chenglin, Lora GIANGREGORIO, Anne HOLBROOK, Eleanor PULLENAYEGUM, Charlie H. GOLDSMITH a Lehana THABANE. *Data withdrawal in randomized controlled trials: Defining the problem and proposing solutions. A commentary.* [online]. 2011. ISBN 1559-2030. Dostupné z: doi:10.1016/j.cct.2011.01.016
- [34] GUPTA, SK. Intention-to-treat concept: A review. *Perspectives in Clinical Research* [online]. 2011, roč. 2, č. 3, s. 109–112. Dostupné z: doi:10.4103/2229-3485.83221
- [35] SAINANI, KL. Making Sense of intention-to-treat. *PM & R* [online]. 2010, roč. 2, č. 3, s. 209–213. ISSN 09657576. Dostupné z: doi:10.1111/j.1467-9396.2011.00987.x
- [36] BENDTSEN, Preben, Jim MCCAMBRIDGE, Marcus BENDTSEN, Nadine KARLSSON a Per NILSEN. Effectiveness of a Proactive Mail-Based Alcohol Internet Intervention for University Students: Dismantling the Assessment and Feedback Components in a Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research* [online]. 2012, roč. 14, č. 5. Dostupné z: doi:10.2196/jmir.2062
- [37] DEGASPERI, Andrea a Stephen GILMORE. Sensitivity analysis of stochastic models of bistable biochemical reactions. *Formal Methods for Computational Systems Biology (SFM-08:Bio)* [online]. 2008, s. 1–20. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-68894-5\_1
- [38] SALTELLI, Andrea, Marco RATTO, Stefano TARANTOLA a Francesca CAMPOLONGO. Sensitivity analysis for chemical models. *Chemical Reviews* [online]. 2005, roč. 105, č. 7, s. 2811–2827. ISSN 00092665. Dostupné z: doi:10.1021/cr040659d
- [39] TAYLOR, Matthew. What is sensitivity analysis. *Consortium YHE: University of York* [online]. 2009, č. April 2009, s. 1–8. Dostupné z: [http://meds.queensu.ca/medicine/obgyn/pdf/what\\_is/WhatisSensitivityAnalysis.pdf](http://meds.queensu.ca/medicine/obgyn/pdf/what_is/WhatisSensitivityAnalysis.pdf)

- [40] MAUSKOPF, J a, S D SULLIVAN, L ANNEMANS, J CARO, C D MULLINS, M NUIJTEN, E ORLEWSKA, J WATKINS a P TRUEMAN. Principles of good practice for budget impact analysis: report of the ISPOR Task Force on good research practices--budget impact analysis. *Value in Health* [online]. 2007, roč. 10, č. 5, s. 336–347. ISSN 1098-3015. Dostupné z: doi:10.1111/j.1524-4733.2007.00187.x
- [41] HAMBY, D M. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*. 1994, roč. 32, s. 135–154.
- [42] SALTELLI, Andrea a Marco RATTO. *Sensitivity Analysis: The Primer* [online]. 2008. ISBN 9780470725184. Dostupné z: doi:10.1002/9780470725184.ch6
- [43] WANG, Samuel J., Blackford MIDDLETON, Lisa a. PROSSER, Christiana G. BARDON, Cynthia D. SPURR, Patricia J. CARCHIDI, Anne F. KITTLER, Robert C. GOLDSZER, David G. FAIRCHILD, Andrew J. SUSSMAN, Gilad J. KUPERMAN a David W. BATES. A cost-benefit analysis of electronic medical records in primary care. *American Journal of Medicine* [online]. 2003, roč. 114, č. 5, s. 397–403. ISSN 00029343. Dostupné z: doi:10.1016/S0002-9343(03)00057-3
- [44] ISHIDA, Hiroyuki, Shota KOBAYASHI, Shinjiro KANAE, Tomoko HASEGAWA, Shinichiro FUJIMORI, Yonghee SHIN, Kiyoshi TAKAHASHI, Toshihiko MASUI, Akemi TANAKA a Yasushi HONDA. Global-scale projection and its sensitivity analysis of the health burden attributable to childhood undernutrition under the latest scenario framework for climate change research. *Environmental Research Letters* [online]. 2014, roč. 9, č. 6, s. 064014. ISSN 1748-9326. Dostupné z: doi:10.1088/1748-9326/9/6/064014
- [45] FOX-RUSHBY, J a a K HANSON. Calculating and presenting disability adjusted life years (DALYs) in cost-effectiveness analysis. *Health policy and planning* [online]. 2001, roč. 16, č. 3, s. 326–331. ISSN 0268-1080. Dostupné z: doi:10.1093/heapol/16.3.326
- [46] WANG, X., C. J. LIN a X. FENG. Sensitivity analysis of an updated bidirectional air-surface exchange model for elemental mercury vapor. *Atmospheric Chemistry and Physics* [online]. 2014, roč. 14, č. 12, s. 6273–6287. ISSN 16807324. Dostupné z: doi:10.5194/acp-14-6273-2014
- [47] MARKAKIS, K., M. VALARI, a. COLETTE, O. SANCHEZ, O. PERRUSSEL, C. HONORE, R. VAUTARD, Z. KLIMONT a S. RAO. Air quality in the mid-21st century for the city of Paris under two climate scenarios; From the regional to local scale. *Atmospheric Chemistry and Physics* [online]. 2014, roč. 14, č. 14, s. 7323–7340. ISSN 16807324. Dostupné z: doi:10.5194/acp-14-7323-2014
- [48] GUO, Zhun, Mikhail OVCHINNIKOV, Andrew S ACKERMAN, Alexander AVRAMOV, Anning CHENG, Jiwen FAN, Greg M MCFARQUHAR, Hugh MORRISON, Marco PAUKERT, Julien SAVRE a Ben J SHIPWAY. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* [online]. 2014, s. 223–248. Dostupné z: doi:10.1002/2013MS000282.Received
- [49] ZHANG, Y., M. a. DUBÉ, D. D. MCLEAN a M. KATES. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. *Bioresource Technology* [online]. 2003, roč. 90, č. 3, s. 229–240. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-8524(03)00150-0
- [50] PIRK, Rogerio. Implementation of Acoustic Materials to the VLS-1 Fairing – A

Sensitivity Analysis Using SEA. 2012, roč. 34, č. 1, s. 82–88.

- [51] NILSSON, Karl, Simon-Philippe BRETON, Jens N SØRENSEN a Stefan IVANELL. Airfoil data sensitivity analysis for actuator disc simulations used in wind turbine applications. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2014, roč. 524, č. 1, s. 012135. ISSN 1742-6596. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/524/1/012135
- [52] LEVINE, R. a D. RENELT. A sensitivity analysis of cross-country growth regressions. *American Economic Review* [online]. 1992, roč. 82, č. 4, s. 942–963. ISSN 00028282. Dostupné z: doi:10.2307/2117352
- [53] NISTICÒ, Sergio a Mirko BEVILACQUA. Notional Defined Contribution (NDC) pension schemes and income patterns. *Economics* [online]. 2013, roč. 7, s. 0–25. ISSN 18646042. Dostupné z: doi:10.5018/economics-ejournal.ja.2013-29
- [54] LIGMANN-ZIELINSKA, Arika, Daniel B. KRAMER, Kendra SPENCE CHERUVELIL a Patricia a. SORANNO. Using Uncertainty and Sensitivity Analyses in Socioecological Agent-Based Models to Improve Their Analytical Performance and Policy Relevance. *PLoS ONE* [online]. 2014, roč. 9, č. 10, s. e109779. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0109779
- [55] SALTELLI, Andrea a Paola ANNONI. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis. *Environmental Modelling and Software* [online]. 2010, roč. 25, č. 12, s. 1508–1517. ISSN 13648152. Dostupné z: doi:10.1016/j.envsoft.2010.04.012
- [56] CHEN, Yun, Jia YU a Shahbaz KHAN. *The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making* [online]. 2013. ISBN 1364-8152. Dostupné z: doi:10.1016/j.envsoft.2013.06.010
- [57] STEENLAND, Kyle a Sander GREENLAND. Monte Carlo sensitivity analysis and Bayesian analysis of smoking as an unmeasured confounder in a study of silica and lung cancer. *American Journal of Epidemiology* [online]. 2004, roč. 160, č. 4, s. 384–392. ISSN 00029262. Dostupné z: doi:10.1093/aje/kwh211
- [58] GREENLAND, S. Basic methods for sensitivity analysis of biases. *International journal of epidemiology* [online]. 1996, roč. 25, č. 6, s. 1107–1116. ISSN 0300-5771. Dostupné z: doi:10.1093/ije/25.6.1107
- [59] NEWTON, H Joseph, Christopher F BAUM, Nathaniel BECK, A Colin CAMERON, David EPSTEIN, James HARDIN, Ben JANN, Stephen JENKINS a Ulrich KOHLER. The Stata Journal. nedatováno.
- [60] LIU, Qian, Lifeng YAN, Cheng XU, Aihua GU, Peng ZHAO a Zhao-Yan JIANG. Increased incidence of head and neck cancer in liver transplant recipients: a meta-analysis. *BMC Cancer* [online]. 2014, roč. 14, č. 1, s. 776. ISSN 1471-2407. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2407-14-776
- [61] DI PASCOLI, Lorenza, Alessandra BUJA, Massimo BOLOGNESI, Sara MONTAGNESE, Angelo GATTA, Dario GREGORI a Carlo MERKEL. Cost-effectiveness analysis of beta-blockers vs endoscopic surveillance in patients with cirrhosis and small varices. *World journal of gastroenterology : WJG* [online]. 2014, roč. 20, č. 30, s. 10464–9. ISSN 2219-2840. Dostupné z: doi:10.3748/wjg.v20.i30.10464
- [62] WANG, Ben. Standard triple therapy for Helicobacter pylori infection in China: A meta-analysis. *World Journal of Gastroenterology* [online]. 2014, roč. 20, č. 40, s. 14973. ISSN 1007-9327. Dostupné z: doi:10.3748/wjg.v20.i40.14973

- [63] ZWERLING, Alice, Richard G. WHITE, Anna VASSALL, Ted COHEN, David W. DOWDY a Rein M. G. J. HOUBEN. Modeling of Novel Diagnostic Strategies for Active Tuberculosis – A Systematic Review: Current Practices and Recommendations. *PLoS ONE* [online]. 2014, roč. 9, č. 10, s. e110558. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0110558
- [64] EKWUEME, Donatus U, Leonardo a STROUD a Yanjing CHEN. Cost analysis of screening for, diagnosing, and staging prostate cancer based on a systematic review of published studies. *Preventing chronic disease*. 2007, roč. 4, č. 4, s. A100. ISSN 1545-1151.
- [65] MARSTON, Luke, Gerard C KELLY, Erick HALE, Archie Ca CLEMENTS, Andrew HODGE a Eliana JIMENEZ-SOTO. Cost analysis of the development and implementation of a spatial decision support system for malaria elimination in Solomon Islands. *Malaria journal* [online]. 2014, roč. 13, č. 1, s. 325. ISSN 1475-2875. Dostupné z: doi:10.1186/1475-2875-13-325
- [66] ELGAARD JENSEN, Cathrine, Preben SØRENSEN a Karin DAM PETERSEN. In Denmark kidney transplantation is more cost-effective than dialysis. *Danish Medical Journal*. 2014, roč. 61, č. 3, s. 1–5. ISSN 22451919.
- [67] HUTCHINGS, Adam, Carina SCHEY, Richard DUTTON, Felix ACHANA a Karolina ANTONOV. Estimating the budget impact of orphan drugs in Sweden and France 2013-2020. *Orphanet journal of rare diseases* [online]. 2014, roč. 9, č. 1, s. 22. ISSN 1750-1172. Dostupné z: doi:10.1186/1750-1172-9-22
- [68] FREY, H Christopher a Sumeet R PATIL. Identification and Review of Sensitivity Analysis Methods. *Risk Analysis*. 2002, roč. 22, č. 3, s. 553–578.
- [69] SALEHI, F, SO PRASHER, S AMIN, A MADANI, SJ JEBELLI, HS RAMASWAMY, C TAN a CF DRURY. Prediction of annual nitrate-n losses in drain outflows with artificial neural networks.pdf. *Agricultural Engineering* [online]. 2000, roč. 43, č. 5, s. 1137–1143. Dostupné z: doi:10.13031/2013.3006
- [70] MORGAN, M. Granger a Max HENRION. *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. ISBN 0-521-36542-2.
- [71] BRUN, Roland, Peter REICHERT a Hans R KÜNSCH. Practical identifiability analysis of large environmental simulation. *Water Resources Research* [online]. 2001, roč. 37, č. 4, s. 1015–1030. Dostupné z: doi:10.1029/2000WR900350
- [72] WOTAWA, G, A STOHL a H KROM-KOLB. Estimating the uncertainty of a Lagrangian photochemical air quality simulation model caused by inexact meteorological input data. *Reliability Engineering and System Safety* [online]. 1997, roč. 57, č. 1, s. 31–40. Dostupné z: doi:10.1016/S0951-8320(97)00015-X
- [73] ANDERSSON, Fredrik O, Magnus ABERG a Sven P JACOBSSON. Algorithmic approaches for studies of variable influence, contribution and selection in neural networks. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* [online]. 2000, roč. 51, č. 1, s. 61–72. Dostupné z: doi:10.1016/S0169-7439(00)00057-5
- [74] CULLEN, Alison C a H Christopher FREY. *Probabilistic Techniques in Exposure Assessment*. B.m.: Springer, 1999. ISBN 978-0-306-45956-6.
- [75] GELDERMANN, Jutta a Otto RENTZ. Integrated technique assessment with imprecise information as a support for the identification of best available techniques (BAT). *OR-Spektrum* [online]. nedatováno, roč. 23, č. 1, s. 137–157. ISSN 1436-

6304. Dostupné z: doi:10.1007/PL00013341
- [76] STIBER, Neil A., Marina PANTAZIDOU a AND MITCHELL J. SMALL. Expert System Methodology for Evaluating Reductive Dechlorination at TCE Sites. *Environmental Science & Technology* [online]. 1999, roč. 33, č. 17, s. 3012–3020. Dostupné z: doi:10.1021/es981216s
- [77] BORGONOVO, Emanuele a Elmar PLISCHKE. Sensitivity analysis : A review of recent advances. *European Journal of Operational Research* [online]. 2016, roč. 248, č. 3, s. 869–887. ISSN 0377-2217. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejor.2015.06.032
- [78] HAMBY, D M. A Comparison of Sensitivity Analysis Techniques. nedatováno, s. 1–20.
- [79] PLISCHKE, Elmar, Emanuele BORGONOVO a Curtis L SMITH. Global sensitivity measures from given data. *European Journal of Operational Research* [online]. 2013, roč. 226, č. 3, s. 536–550. ISSN 0377-2217. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejor.2012.11.047
- [80] STRONG, Mark a Jeremy E OAKLEY. An Efficient Method for Computing Single-Parameter Partial Expected Value of Perfect Information [online]. 2013, č. 3, s. 755–766. Dostupné z: doi:10.1177/0272989X12465123
- [81] STRAUB, Daniel. Value of information analysis with structural reliability methods. *Structural Safety* [online]. 2014, roč. 49, s. 75–85. ISSN 0167-4730. Dostupné z: doi:10.1016/j.strusafe.2013.08.006
- [82] WANG, Xiaoqun a Ian H SLOAN. Quasi-Monte Carlo Methods in Financial Engineering: An Equivalence Principle and Dimension Reduction. *Operations Research* [online]. 2011, roč. 59, č. 1, s. 80–95. Dostupné z: doi:10.1287/opre.1100.0853
- [83] HELTON, Jon C. Uncertainty and sensitivity analysis techniques for use in performance assessment for radioactive waste disposal. 1993, roč. 42, s. 327–367.
- [84] HELTON, J C a F J DAVIS. Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems [online]. 2003, roč. 81, s. 23–69. Dostupné z: doi:10.1016/S0951-8320(03)00058-9
- [85] KUBÁTOVÁ, Ivana. *Využití hodnotového inženýrství a multikriteriálního rozhodování při hodnocení zdravotnické techniky*. Disertační práce, 2015. Fakulta biomedicínského inženýrství, Katedra biomedicínské techniky. České vysoké učení technické.
- [86] HUNINK, M G, J R BULT, J DE VRIES a M C WEINSTEIN. Uncertainty in decision models analyzing cost-effectiveness: the joint distribution of incremental costs and effectiveness evaluated with a nonparametric bootstrap method. *Medical decision making : an international journal of the Society for Medical Decision Making* [online]. 1998, roč. 18, č. 3, s. 337–346. ISSN 0272-989X. Dostupné z: doi:10.1177/0272989X9801800312
- [87] WALLACE, Stein W. Decision Making Under Uncertainty : Is Sensitivity Analysis of Any Use ? DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTY : IS SENSITIVITY ANALYSIS OF ANY USE ? *Operations Research* [online]. 2000, roč. 48, č. 1, s. 20–25. Dostupné z: doi:http://dx.doi.org/10.1287/opre.48.1.20.12441
- [88] VAN GROENENDAAL, W J H a J P C KLEIJNEN. On the assessment of economic risk factorial design versus Monte Carlo methods. *Reliability Engineering and System Safety* [online]. 1997, roč. 57, č. 1, s. 91–102. Dostupné z:



doi:10.1016/S0951-8320(97)00019-7

- [89] VAN GROENENDAAL, W J H a J P C KLEIJNEN. Deterministic versus stochastic sensitivity analysis in investment problems An environmental case study. *European Journal of Operational Research* [online]. 2002, roč. 141, č. 1, s. 8–20. Dostupné z: doi:10.1016/S0377-2217(01)00236-3
- [90] BAIO, Gianluca a Philip DAWID. Probabilistic sensitivity analysis in health economics. *Statistical methods in medical research* [online]. 2011, č. 292, s. 1–20. ISSN 1477-0334. Dostupné z: doi:10.1177/0962280211419832
- [91] BALTUSSEN, Rob M P M, Raymond C W HUTUBESSY, David B EVANS a Christopher J M MURRAY. Uncertainty in cost-effectiveness analysis. Probabilistic uncertainty analysis and stochastic league tables. *International journal of technology assessment in health care* [online]. 2002, roč. 18, č. 1, s. 112–119. ISSN 0266-4623.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Modelování. Zdroj: vlastní zpracování dle [20].....	13
Obrázek 2: Model. Zdroj: vlastní zpracování dle[18] .....	15
Obrázek 3: Tornado diagram .....	23
Obrázek 4: Prahová analýza .....	24
Obrázek 5: Dvoucestná citlivostní analýza.....	25
Obrázek 6: Cost-effectiveness scatter plane - velká míra nejistoty .....	26
Obrázek 7: Cost-effectiveness scatter plane - malá míra nejistoty .....	27
Obrázek 8: Studie obsahující citlivostní analýzu .....	32
Obrázek 9: Srovnání využití citlivostních analýz v různých vědních oborech.....	33
Obrázek 10: Jednocestná citlivostní analýza .....	47
Obrázek 11: Cena spotřebního materiálu (%).....	51
Obrázek 12: Cena spotřebního materiálů (SD).....	51
Obrázek 13: Výsledné pořadí přístrojů (%) při variovány ceny spotřebního materiálu ....	52
Obrázek 14: Výsledné pořadí přístrojů (SD) při variovány ceny spotřebního materiálu ....	52
Obrázek 15: Cena náhradních dílů (%) .....	53
Obrázek 16: Cena náhradních dílů (SD).....	53
Obrázek 17: Cena servisu (%) .....	54
Obrázek 18: Cena servisu (SD).....	54
Obrázek 19: Rozměry přístroje (%) .....	55
Obrázek 20: Rozměry přístroje (SD).....	55
Obrázek 21: Možnost propojení s KIS .....	56
Obrázek 22: Možnost propojení s KIS - pořadí přístrojů .....	56
Obrázek 23: Hmotnost přístroje (%) .....	57
Obrázek 24: Hmotnost přístroje (SD) .....	57
Obrázek 25: Variování jednoho parametru u všech přístrojů najednou .....	58
Obrázek 26: Variování jednoho parametru u všech přístrojů najednou - pořadí přístrojů ..	59
Obrázek 27: Změna váhy kritérií – postupně.....	60
Obrázek 28: Změna vah kritérií (postupně) - pořadí přístrojů.....	60
Obrázek 29: Celkový efekt přístroje – postupně.....	61
Obrázek 30: Celkový efekt přístroje (postupně) - pořadí přístrojů .....	62
Obrázek 31: Celkový efekt přístroje (najednou) - pořadí přístrojů.....	62
Obrázek 32: Cena přístrojů (postupně) - pořadí přístrojů .....	63
Obrázek 33: Cena přístrojů (najednou) - výsledné pořadí.....	64
Obrázek 34: Nákladová efektivita – postupně .....	64
Obrázek 35: Nákladová efektivita - najednou .....	65
Obrázek 36: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4, grafické znázornění .....	67
Obrázek 37: Dvoucestná citlivostní analýza, všechny přístroje .....	68
Obrázek 38: Extrémní citlivostní analýza - procentuální změny .....	72
Obrázek 39: Extrémní citlivostní analýza .....	73

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Využití citlivostních analýz.....	19
Tabulka 2: Využití citlivostní analýz ve zdravotnictví .....	36
Tabulka 3: Ceny plicních ventilátorů .....	43
Tabulka 4: Technické parametry plicních ventilátorů.....	43
Tabulka 5: Váhy kritérií .....	43
Tabulka 6: Výchozí hodnoty pro multikriteriální hodnocení .....	44
Tabulka 7: Normalizovaná kritériální matice .....	44
Tabulka 8: Vážená kritériální matice .....	44
Tabulka 9: Výsledné efekty plicních ventilátorů .....	45
Tabulka 10: Analýza nákladové efektivity .....	45
Tabulka 11: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (%) .....	49
Tabulka 12: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (rozdíl hodnot) .....	49
Tabulka 13: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot) .....	49
.....	49
Tabulka 14: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (SD).....	50
Tabulka 15: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (rozdíl hodnot při SD) .....	50
Tabulka 16: Cena spotřebního materiálu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD) .....	50
Tabulka 17: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4 .....	66
Tabulka 18: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4 - procentuální změny CEA .....	66
.....	66
Tabulka 19: Dvoucestná citlivostní analýza efekt-cena - Evita 4 - procentuální změny CEA, barevné škálování .....	67
Tabulka 20: Dvoucestná citlivostní analýza hmotnost přístroje - cena spotřebního materiálu - Evita 4 - procentuální změny CEA, barevné škálování .....	69
Tabulka 21: Extrémní citlivostní analýza, zvýšení hodnot.....	70
Tabulka 22: Extrémní citlivostní analýza, snížení hodnot .....	71
Tabulka 23: Cena náhradních dílů - postupné variování (%) .....	94
Tabulka 24: Cena náhradních dílů - postupné variování (rozdíl hodnot).....	94
Tabulka 25: Cena náhradních dílů - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot) .....	94
Tabulka 26: Cena náhradních dílů - postupné variování (SD) .....	95
Tabulka 27: Cena náhradních dílů - postupné variování (rozdíl hodnot při SD).....	95
Tabulka 28: Cena náhradních dílů - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD) .....	95
.....	95
Tabulka 29: Cena servisu - postupné variování (%) .....	96
Tabulka 30: Cena servisu - postupné variování (rozdíl hodnot).....	96
Tabulka 31: Cena servisu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot).....	96
Tabulka 32: Cena servisu - postupné variování (SD) .....	97
Tabulka 33: Cena servisu - postupné variování (rozdíl hodnot při SD).....	97
Tabulka 34: Cena servisu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD) .....	97
Tabulka 35: Rozměry přístroje - postupné variování (%) .....	98
Tabulka 36: Rozměry přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot).....	98

Tabulka 37: Rozměry přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot) .....	98
Tabulka 38: Rozměry přístroje - postupné variování (SD) .....	99
Tabulka 39: Rozměry přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot při SD).....	99
Tabulka 40: Rozměry přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD)	99
Tabulka 41: Možnost propojení s KIS - postupné variování (%) .....	100
Tabulka 42: Možnost propojení s KIS - postupné variování (rozdíl hodnot).....	100
Tabulka 43: Možnost propojení s KIS - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot) .....	100
Tabulka 44: Hmotnost přístroje - postupné variování (%) .....	101
Tabulka 45: Hmotnost přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot).....	101
Tabulka 46: Hmotnost přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot) .....	101
Tabulka 47: Hmotnost přístroje - postupné variování (SD) .....	102
Tabulka 48: Hmotnost přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot při SD) .....	102
Tabulka 49: Hmotnost přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD) .....	102
Tabulka 50: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (%).....	103
Tabulka 51: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (rozdíl hodnot při %) .....	103
Tabulka 52: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (procentuální rozdíl hodnot při %) .....	104
Tabulka 53: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (SD).....	104
Tabulka 54: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (rozdíl hodnot při SD) .....	105
Tabulka 55: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (procentuální rozdíl hodnot při SD).....	105
Tabulka 56: Variování váhy kritéria - postupně .....	106
Tabulka 57: Variování váhy kritéria - postupně .....	106
Tabulka 58: Variování váhy kritéria - postupně .....	107

# **Přílohy**

**Tabulka 23: Cena náhradních dílů - postupné variování (%)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	1,76	1,73	11,59	11,48	1,76	1,77	1,74	1,76	1,76
Evita XL	65,5	65,6	65,5	63,2	67,2	66,6	64,2	65,5	65,5
Galileo	118	118	118	118	118	117	118	118	118
Avea	129	129	129	129	129	136	123	121	138

**Tabulka 24: Cena náhradních dílů - postupné variování (rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-0,031	9,832	9,718	0,000	0,013	-0,017	0,000	0,000
Evita XL	0,078	0,000	-2,293	1,669	1,086	-1,349	0,000	0,000
Galileo	0,282	0,000	0,282	0,000	-0,120	0,161	0,000	0,000
Avea	0,107	0,000	0,107	0,000	6,692	-6,080	-7,804	8,723

**Tabulka 25: Cena náhradních dílů - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-174%	55908%	55260%	0%	74%	-99%	0%	0%
Evita XL	12%	0%	-350%	255%	166%	-206%	0%	0%
Galileo	24%	0%	24%	0%	-10%	14%	0%	0%
Avea	8%	0%	8%	0%	519%	-472%	-605%	677%

**Tabulka 26: Cena náhradních dílů - postupné variování (SD)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	10,91	1,73	1,76	10,81	1,73	1,78	1,76	1,76	10,91
Evita XL	65,5	65,6	67,1	63,4	63,4	67,0	65,4	65,5	65,5
Galileo	118	118	118	118	118	117	117	118	118
Avea	129	129	129	129	120	138	138	120	129

**Tabulka 27: Cena náhradních dílů - postupné variování (rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	9,156	-0,028	0,000	9,052	-0,028	0,017	-0,001	0,000
Evita XL	0,000	0,068	1,586	-2,132	-2,132	1,468	-0,088	0,000
Galileo	0,000	0,261	0,000	0,261	0,261	-0,171	-0,005	0,000
Avea	0,000	0,098	0,000	0,098	-9,052	9,498	9,503	-9,119

**Tabulka 28: Cena náhradních dílů - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	52059%	-161%	0%	51472%	-161%	99%	-6%	0%
Evita XL	0%	10%	242%	-325%	-325%	224%	-13%	0%
Galileo	0%	22%	0%	22%	22%	-15%	0%	0%
Avea	0%	8%	0%	8%	-702%	737%	737%	-707%

**Tabulka 29: Cena servisu - postupné variování (%)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	1,76	1,72	11,88	11,75	1,76	1,76	1,76	1,77	1,74
Evita XL	65,5	65,6	65,5	63,0	67,5	65,5	65,4	66,7	64,1
Galileo	118	118	118	118	118	114	119	119	115
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

**Tabulka 30: Cena servisu - postupné variování (rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-0,034	10,124	9,987	0,000	0,000	-0,001	0,014	-0,019
Evita XL	0,082	0,000	-2,546	1,969	0,000	-0,094	1,208	-1,428
Galileo	0,235	0,000	0,235	0,000	-3,867	1,581	1,405	-2,942
Avea	0,187	0,000	0,187	0,000	0,000	-0,010	-0,079	0,101

**Tabulka 31: Cena servisu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-194%	57564%	56786%	0%	0%	-7%	82%	-105%
Evita XL	12%	0%	-389%	301%	0%	-14%	184%	-218%
Galileo	20%	0%	20%	0%	-329%	135%	120%	-250%
Avea	14%	0%	14%	0%	0%	-1%	-6%	8%



**Tabulka 32: Cena servisu - postupné variování (SD)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	12,39	1,72	1,76	12,24	1,75	1,76	1,72	1,78	12,39
Evita XL	65,5	65,6	67,6	62,8	64,6	65,5	62,8	66,9	65,5
Galileo	118	118	118	118	119	111	112	119	118
Avea	129	129	129	129	128	129	129	128	129

**Tabulka 33: Cena servisu - postupné variování (rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	10,632	-0,036	0,000	10,485	-0,011	0,000	-0,036	0,016
Evita XL	0,000	0,090	2,042	-2,676	-0,893	0,000	-2,676	1,378
Galileo	0,000	0,249	0,000	0,249	1,666	-6,005	-5,854	1,435
Avea	0,000	0,197	0,000	0,197	-0,806	0,000	0,197	-0,940

**Tabulka 34: Cena servisu - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	60454%	-205%	0%	59621%	-65%	0%	-205%	93%
Evita XL	0%	14%	312%	-408%	-136%	0%	-408%	210%
Galileo	0%	21%	0%	21%	142%	-511%	-498%	122%
Avea	0%	15%	0%	15%	-63%	0%	15%	-73%

**Tabulka 35: Rozměry přístroje - postupné variování (%)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	1,76	1,76	2,34	2,23	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
Evita XL	65,5	65,5	65,5	65,4	65,6	65,5	65,5	65,5	65,5
Galileo	118	118	118	118	118	117	118	118	117
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

**Tabulka 36: Rozměry přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-0,001	0,581	0,473	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
Evita XL	0,005	0,000	-0,072	0,041	0,000	-0,016	0,024	-0,046
Galileo	0,008	-0,002	0,004	0,000	-0,141	0,032	0,026	-0,113
Avea	0,006	-0,002	0,003	0,000	0,000	-0,014	-0,008	0,004

**Tabulka 37: Rozměry přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-7%	3304%	2692%	0%	0%	-1%	2%	-4%
Evita XL	1%	0%	-11%	6%	0%	-2%	4%	-7%
Galileo	1%	0%	0%	0%	-12%	3%	2%	-10%
Avea	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	0%

**Tabulka 38: Rozměry přístroje - postupné variování (SD)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	2,10	1,76	1,76	2,10	1,76	1,76	1,76	1,76	2,10
Evita XL	65,5	65,5	65,6	65,4	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5
Galileo	118	118	118	118	118	117	117	118	118
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

**Tabulka 39: Rozměry přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	-0,001	0,581	0,473	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001
Evita XL	0,005	0,000	-0,072	0,041	0,000	-0,016	0,024	-0,046
Galileo	0,008	-0,002	0,004	0,000	-0,141	0,032	0,026	-0,113
Avea	0,006	-0,002	0,003	0,000	0,000	-0,014	-0,008	0,004

**Tabulka 40: Rozměry přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	-7%	3304%	2692%	0%	0%	-1%	2%	-4%
Evita XL	1%	0%	-11%	6%	0%	-2%	4%	-7%
Galileo	1%	0%	0%	0%	-12%	3%	2%	-10%
Avea	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-1%	0%

**Tabulka 41: Možnost propojení s KIS - postupné variování (%)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +	Evita 4 -	Evita XL +	Evita XL -	Galileo +	Galileo -	Avea +	Avea -
Evita 4	1,76	4,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
Evita XL	65,5	1,6	65,5	65,5	0,6	65,5	65,5	65,5	65,5
Galileo	118	86	118	118	118	118	28	118	118
Avea	129	113	129	129	129	129	129	129	37

**Tabulka 42: Možnost propojení s KIS - postupné variování (rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +	Evita 4 -	Evita XL +	Evita XL -	Galileo +	Galileo -	Avea +	Avea -
Evita 4	3,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Evita XL	-63,945	0,000	0,000	-64,940	0,000	0,000	0,000	0,000
Galileo	-31,432	0,000	0,000	0,000	0,000	-89,379	0,000	0,000
Avea	-16,036	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-92,397

**Tabulka 43: Možnost propojení s KIS - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +	Evita 4 -	Evita XL +	Evita XL -	Galileo +	Galileo -	Avea +	Avea -
Evita 4	17059%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Evita XL	-9761%	0%	0%	-9913%	0%	0%	0%	0%
Galileo	-2675%	0%	0%	0%	0%	-7607%	0%	0%
Avea	-1244%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-7167%

**Tabulka 44: Hmotnost přístroje - postupné variování (%)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	1,76	0,75	2,76	2,76	1,76	3,10	1,47	1,76	1,76
Evita XL	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5
Galileo	118	118	117	118	118	117	118	118	117
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

**Tabulka 45: Hmotnost přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-1,011	0,997	0,999	0,000	1,339	-0,288	0,000	0,000
Evita XL	0,004	-0,014	-0,019	0,009	0,001	0,000	0,000	-0,007
Galileo	0,030	-0,087	0,000	0,000	-0,126	0,056	0,000	-0,046
Avea	0,011	-0,082	0,001	0,000	0,001	0,000	-0,096	0,012

**Tabulka 46: Hmotnost přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot)**

	Evita 4 +20 %	Evita 4 -20 %	Evita XL +20 %	Evita XL -20 %	Galileo +20 %	Galileo -20 %	Avea +20 %	Avea -20 %
Evita 4	-5749%	5668%	5682%	0%	7611%	-1638%	0%	0%
Evita XL	1%	-2%	-3%	1%	0%	0%	0%	-1%
Galileo	3%	-7%	0%	0%	-11%	5%	0%	-4%
Avea	1%	-6%	0%	0%	0%	0%	-7%	1%

**Tabulka 47: Hmotnost přístroje - postupné variování (SD)**

	Původní hodnoty	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	2,56	0,95	1,76	2,27	1,47	2,56	1,76	1,76	2,56
Evita XL	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5
Galileo	117	117	117	117	118	117	117	118	117
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129

**Tabulka 48: Hmotnost přístroje - postupné variování (rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	0,000	-0,807	0,000	0,513	-0,288	0,798	0,000	0,000
Evita XL	-0,003	-0,003	0,005	-0,015	-0,003	-0,003	-0,003	0,000
Galileo	-0,020	-0,020	-0,020	-0,020	0,030	-0,095	-0,020	0,000
Avea	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,012	-0,060

**Tabulka 49: Hmotnost přístroje - postupné variování (procentuální rozdíl hodnot při SD)**

	Evita 4 +SD	Evita 4 -SD	Evita XL +SD	Evita XL -SD	Galileo +SD	Galileo -SD	Avea +SD	Avea -SD
Evita 4	0%	-4590%	0%	2918%	-1638%	4538%	0%	0%
Evita XL	0%	0%	1%	-2%	0%	0%	0%	0%
Galileo	-2%	-2%	-2%	-2%	3%	-8%	-2%	0%
Avea	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	-5%

Tabulka 50: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (%)

	Původní hodnoty	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	1,76	1,73	1,78	1,75	1,77	1,75	1,77	1,76	1,76
Evita XL	65,5	63,6	67,4	64,7	66,2	64,5	66,4	65,5	65,5
Galileo	118	115	120	118	117	117	118	117	118
Avea	129	129	129	127	131	129	129	129	129

Tabulka 51: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (rozdíl hodnot při %)

	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	-0,025	0,022	-0,011	0,009	-0,013	0,011	0,000	0,000
Evita XL	-1,927	1,852	-0,825	0,721	-1,012	0,898	-0,018	0,015
Galileo	-2,330	2,358	0,097	-0,081	-0,523	0,452	-0,010	0,008
Avea	0,139	-0,118	-1,810	1,871	0,071	-0,059	0,002	-0,002

Tabulka 52: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (procentuální rozdíl hodnot při %)

	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	-144%	123%	-60%	50%	-74%	62%	-2%	2%
Evita XL	-294%	283%	-126%	110%	-155%	137%	-3%	2%
Galileo	-198%	201%	8%	-7%	-45%	38%	-1%	1%
Avea	11%	-9%	-140%	145%	5%	-5%	0%	0%

Tabulka 53: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (SD)

	Původní hodnoty	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
Evita XL	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5
Galileo	118	118	118	118	118	118	118	118	118
Avea	129	129	129	129	129	129	129	129	129



Tabulka 54: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (rozdíl hodnot při SD)

	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Evita XL	0	0	0	0	0	0	0	0
Galileo	0	0	0	0	0	0	0	0
Avea	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 55: Variování jednoho parametru najednou u všech přístrojů (procentuální rozdíl hodnot při SD)

	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Evita XL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Galileo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Avea	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabulka 56: Variování váhy kritéria - postupně

	Původní hodnoty	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	1,76	1,73	1,78	1,75	1,77	1,75	1,77	1,76	1,76
Evita XL	65,5	63,6	67,4	64,7	66,2	64,5	66,4	65,5	65,5
Galileo	118	115	120	118	117	117	118	117	118
Avea	129	120	120	117	123	120	120	120	120

Tabulka 57: Variování váhy kritéria - postupně

	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	-0,025	0,022	-0,011	0,009	-0,013	0,011	0,000	0,000
Evita XL	-1,927	1,852	-0,825	0,721	-1,012	0,898	-0,018	0,015
Galileo	-2,330	2,358	0,097	-0,081	-0,523	0,452	-0,010	0,008
Avea	-8,871	-9,330	-12,330	-5,727	-8,992	-9,225	-9,116	-9,122

Tabulka 58: Variování váhy kritéria - postupně

	Cena spotřebního materiálu +20 %	Cena spotřebního materiálu -20 %	Cena náhradních dílů +20%	Cena náhradních dílů -20 %	Cena servisu +20 %	Cena servisu -20 %	Rozměry přístroje +20 %	Rozměry přístroje -20 %
Evita 4	-144%	123%	-60%	50%	-74%	62%	-2%	2%
Evita XL	-294%	283%	-126%	110%	-155%	137%	-3%	2%
Galileo	-198%	201%	8%	-7%	-45%	38%	-1%	1%
Avea	-688%	-724%	-956%	-444%	-698%	-716%	-707%	-708%