

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní



DISERTAČNÍ PRÁCE

2018

Ing. Miroslav Prajer

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav řízení a ekonomiky podniku



Modelování nákladů na celoživotní cyklus nanomateriálů

Disertační práce

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku

Školitel: prof. Ing. František Freiberg, CSc.

Ing. Miroslav Prajer

Liberec 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci Modelování nákladů na celoživotní cyklus nanomateriálů zpracoval samostatně na základě studia uvedené literatury a svých praktických zkušeností pod vedením školitele prof. Ing. Františka Freiberga, CSc.

Poděkování

Děkuji svému školiteli, prof. Ing. Františku Freibergovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady při zpracování této disertační práce. Dále děkuji za podnětné připomínky Ing. Miroslavu Žilkovi, Ph.D. Na závěr bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu a trpělivost, kterou se mnou měly během mého studia a při zpracování této disertační práce.

Anotace

Nanotechnologie jako v současnosti jedna z nejprogresivněji se rozvíjející oblastí lidského bádání nabízí příležitost pro rozvoj četných aplikací nanočástic v koncových produktech. Stále větší spotřeba nanočástic v měřítku celosvětového trhu klade vysoké nároky na výrobní technologie, které musejí produkovat nanočástice v požadované kvalitě, s minimálními náklady a v co největším množství. To vše vyvolává zvýšené požadavky na ekonomičnost výrobních procesů. Za tímto účelem je třeba podrobit výrobní procesy důsledné nákladové analýze pomocí kalkulace nákladů na životní cyklus. Tato disertační práce Modelování nákladů na celoživotní cyklus nanomateriálů se zaměřuje na ekonomické hodnocení nákladů celého životního cyklu výroby nanomateriálů pomocí návrhu komplexního nákladového modelu, který je schopný sloužit jako podpora manažerského rozhodování v oblasti plánování výrobních kapacit, optimalizace využití výrobních prostředků a prověření výrobní strategie. Do modelu je zakomponován modul volby zajištění výrobních prostor a modul volby strategie údržby. Celkový pohled na náklady životního cyklu je v modelu rozšířen o hodnocení vlivu vnějších faktorů a gravitačního efektu trhu ovlivňující strategické rozhodnutí o umístění výrobního podniku. Tyto vlivy působící na podnik mohou ovlivnit souhrnnou bilanci investičního projektu, což je důležitý aspekt, který je třeba mít na zřeteli.

Abstract

Nanotechnology, one of the most progressive areas of human research, is now an opportunity to develop many applications of nanoparticles in the final products. The increasing consumption of nanoparticles on a global market causes higher requests for manufacturing technologies that have to produce nanoparticles in the required quality, with minimal costs and in the greatest possible amount. All this leads to increased demands on the economics of production processes. Therefore the production processes must be verified by cost analysis of life cycle costing. This dissertation thesis is called The modeling of costs for the life cycle of nanomaterial. It is focused on the economic assessment of the life cycle costs of nanomaterials by designing a complex cost model and it extends the assessment to quantify the impact of the market's gravitational effect affecting the strategic decision to locate a manufacturing enterprise. These influences may affect the balance of the project that is an important aspect which must be kept in mind.

Obsah

| | |
|---|----|
| Čestné prohlášení | 4 |
| Poděkování | 5 |
| Anotace..... | 6 |
| Abstract..... | 7 |
| 1. Úvod..... | 12 |
| 1.1. Cíle a hypotézy disertační práce | 14 |
| 1.2. Cíle disertační práce | 14 |
| 1.3. Hypotézy..... | 15 |
| 1.4. Postup při zpracování práce a použité metody..... | 15 |
| 2. Popis současného stavu oblasti nanotechnologií a modelování nákladů na celoživotní cyklus | 18 |
| 2.1. Kritická rešerše informačních zdrojů..... | 18 |
| 2.1.1. Rešeršní strategie..... | 19 |
| 2.1.2. Charakteristika klíčových informačních zdrojů..... | 20 |
| 2.1.3. Závěry kritické rešerše informačních zdrojů..... | 28 |
| 2.2. Popis aktuální situace v oblasti nanotechnologií a modelování nákladů životního cyklu – shrnutí .. | 28 |
| 3. Nanotechnologie | 29 |
| 3.1. Vymezení pojmu nanotechnologie..... | 29 |
| 3.1.1. Definice pojmu nanotechnologie..... | 29 |
| 3.1.2. Nanoobjekty..... | 30 |
| 3.1.2.1. Druhy nanočástic | 31 |
| 3.1.2.2. Vlastnosti nanočástic..... | 32 |
| 3.1.2.2.1. Změny elektrických vlastností nanočástic | 33 |
| 3.1.2.2.2. Změny optických vlastností nanočástic..... | 35 |
| 3.1.2.2.3. Změny fyzikální vlastností nanočástic | 37 |
| 3.1.2.2.4. Změny chemických vlastností nanočástic | 39 |
| 3.1.2.2.5. Změny biologických vlastností nanočástic..... | 39 |
| 3.1.2.2.6. Shrnutí kapitoly vlastnosti nanočástic..... | 40 |
| 3.1.2.3. Hlavní aplikace nanočástic | 41 |
| 3.1.2.3.1. Medicínské aplikace | 42 |
| 3.1.2.3.2. Průmyslové aplikace | 43 |

| | |
|---|-----|
| 3.1.2.3.3. Progresivní materiály | 44 |
| 3.1.2.3.4. Životní prostředí | 44 |
| 3.1.2.3.5. Elektronika | 46 |
| 3.1.2.3.6. Shrnutí kapitoly hlavní aplikace nanočástic | 46 |
| 3.1.3. Historie nanotechnologie | 47 |
| 3.1.3.1. Historie nanotechnologie ve světě | 47 |
| 3.1.3.2. Shrnutí kapitoly historie nanotechnologie | 50 |
| 3.2. Perspektivy trhu s nanočásticemi | 50 |
| 3.2.1. Predikce vývoje trhu s nanomateriály | 51 |
| 3.2.2. Predikce vývoje trhu s nanomateriály – shrnutí | 66 |
| 3.3.1. Klasifikace metod výroby nanočástic | 66 |
| 3.3.2. Charakteristika vybraných výrobních metod | 70 |
| 3.3.2.1. Nanočástice TiO ₂ jako produkt výrobních nanotechnologií | 70 |
| 3.3.2.2. Proces mechanického mletí krystalů (Ball-milling process) | 71 |
| 3.3.2.3. Sulfátový proces (Sulfate process – SP) výroby TiO ₂ | 72 |
| 3.3.2.4. Chloridový proces (Chloride process – CHP) výroby TiO ₂ | 73 |
| 3.3.2.5. Syntéza plamenem (Flame synthesis - FS) | 74 |
| 3.3.2.6. Pyrolýza plamenem (Flame spray pyrolysis – FSP) | 75 |
| 3.3.2.7. Altair hydrochloridový proces (Altair hydrochloride process - AHP) | 75 |
| 3.3.2.8. SOL-GEL proces (SOL-GEL process - SGP) | 76 |
| 3.3.2.9. Hydrotermální syntéza (Hydrothermal synthesis - HS) | 77 |
| 3.3.3. Technologie výroby nanočástic - shrnutí | 79 |
| 4. Metody modelování nákladů životního cyklu | 81 |
| 4.1. Pojem životního cyklu a jeho hodnocení | 81 |
| 4.1.1. Kalkulace nákladů životního cyklu (LCC) a kalkulace celkových nákladů života (WLC) | 82 |
| 4.1.2. Metody odhadu nákladových položek | 89 |
| 4.1.3. Hlavní nákladové položky kalkulace LCC a WLC | 91 |
| 4.1.4. Popis procesu LCC analýzy | 97 |
| 4.1.5. Kalkulace celého životního cyklu (WLC) | 98 |
| 4.1.6. Techniky finančního hodnocení | 107 |
| 4.1.7. Hodnocení rizika projektu | 109 |

| | |
|--|-----|
| 5. Metodický koncept ekonomického hodnocení životního cyklu..... | 112 |
| 5.1. Klasifikace hlavních nákladových položek..... | 113 |
| 5.2. Tvorba nákladového modelu..... | 116 |
| 5.2.1. Základní východiska pro model úplných nákladů Full-cost model FCM..... | 117 |
| 5.2.2. Design modelu nákladů rozšířeného životního cyklu WLC..... | 122 |
| 5.2.3. Nástroj pro odhad transportních nákladů dle volby přepravního konceptu MPTN..... | 125 |
| 5.2.3.1. Metodický postup MPTN:..... | 132 |
| 5.2.4. Návrh metodiky odhadu par. rozděl. pravd. náhodné veličiny metody Monte Carlo KMRP..... | 133 |
| 5.2.4.1. Návrh hodnotících kritérií metody KMRP pro riziko změny pořizovací ceny..... | 134 |
| 5.2.4.2. Hodnotící kritéria metody KMRP pro riziko změny transportního konceptu..... | 135 |
| 5.2.4.3. Popis zvoleného postupu stanovení váhy vlivu hodnotících kritérií metody KMRP..... | 135 |
| 5.2.4.4. Implementace nástroje pro volbu pravděpodobnosti stavu..... | 136 |
| 5.2.4.5. Popis postupu stanovení krajních mezí rozdělení pravděpodobnosti..... | 137 |
| 6. Koncepte ekonomického vyhodnocení výrobního procesu na bázi hydrotermální syntézy..... | 142 |
| 6.1. Ekonomické vyhodnocení výrobní fáze na základě full-cost modelu..... | 142 |
| 6.1.1. Návrh základní struktury FCM..... | 142 |
| 6.1.2. Východiska pro alokaci nákladů a ekonomické hodnocení..... | 145 |
| 6.1.2.1. Postup alokace variabilních nákladů na vstupní chemikálie..... | 146 |
| 6.1.2.2. Ostatní variabilní náklady..... | 148 |
| 6.1.2.3. Postup odhadu nákladů na součásti výrobního zařízení..... | 149 |
| 6.1.2.4. Stanovení nákladů na lidské zdroje..... | 151 |
| 6.2. Návrh ekonomického hodnocení nákladů na základě kalkulace životního cyklu LCC a WLCC..... | 160 |
| 6.2.1. Hodnoty použité pro výpočty v nákladové analýze..... | 160 |
| 6.2.2. Výpočet nákladů vstupujících nově do modelu LCC a WLC..... | 162 |
| 6.2.2.1. Výběr druhu nákladu na prostor (vlastnictví / pronájem)..... | 162 |
| 6.2.2.2. Náklady na údržbu systému, volba systému údržby..... | 164 |
| 6.2.2.3. Náklady na logistiku – výpočet logistických nákladů..... | 170 |
| 6.2.2.4. Výpočet nákladů na fázi likvidace..... | 182 |
| 6.2.3. Hodnocení výsledků kalkulace LCC a WLC..... | 185 |
| 6.2.3.1. Náklady fází životního cyklu projektu..... | 185 |
| 6.2.3.2. Výnosy vygenerované během životního cyklu projektu..... | 186 |

| | |
|---|-----|
| 6.2.3.3. Vyhodnocení ziskovosti projektu během celého životního cyklu | 188 |
| 6.2.3.4. Porovnání parametru čisté současné hodnoty | 189 |
| 6.3. Ekonomické vyhodnocení nákladů - shrnutí | 193 |
| 7. Závěry | 195 |
| 7.1. Zhodnocení vytyčených cílů | 196 |
| 7.2. Zhodnocení hypotéz | 197 |
| 7.3. Přínosy dizertační práce | 198 |
| 7.4. Návrhy pro další výzkum | 199 |
| Použité symboly a zkratky | 199 |
| Seznam obrázků | 206 |
| Seznam tabulek | 209 |
| Použité informační zdroje | 211 |
| Seznam vlastních publikací | 227 |
| Účast na konferenci | 227 |
| Příloha 1 | 228 |
| Příloha 2 | 229 |
| Příloha 3 | 230 |
| Příloha 4 | 237 |

1. Úvod

S pojmem nanotechnologie se lze v dnešní době běžně setkat. Již není pouze obsahem přednášek futurologických fyziků, nebo oblastí zájmu chemických laboratoří. Stále častěji se stává součástí na trhu dostupného spotřebního zboží. Přitom tomu není ani šedesát let, co převládala představa Erwina Schrödingera, že hmotu na atomární úrovni nelze ovládat, protože atomy není možné v prostoru přesně lokalizovat. Tomuto názoru neodporoval ani matematický model atomu Wernera Heisenberga. Přesto se koncem padesátých let dvacátého století objevily názory držitele Nobelovy ceny za fyziku Richarda Feynmana, podle kterých byla manipulace s atomy možná. Další vědecký vývoj tyto názory potvrdil a začal rozkrývat možnosti, které nanotechnologie přináší.

Okruhem zájmu nanotechnologie jsou struktury s rozměry v rozsahu od 1 do 100 nanometrů. Tyto struktury díky své velikosti opouštějí oblast působení fyzikálních sil a ocitají se v prostředí vlivu sil kvantových. To a zásadní změna poměru povrchových atomů vůči atomům vázaných uvnitř pevné látky má za následek významnou změnu vlastností těchto struktur.

Přidáním nanostruktur majících unikátní vlastnosti do běžných materiálů vznikají nanomateriály. Takto modifikované materiály vykazují lepší požadované vlastnosti, než měly původní látky bez nanostrukturálních aditiv. Tato evoluce vlastností materiálů, které nacházejí uplatnění v nejrůznějších průmyslových a komerčních aplikacích, stojí za bouřlivým rozvojem jejich průmyslového využívání. S tím je samozřejmě spojený i rozvoj této oblasti trhu.

Aby opravdu dynamický růst dané tržní oblasti mohl být uspokojen, je nezbytné hledat a rozvíjet výrobní technologie. Nově vyvíjené technologie zaměřené na produkci nanočásticových aditiv musejí vynikat vysokou produktivitou a dobrou kvalitou vyrobených nanočástic a zároveň jejich činnost musí být ekonomicky smysluplná.

K hodnocení nákladovosti výroby nanočástic je v disertační práci použita modifikovaná kalkulace životního cyklu (Life cycle costing - LCC), která do hodnocení zahrnuje i faktor času a dopady ostatních nevýrobních fází života projektu. To významným způsobem rozšiřuje oblast zaměření nákladové kalkulace a poskytuje rovněž prostor pro hodnocení dalších vlivů, které mohou během života projektu vznikat a projekt ovlivnit.

Zahrnutím výnosů a navržených nevýrobních externalit ovlivňujících projekt vzniká kalkulace rozšířeného celého životního cyklu (Whole life cycle costing - WLCC). Jako nevýrobní externalita byl do kalkulace zařazen aspekt umístění výrobního podniku. Rozhodnutí o umístění podniku má velké dopady nejen do výrobních položek jako jsou náklady na pracovní síly a náklady na prostor, ale i do daňové a celní sféry a nákladů na gravitační efekt trhu. Hranice systému byly umístěny na rozhraní výrobní podnik (dodavatel nanočástic) a zákazník (odběratel nanočástic). Pro analýzu vlivu umístění výrobního podniku byly vybrány čtyři státy. Spojené státy americké, Čína, Velká Británie a Česká republika. Spojené státy americké a Čína patří k nejvýznamnějším lídrům v oblasti nanotechnologií jak ve výzkumných aktivitách, tak ve velikosti produkce a trhu. To vše dokladuje stať disertační práce věnovaná trhu s nanočásticemi. Do analýzy byla dále zařazena Velká Británie jako iniciátor projektu SHYMAN, který sloužil jako zdroj dat pro ověřování a vyčíslování nákladů na celý životní cyklus a Česká republika, která hraje především

komparativní roli. Komparativní analýza je provedena pro několik scénářů nastavení nákladových položek a vlivů vnějšího okolí. Jedná se o volbu vyráběných produktů, způsob zajištění prostor pro výrobu (nákup haly/pronájem), volba strategie údržby (údržba po poruše/preventivní) a vliv směnných kurzů. Výstupem kalkulace nákladů na celý životní cyklus je hodnocení technologií na bázi ověřování parametru čisté současné hodnoty projektu (Net present value - NPV), kde na jejich základě jsou kvantifikována rizika spojená s projektem. Hodnocení rizik je provedeno pomocí stochastické metody Monte Carlo a citlivostní analýzy.

1.1. Cíle a hypotézy disertační práce

Téma disertační práce „Modelování nákladů na celoživotní cyklus nanomateriálů“ umožňuje poměrně širokou interpretaci. Tato šíře vychází z termínu nanomateriály. Pod pojmem nanomateriály lze hledat struktury (nanočástice) určené pro další zpracování, či materiály obohacené o tyto struktury a využívané pro výrobu finálních produktů. Z tohoto důvodu je na místě provést jisté zpřesnění a formulovat hranice zkoumaného systému. Disertační práce a její cíle se zaměřují na zhodnocení životního cyklu výroby nanočástic. Na popis a hodnocení oblasti za vymezenými hranicemi může být zaměřen další výzkum. Ten se může zaměřit na hodnocení životního cyklu nanoproduktů (finální výrobek obohacený o nanočásticová aditiva) od jejich vzniku a užívání až po jejich likvidaci.

Cíle disertační práce byly formulovány na základě otázek vzešlých ze zapojení v projektu SHYMAN. Tento projekt zařazený do sedmého rámcového programu Evropské unie byl zaměřen na optimalizaci procesu výroby nanočástic pomocí metody hydrotermální syntézy. Cílem optimalizací bylo upravit reaktor a proces výroby nanočástic tak, aby to byl kontinuální proces s výrobní kapacitou řádově stovek tun nanočástic za rok a aby byl vhodný pro komerční využití. Výstupem z projektu tedy nebyl pouze návrh technického řešení, ale i komplexní vyhodnocení ekonomických a ekologických aspektů. Právě potřeba ekonomického vyhodnocení vedla k formulaci hlavních cílů disertační práce.

1.2. Cíle disertační práce

Hlavním cílem disertační práce je navrhnout komplexní nákladový model pro velkoobjemové technologie výroby nanočástic založený na syntéze procesního přístupu kalkulace na bázi full-cost modelu a komplexní kalkulace nákladů na životní cyklus LCC.

Numerický model založený na integraci technických a ekonomických informací výroby nanočástic bude navrhnout jako analytický nástroj, který umožní komplexní analýzu a hodnocení nákladů procesu výroby a produktů, citlivostní analýzu a řešení manažerských otázek zejména v oblasti cenotvorby, plánování výrobních kapacit a determinace detailní nákladové struktury produktů.

Dílčí cíle se vážou k nákladovému modelu a představují jeho prvky rozšiřující standardní kalkulace na životní cyklus o vybrané externí vlivy působící na výrobní proces výroby nanočástic. Jde zejména o popis a návrh postupu stanovení těchto následujících vlivů:

- Návrh postupu pro stanovení odhadu transportních nákladů dle volby přepravního konceptu MPTN komplexně hodnotící ovlivňující parametry
- Návrh postupu stanovení gravitačního efektu trhu na náklady životního cyklu zařízení vyrábějícího nanočástice a kvantifikace jeho vlivu
- Návrh postupu pro řízení rizika změny vstupů kalkulace nákladů životního cyklu.

1.3. Hypotézy

Hypotézy disertační práce vycházejí z výzkumných otázek, reagujících na praktickou potřebu ověření ekonomické výhodnosti výroby nanočástic.

Výzkumné otázky:

- **Lze modelovat a usnadnit odhad významných nákladových položek výroby nanočástic?**
- **Lze numericky ověřit a řídit riziko spojené s odhadem nákladů na výrobu nanočástic?**
- **Je výrobní technologie nanočástic na bázi hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby zisková?**

Hypotéza 1: Hydrotermální syntéza s kontinuálním procesem výroby nanočástic (HSKPV) generuje zisk před dosažením maximální výrobní kapacity zařízení při prodeji nanočástic za současné prodejní ceny (HSKPV je konkurenceschopná vůči alternativním výrobním technologiím).

Hypotéza 2: Náklady rozšířeného životního cyklu výroby nanočástic na bázi hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby (HSKPV) mají vyšší čistou současnou hodnotu než nula a jsou proto pro investora přijatelné.

1.4. Postup při zpracování práce a použité metody

Téma a cíle disertační práce vzešli z požadavků vyvolaných projektem SHYMAN. Tento mezinárodní projekt, kterého se zúčastnilo několik univerzit, vědeckých pracovišť a podniků a byl spolufinancován ze sedmého rámcového projektu Evropské unie, si kladl za cíl rozvoj procesu výroby nanočástic. Projekt se konkrétně zaměřoval na hodnocení výroby nanočástic na bázi hydrotermální syntézy. Jelikož jedním z cílů projektu bylo ověřit ekonomičnost procesu výroby nanočástic, bylo nutné navrhnout a vytvořit postupy, jak ekonomickou výhodnost výroby nanočástic vyhodnocovat.

První kroky směřovaly k využití metody rešerše informačních zdrojů. Tato rešerše se stala v první fázi významným zdrojem informací a vstupů pro jednotlivé analýzy. Druhým neméně důležitým zdrojem informací a vstupů byl samotný projekt SHYMAN, kdy významná část informací začala v průběhu projektu přicházet z empirického výzkumu.

Rešerše informačních zdrojů byla zaměřena na několik oblastí, ve kterých měla za cíl zmapovat současný stav poznání, případně být podkladem pro predikci budoucího vývoje. Podkapitola 3.1 si klade za cíl seznámit čtenáře s problematikou nanotechnologií a osvětlit důležitost této oblasti vědeckého výzkumu. Poskytuje čtenáři širší náhled do dané problematiky a pomáhá mu zorientovat se v hlavních odborných termínech. Úvodní část kapitoly je věnována vymezení pojmu nanotechnologie a členění základních nanostruktur dle zvolených kritérií. V další části této podkapitoly jsou shrnuty základní změny vlastností nanočástic v závislosti na jejich kvalitativních parametrech jako jsou velikost a tvar. Tyto kvalitativní parametry lze přímo ovlivnit volbou procesu výroby nebo nastavení výrobních parametrů (například teplota a tlak). Volba výrobního procesu a parametrů procesu ovlivňuje nákladovou stranu bilance porovnávající ekonomickou výhodnost hodnocených procesů. Příjmovou stranu bilance ovlivňuje

výrobní kapacita a prodejní cena. Jak již je jisté zřejmé, prodejní cena bude závislá i na výsledných vlastnostech nanočástic. Vysoce tvarově přesné nanočástice s malou velikostí budou mít jiné vlastnosti a z toho plynoucí jinou prodejní cenu, což již u některých nanočástic na trhu lze pozorovat. Další podkapitola s názvem hlavní aplikace nanočástic demonstruje budoucí možné aplikace nanočástic. Jelikož velké množství aplikací nanočástic je zatím součástí výzkumů, nelze jednoduše odhadnout budoucí uplatnění vybraných nanočástic a cenu na základě poptávky a nabídky. Toto zjištění má opět velký vliv na uplatnění nanočástic a jejich budoucí prodejní cenu. Závěr kapitoly shrnující historii nanočástic má již pouze dokreslující informační charakter.

Navazující podkapitola 3.2 je věnována popisu trhu s nanočásticemi. Tento segment trhu „Nanomarket“ je popsán pomocí přímých a nepřímých charakteristik, které kvantifikují danou tržní oblast. Tato podkapitola je důležitou součástí dané disertační práce z důvodu, že výrobní technologie popisované v práci včetně detailně analyzované technologie hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby jsou vysoce produktivní technologie schopné produkovat až stovky někdy tisíce tun nanočástic ročně. Ekonomika takto vysoce produktivní technologie je samozřejmě závislá na uplatnění jejích produktů na trhu. Cílem této kapitoly je ověřit absorpční schopnost trhu s nanočásticemi akceptovat produkci nové vysokokapacitní technologie výroby nanočástic. Z výsledků této kapitoly jsou vytvořeny scénáře pro ekonomické hodnocení kapitoly 6 a pro modelování gravitačního vlivu trhu.

Podkapitola 3.3 se věnuje stručnému popisu existujících technologií výroby nanočástic a představuje některé jejich hlavní charakteristiky. Cílem této stati není komplexně popsat veškeré dostupné technologie výroby nanočástic, ale zaměřuje se především na průmyslově využívané technologie, které jsou schopny produkovat stejné produkty (nanočástice) jako technologie hydrotermální syntézy. Některé z popsanych technologií slouží ke komparaci nákladových položek uvedených v kapitole 5.

Čtvrtá kapitola je věnována popisu metod využitelných k ekonomickému hodnocení projektu. Ideově se opírá především o kalkulační přístup celého životního cyklu, ale jsou zde uvedeny i metody odhadu nákladů a metody řízení rizika. Úvod je věnován stručnému popisu vývoje přístupu k nákladovému hodnocení investičních projektů. Navazuje shrnutí hlavních činností spojených s tvorbou kalkulace životního cyklu a popis hlavních nákladových položek. Další část je věnována metodám odhadu nákladů.

Pátá kapitola se věnuje klasifikaci hlavních nákladových položek výroby nanočástic a jejich významnosti a citlivosti na změnu. Jsou zde porovnány čtyři procesy výroby nanočástic. Následně se kapitola věnuje návrhu modelu FCM založenému na procesním přístupu celkových nákladů a modelu WLC mapujícímu rozšířené náklady na celoživotní cyklus. Dále je v této kapitole popsán návrh metodiky odhadu nákladů na kamionovou přepravu zohledňující různé způsoby účtování transportních služeb pro vybrané typy kamionové přepravy a zohledňující nejčastější transportní koncepty. V neposlední řadě je zařazen popis metod použitých k řízení rizika, které je s vyhodnocováním projektů spojeno. Součástí této podkapitoly je popis návrhu metodiky sloužící k řízení rizika pro odhad vstupních nákladů kalkulace životního cyklu založené na kvalitativním popisu vybraných hodnotících kritérií. Pomocí této metodiky je možné určit meze rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny rizikového faktoru pro metodu Monte Carlo.

Syntézou poznatků uvedených a navržených v kapitolách tři, čtyři a pět je navržený numerický nákladový model životního cyklu popsán v kapitole šest. Popis začíná výčtem premis, pro které byl model

navržen. Následuje seznámení se scénáři, které byly v rámci simulací hodnoceny. Kapitola pokračuje popisem numerického modelu a výpisem jednotlivých nákladových položek. V kapitole jsou samozřejmě prezentovány dílčí výsledky simulací.

Kapitola sedmá představuje zakončení disertační práce. Je věnována stručné syntéze výsledků spojené se zhodnocením ověření hypotéz. Součástí kapitoly je zhodnocení splnění cílů práce a úplný závěr patří doporučením autora pro směřování dalšího rozvoje dané problematiky.

2. Popis současného stavu oblasti nanotechnologií a modelování nákladů na celoživotní cyklus

Jelikož téma disertační práce propojuje oblast ekonomického hodnocení projektu a oblast nanotechnologie, vzniká otázka důležitosti jednotlivých témat. Jak řešerše zdrojů, tak projektová praxe ukázala nemožnost oddělení těchto témat. Moderní kalkulační metody (např. Activity base costing – ABC) se zaměřují především na nákladový popis činností a procesů. Proto není možné vytvářet nákladové modely bez dobré znalosti těchto činností a procesů. Kalkulační metoda celého životního cyklu (WLC) rozšiřuje kalkulaci nákladů o výnosovou stranu a různé externality ovlivňující systém. Proto je nutné pochopit i aspekty jako jsou vnějšího prostředí (např. trh s nanočásticemi). Výše zmíněné důvody stojí za zařazení kapitoly věnované popisu nanotechnologií.

Rešerše zaměřená na oblast nanotechnologie se soustředila na tyto podoblasti zájmu:

- Pojem nanotechnologie a její definice
- Nanočástice a jejich členění
- Vlastnosti nanočástic
- Hlavní aplikace nanočástic
- Historie vývoje výzkumu oblasti nanotechnologií
- Nanomarket – popis a predikce vývoje trhu s nanočásticemi
- Průmyslové technologie výroby nanočástic vhodné pro komparaci s hydrotermální syntézou s kontinuálním výrobním procesem

Rešerše věnovaná kalkulacím se věnovala těmto podoblastem:

- Kalkulace nákladů životního cyklu (Life-cycle costing - LCC)
- Kalkulace celkových nákladů životního cyklu (whole life costing - WLC, někteří autoři Whole life-cycle costing - WLCC)
- Metody volby strategií údržby výrobního zařízení
- Ceny vstupů (energie, ceny zemního plynu, mzdové náklady, pojištění...) ve vybraných státech
- Náklady na pořízení pozemku a výstavbu výrobní haly ve vybraných státech
- Náklady na pronájem výrobní haly ve vybraných státech
- Daňová a celní zátěž výrobního podniku ve vybraných státech
- Podmínky transportů materiálu ve vybraných státech

2.1. Kritická rešerše informačních zdrojů

V rámci rešerše zdrojů byly naplňovány dva cíle. Prvním cílem bylo provést kritickou rešerši dané oblasti a zjistit aktuální stav poznatků. Rešeršní poznatky byly kompilovány do souhrnného textu, který je čtenáři především ve třetí a čtvrté kapitole předkládán. Pro naplnění tohoto cíle bylo postupováno od obecných témat ke konkrétním. Byl-li výsledek rešerše rozdílný pro různé nanočástice/nanotechnologie, v disertační práci byl uveden ten, který je vhodný pro komparaci s hodnocenou výrobní technologií hydrotermální

syntézy. Druhým cílem rešeršního snažení bylo ve vědeckých člancích, studiích případně na internetových serverech nalézt potřebné vstupy pro jednotlivé analýzy.

2.1.1. Rešeršní strategie

První kroky kritické rešerše věnované oblasti nanotechnologií byly zaměřeny na prostudování odborných publikací, které popisují nanotechnologie obecně. Hlavním cílem bylo seznámit se s řešenými tématy a zorientovat se v odborné terminologii používané v literatuře.

Jako základní zdroje této fáze lze uvést:

- Odborné publikace: např. [167], [35], [179]
- Vysokoškolská skripta: např. [64]

Následovalo zúžení zájmu na specifické oblasti věnující se konkrétním otázkám. V rámci tohoto druhého kroku se rešerše opírala spíše o vědecké články a zdroje publikované výzkumnými společnostmi než o studium knižních zdrojů. Jednalo se především o publikované výsledky výzkumu zaměřující se na vlastnosti a aplikace nanočástic, predikce vývoje trhu s nanočásticemi a popis výrobních technologií.

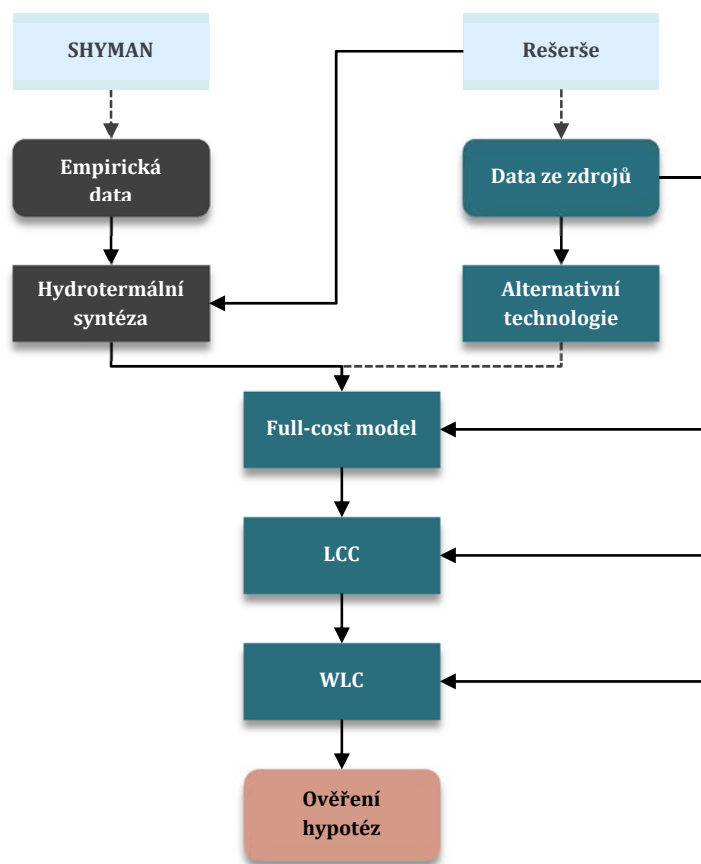
I rešerši informačních zdrojů věnující se nákladům na životní cyklus lze rozdělit na dvě části. První se opět zabývala obecnou problematikou kalkulací životního cyklu, kdy opět převažují knižní zdroje.

Mezi zajímavé informační zdroje prostudované při zpracování disertační práce je možné zařadit:

- Odborné publikace: např. [15], [34], [136]
- Příručky: např. [176], [156]
- Normy: ČSN EN 60300-3-3, ČSN EN 60300-3-14
- Články: [141]

Další část rešerše byla zaměřena na metodiku stanovení jednotlivých nákladových položek kalkulace životního cyklu a na vyhledávání vstupních dat nezbytných pro analýzu. Zde lze podoblasti zjišťovaných informací rozdělit do následujících skupin:

- Náklady na nemovitosti a prostor
- Údržba a volba strategie údržby
- Ceny vstupů v závislosti na vybraném státu
- Náklady logistiky
- Daňové a celní systémy ve vybraných zemích



Obr. 1: Schéma strategie získávání vstupních dat pro disertační práci

Zdroj: Vlastní zpracování

2.1.2. Charakteristika klíčových informačních zdrojů

Při zpracování disertační práce bylo čerpáno z nejrůznějších elektronických či tištěných zdrojů. Jak již bylo výše popsáno, v rámci získání obecného přehledu o problematice bylo využito především monografií a skript. Následná fáze prohlubování znalostí se opírala hlavně o studium vědeckých článků zaměřujících se na konkrétní téma dané problematiky. V neposlední řadě webové stránky a databáze poskytli zdroj vstupních dat pro provedené analýzy.

Tab. 1: Prostudované zdroje rozdělené dle typu využité při zpracování disertační práce

| Typ zdroje | Počet | % |
|-------------------------------|------------|-------------|
| Monografie, skripta, příručky | 22 | 9% |
| Vědecké články | 144 | 58% |
| Normy a patenty | 4 | 2% |
| Absolventské práce | 3 | 1% |
| Webové databáze a stránky | 76 | 30% |
| Celkem | 249 | 100% |

Hlavní zdroje, které ovlivnily zpracování disertační práce a jejich přínosy:

Vlastnosti nanočástic:

V rámci popisu hlavních specifík vlastností nanočástic a hledání jejich příčin se lze setkat s celou řadou článků věnovaných této problematice. Nejčastěji se jedná o popisy výsledků experimentů provedených na vybraných nanočásticích zaměřených na určitou skupinu vlastností (např. optické vlastnosti nanočástic stříbra). Z prostudovaných zdrojů zaujímá významné místo níže uvedený článek díky svému soubornému výčtu vlastností a jejich příčin.

Kvítek O.; Nanostruktury zlata: příprava, vlastnosti a vybrané aplikace (2016); [94]

Tento článek zaměřující se na téma vlastností nanočástic, patří k jednomu z mála dostupných zdrojů, komplexně popisující nanočástice od jejich „zrodu“ až po nejčastější aplikace. Mnoho obdobě koncipovaných článků se věnuje pouze popisu vlastností, ale již blíže neobjasňují příčiny, které dané vlastnosti ovlivňují. V tomto ohledu spatřuji velký přínos zmíněného zdroje.

Přínos pro disertační práci:

V rámci části disertační práce věnující se vlastnostem nanočástic, byl tento článek základem pro osnovu dané stati. Přes poměrnou stručnost obsáhl hlavní rámec problematiky, který byl rozšířen studiem dalších zdrojů.

Nanomarket:

Významné zdroje věnující se problematice vývoje a predikce trhu s nanočásticemi jsou většinou komplexně pojaté studie a články. Postihují především problematiku veřejného financování rozvoje nanotechnologií. Sloužili především jako předloha pro vytvoření rámce podkapitoly a pro zachycení hlavních vývojových trendů ve veřejném financování. Důležitou roli též hrály při volbě hodnotících charakteristik trhu.

Konečný L.; Analýza odvětví nanotechnologií v České republice v letech 1993-2013 a jeho příspěvku k hospodářskému růstu (2015); [84]

Studie Lukáše Konečného publikovaná v roce 2015 je věnována popisu vývoje nanotechnologií v letech 1993 až 2013. Přesto, že je primárně zaměřena na české nanotechnologické prostředí, představuje danou oblast komplexním způsobem. Zaměřuje se na popis historie, způsoby financování rozvoje nanotechnologií a uvádí výčet nejvýznamnějších českých nanotechnologických firem.

Přínos pro disertační práci:

Ačkoliv uvedená studie se přímo nevěnuje tématu, které si kladla za cíl zmapovat předložená disertační práce, její čtení významně ovlivnilo výsledné zpracování. Především byla podnětná část věnovaná financování rozvoje nanotechnologií. V rámci studie jsou navíc představeny hlavní světové instituce věnující se globálnímu mapování stavu dané oblasti. To významnou měrou přispělo k volbě zdrojů v oblasti věnované trhu s nanočásticemi.

Pulit-Prociak J.; Silver nanoparticles – a material of the future...? (2017); [170]

Jolanta Pulit-Prociak se ve zmíněném článku věnuje nanočásticím stříbra. Mezi hlavní témata, na která se článek zaměřuje, patří: vlastnosti a aplikace nanočástic stříbra, environmentální aspekty využívání nanočástic, hlavní důvody toxicity nanostříbra a rizika znečištění životního prostředí.

Přínos pro disertační práci:

Pro disertační práci má přínos především třetí část článku věnovaná trhu s nanočásticemi. V rámci prostudovaných zdrojů se jedná o jediný, který uvádí velikost globálního trhu s nanočásticemi kvantifikovaný počtem vyrobených tun za rok a to vše pro 23 různých nanočástic. Součástí článku je i predikce růstu trhu do roku 2020. Tento článek sloužil jako podklad stanovení premis výpočtů výnosové části kalkulace celkových nákladů životního cyklu.

Roco M.; The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years (2011); [178]

Článek Mihaila C. Roca mapuje rozvoj světové nanotechnologie v období od založení národní nanotechnologické iniciativy (NNI) v roce 2000 do roku 2009. Jedná se o často citovaný článek, který v této oblasti lze považovat za jeden ze základních zdrojů.

Přínos pro disertační práci:

Trh s nanočásticemi lze hodnotit na základě různých parametrů. Mihail C. Roco zde formuloval 6 nepřímých charakteristik trhu (více v kapitole 3.2.), podle kterých lze danou oblast hodnotit. Volba těchto šesti charakteristik koresponduje se závěry, které uvádí ve své studii Lukáš Konečný a to, že výše investic veřejného sektoru a rozvoj vědecko-výzkumných pracovišť může sloužit jako indikátor popisující očekávání významnosti tržního sektoru. Těchto šest nepřímých indikátorů posloužilo jako část kritérií, na základě kterých byly hodnoceny perspektivy rozvoje trhu s nanočásticemi v této disertační práci.

Dong H.; The nanotechnology race between China and USA (2016); [26]

Spojené státy americké a Čína patří v současnosti mezi lídry v oblasti výzkumu a vývoje nanotechnologií. Spojené státy se do této pozice etablovali už okolo roku 2000 založením mezinárodní nanotechnologické iniciativy (NNI). V případě Číny se vládní investice do výzkumu staly důvodem, že Čína má v současnosti nejrychleji rostoucí počty publikací v oblasti nanotechnologií na světě a ani čínský nanoprůmysl za tímto trendem nezaostává¹. Článek sepsaný kolektivem autorů vedený Haiyanen Dongem porovnává postavení obou nanotechnologických velmocí.

¹ Tato zjištění jsou v souladu s výsledky publikovanými Organizací pro hospodářskou spolupráci a rozvoj – OECD.

Přínos pro disertační práci:

Přesto, že tento článek sám o sobě neměl významný vliv na obsah disertační práce, je zde uveden jako zajímavý text, který přispěl k pochopení vlivu vzniku vládních iniciativ na financování rozvoje vědecko-výzkumné oblasti.

Technologie výroby nanočástic:

Řada níže uvedených článků věnujících se technologiím výroby nanočástic je přínosná především popisem procesů výroby a lze z nich čerpat některé vstupy pro komparativní analýzu. Jejich význam vzrůstá se zjištěním, že se jedná o jedny z mála informačních zdrojů, uvádějící konkrétní hodnoty parametrů procesu výroby nanočástic.

Stieberová B.; Comparative study of nanoparticle production technologies focused on environmental aspect (2014); [200]

Článek, který autorka Barbora Stieberová ve spolupráci s dalšími autory publikovala na mezinárodní konferenci NANOCON, představuje srovnávací analýzu výrobních technologií nanočástic. Analýza je věnována především environmentální dopadům výroby. Článek navíc uvádí i některé obecné charakteristiky výroby jako například produktivitu a kvalitu nanočástic. Data pro technologii hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby čerpala autorka z projektu SHYMAN.

Přínos pro disertační práci:

Pro disertační práci má tento článek velký význam. Autorka provedla rozsáhlou rešerši literárních zdrojů věnujících se popisu výrobních technologií vhodných pro komparaci s hydrotermální syntézou. Výstupem rešerše je tabulka porovnávající jedenáct výrobních technologií dle ekonomických a ekologických kritérií. Článek významnou měrou přispěl k volbě komparativních technologií uvedených v této disertační práci a odkazoval na přínosné zdroje.

Procházka J.; Studium vlastností nanočástic oxidu (2009); [168]

Disertační práce Jana Procházky se věnuje nanočásticím TiO_2 . Autor popisuje v jakých krystalových strukturách nano TiO_2 lze připravit. Další část práce je věnována popisu metod výroby těchto nanočástic, způsobům použití a závěrečná část práce je věnována toxikologii TiO_2 .

Přínos pro disertační práci:

Pro disertační práci je přínosný především detailní popis průmyslové přípravy nanočástic TiO_2 .

Osterwalder N.; Energy consumption during nanoparticle production: How economic is dry synthesis? (2006); [154]

Autor se v článku věnuje spotřebě energie, ke které dochází při výrobě nanočástic. Zaměřuje se na komparaci suchých a mokrých metod. Z textu vyplývá, že i přes chytře konstruované přetvárné

reaktory suchých procesů a velmi krátké procesní řetězce vyžadují mnohem více energie než vícestupňové mokré procesy. Toto zjištění je v souladu s úvodním očekáváním projektu SHYMAN.

Přínos pro disertační práci:

Tento zdroj poskytuje důležitá data pro komparativní analýzu technologií výroby nanočástic. Do komparativní analýzy této práce jsou vybrána data publikovaná v tomto článku a získaná z technologie na bázi syntézy plamenem provozované v evropském výrobním podniku.

Grubb F.; Life cycle of titanium dioxide nanoparticle production (2010); [55]

Článek se zaměřuje na inovovaný výrobní proces nano TiO₂ tzv. altair hydrochloridový proces. Ten je obdobou výroby nano TiO₂ z ilmenitové rudy pomocí sulfátového procesu. Hlavní přínosy této práce jsou: inventarizace životního cyklu nanotechnologického procesu a odhalení potenciálních změn exergie².

Přínos pro disertační práci:

V disertační práci bylo využito informací získaných při studiu článku během sestavování popisu nového procesu. Autor napsal více článků, ve kterých se přímo či nepřímo věnuje altair hydrochloridovému procesu a z nich lze čerpat některá vstupní data pro komparaci technologií.

Pini M.; Environmental assessment of a bottom-up hydrolytic synthesis of TiO₂ nanoparticles (2015); [160]

Jedná se o jeden z řady článků věnujících se výrobním technologiím. Zde je konkrétně popsán proces SOL-GEL syntézy nanočástic TiO₂. Autorka se zaměřuje především na environmentální hodnocení dopadů výroby.

Přínos pro disertační práci:

Obdobně jako u článků uvedených výše bylo využito informací uvedených v textu tohoto článku pro popis procesu a komparaci s technologií hydrotermální syntézy nanočástic.

Náklady životního cyklu:

Výčet článku zařazených do této skupiny hrál významnou roli ve fázi návrhu nákladového modelu, kdy volba nákladových položek a jejich odhad byly hlavním úkolem. Prostudování těchto zdrojů s naplněním tohoto úkolu významnou měrou pomohlo.

Kirkham R.; Rethinking whole life cycle cost based design decision-making (2004); [83]

V současné době je používání kalkulace celkových nákladů životního cyklu (WLC) téměř běžnou součástí praxe hodnocení staveb. Na základě tohoto kalkulačního přístupu se hodnotí dlouhodobé náklady na danou

² Exergie je ta část energie, která se je schopná při daných podmínkách (obvykle určuje stav vnějšího prostředí) dále transformovat na jiný druh energie. Opakem je Anergie. To je část energie neschopná se za daných podmínek dále transformovat.

stavbu (provozní náklady, údržba, náklady na likvidaci). Autoři článku však vyzdvihují užitečnost této kalkulace především ve fázi rozhodování o návrhu stavby. Uplatnění takového rozhodovacího nástroje však komplikuje skutečnost, že sestavení nákladového modelu je velmi složité. Koncepční změny návrhu vždy znamenají nutnost přepracovat kalkulaci pro nový návrh. To je nejčastější důvod retrospektivního využívání kalkulace, kdy už není možné návrh měnit. Článek představuje interaktivní model umožňujícího využít kalkulaci na bázi celkových nákladů na životní cyklus k rozhodování ve fázi návrhu stavby.

Přínos pro disertační práci:

Přesto, že je článek zaměřen na oblast návrhu nové budovy, obdobně se věnuje problematice využití kalkulace celkových nákladů na životní cyklus pro rozhodovací účely. Užitečné jsou především autorské návrhy struktury modelu řešící usnadnění modelování nákladových položek.

Heralová R.; Kalkulace nákladů životního cyklu jako inovativní rozhodovací nástroj ve fázi navrhování staveb (2011); [60]

Hodnocení nákladů na životní cyklus není jenom kalkulační metoda sloužící jako podklad pro hodnocení stavby. Ukazuje se, že se jedná i o důležitý nástroj strategického a investičního rozhodování. Renáta Schneiderová Heraldová ve svém článku popisuje postup kalkulace nákladů na životní cyklus stavby.

Přínos pro disertační práci:

Přínosnost článku spočívá především v zařazení pohledu klienta (investora). Ten k investici přistupuje s určitými očekáváními a významnou měrou může ovlivňovat finální podobu výrobku. Tento pohled je nadstavbou samotné kalkulace a přiřazuje k ní rozhodovací rozměr. Tento pohled je v disertační práci promítnut v rozhodnutí o umístění výrobní haly. Jedná se o snahu uspokojit investorovo očekávání maximálního zisku.

Niazi A.; Product cost estimation - technique classification and methodology review (2006); [141]

Kolektiv autorů se ve svém článku zaměřil na popis metod odhadu nákladů. Článek rozděluje metody odhadu na kvalitativní a kvantitativní. Kvalitativní techniky odhadu nákladů jsou dále rozděleny do skupiny intuitivních a analogických. U kvantitativních technik je uvedeno dělení do skupiny parametrických a analytických metod. Každá z těchto skupin je stručně popsána. Dále v článku jsou diskutovány současné a budoucí trendy vývoje metod odhadu nákladů.

Přínos pro disertační práci:

Článek poskytuje jak komplexní shrnutí dané problematiky, tak přehled literatury věnující se této oblasti, což bylo přínosné především ve fázi návrhu kalkulačního modelu, kdy byl zvažován způsob odhadu nákladů.

Pump life cycle costs: A Guide to LCC analysis for pumping systems; [30]

Jedná se o návod hodnocení nákladů na životní cyklus vodních čerpadel. Příručka popisuje jak hlavní nákladové položky a metody jejich výpočtu, tak osvětluje důvody pro využívání kalkulace nákladů životního cyklu v podniku. Závěrečná část textu je věnovaná modelovému využití LCC pro komparativní analýzu.

Přínos pro disertační práci:

Jedná se o komplexní návod stanovení nákladů pro vybrané zařízení, kdy hlavním přínosem byla představená komparativní analýza čtyř variant nastavení výrobního systému s vodními čerpadly. Ta posloužila nejen jako návod, ale i jako zdroj dat použitých při hodnocení nákladů na údržbu čerpadel používaných v technologii hydrotermální syntézy.

Šajner V.; Náklady na životní cyklus zařízení – jejich monitoring a zahrnování do ekonomických výpočtů (2003); [201]

Vladimír Šajner překládá detailní popis nákladových položek obecně zařazovaných do nákladového modelu životního cyklu (LCC) zařízení. Přestože autor článku nerozšířil svůj text o položky patřící do kalkulace celkových nákladů životního cyklu (WLC) a věnuje se pouze nákladům životního cyklu od fáze užití, jedná se poměrně o komplexní výčet základních nákladových položek vyskytujících se při hodnocení životního cyklu zařízení.

Přínos pro disertační práci:

Kvalita výsledků kalkulace závisí především na volbě správné metody stanovení nákladů a na zahrnutí veškerých nákladových položek do kalkulačního vzorce. Druhý uvedený důvod odkazuje na přínosnost článku pro disertační práci.

Aleš Z.; Stanovení parametrů Weibullova rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruch v MS Excel (2016); [3]

Článek je věnován problematice modelování dat popisujících spolehlivost zařízení. Konkrétně se zaměřuje na stanovení parametrů Weibullova rozdělení, které se často používá pro modelaci dat nezávislých na tom, zda je intenzita poruch stoupající, klesající či konstantní. Pokud jsou známy některé charakteristiky zařízení jako je třeba doba do poruchy nebo cykly do poruchy, je možné určit parametry hustoty pravděpodobnosti.

Přínos pro disertační práci:

U vybraných součástí výrobního zařízení lze očekávat poruchy. Jelikož u dlouhodobých projektů tvoří údržba významnou část nákladů na projekt, je třeba predikovat nutnost údržby. Článek předkládá postup, jak pomocí programu MS Excel lze určit hlavní parametry Weibullova rozdělení hustoty pravděpodobnosti na základě vybraných charakteristik hodnoceného zařízení. Toho je v disertační práci využito pro modelování nákladů údržby.

Aleš Z.; Využití charakteristik bezporuchovosti k optimalizaci preventivní údržby s podporou Excelu (2016); [4]

Legát V.; Udržovatelnost, zajištěnost a politika údržby (2014); [98]

Tyto dva články jsou věnované problematice volby strategie údržby. Strategie údržby lze dělit do dvou hlavních skupin. Údržba po poruše a preventivní údržba. Cílem volby strategie údržby je minimalizovat náklady na údržbu zařízení. Tohoto kritéria je dosaženo při minimálních průměrných jednotkových nákladech na provoz a obnovu zařízení v průběhu celého životního cyklu.

Přínos pro disertační práci:

Přínosem článku je souhrnný popis druhů strategií údržby a navržený matematický model umožňující ověřit kritérium minimálních nákladů na údržbu za dobu životnosti zařízení a na základě toho zvolit vhodnou strategii údržby. Matematický model zohledňuje údržbu po poruše, preventivní periodickou údržbu a preventivní diagnostickou údržbu.

Prajer M.; Projektové řízení investice v KOVOS ST s.r.o. (2011); [165]

Diplomová práce autora se věnuje tématu investičního rozhodování v podniku, kdy je řešen investiční záměr nákupu vhodného výrobního zařízení. O volbě výrobního zařízení je rozhodnuto dle metod vícekritériálního rozhodování. Zvolená varianta výrobního zařízení je ekonomicky hodnocena v programu, který byl vytvořen v prostředí MS Excel. Program hodnotí kritéria, jako jsou diskontovaná doba návratnosti, čistá současná hodnota, vnitřní výnosové procento a další.

Přínos pro disertační práci:

Klíčovou zkušeností byla možnost seznámit se s problematikou hodnocení investic v reálném prostředí výrobního podniku. Jelikož se jednalo o malý výrobní podnik, zpracování naráželo na omezenost dostupnosti potřebných dat. Některá důležitá data se v podniku vůbec nesledovala. To vyvolalo nutnost hledat cesty, jak modelovat určité druhy nákladů. Navíc konzultace k tématu podkryly nedostatky výběru zařízení striktně dle cenového hlediska a bylo poukazováno na vhodnost zavedení faktoru času do vyhodnocení. Přesto, že samotná práce ještě s rozšířením hodnocení na jiné etapy projektu nepracuje, bylo to právě zpracování diplomové práce, které na potřebu komplexního hodnocení projektu poukázalo. Další důležitá přidaná hodnota práce byla samotná tvorba programu, která napomohla vytvoření modelu pro analyzování nákladů životního cyklu.

2.1.3. Závěry kritické rešerše informačních zdrojů

Jak z kritické rešerše vyplynulo, téma disertační práce se zaměřuje na oblast výzkumu, která je aktuální a píše o ní velké množství autorů. Toto téma spojuje dvě oblasti. Nanotechnologie a ekonomické hodnocení investičních projektů. Vývoj nanotechnologií se přesunul z fáze primárního do fáze aplikovaného výzkumu. Hlavním směrem dalšího vývoje budou moderní nanosystémy [11]. Stále větší poptávka po nanočásticích je dalším důkazem, který osvětluje nutnost hledání nových technologií, které by byly schopny produkovat více nanočástic s požadovanou kvalitou. U těchto technologií je kladen velký důraz na ekonomičnost, kterou je nutné ověřit již ve vývojové fázi.

I hodnocení investic podléhá neustálému rozvoji. Přesto, že metoda kalkulace životního cyklu se vyvíjí od 70. let minulého století [60], je pro inovace této metody neustále prostor. Využití této kalkulace jako nástroje pro rozhodovací analýzu skýtá značný potenciál [83]. Využití správně sestaveného modelu celého životního cyklu rozšířeného o vliv externalit působících na projekt může znamenat optimalizaci projektu a zamezení realizace nevhodnému návrhu již ve vývojové fázi. To přeneseně může přinést potenciál zvýšení konkurenceschopnosti projektu. Zde se jeví jako hlavní směr snahy o další vývoj oblast zjednodušení sestavování kalkulačních modelů a tvorba numerických modelů umožňujících simulace vývoje systému.

2.2. Popis aktuální situace v oblasti nanotechnologií a modelování nákladů životního cyklu – shrnutí

Nanotechnologie dnes patří k nejprogresivněji se rozvíjejícím oblastem lidského poznání [224], [157]. Nejprve to způsoboval především příliv státních investičních prostředků [155], kdy veřejná finanční podpora umožňovala překonat vstupní bariéry rozvoje a sloužila k financování primárního výzkumu. V současné době přebírá otěže financování rozvoje nanotechnologií soukromý sektor [84]. Ten již investuje pouze do aplikovaného výzkumu a dokáže plánovat zúročení vývojových investic v potenciálně zvýšeném objemu prodeje komerčních produktů, a proto se nebojí investovat do této oblasti. Z toho plynoucí stále větší spotřeba nanočástic vyvolává nárůst poptávky po výrobních kapacitách. Uspokojení této poptávky vyžaduje realizaci investičních projektů zaměřených na vybudování nových výrobních technologií. Jeden z výzkumných projektů řešící téma výrobní technologie byl projekt SHYMAN. Ten se zabýval návrhem výrobní technologie výroby nanočástic pomocí hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby. Jedna výrobní linka sestavená na bázi projektu SHYMAN má kapacitu až stovky tun nanočástic ročně. Jedná se tedy o jeden z velkoobjemových procesů umožňující flexibilní změnu produktu dle volby prekursoru.

V rámci hodnocení projektu SHYMAN byla provedená měření parametrů výroby vycházející z empirického výzkumu. Část těchto výstupních dat je součástí i této disertační práce. Uplatnění nacházejí především v části věnované full-cost modelu, do kterého vstupují výsledky empirického výzkumu a představují základ vyhodnocení. Nad tímto základem je vybudována nadstavba v podobě kalkulace celého životního cyklu modelu WLC. Výsledky této analýzy jsou v rámci informačních zdrojů vcelku unikátní. V informačních zdrojích je poměrně hojně zastoupeno téma nákladů na životní cyklus staveb a finálních produktů (kolejová vozidla – [138], vodní čerpadla – [223]). Hodnocení výrobních procesů pomocí tohoto nástroje však obecně dostupné není. Jedná se spíše o návody na sestavení kalkulace (Blanchard, 1990)

než samotné studie obsahující výsledná data. Pokud je již ve studiích hodnocen životní cyklus procesu, zaměřuje se spíše na environmentální hodnocení pomocí metody hodnocení životního cyklu – LCA.

Vysvětlení této skutečnosti lze pravděpodobně hledat ve stejném omezení, jako je nedostupnost dat popisujících výrobní technologie použitelné pro komparaci. Pro zpracování kalkulace nákladů na životní cyklus procesu je nutné mít dostatek vstupních dat (citlivých informací), které podléhají utajení a pravděpodobně z tohoto důvodu nejsou běžně publikovány. Přesto že k tématu hodnocení výrobních procesů pomocí kalkulace celého životního cyklu nebyly nalezeny relevantní studie, je celá řada zdrojů, o které je možné se při zpracování opřít. Za základní zdroje poskytující dostatečný návod na sestavení analýzy nákladů životního cyklu lze považovat normy ČSN EN 603000-3-3 a ČSN EN 60300-3-14.

Celkově lze shrnout výsledky rešerše tak, že pro vypracování disertační práce byl nalezen dostatek relevantních zdrojů, o které se lze opřít.

3. Nanotechnologie

3.1. Vymezení pojmu nanotechnologie

Nanotechnologie jako pojem je znám od roku 1974, kdy jej poprvé použil profesor z Tokijské univerzity³ Norio Taniguchi. Vznikl spojením řeckých slov „nanos“ (v překladu znamená trpasličí a v soustavě SI označuje násobek $1 \cdot 10^{-9}$ základního rozměru) a „techné“ (tj. dovednost případně zkušenost). Toto označení se vžilo jako zastřešující termín pro oblast zkoumání tzv. **nanovědy**. V centru zájmu nanovědy jsou **nanoobjekty**, mající nejméně jeden rozměrem v rozsahu od 1 do 100 nm, které jsou základními prvky **nanomateriálů**, a **nanotechnologie**, věnující se tvorbě nanoobjektů a nanomateriálů. Z pohledu vědních oborů je nanotechnologie multioborová disciplína propojující oblasti fyziky pevných částic, chemie, molekulární biologie a inženýrství.

3.1.1. Definice pojmu nanotechnologie

V současné době neexistuje jediná a všeobecně platná definice pojmu nanotechnologie. Většina definic je postavena na formulaci rozsahu velikosti nanoobjektu a liší se v kladení důrazu na rozličné aspekty nanotechnologie.

Rozšířené definice nanotechnologie:

- Nanotechnologie se zabývá studiem a využitím struktur o velikostech od 1 nanometru do 100 nanometrů. [31]
- Nanotechnologie je studiem jevů a zdokonalováním materiálů na atomické, molekulární a makromolekulární úrovni, na níž se vlastnosti podstatně liší od těch, které jsou zaznamenávány na běžné úrovni. [35]

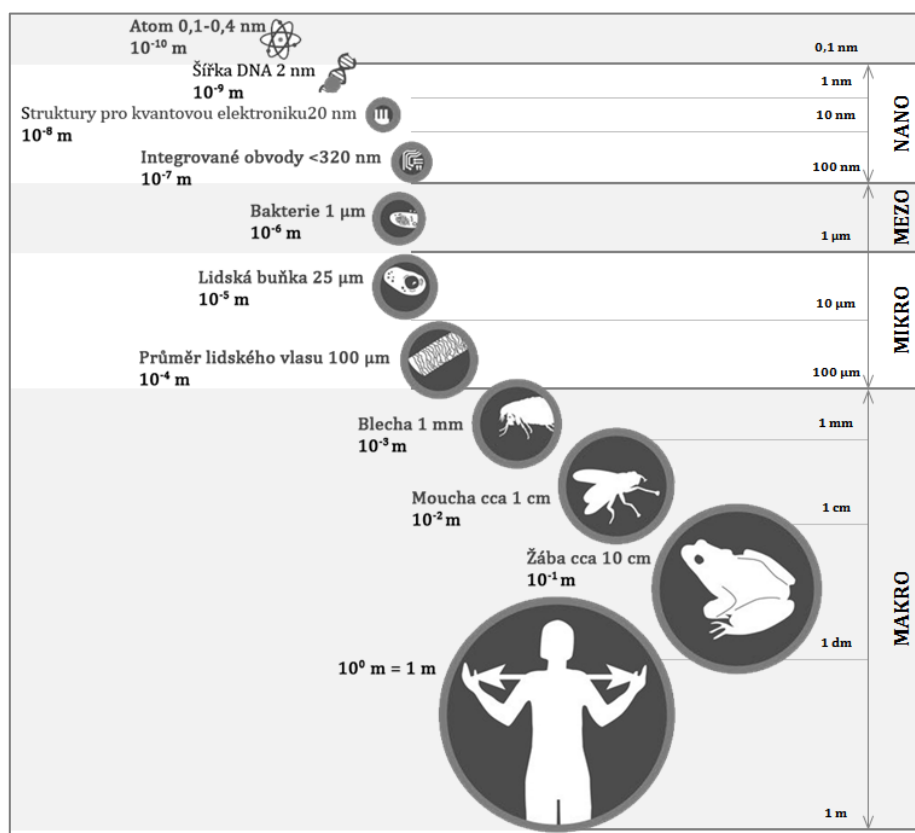
³ Tokyo University of Science

- Struktury, zařízení a systémy, které nabývají nových vlastností a funkcí v důsledku uspořádání svých atomů na úrovni velikostí od 1 do 100 nanometrů. Nanotechnologie se rozvíjí díky mnoha vědním odvětvím, jako jsou molekulární fyzika, materiálová věda, chemie, biologie, počítačová věda, elektrické a mechanické inženýrství. [38]
- Nanotechnologie je výzkum a technologický vývoj na atomové, molekulární nebo makromolekulární úrovni, v rozměrové škále přibližně 1-100 nm. Je to též vytváření a používání struktur, zařízení a systémů, které mají v důsledku svých malých nebo intermediárních rozměrů nové vlastnosti a funkce. Je to rovněž dovednost manipulovat s objekty na atomové úrovni. [142]

3.1.2. Nanoobjekty

Jak již z výše uvedených definic vyplývá, za nanoobjekty lze považovat částice, jejichž vnitřní struktura má alespoň v jednom rozměru velikost od 1 do 100 nm. Dolní hranice tohoto rozsahu těsně hraničí s velikostí jednotlivých atomů, které mají velikost přibližně 0,2 nm. Pro jednodušší představu těchto rozměrů, lze uvést některá populární přirovnání:

- 1 nm je přibližně tisícina tloušťky lidského vlasu.
- Poměr velikosti nanoobjektu o rozměru 100 nm a kopacího míče je přibližně stejný jako poměr mezi tímto kopacím míčem a velikostí zeměkoule
- Molekula DNA je široká asi 1-2 nm



Obr. 2: Rozměrová škála nano a makro světa

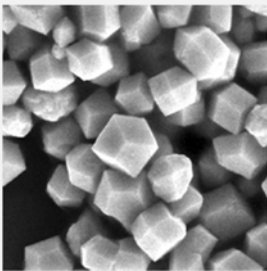
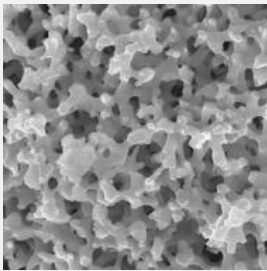
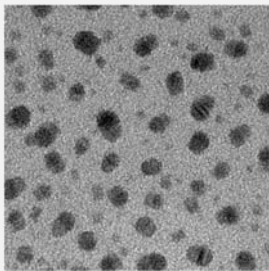
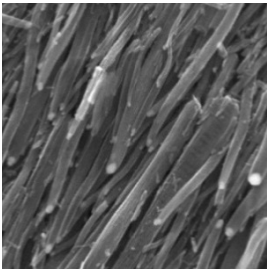
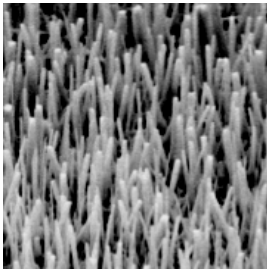
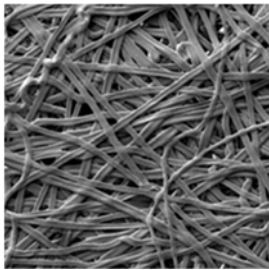
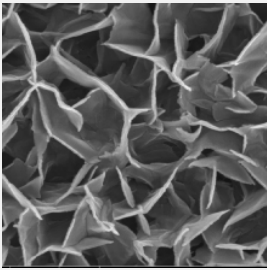
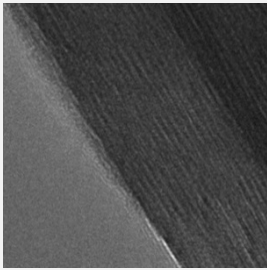
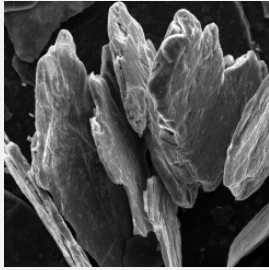
Zdroj: Zpracováno dle <http://www.nanotruck.de>

3.1.2.1. Druhy nanočástic

V rozsahu nanosvětla existuje velké množství různých nanoobjektů, které se od sebe liší celou řadou kvalitativních parametrů. Pro lepší klasifikaci nanoobjektů byla vytvořena norma ISO/TS 27687, která rozděluje nanoobjekty dle počtu souřadnic, ve kterých daná částice splňuje interval rozměrů 1 až 100 nm [64]. Dle této normy lze rozčlenit nanoobjekty (NO) na:

- **0 dimenzionální NO**, tzv. **nanočástice** - všechny tři rozměry na souřadnicových osách splňují rozsah 1-100 nm. Jedná se většinou o vrstvy z nanokrystalů, případně jednotlivé makromolekuly a lze je dále dělit na:
 - **Nanokrystal** (nanocrystals)
 - **Nanostroje** (nanostructures)
 - **Nanopěny** (nanofoams)
 - **Kvantové tečky** (quantum dots)
- **1 dimenzionální NO**, tzv. **nanovlákn**a - dva rozměry na souřadnicových osách splňují rozsah 1-100 nm. Jsou to především protáhlé nanoobjekty. Mezi sebou se liší tím, jestli se jedná o duté (nanotrubice) nebo plné (nanotyče) struktury, poměrem rozměrů (nanovlákn, nanopásky) a orientací k základně (pilíře). Dále je lze dělit na:
 - **Nanovlákn**a (nanofibers)
 - **Nanodráty** (nanowires)
 - **Nanotrubice** (nanotubes)
 - **Nanotyče** (nanorods)
 - **Nanopásky** (nanoribbons)
 - **Pilíře** (pillars)
 - **Kvantové dráty** (quantum wires)
- **2 dimenzionální NO**, tzv. **nanodesky** – pouze jeden rozměr na souřadnicových osách splňuje rozsah 1-100 nm. Tyto struktury tvoří vrstvy nebo tenké filmy a dále se dělí na:
 - **Tenké vrstvy** (layers)
 - **Rovinné makromolekuly**
 - **Nanostěny** (nano walls)
 - **Deskové nanokrystal**y
 - **Kvantové jámy** (quantum wells)

Přesto, že termín nanočástice se používá pouze pro označení 0 dimenzionální nanoobjektů, bude pro zjednodušení dále v textu využíván jako zástupný termín pro všechny nanoobjekty.

| | | | |
|--|--|--|---|
| <p>Nanočástice</p> <p>0 dimenzionální nanoobjekty</p> |  <p>Nanokrystaly (pubs.rsc.org)</p> |  <p>Nanopěna (upi.com)</p> |  <p>Kvantové tečky (titiricigroup.org)</p> |
| <p>Nanovlákná</p> <p>1 dimenzionální nanoobjekty</p> |  <p>Nanotrubice (extremetech.com)</p> |  <p>Nanodráty (xugroup.eng.ucsd.edu)</p> |  <p>Nanopásy (materiales.imdea.org)</p> |
| <p>Nanodesky</p> <p>2 dimenzionální nanoobjekty</p> |  <p>Nanostěny (iopscience.iop.org)</p> |  <p>Vrstvy (eurekalert.org)</p> |  <p>Rovinná makromolekula (grafen.com.tr)</p> |

Obr. 3: Ukázky nanoobjektů

3.1.2.2. Vlastnosti nanočástic

Nebývalý zájem o nanočástice je způsoben především jejich unikátními vlastnostmi, které se často značně liší od vlastností makrostruktur stejných látek. Elektricky vodivé železo se ve formě klastru⁴ Fe₄₈ stává nevodivým [89], bod tání nanočástice stříbra o průměru 5 nm se snižuje z 960 °C na 530 °C [61]. Zatímco většina vlastností makroskopických struktur pevných látek vychází z trojrozměrného uspořádání částic v krystalové mřížce, na které působí klasické fyzikální síly, jsou vlastnosti nanočástic ovlivňovány působením principů kvantové mechaniky a růstem povrchové plochy na jednotku hmotnosti. Působení principů kvantové mechaniky se projevuje změnami energetických hladin elektronů v pásových strukturách pevných látek („Quantum size effect“), což má vliv především na **elektrické** a **optické** vlastnosti nanočástic. Růst povrchové plochy na jednotku hmotnosti („Surface effect“) působí na **fyzikální** vlastnosti, jako jsou teploty fázových přechodů a hustota látky [94].

⁴ Klastr – v chemické terminologii se jedná o koordinační částici, v níž jsou atomy kovů navzájem přímo vázány vazbou kov-kov.

3.1.2.2.1. Změny elektrických vlastností nanočástic

Elektrická vodivost

Elektrická vodivost představuje schopnost látky přesunout elektrický náboj v důsledku působení elektrického pole a je způsobena volnými elektrony ve vodivostních pásech [169].

$$\vec{I} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

Kde: \vec{I} Elektrický proud
 σ Elektrická vodivost
 \vec{E} Intenzita elektrického pole

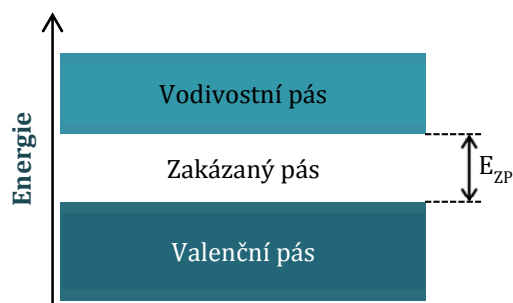
U **jednotlivých atomů** jsou elektrony lokalizovány v atomových orbitalech s určitou energií odpovídající Schrödingerově rovnici.

$$\hat{H}(t)\Psi(r, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi(r, t)}{\partial t} \quad (2)$$

Kde: \hat{H} Časově závislý Hamiltonův operátor (operátor celkové energie)
 Ψ Vlnová funkce
 i Imaginární jednotka (rozšiřuje obor reálných čísel na komplexní)
 \hbar Redukovaná Planckova konstanta
 r Polohový vektor
 t Čas

Sloučením více atomů pevných látek vznikají **krystalické struktury**. Atomy v těchto krystalech jsou uspořádány velmi blízko sebe. Díky těmto malým vzdálenostem spolu elektrony jednotlivých atomů začínají interagovat, což má za následek sjednocení atomových orbitalů („hybridizace atomových orbitalů“). Hybridizované orbitály vytvářejí energetické hladiny jakési pásové struktury⁵. Elektrony v těchto pásech již nepatří jednotlivým atomům, ale atomy je sdílejí a jsou v rámci pásu delokalizovány („kolektivizované elektrony“). Tak jako atomové elektrony mohou nabývat pouze určité energie, mohou sdílené elektrony existovat pouze v některých energetických hladinách. Energetické hladiny, ve kterých se elektrony mohou vyskytovat, vytvářejí „**dovolené pásy**“ a hladiny s energií, kterou elektrony nemohou nabývat, se nazývají „**pásy zakázané**“. Dovolené pásy lze dále rozdělit na „**valenční**“ a „**vodivostní**“. Valenční pás je tvořený valenčními elektrony s nejnižší energií [94].

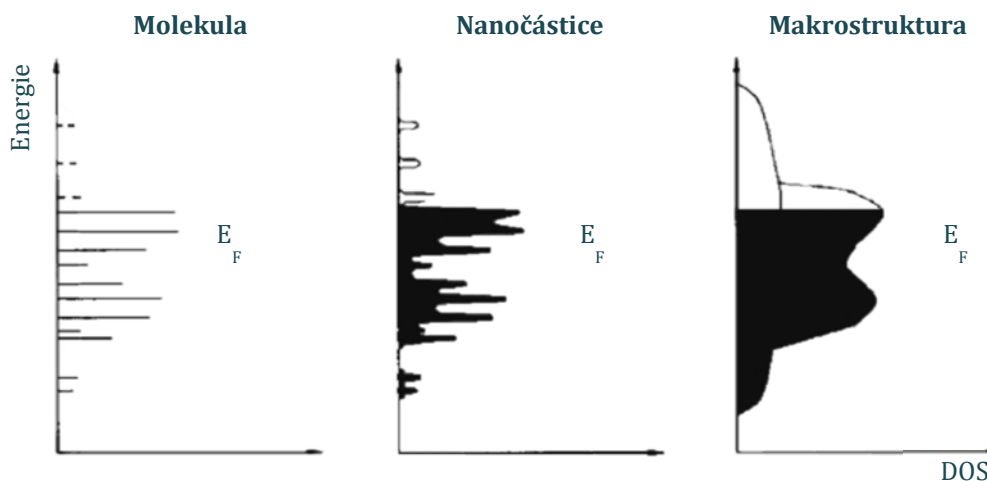
⁵ K popisu pásových struktur se již nevyužívá Schrödingerova rovnice, ale například Kronig-Penneyův model, nebo metodu těsné vazby.



Obr. 4: Pásově struktury krystalu pevné látky

Zdroj: Zpracováno dle <http://fyzika.jreichl.com>

Valenční elektrony se podílí na vazbách s okolními molekulami, ve kterých jsou vázány a na elektrické vodivosti se nepodílejí. Má-li být látka elektricky vodivou, musí mít volné elektrony ve vodivostním pásu, kde se mohou elektrony volně pohybovat a přenášet elektrický náboj. Aby se elektrony do vodivostního pásu dostaly, musí jim být dodána energie. U **vodičů** je potřeba vnější energie malá, jelikož mezi valenčním a vodivostním pásem je zakázaný pás široký méně než $E_{ZP} < 3\text{eV}$. U **izolantů** je zakázaný pás široký více než $E_{ZP} > 3\text{eV}$. K překonání takto širokého zakázaného pásu je potřeba tolik energie, že jejím působením dochází k porušení krystalové mřížky („spálení izolantu“) [172].



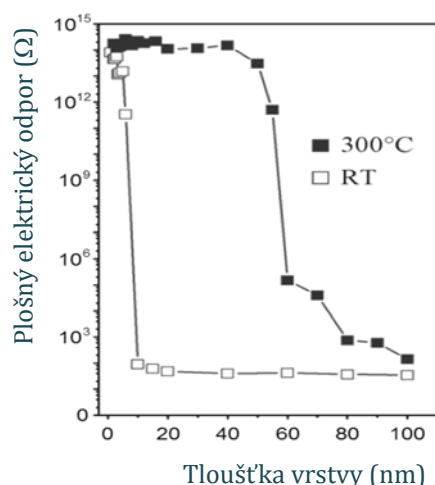
Obr. 5: Hustoty energetických stavů elektronů (DOS - density of states), E_F - Fermiho energie)

Zdroj: Zpracováno dle [94]

U nanočástic vlivem malé velikosti dochází k ubývání elektrických hladin, tzn., dochází ke zmenšování hustoty energetických stavů elektronů (DOS - density of states) (obr. 5). Tento jev vede k vytváření nových zakázaných pásů, které se u makroskopických pevných látek neobjevují. V důsledku růstu počtu zakázaných pásů dochází k poklesu vodivosti nanočástic. Příkladem tohoto jevu u zlata může být nanočástice o průměru 1,4 nm, která je při pokojové teplotě nevodivá na rozdíl od objemového zlata, které při pokojové teplotě je dobrým elektrickým vodičem.

Elektrický odpor (rezistivita)

Ve spojitosti se změnami elektrické rezistivity se u nanomateriálů mluví o tzv. tenkých kovových vrstvách, které jsou nanášena na izolující substrát. Velikost elektrické rezistivity ovlivňuje tloušťka a struktura vrstvy (vliv metody přípravy vrstvy) a zvolený substrát. Běžný proces vzniku tenké kovové vrstvy je spojen s počátečním růstem oddělených zrn na povrchu substrátu, která se postupně spojují, dokud nedojde k vytvoření souvislé vrstvy. Po vytvoření souvislé vrstvy začíná nárůst tloušťky vrstvy. Okamžik vytvoření vodivé vrstvy na povrchu substrátu se nazývá „**perlokační mez**“. Při překročení perlokační meze dochází k prudkému poklesu elektrické rezistivity struktury. Na obrázku 6 je znázorněna závislost plošného elektrického odporu na tloušťce kovové vrstvy. Jsou zde porovnány dvě metody přípravy kovové vrstvy na skleněném substrátu. První metodou je katodové naprašování (na obrázku označeno jako RT). Perlokační meze při naprašovací výkonu $0,5 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ je dosaženo při tloušťce kovové vrstvy 8 nm (při vyšším výkonu $1,3 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ byla pozorována perlokační mez na tloušťce kovové vrstvy 25 nm). Metoda postdepozicičního žíhání při teplotě 300°C (na obrázku označeno jako 300°C) posunuje perlokační mez na cca 60 nm [94].



Obr. 6: Závislost plošného elektrického odporu na tloušťce tenké kovové vrstvy a způsobu přípravy

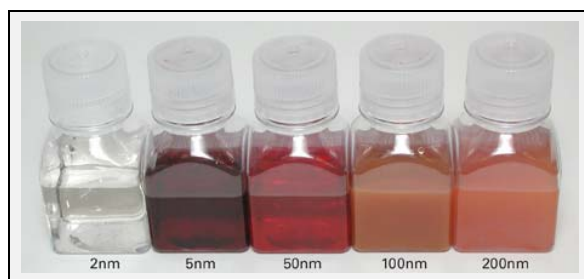
Zdroj: Zpracováno dle [94]

3.1.2.2.2. Změny optických vlastností nanočástic

Optické vlastnosti nanočástic ovlivňují změny v hustotě energetických stavů elektronů (DOS), povrchová plasmonová rezonance⁶ (SPR) a svůj vliv má i tvar jednotlivých nanočástic. Vlivem působení vnějšího elektromagnetického pole na deokalizované elektrony vzniklé hybridizací atomových orbitalů při vzniku krystalické struktury, dochází k vybuzení elektronů. Toto vybuzení má za následek oscilaci elektronů a je způsobeno absorpcí určitého kvanta energie z elektromagnetického pole (obr. 8 a). Energetické stavy, při kterých dochází k této resonanci mezi elektromagnetickým polem a elektrony, se nazývají **plasmony**. Pro optické vlastnosti látek jsou tyto plasmony určující a to především ty, které se nacházejí na povrchu

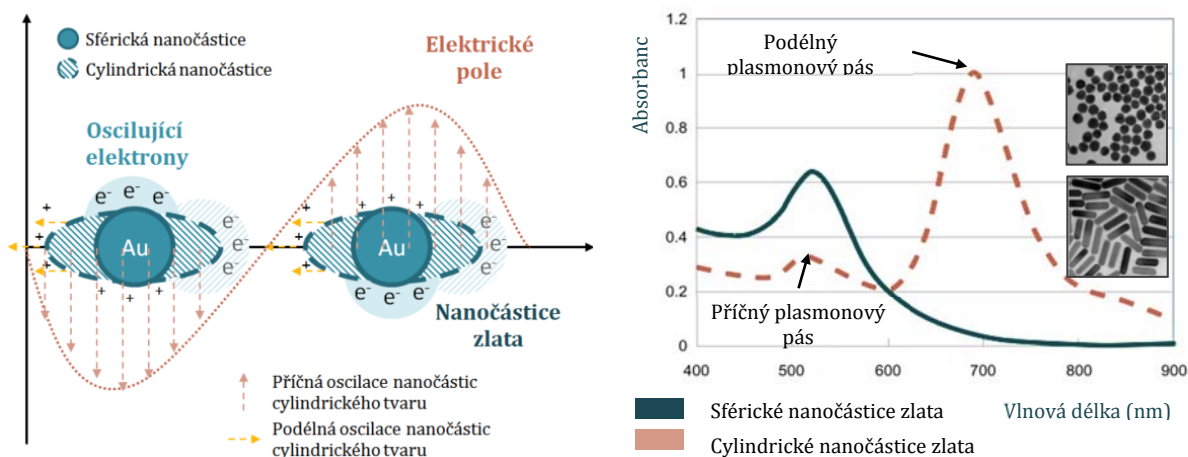
⁶ Děj, při kterém dochází ke změně úhlu odrazu záření od povrchu zlata, stříbra a dalších prvků. Tento jev je důsledkem vzniku rezonance mezi elektromagnetickým polem a povrchovými elektrony kovu (vznikají tak tzv. povrchové plasmony)

materiálu („povrchové plasmony“). U makrostrukturních krystalů se plasmony projevují v širokém spektru vlnových délek. Oscilace elektronů povrchových plasmonů vytváří elektromagnetická pole, která se šíří do vzdálenosti desítek až stovek nanometrů od povrchu krystalu [94]. Tohoto efektu se využívá především ve spektroskopii (SERS - Surface enhanced Raman spectroscopy). U nanostruktur se elektromagnetická pole způsobená oscilací elektronů nešíří do okolí. Plasmony jsou lokalizovány v rámci omezených rozměrů nanostruktury („lokalizované plasmony“). Působí-li na nanostrukturu elektromagnetické vlnění s vlastnostmi viditelného světla a dojde-li k vybuzení elektronů v lokalizovaném plasmonu, projeví se to (v závislosti na tvaru a chemickém prvku) změnou viditelného zabarvení. U nanočástic zlata s kulovým tvarem se změna zabarvení projevuje od velikosti nanočástic 2 nm. Při velikostech do 2 nm ztrácí zlato svůj kovový charakter a plasmony se již neprojevují (obr. 7). Vliv tvaru nanočástic se ve spektru projevuje výskytem absorpčních maxim, které přísluší jednotlivým rozměrům nanočástice. Sférické nanočástice jsou souměrné, proto se v jejich spektru nachází pouze jeden pás plasmonové absorpce. U částic cylindrického tvaru existují dva pásy plasmonové absorpce (obr. 8 b). Pás plasmonové absorpce podle podélné a příčné osy válce. Absorpce na podélné ose (delší osa) odpovídá vyšší vlnové délce. Pozice a velikost absorpčních pásů závisí na poměru délek obou os. Obdobně je možné různá absorpční maxima přiřazovat i u složitějších tvarů nanočástic podle tvarového faktoru a příslušné plasmonové rezonance [75].



Obr. 7: Barevná škála zlatých nanočástic v závislosti na velikosti⁷

Zdroj: Zpracováno dle [tedpella.com]



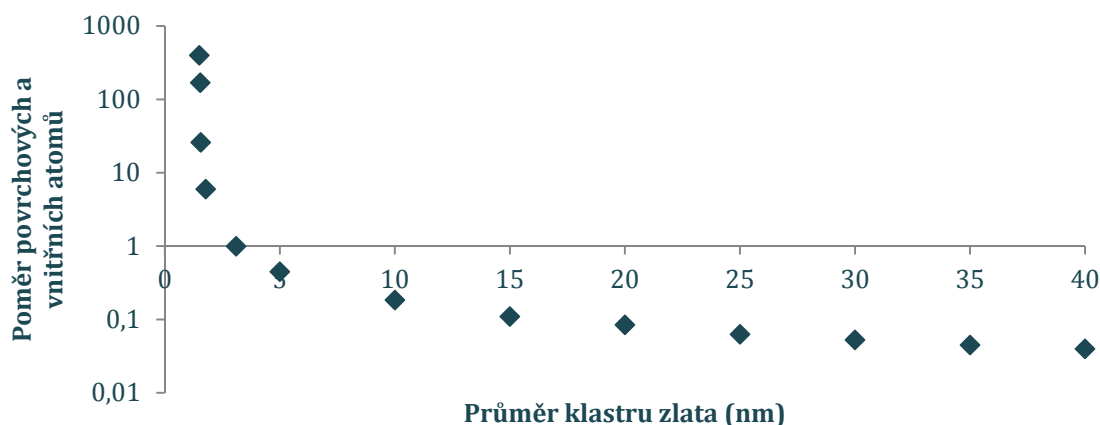
Obr. 8: a) Princip plasmonové rezonance, b) Absorpční spektra sférických a cylindrických nanočástic zlata

Zdroj: Zpracováno dle [75]

⁷ Vlnová délka záření odpovídající energii plasmonů nanočástic zlata kulového tvaru velikosti od 2 do 100 nm je v rozsahu 520-580 nm. To odpovídá červené složce světla, a proto je koloidní roztok zabarven červeně.

3.1.2.2.3. Změny fyzikální vlastností nanočástic





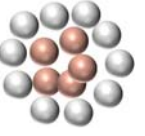
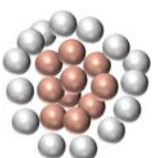
Jak již bylo více uvedeno, fyzikální vlastnosti nanočástic jsou ovlivňovány především rostoucím poměrem počtu povrchových atomů k hmotnosti nanočástice. Profesor Daniel Herr ve svém článku „What's so unusual about nanomaterial melting points?“ uvádí ilustrativní příklad: Vezmeme-li zlatý prstýnek, připadá na každý povrchový atom více jak jeden milion atomů uvnitř struktury prstýnku. Naopak u klastru nanozlata s průměrem 3,1 nm připadá na každý povrchový atom pouze jeden jediný atom uvnitř struktury. Na obrázku 9 je zobrazena závislost poměru povrchových a vnitřních atomů na průměru klastru a tabulka 2 blíže ilustruje počty atomů tří vybraných nanočástic zlata [61].



Obr. 9: Závislost poměru povrchových a vnitřních atomů na průměru klastru

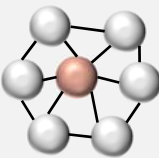

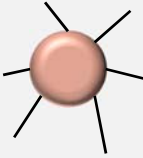
Zdroj: Zpracováno dle [61]

Tab. 2: Příklad klastrů nanozlata; Zdroj: Zpracováno dle [58]

| Klaster | Au ₁₃ | Au ₅₅ | Au ₁₄₇ |
|--|---|--|---|
| Klaster |  |  |  |
| Průřez klastrem (povrchové atomy (P), vnitřní atomy (V)) |  |  |  |
| Průměr klastru | 1,1 nm | 1,6 nm | 2,2 nm |
| Počet atomů | 13 | 55 | 147 |
| Počet povrchových atomů | 12 | 42 | 93 |
| Poměr P/V | 11,5 | 3,2 | 1,7 |

Jelikož mají povrchové atomy klastru nižší koordinaci se sousedními atomy, viz tab. 3, dochází k poklesu celkové vazebné energie klastru. Tento efekt má vliv především na fyzikální vlastnosti nanočástic jako jsou například teploty fázových přechodů nebo hustota látky.

Tab. 3: Koordinace povrchových a vnitřních atom; Zdroj: Vlastní zpracování

| Au ₁₃ | Vázanost povrchového atomu | Vázanost vnitřního atomu |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 13 atomů | 6 vazeb | 12 vazeb |

Teplota tání

Pokud chceme popsat proces změny teploty tání nanočástic závislý na velikosti nanočástice, lze vyjít z hypotézy Fredericka Lindemanna, podle níž k tání pevné látky dochází při dosažení kritické kinetické energie, kterou látky dosahují při určité teplotě. Ta byla později přeformulována tak, že teplota tání odpovídá situaci, kdy odmocnina kvadratické výchylky atomů dosáhne určitého podílu ze vzdálenosti mezi nejbližšími sousedními atomy ve struktuře pevné látky [99].

$$\langle u^2 \rangle = \frac{9h^2T}{4\pi M k_B \theta_D^2} \quad (3)$$

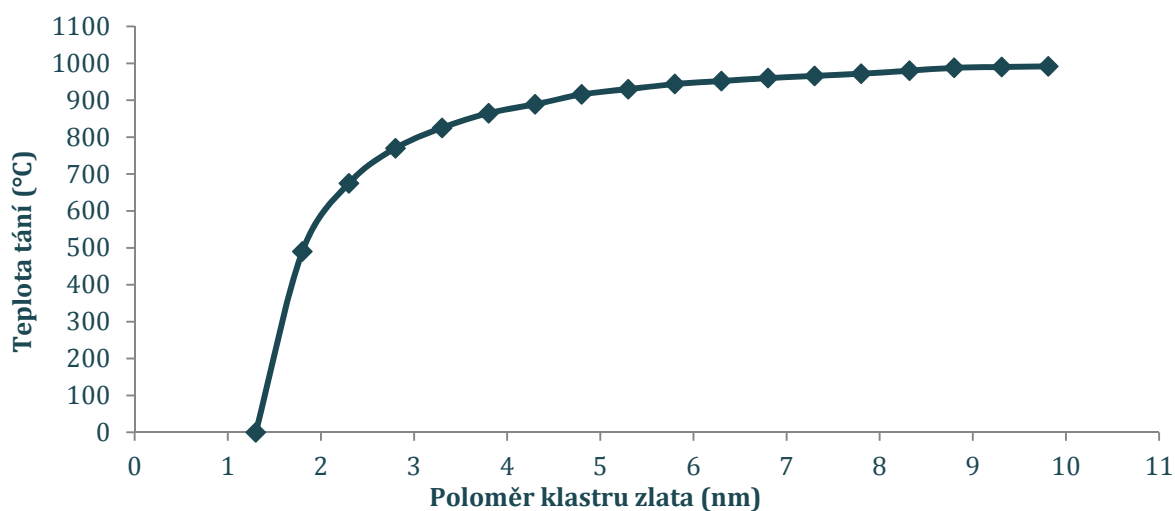
$$\text{Při teplotě tání } T^F \text{ je } \langle u^2 \rangle = (f - a)^2 \quad (4)$$

$$f = \sqrt{\frac{\langle u^2 \rangle}{a^2}} \quad (5)$$

$$T^F = f^2 \frac{4\pi M k_B \theta_D^2}{9h^2} \quad (6)$$

| | | |
|------|----------------|--|
| Kde: | u | Střední kvadratická výchylka vibrujících atomů |
| | h | Planckova konstanta |
| | T | Teplota |
| | M | Molární atomová hmotnosti |
| | k _B | Boltzmannova konstanta |
| | θ _D | Debyeova charakteristická teplota |
| | f | Koeficient zaplnění prostoru atomy |
| | a | Vzdálenost nejbližších sousedních atomů ve struktuře |

Pro potřeby tohoto textu je důležité zjištění, že povrchové atomy vykazují 2 až 4 násobně větší amplitudu vibrací než vnitřní atomy. Na základě toho lze odvodit, že dochází ke **snížení teploty tání vlivem zmenšujícího se poloměru nanočástice** (obr. 10) [191].



Obr. 10: Závislost teploty tání nanočástic zlata na poloměru klastru

Zdroj: Zpracováno dle [191]

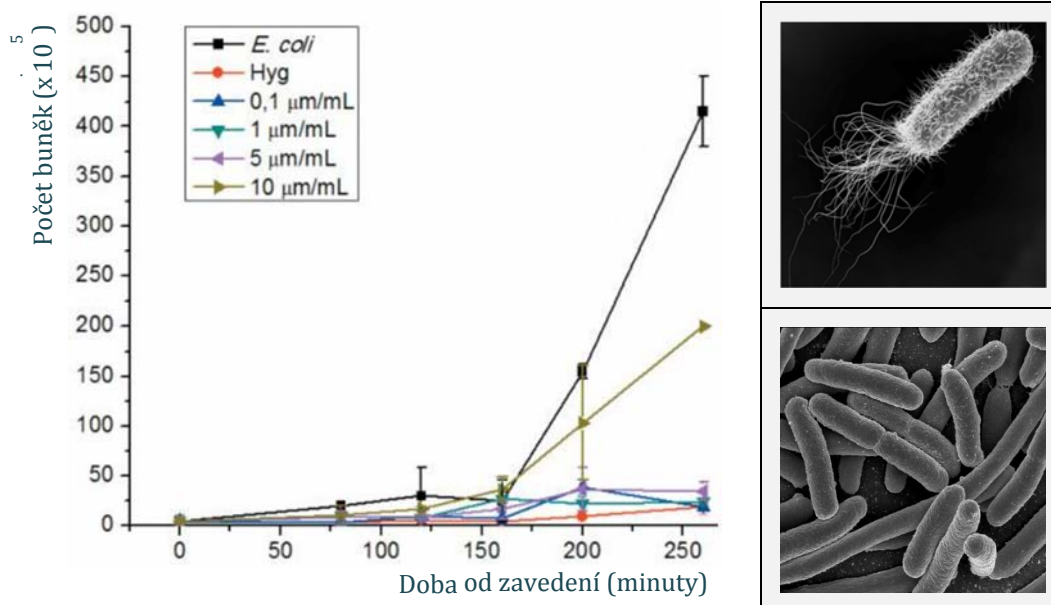
Chemická reaktivita

3.1.2.2.4. Změny chemických vlastností nanočástic

Makrostrukury vzácných kovů jsou poměrně inertní vůči chemickým reakcím. U nanostruktur vlivem rostoucího měrného povrchu roste plocha, na které dochází ke katalytickým reakcím. Dále lze u nanostruktur sledovat nárůst počtu atomů, které jsou na hranách a v rozích krystalové mřížky. Tyto atomy jsou obecně reaktivnější, což přispívá ke zvyšování celkové chemické reaktivity nanostruktur [94]. Elektronová afinita klastrů nanozlata se mění v závislosti na velikosti klastru v rozmezí 2 eV.

3.1.2.2.5. Změny biologických vlastností nanočástic

Biologické vlastnosti nanočástic jsou ovlivňovány velikostí a úzce souvisejí s chemickými vlastnostmi daného chemického prvku. S klesající velikostí nanočástice se zvyšuje prostupnost buněčnou stěnou bakterie a zlepšuje se tak jejich biologická reaktivita. U vzácných kovů jako jsou zlato a stříbro se využívají jejich baktericidní, fungicidní a virucidní (inhibiční) účinky [245]. Na obrázku 11 je vidět průběh inhibice růstu bakterie *Escherichia Coli* částicemi nanozlata. S rostoucí koncentrací nanozlata dochází ke shlukování nanočástic a s tím spojenému růstu velikosti nanoobjektu, což snižuje průnik nanočástic buněčnou stěnou a dochází ke snižování inhibičních účinků na bakterie. Nanočástice zlata s velikostí do cca 10 nm jsou schopné účinné selektivní inhibice růstu gram-pozitivních bakterií. Konkrétní mechanismus inhibice probíhá pravděpodobně mechanismem vazby nanočástic na biologické sloučeniny fosforu a síry (denaturace disulfidových vazeb v buněčných membránách) [233]. Vyšší biologická reaktivita nanočástic přináší riziko ovlivnění životního prostředí. Toto riziko může být důvodem pro legislativní regulaci nanočástic.



Obr. 11: a) Inhibiční účinky nanozlata na bakterie *E. Coli*, Hygromycin (Hyg) slouží jako pozitivní kontrola, b) Mikroskopické snímky bakterie *E. Coli*.

Zdroj: Zpracováno dle [233]

3.1.2.2.6. Shrnutí kapitoly vlastnosti nanočástic

Specifické vlastnosti nanočástic, díky kterým jsou nanočástice tak zajímavé pro průmyslové aplikace, jsou ovlivňovány především dvěma principy. Prvním je působení kvantových sil ovlivňující především elektrické a optické vlastnosti. Zde lze sledovat pokles elektrické vodivosti případně změny elektrického odporu a absorpance světla v závislosti na zmenšující se velikosti nanočástice. Druhým je nárůst povrchové plochy na jednotku hmotnosti, což ovlivňuje především fyzikální vlastností, jako jsou změny teploty tání a hustoty. Při hodnocení chemických a biologických vlastností je patrný nárůst reaktivity v závislosti na zmenšující se velikosti nanočástic. Zvýšená biologická a chemická reaktivita nanočástic s sebou přináší značná rizika v podobě ohrožení životního prostředí. Z výše popsaného je patrné, že velikost a tvar má zásadní vliv na výsledné vlastnosti nanočástic. Toto zjištění je velice důležité pro ekonomické hodnocení nákladů životního cyklu výroby nanočástic viz následující poznámka.

Důležitá poznámka:

Z výše uvedeného výčtu vyplývá, že výsledné vlastnosti nanočástic jsou významnou měrou ovlivněny velikostí a tvarem částic. Velikost a tvar částic určuje výrobní technologie a její vstupní případně výstupní parametry. To vše má následně vliv na předpokládanou prodejní cenu nanočástic, kde svou roli může hrát i velikost a četnost objednávky a smluvní podmínky s odběratelem.

Příklad aktuální prodejní ceny 1 g nanočástic TiO₂ rutilu od dvou dodavatelů:

Částice ve vysoké tvarové kvalitě, čistota 99,995 %, dodavatel Sigma Aldrich, min. odběr 5 g (nanočástice slouží především pro laboratorní experimenty, je požadována vysoká jakost)

Cena 816 Kč/g

Částice v běžně dostupné kvalitě bez přísných nároků na tvarovou přesnost, čistota 94,000 %, dodavatel Henan, China, min odběr 1,5 t

(běžné průmyslové aplikace, bez zvýšených požadavků na jakost)

Cena 0,032 Kč/g

Ceny nanočástic (TiO_2 , ZrO_2 , ZnO , LiFePO_4), které jsou hodnoceny v předložené analýze, byly diskutovány v rámci projektu SHYMAN (Univerzita Nottingham) a konzultovány s panem Ing. Janem Procházkou, Ph.D. (Advanced Materials-JTJ). Jelikož v současné době není na trhu adekvátní substituent pro komparaci a nejsou známy veškeré možné aplikace, není možné prodejní cenu přesněji určit. Jedná se o odborný odhad cen zatížený vysokou mírou rizika. V kapitole 5 je navržen postup řízení rizika pomocí metody KMRP, který se snaží toto riziko kvantifikovat a pomocí metody Monte Carlo zobrazit možné scénáře vývoje.

3.1.2.3. Hlavní aplikace nanočástic

Pro své specifické vlastnosti lze nanočástice nalézt v bezpočtu možných aplikacích z nejrůznějších oblastí lidské činnosti. U části nových nanočástic existují zatím jen představy o jejich využití a ostatní jsou v různých stádiích výzkumu. V literatuře a vědeckých článcích se lze setkat s rozličnými kategoriemi hlavních oblastí aplikací nanočástic (např. [35], [224], [230] a další). Většina autorů se shoduje na pěti hlavních oblastech, kde nanočástice najdou významné uplatnění: medicínské aplikace, průmyslové aplikace, pokročilé materiály, životní prostředí a elektronika. K dalším často jmenovaným oblastem aplikací nanočástic, lze uvést: energetika, zemědělství a jídlo. Příklad některých aplikací z vybraných oblastí využití nanočástic je na následujícím obrázku.

| Medicínské aplikace | Jídlo a zemědělství | Průmyslové aplikace | Životní prostředí |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| Transport léků | Potravinová aditiva | Nanokompozity | Senzory znečištění |
| Léčba rakoviny | Balení potravin | Průmyslové katalyzátory | Čištění vody |
| Antibakteriální působení | Redukce pesticidů | Zpevnění plastů | UV ochrana |
| Zobrazovací metody | Transport živin | Nanopigmenty | Biodegradující polymery |
| Agregace proteinů | Rozvoj textury | Keramické materiály | Odstraňování znečištění |

Obr. 12: Hlavní oblasti aplikací nanočástic

Zdroj: Zpracováno dle [230]

3.1.2.3.1. Medicínské aplikace

Ve spojitosti s využitím nanočástic v medicíně se uvažuje jak o aplikaci samotných nanostruktur tak i o tzv. nanorobotech, kteří by prováděli v organismu opravy na úrovni jednotlivých buněk.

Oblasti výzkumu:

Cílené dodávky léků

Výzkum v této oblasti se zaměřuje na takové nanočástice, které transportují léky na konkrétní místo v těle, kde má lék působit (často se jedná o karcinogenní buňky). Nanočástice je nemocnými buňkami přitahována a lék je aplikován pouze na této konkrétní oblasti těla. Léčba je takto cílená a nedochází k poškození zdravých buněk. Společnosti jako BIND Biosciences [107] a CytImmune [23] již zveřejnily výsledky klinických testů karcinogenních léků na bázi nanočástic. Nyní pokračují v druhých fázích klinických testů a na schválení se čeká. Další oblasti využití cílených dodávek léku, které jsou zkoumány, jsou například transport vakcíny při očkování (tímto výzkumem se zabývají vědci z MIT; [124]), aplikace inzulínu v nanokapslích, nebo aplikace léku do poškozené mozkové tkáně (studie University v Illinois; [2]).

Léčba – terapeutické využití

V rámci projektu SHYMAN byly vytvářeny nanočástice hydroxyapatitu sloužící jako takzvané kostní lešení. Těchto nanočástic lze využít při léčbě zlomenin, při aplikaci kostních implantátů a kloubních a zubních náhrad [44]. Vědci vyvinuly takzvané "nanosponges" [209]. Jedná se o polymerní nanočástice pokryté membránou červených krvinek. Díky této membráně se nanosponges volně pohybují v krevním oběhu a přitom zachytávají nebezpečné toxiny, které dokáží z krve odstranit. Další studie zkoumá využití nanočástic bismutu jako mediátoru k soustředění záření využitého při radiační terapii ozařování nádoru [177]. První výsledky naznačují nárůst dávky záření na nádor o 90%. Zajímavou možností využít nanočástice jako terapeutický prostředek představují nanočástice složené z polyethylenglykol-hydrofilních uhlíkových klastrů (PEG-HCC), které pohlcují volné radikály v těle, což omezuje nepříznivé působení volných radikálů na tělesnou tkáň [225]. Vědci také pracují na cílené tepelné terapii, která by mohla pomoci léčit nádory prsu. Metoda využívá proteinů produkovaných rakovinnými buňkami, které přitahují nanotrubic. Díky tomu dochází k hromadění nanotubic v nádoru. Působením infračerveného světla laseru na nanotrubic v nádoru dochází ke vzniku tepla, které nádor spaluje [140]. Mezi další nové léčebné prostředky patří takzvané „nanodiamanty“, které lze například využít v součinnosti s molekulami proteinů k zvýšení růstu kosti v oblasti mezi kostním, nebo zubním implantátem [232].

Diagnostika

Vědci Worcesterického Polytechnického Institutu vyvíjejí diagnostický test založený na využití uhlíkových nanotubic. Lze předpokládat, že tato metoda by mohla být využita jako jednoduchý laboratorní test k diagnostice rakovinných buněk v krevním řečišti [227]. S další zajímavou metodou diagnostiky rakovinných buněk přicházejí vědci z Univerzity Michigan. Vyvíjejí nanosenzory na bázi grafenových⁸ listů.

⁸ Grafen – forma uhlíku tvořící na výšku jednu vrstvu atomů, mající podobnou strukturu jako grafit (vyniká vysokou pevností)

Tyto senzory jsou velmi citlivé a dokáží rozlišit už 3 rakovinné buňky v mililitru krve [211]. Diagnostická metoda, na které pracují vědečtí pracovníci z MIT, využívá gel s uhlíkovými nanotrubičkami umožňující sledovat hladinu oxidu dusnatého v krvi. Na základě obsahu oxidu dusnatého lze sledovat výskyt zánětlivých onemocnění. Při testování na laboratorních myších zůstává látka v těle funkční více než jeden rok [124]. Výzkumy se také zaměřují na detekci infekčních onemocnění, kdy nanočástice pomáhají zesilovat Ramanův signál⁹, který umožňuje detekci infekčních buněk ve velmi raném stádiu onemocnění [27].

Antibakteriální účinky

Současný výzkum se zaměřuje i na antibakteriální účinky některých nanočástic. Nejčastěji se ve spojitosti s antibakteriálními účinky nanočástic mluví o nanostříbře a nanozlatu. Antibakteriální a antimikrobiální účinky nanokrystalického stříbra, působící při léčbě ran, jsou již dobře známy. Využití nanočástic zlata ke sterilizaci nemocničních přístrojů zkoumají vědci z Univerzity v Houstonu [65]. V centru zájmu výzkumu Univerzity v Jižním Walesu jsou nanočástice oxidu železa, které mají pomáhat při léčbě chronických bakteriálních infekcí [210].

Oprava buněk

Zajímavou oblastí výzkumu je využití nanorobotů pro účely manipulace s buňkou. Nanoroboti by mohly být naprogramovány tak, aby opravily, případně odstranily nemocné buňky v lidském těle [40]. Mezi vizionáře této oblasti lze zařadit autory, jako jsou Eric Drexler¹⁰ a Robert Freitas¹¹.

3.1.2.3.2. Průmyslové aplikace

Nanočástice v průmyslových aplikacích jsou využívány především ke zlepšení výrobků producentů, nebo pomáhají snižovat náklady na výrobu.

Oblasti výzkumu:

V časopise Science publikovali vědci z Purdeovi Univerzity, Harvardské Univerzity, Madridského institutu pro pokročilé studie a Kalifornské University výsledky výzkumu zabývajícího se metodou LSI (Laser Shock Imprinting) [97]. Pomocí této metody jsou vědci schopni upravovat texturu na povrchu materiálu v nanoměřítku. Lze vytvářet tvary, jako jsou nanopyramidy, tyče, drážky a vzory rybářských sítí, které jsou menší než tisícinu lidského vlasu. Povrchy s nanotexturou vykazují specifické mechanické a optické vlastnosti. Metoda byla testována na kovech jako je titan, hliník, měď, zlato a stříbro. Využití této technologie se očekává především v oblasti vysokorychlostní elektroniky, pokročilých senzorů a solárních článků. Vědci z Northwesternské Univerzity vyvíjí nové litografické metody výroby nanosoučástek. Tým chemika Mirkina zdokonaluje metodu založenou na BPL (Beam pen lithography). Cílem tohoto výzkumu je vytvořit levné a dostupné zařízení obdobné stolní tiskárně, které by dokázalo vytvořit součástky velikosti nanometrů sloužící pro potřeby výroby integrovaných obvodů, nástrojů pro lékařskou diagnostiku a optoelektroniku [194]. V oblasti dělení materiálů představila výzkumná skupina složená z pracovníků Fraunhoferova institutu pro mechaniku materiálů (IWM) a Australské vědecké a průmyslové výzkumné organizace

⁹ Ramanova spektroskopie je spektroskopická technika.

¹⁰ Drexler, K. E. (1992). *Engines of creation*. Oxford: Oxford Univ. Pr.

¹¹ Freitas, R. A. (2003). *Nanomedicine*. Austin, TX: Landes Bioscience.

(CSIRO) pilový drát, který je tvořen uhlíkovými nanotrubicemi s povlakem technických diamantů. Tento drát umožňuje dělení materiálu s minimálním prořezem a tím snižuje výrobní náklady. Tato technologie je vhodná pro využití především v oblasti dělení drahých kovů jako například dělení křemíkových ingotů. Hlavním přínosem tohoto výzkumu bylo vytvoření technologie umožňující růst diamantů na uhlíkových nanotrubicích [41].

3.1.2.3.3. Progresivní materiály

Progresivní materiály s aditivou na bázi nanočástic vynikají dosud nepředstavitelnými vlastnostmi. Dnes jsou již všeobecně dobře známé materiály jako textilní vlákna z nanotrubic uhlíku, které mají pevnost v tahu asi 200 krát vyšší než ocel, samočistící fasády, nebo nehořlavé polyuretanové pěny. Nové výzkumy však naznačují další možnosti, které rozvoj nanočástic v oblasti aplikací progresivních materiálů přináší. Nové materiály mohou být lehčí, silnější, trvanlivější, více pórovité, reaktivnější, lépe elektricky vodivé, senzitivní na tlak a světlo či mohou mít schopnosti samoléčby.

Oblasti výzkumu:

Křemičitany ve formě nanočástic dokáží ve fóliích používajících se k balení potravin vytvářet bariéry neprostupné pro různé plyny jako třeba kyslík, nebo vlhkost. Zabalené potraviny díky tomu zůstávají déle čerstvé a nedochází k jejich vysychávání [74]. Ve vývoji syntetických kůží došlo též k významným pokrokům. Syntetická kůže s aditivou nanočástic niklu a polymerů má schopnosti senzitivně reagovat na tlakové působení, což u ní vyvolává změnu elektrického odporu. Těto vlastnosti lze využít například jako senzoru doteku. Také byla u tohoto materiálu prokázána samo léčící schopnost. Pokud jsou dvě rozříznuté části tohoto materiálu přiloženy k sobě na dobu 30 minut, dochází samovolně ke spojení obou částí. Tento materiál skýtá veliký potenciál pro využití v oblasti protetik [195]. Oxid zinečnatý ve formě rozptýlených nanočástic v průmyslových nátěrech chrání dřevo a textilie proti působení UV záření [12]. Vědci z Univerzity v Riceu prokázali, že atomová vrstva nitridu bóru dokáže zabránit oxidaci kovů. Vědci si od tohoto objevu slibují, že dokáží vytvořit nátěry, které budou lehké a odolné vůči nepříznivým vnějším vlivům. Tyto nátěry by mohli být využity k ochranění dílů tryskových motorů letadel [175]. Společnost ArcelorMital představila modifikovanou ocel obsahující příměsi nanočástic, která je pevnější a umožňuje tak výrobu lehčích součástí. Ocel je vhodná pro tvorbu automobilových součástí. Hmotnost těchto dílů je obdobná jako hmotnost stejných dílů vyrobených z hliníku, ale výroba je významně levnější [111].

3.1.2.3.4. Životní prostředí

Využití nanočástic v oblasti aplikací na životní prostředí nabízí řešení některých současných globálních ekologických problémů. Nanočástice díky svým jedinečným vlastnostem (chemická reaktivita, elektronické vlastnosti, fotochemické vlastnosti a antimikrobiální aktivita) mohou napomoci k sanaci životního prostředí. Mezi hlavní oblasti aplikací nanočástic v životním prostředí lze zařadit do následujících oblastí.

Oblasti výzkumu:

Nanosenzory

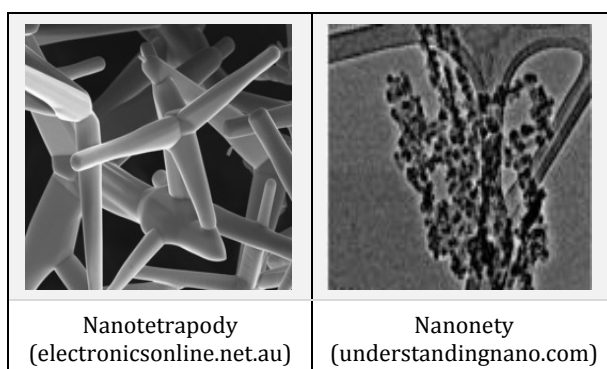
Jedná se o senzory na bázi nanočástic, které mohou sloužit k monitorování znečištění životního prostředí. Ve spojitosti s nanosenzory se nejčastěji mluví o nanostrukturách, jako jsou Ag, Au, Pd, SnO₂, ZnO₂, WO₃, CdSe a CNT - uhlíkové nanotrubky.

Likvidátory znečištění

Ve spojitosti s aplikací nanočástic jako likvidátorů znečištění zdroje nejčastěji uvádějí TiO₂, polymery nanočástic a různé druhy magnetických nanočástic. Jako příklad lze uvést nanočástice wolframanu měďnatého, které dokáží rozložit ropné látky na biologicky odbouratelné sloučeniny. Tyto nanočástice aktivované slunečním světlem mohou v budoucnu sloužit k řešení ropných havárií [50]. Výzkumníci také pracují na vývoji nanočástic na bázi železa (železo, oxidy železa), které by dokázali z podzemních vodních zdrojů odstranit znečištění chloridem uhličitým nebo arsenem [145].

Energetické systémy

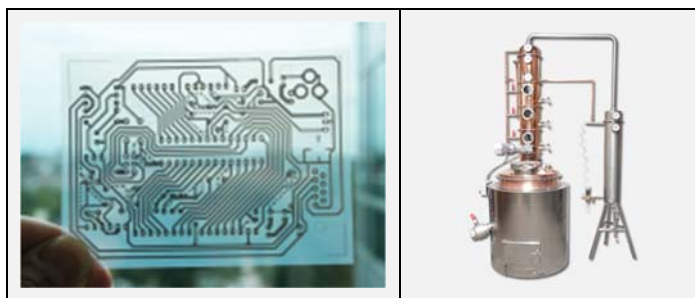
K životnímu prostředí šetrné energetické systémy mohou v budoucnu pomoci řešit problémy se stále rostoucí spotřebou elektrické energie a mohou nahradit některé drahé nebo neekologické součásti baterií. Korejští vědci z Ulsanského národního institutu vědy a techniky a američtí vědci z Georgijského technologického institutu představily porézní uhlíkové elektrody skládající se z takzvaných nanotetrapodů. Tyto elektrody by v palivových článcích mohly nahradit velice drahou platinu a tím snížit jejich cenu. Další výhodou porézních elektrod je snížení kinetické inhibice katalýzy vedoucí ke zlepšení výkonových vlastností palivového článku [158].



Obr. 13: Příklady nanostruktur vyvinutých pro aplikace v oblasti energetických systémů

Společnost Nanosolar vyvinula metodu nízkoteplotního tisku solárních článků. Tato metoda využívá k tisku takzvaný CIGS, což je inkoust na bázi nanočástic mědi, india, galia a selenu, oproti konvenčnímu křemíku. Současná účinnost panelů společnosti Nanosolar je 17,1 %. Tyto panely tak brzy mohou účinností konkurovat panelům z krystalického křemíku, ale díky malé spotřebě drahých kovů budou významně levnější (<http://www.nanosolar.com>). Vědci z Univerzity v Riceu přišli s novou unikátní technologií tvorby takzvané solární páry. Tato technologie využívá solární energii, která působí na nově vyvinuté nanočástice

mající menší velikost než je vlnová délka světla. To znamená, že nanočástice mají extrémně malou plochu pro rozptýlení světla. Díky tomu dochází k tvorbě páry přímo na povrchu nanočástice. Tato technologie dokáže vytvářet páru i z prakticky zmrzlé vody. Celková účinnost je 24%, což je víc, než nabízejí komerčně dostupné fotovoltaické články na bázi krystalického křemíku (cca 20%). Přesto, že tato technologie nabízí možnosti využití v oblasti výroby energie, její hlavní plánované využití je především ke sterilizaci zdravotnických nástrojů a odpadu, k přípravě jídla a k čištění vody (solární pára je zhruba dva a půl krát účinnější než stávající destilační kolony); [139].



Obr. 14: Tištěný obvod, destilační kolona

Zdroj: Zpracováno dle www.understandingnano.com; www.kovodel.cz

3.1.2.3.5. Elektronika

Oblasti výzkumu:

Výsledkem spolupráce Microsoft Research, Tokijské univerzity a Georgijského technického institutu je nová metoda tisku plošných obvodů. Tato metoda využívá standartní tiskárny a speciální inkoust ze stříbrných nanočástic. Výsledkem je velice efektivní metoda tvorby prototypových desek plošných spojů [79]. V oblasti polovodičových součástek představily společnosti The National Center for Scientific Research (CNRS) a The French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA) unikátní tranzistor, který funguje obdobně jako synapse v nervovém systému. Tranzistor zvaný NOMFET (Nanoparticle Organic Memory Field-Effect Transistor) je tvořen kombinací nanočástic zlata s organickými molekulami pentacenu - $C_{22}H_{14}$. Objev tohoto tranzistoru otevřel cestu k rozvoji nových počítačů schopných reagovat podobným způsobem jako nervový systém [20]. Tým výzkumníků ze společnosti Lockheed Martin Advanced Technology Center (ATC) vyvinul pájecí materiál na bázi nanočástic mědi nazvaný Quantum Fuse™. Tato pájka se nechá zpracovávat při teplotě 200°C a vytváří spoje s desetinásobkem elektrické a tepelné vodivosti ve srovnání s běžně používanými materiály na bázi cínu. Dále splňuje ekologické požadavky na bezolovnatý obsah a je vhodná i do náročných aplikací jako jsou vesmírné a vojenské mise [8].

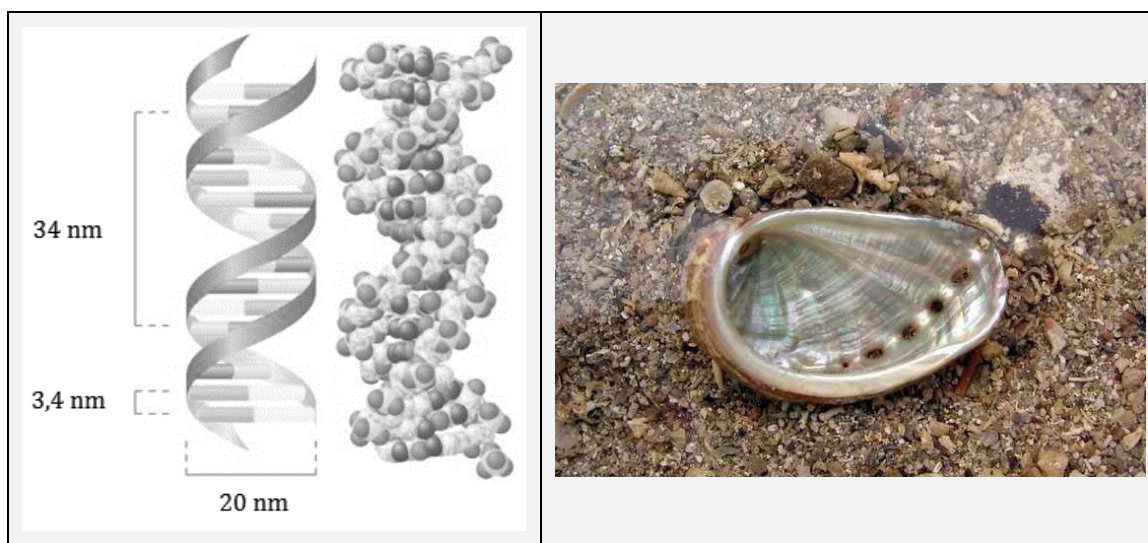
3.1.2.3.6. Shrnutí kapitoly hlavní aplikace nanočástic

V kapitole věnující se aplikacím nanočástic v koncových produktech byl představen vysoký potenciál využití nanočástic. Nejen množství aplikací, ale i velká variabilita prvků, z nichž se nanočástice vyrábí, je příslibem velké poptávky po vstupních nanočásticích a z toho vyplývající potřeby výrobních kapacit. Na základě toho lze usuzovat o stále větším uplatnění výrobních procesů schopných pružně reagovat na poptávku

po nanočásticích v závislosti na měnících se aplikacích a potřebách trhu. Možnosti uplatnění výroby nanočástic a vyčíslení tržních potenciálů jsou uvedeny v kapitole 3.2..

3.1.3. Historie nanotechnologie

Při hledání jednotlivých milníků vývoje historie nanotechnologie je nejprve nutné si uvědomit, že struktury velikosti nanorozměrů jsou běžnou součástí našeho světa a vyskytují se zde od jeho počátku. V přírodě běžné molekuly a krystaly různých minerálů splňují rozsah definice nanočástic. I živá příroda využívá nanotechnologii k vytvoření živých organismů. Přírodou aplikované nanotechnologické přístupy jsou označovány jako samoorganizace, samosestavování a biomineralizace [167]. Mezi příklady přírodních nanočástic lze uvést i v lidském těle se nacházející jednodimenzionální nanostruktury ve formě nanodrátků, tvořených aminokyselinami spojenými peptidickou vazbou s rozměry 4 až 50 nm. Tyto biopolymery nazýváme proteiny, které jsou základní stavební jednotkou všech živých organismů. Dalším příkladem může být deoxyribonukleová kyselina (DNA), tvořící genetický materiál. Ta má rovněž strukturu nanodrátků a průměr dvoušroubovice DNA je cca 20 nm. Dalším zajímavým příkladem využití nanočástic v přírodě je schránka měkkýše Abalona. Ten si svou ochranou „superpevnou“ schránku vytváří z nanobloků uhličitanu vápenatého a pružného slizu. Vnější síla působící na schránku je rozkládána drobnými pružnými spárami mezi jednotlivými bloky, které výsledky působení pohlcují [35].



Obr. 15: a) Deoxyribonukleová kyselina (DNA), b) Schránky měkkýše Abalona

Zdroj: a) <http://www.bio.miami.edu>; b) A. Petrussek

3.1.3.1. Historie nanotechnologie ve světě

Přesto, že je nanotechnologie v širším slova smyslu běžnou součástí našeho světa, a s nanočásticemi se lze setkat téměř na každém kroku, historie využívání nanotechnologie člověkem je podstatně kratší. I tak mnohé možná překvapí, že s využíváním nanotechnologií se setkáváme již ve 4. století našeho letopočtu. Z té doby pocházejí nejstarší známé příklady využití uměle vytvořených nanočástic. Jedná se o starořímské Lycurgovy poháry¹², které byly vytvořeny ze sodnovápenatého skla (73% SiO₂, 14% Na₂O,

¹² Lykurgos - mytologický thrácký král, oslepený kvůli protivení se Dionýsovu kultu.

7% CaO) s nanočásticemi zlata a stříbra o velikosti cca 70 nm (Au 40 ppm a Ag 300 ppm). Aditivním nanočásticemi způsobují zajímavé barevné efekty¹³ - tzv. dichroismus. Pohár pozorovaný v odraženém světle se jeví jako zelený. Po umístění zdroje světla do poháru, se barva poháru mění na červenou, viz obr. 16 [167].

Ke glazování keramiky se během 13. až 16. století používaly glazury na bázi solí mědi a stříbra smíchaných s okrem, octem a jílem. Tyto směsi hrnčíři nanášeli na již glazovanou keramiku, kterou následně vypalovali. Výsledkem byla keramika obsahující nanočástice mědi a stříbra o průměru 5 - 100 nm vytvářející nanostrukturální film. Finální optické vlastnosti glazur byly ovlivněny velikostí nanočástic [159]. Další oblastí, kde se historicky lze setkat s nanostrukturami je oblast metalurgie. Analýzy damascénských ocelí, využívaných k výrobě šavlí a nožů na blízkém východě, prokázali přítomnost uhlíkových nanotrubic a nanovláken z cementitu Fe₃C. Tento druh oceli se v dané oblasti využíval již od 13. století [73].

K prvním výzkumníkům pracujícím s částicemi s rozměry mezi 1 až 100 nm patří britští vědci Michael Faraday a Thomas Graham. Ti se zabývali jistou formou disperzních soustav obsahující nanočástice kovu. M. Faraday roku 1857 připravil tzv. koloidní zlato a T. Graham roku 1861 tzv. koloidní stříbro. Pro označení těchto soustav se vžil název použitý T. Grahamem „koloidy“¹⁴ [182].



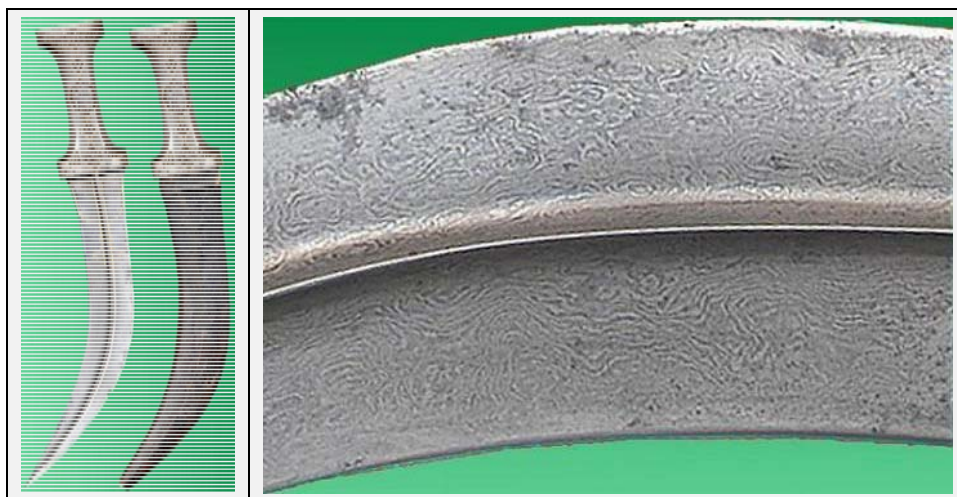
Obr. 16: Lycurgovy poháry a) odražený zdroj světla, b) vnitřní zdroj světla

Zdroj: <http://procproto.cz>

Výčet nanočástic produkovaných v minulosti člověkem lze doplnit i o saze. Saze vznikají nedokonalým spalováním organických látek bohatých na uhlík. Jsou tvořeny strukturami amorfního uhlíku o velikostech od 10 do 500 nm spojených do větších agregátů. Průmyslově se produkují přibližně 100 let a slouží především jako výplň při výrobě pneumatic. Roční produkce sazí je odhadována na 6 milionů tun. Jedná se tedy o nanočástici s největší roční produkcí.

¹³ Objevení technologie barvení skla pomocí zlatého prášku je připisována německému skláři Johannu Kunckelovi žijícímu v 17. století.

¹⁴ Tento název vznikl z řeckého slova „kolla“ = klíč a evokoval silné agregační chování těchto soustav. T. Graham byl později označován jako otec koloidní chemie.



Obr. 17: a) Nůž z damaškové oceli, b) detail na čepel

Zdroj: <http://www.muslimheritage.com>

Ve 20. století byly objeveny různé metody, při kterých vznikají nanostruktury. Příkladem může být v metalurgii využívané vytvrzování hliníku¹⁵ (popsáno 1906 Alfredem Wilmem) nebo metoda pro vytváření tenkých monomolekulárních filmů zvaná Langmuir-Blodgett (objevena 1930) a používaná dodnes. Důležité datum vývoje nanotechnologií je rok 1931, kdy Max Knoll a Ernst Ruska sestrojili první elektronový mikroskop, kterým bylo možné pozorovat jednotlivé objekty s nanorozměry.

Za zrod moderní nanotechnologie v dnešním slova smyslu je považován rok 1959, kdy Richard Feynman přednesl svou slavnou přednášku, „There's plenty of room at the bottom“¹⁶. Tato přednáška stála za zrodem úvah o nanosvětě a na konci v ní Feynman vyzval k dobití nanosvěta [166].

V roce 1981 Gerd Binnig a Heinrich Rohrer představili řádkovací tunelový mikroskop (STM). Tento neoptický mikroskop dokázal mapovat povrch na atomární úrovni. Následoval mikroskop atomových sil (AFM) představený 1986 Gerdem Binnigem, Calvinem Quatem a Christophem Gerberem. Tento nový druh mikroskopu dokázal nejen povrchy zobrazovat, ale umožňoval je i modifikovat.

Důležitou postavou popularizující nanotechnologie byl Eric Drexler, který ve svých knihách „Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology“¹⁷ vydané 1986 a „Nanosystems“¹⁸ vydané 1992, představil svět miniaturních umělých systémů, nanorobotů, které se budou podobat živým organismům schopným reprodukce a vzájemné komunikací a to vše na molekulární úrovni.

Dále již pouze výčet hlavních milníků:

- 1985 Richard Smalley, Harold Kroto a Robert Curl objevili fulleren¹⁹.
- 1990 Tým vědců z IBM napsal pomocí tunelového skenovacího mikroskopu na niklovou destičku písmena IBM tvořená 35 xenonovými atomy.

¹⁵ Za zpevnění slitin hliníku mohou drobné struktury zvané precipitáty, což jsou struktury o průměru 100 nm a délce 10 nm.

¹⁶ Český překlad: Tam dole je spousta místa.

¹⁷ Český překlad: Stroje stvoření: Nástup éry nanotechnologie

¹⁸ Nanosystémy

¹⁹ Fullereny jsou zvláštní formou uhlíkových molekul, tvořených atomy uhlíku uspořádaných do vrstev z pěti- a šestiúhelníků s atomy ve vrcholech.

- 1991 Tým fyzika Sumia Iijima vytvořil uhlíkové nanotrubky.
- 1998 Skupina vědců z univerzity v Delftu vedená Ceeseem Dekkerem sestrojila z uhlíkových nanotrubic tranzistor.
- 2000 Nanomateriály jsou součástí předmětů běžného života.

3.1.3.2. Shrnutí kapitoly historie nanotechnologie

Přestože první výrobky s nanočásticemi pocházejí již z antiky, skutečný vědecký rozvoje nanotechnologie lze datovat do minulého století. Od této doby však nanotechnologie udělala dlouhý krok od prvních teoretických úvah k běžně dostupným produktům. Další rozvoj se zaměřuje nejen na rozšíření aplikací, ale i na stále složitější zařízení v rozměrech nano. Nanoroboti a rozvoj nanostrojů již není pouze vizí science fiction, ale stává se běžnou realitou.

3.2. Perspektivy trhu s nanočásticemi

Vysoký potenciál uplatnění nanočástic v širokém spektru aplikací vytváří pro producenty nanočástic, případně pro dodavatele nanotechnologií velké ekonomické příležitosti. Aby bylo možné tyto příležitosti lépe kvantifikovat, je účelné zabývat se predikcí oblasti trhu zaměřující se na nanočástice a nanotechnologie. Jako název zastřešující tuto oblast trhu se vžil převzatý pojem z anglického jazyka „nanomarket“. Pod pojmem nanomarket si lze představit jednak trh se samotnými nanočásticemi (suspenze nanostříbra), trh s nanomateriály (textilie obsahující nanostříbro) a i trh s finálními produkty (čepice s nanostříbrem) [245]. V širším slova smyslu lze do nanomarketu zahrnout i nanotechnologie. Důležitou otázkou je při definování perspektiv nanomarketu, na základě jakých dat bude trh analyzován. Pro predikci velikosti nanomarketu lze využít přímé a nepřímé charakteristiky trhu.

Přímé charakteristiky (ukazatele):

Přímo charakterizují danou oblast trhu. Hlavní výhodou je, že na jejich základě lze přímo kvantifikovat tržní potenciály. Naopak mezi nevýhody patří obtížné získávání dat, neexistence jednotné evidence či centrálního sledování. Analýzy o vývoji nanomarketu na bázi přímých ukazatelů jsou dostupné především pro USA a Evropu. Dostupnost dat na Čínském trhu s nanočásticemi ve formě přímých ukazatelů je značně omezena. Hlavní přímé charakteristiky trhu s nanočásticemi jsou:

- vyrobené objemy nanočástic (tuny)
- velikost trhu²⁰ (tržby)

Nepřímé charakteristiky (ukazatele):

Jsou to indikátory, u kterých lze očekávat kauzální vztah mezi sledovaným parametrem a velikostí trhu. Výhodou sledování nepřímých charakteristik trhu je dobrá dostupnost dat. Většinu informací lze získat z dat statistických úřadů, nebo z informačních a vědeckých databází. Nevýhodou je pouze nepřímá

²⁰ Sledováním vývoje počtu nových nanomateriálů a nanoproductů se zabývají databáze, jako jsou: The Nanodatabase (<http://www.nanodb.dk>), Consumer Products Inventory – CPI (<http://www.nanotechproject.org>), Statnano (<http://statnano.com>), nebo NanoWerk (<http://www.nanowerk.com/>).

souvislost a časový posun mezi vývojem nepřímé charakteristiky a vývojem trhu. Mezi tyto ukazatele zařazuje Mihail Roco [178] šest klíčových indikátorů rozvoje nanotechnologie:

- počet výzkumníků a pracovníků podléjících rozvoji nanotechnologií
- počet citací SCI paper
- počet podaných patentů
- počet registrovaných produktů na trhu
- výzkumné a rozvojové výdaje veřejného a soukromého sektoru
- venture capital

3.2.1. Predikce vývoje trhu s nanomateriály

Tato podkapitola si klade za cíl na základě rešerší informačních zdrojů kvantifikovat vývoj trhu s nanočásticemi. Zjištěné informace budou sloužit jako vstupní data do modelu životního cyklu zkoumané nanotechnologie hydrotermální syntézy v další části této práce. Tržní potenciály budou popsány na základě přímých a nepřímých charakteristik trhu s nanočásticemi.

Aby došlo k rozvoji trhu s nanočásticemi a nanoproducty, bylo nutné překonat prvotní bariéry, které rozvoji bránily. Byl to především velice nákladný prvotní výzkum. Soukromý sektor jen zřídka podstupuje rizika, která s sebou nese financování prvotního výzkumu. Riziko nejistoty uplatnitelnosti výzkumu a otevřené legislativní otázky týkající se bezpečnosti a zdravotních rizik jsou hlavní důvody neochoty soukromého sektoru investovat.

Z těchto důvodů se z počátku jako iniciátor a hlavní investor rozvoje nanotechnologie prosazoval především veřejný sektor²¹. Výzkum nanotechnologií se na úrovni států stal strategickou oblastí. Dnes již více jak 60 zemí světa zahájilo národní nanotechnologické programy, ze kterých financuje svůj výzkum. Spojené státy americké založily svou národní nanotechnologickou iniciativu (NNI) již v roce 2000. Odhadované investice USA do NNI za fiskální rok 2014 jsou 170 miliard dolarů a za rok 2015 Americká vláda a soukromý sektor investovaly do nanotechnologií zhruba čtvrt bilionu dolarů. Čínská vláda představila svůj dlouhodobý plán pro rozvoj vědy a technologie pro období 2006 až 2020, kde nanotechnologii označila za oblast s velkým potenciálem. Zatím Čínské ministerstvo vědy a techniky (MOST) investovalo asi jednu miliardu CNY²² na podporu 28 nanotechnologických projektů [26]. Evropská unie má svůj akční plán přerozdělování veřejných prostředků pro účely financování rozvoje nanotechnologie, kde vyčlenila jednu subkapitolu 7. rámcového programu (FR7), k financování rozvoje nanotechnologie. Během let 2007-2013 zde bylo alokováno 4,7 miliardy dolarů [106]. V rámci Evropské unie je největším veřejným investorem Německo, které v rámci akčního plánu „Nano-iniciativa 2010“ během let 2006-2010, rozdělilo 500 mil. dolarů ročně. Na tento akční plán navázal „Nanotechnologický akční plán 2015“, který počítal s dalším rozvojem investic do výzkumu nanotechnologií. I Japonsko zřídilo svůj akční

²¹ Veřejný sektor, stejně jako soukromý, je motivován očekáváním budoucích přínosů, proto lze říci, že vyšší investice vydané na výzkum, rozvoj a propagaci vědecko-výzkumné oblasti znamenají větší víru a očekávání budoucích přínosů.

²² CNY – označení pro Čínský jüan

plán s názvem „Třetí japonský plán pro vědu a technologie“, který v letech 2006-2010 přerozdělil 4,72 miliardy dolarů [106].

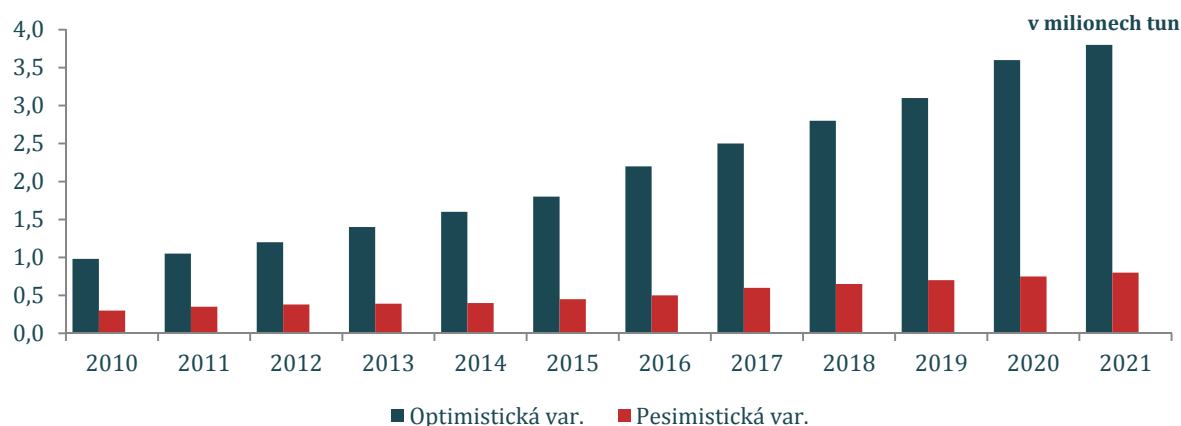
Přímé charakteristiky globálního trhu s nanočásticemi

Vyrobené objemy nanočástic

Charakteristika popisující vyrobené objemy nanočástic za rok se jeví jako vhodné kritérium pro popis daného odvětví trhu. Jeho využití však naráží na omezení dostupnosti dat. Jednotlivé statistické úřady včetně světové banky a EUROSTATU nevidují tyto parametry. Je nutné se proto spolehnout na odborné odhady vědeckých pracovníků věnující se tomuto odvětví (Mihail C. Roco a Jolanta Pulit-Prociak), nebo využít některých predikcí poradenských firem zabývajících se marketingovým průzkumem trhu jako je například:

- Lux Research (<http://www.luxresearchinc.com>),
- BBC Research (<https://www.bccresearch.com>),
- n-tech Research (<https://www.ntechresearch.com>),
- Transparency Market Research (<https://www.transparencymarketresearch.com>),
- Grand View Research (<https://www.grandviewresearch.com>)

Celková roční produkce nanočástic vyprodukovaných v roce 2014 byla odhadnuta na více jak 310 tisíc tun. Podle optimistických předpovědí by globální trh s nanočásticemi mohl v roce 2020 překonat roční produkci 3,6 milionu tun. Pesimistická varianta mluví o šesti stech tisících tunách v roce 2020, viz obr. 18 [170].



Obr. 18: Odhad optimistického a pesimistického vývoje globálního trhu s nanomateriály v letech 2010-2021

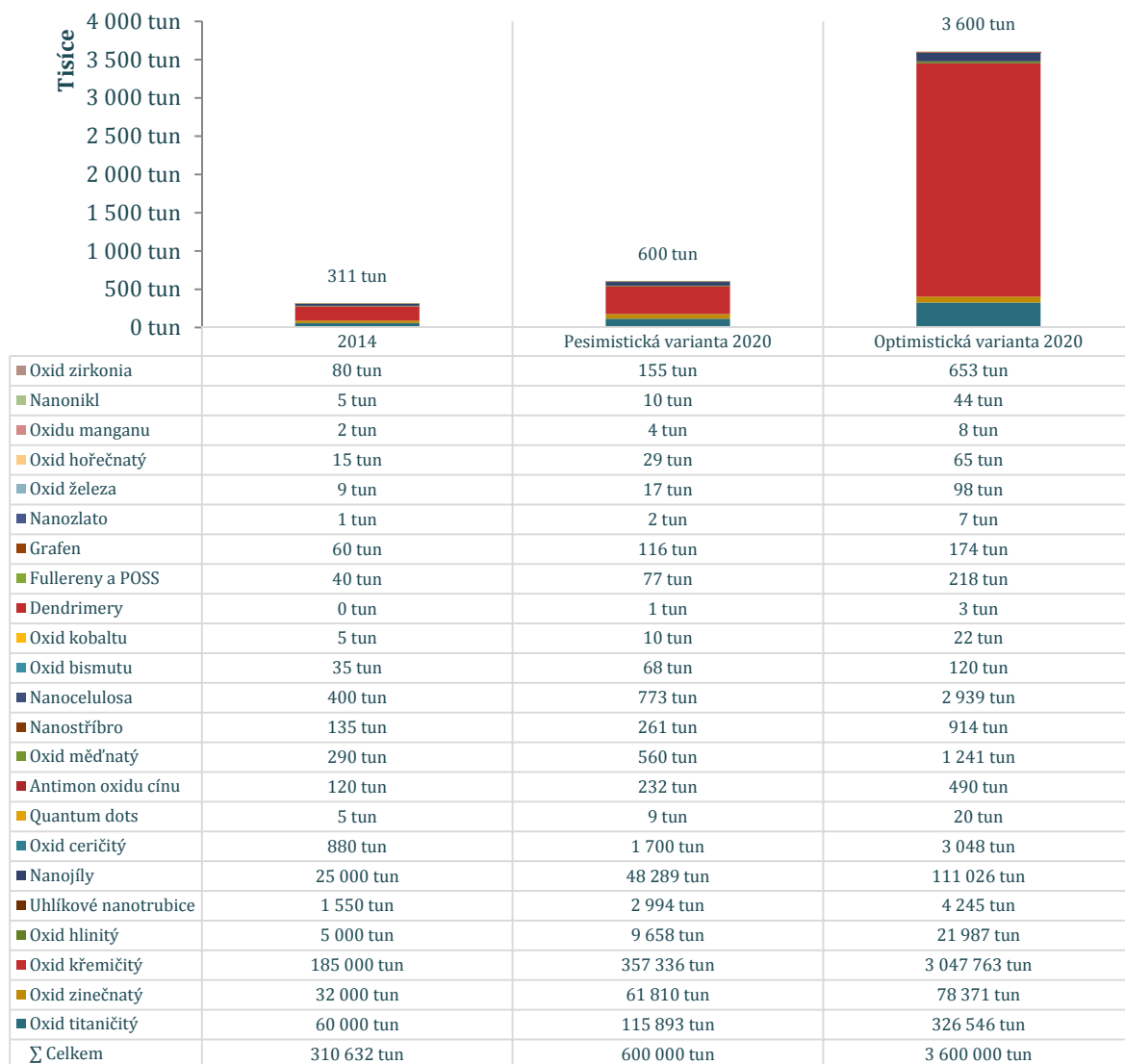
Zdroj: Zpracováno dle [170]

Bude-li trend rozvoje využití jednotlivých druhů nanočástic lineární, lze očekávat velikost jednotlivých částí nanomarketu dle obr. 19. Jako hlavní odvětví trhu se jeví produkce oxidu křemičitého s téměř 185 tisíci tunami za rok 2014. Oxid křemičitý nachází uplatnění především v lékařských aplikacích, kompozitních materiálech, plastech, barvách a kosmetice. Dále následuje roční produkce oxidu titaničitého s 60 tisíci

tunami za rok 2014. Nanočástice TiO_2 jsou nejčastěji využívány jako součást barev a nátěrů, plastů, papírů a buničiny a v neposlední řadě kosmetiky [53]. Trojici nanočástic s největší roční produkcí v roce 2014 uzavírá oxid zinečnatý s 32 tisíci tunami. Nanočástice oxidu zinečnatého jsou nejčastěji užívány v aplikacích jako je hygiena a kosmetika, UV ochrana, výroba polymerů a samočistící materiály.

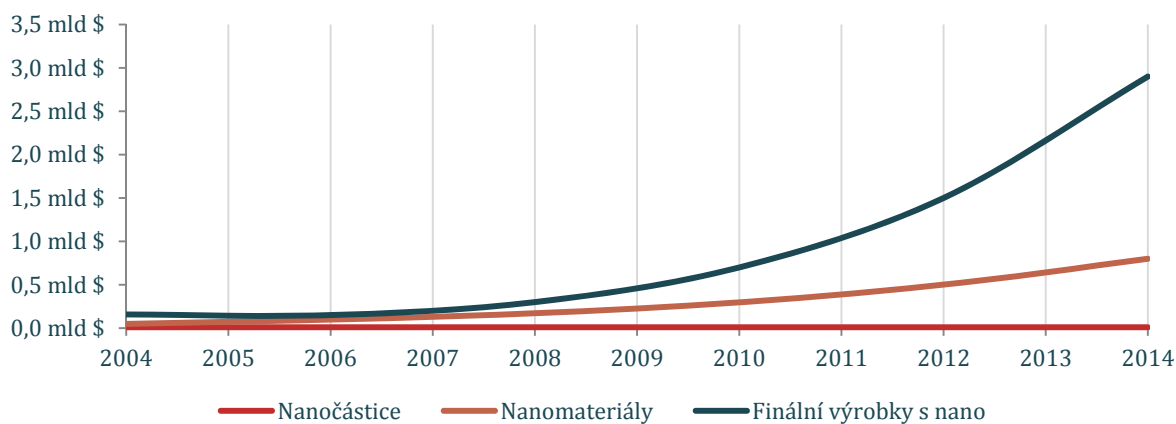
Velikost trhu v celkových tržbách

Komerční hodnotu trhu s nanotechnologiemi je obtížné odhadnout. V roce 2001 Americká vláda a experti z průmyslu předpovídali, že trh s nanotechnologiemi dosáhne jednoho 1 bilion dolarů do deseti až patnácti let. Americká poradenská firma Lux Research tehdy ocenila trh s nanotechnologiemi na 40 miliard dolarů. Její predikce na rok 2014 pro koncové nanoproducty byla 2,6 bilionu dolarů. Meziprodukty měly tvořit přibližně třetinu hodnoty trhu s koncovými produkty tj. 750 miliard dolarů. Prognóza nepředpokládala významný růst cen primárních nanočástic, kvůli klesajícím jednotkovým cenám viz obrázek 20 [192].



Obr. 19: Odhad optimistického a pesimistického vývoje globálního trhu s nanomateriály v letech pro rok 2020 dle stavu v roce 2014

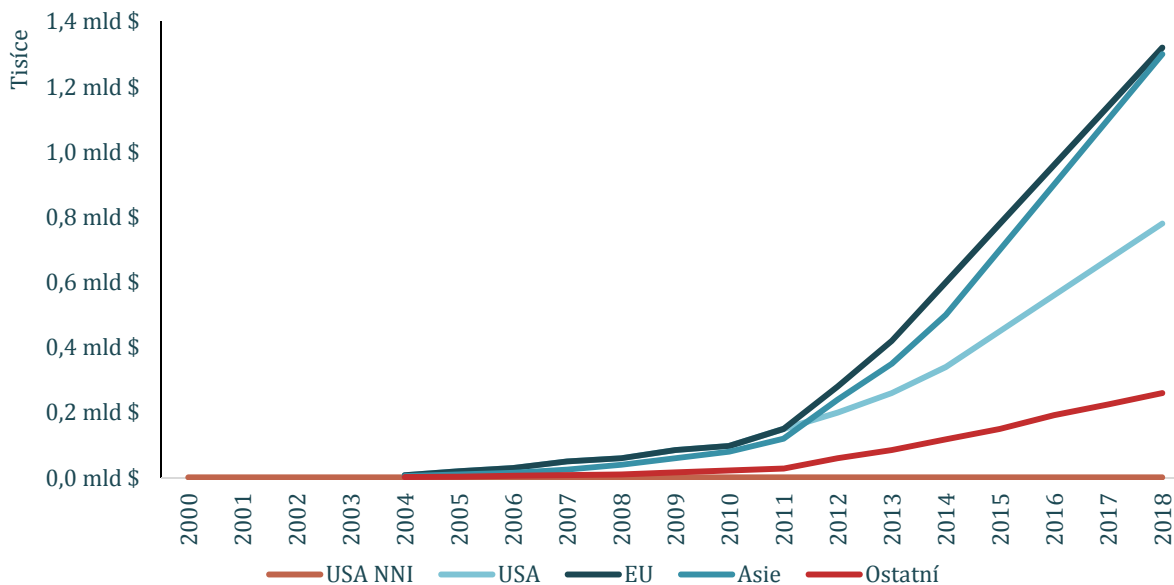
Zdroj: Zpracováno dle [170]



Obr. 20: Odhad nárůstu trhu s nanomateriály a nanoprodukty v letech 2004-2014

Zdroj: Zpracováno dle [192]

Zpráva Lux Research z prosince 2015 již udává, že celosvětový trh s povolenými nanotechnologiemi překročil v roce 2013 1 bilion dolarů a předpokládá se další růst na více než 3 biliony dolarů do roku 2018.



Obr. 21: Příjmy z nanoproductů dle regionů [106]

Zdroj: Zpracováno dle <https://www.nap.edu>

Vlivem prudkého rozvoje jednotlivých oblastí nanomarketu, vydávají poradenské společnosti prognózy zaměřené na konkrétní nanočástice a aplikace. Pro ilustraci jsou uvedeny prognózy trhu pro nanočástice, které jsou nejčastěji dostupné v komerčních produktech. Jedná se o oxid titaničitý a nanostříbro.

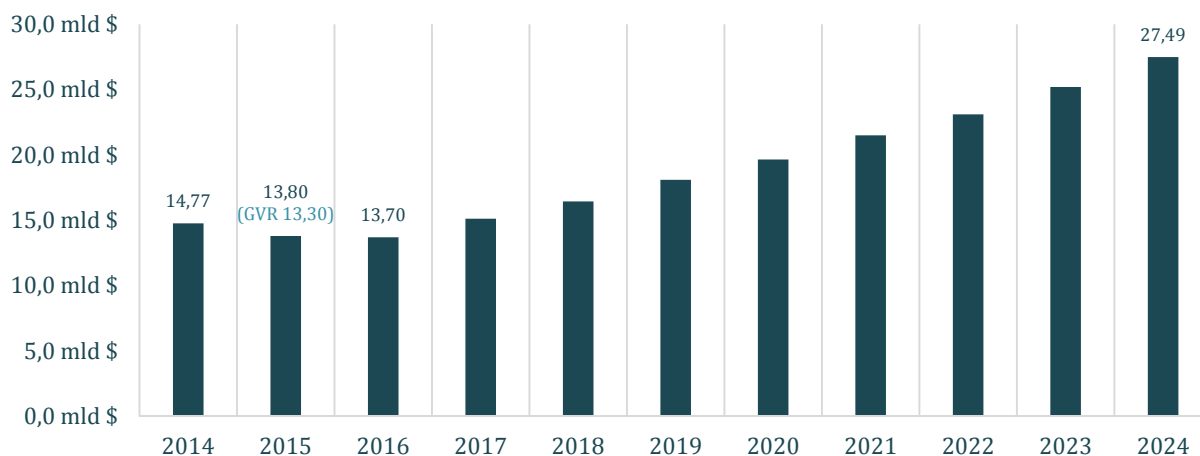
Oxid titaničitý

Globální nanomarket s nanočásticemi oxidu titaničitého dosahoval dle poradenské společnosti Hexa Research v roce 2015 velikosti 13,8 miliardy dolarů viz obrázek 22. Uvedená prognóza také udává, že tato oblast trhu dosáhne v roce 2024 27,49 miliardy dolarů. [62]. Hodnota roku 2015 řádově odpovídá obdobné prognóze vydané společností Grand View Research, která tuto oblast trhu kvantifikovala na 13,3 miliardy dolarů se složenou roční mírou růstu CAGR²³ přes 8,9% od roku 2016 do roku 2025 [53].

Nanostříbro

Popisu mezinárodního trhu s nanostříbrem se věnují dvě prognózy, jejichž výstupy jsou zobrazeny na obrázku 23. Nanostříbro nachází nejčastěji uplatnění v aplikacích ve zdravotnictví, diagnostice, elektronice a optice. Pro zdravotní účely jsou důležité především baktericidní, fungicidní a virucidní účinků stříbra. V diagnostice se nanostříbro uplatňuje jako tzv. biosenzor. Aplikace nanostříbra zaměřené na elektroniku využívají unikátní katalytické vlastnosti a dobrou tepelnou a elektrickou vodivost, která je nezbytná pro výrobu vodivých inkoustů. Neméně důležitou roli hraje nanostříbro v optice, která pracuje se schopností stříbra pohlcovat a rozptylovat světlo, což je důležité ve spektroskopii.

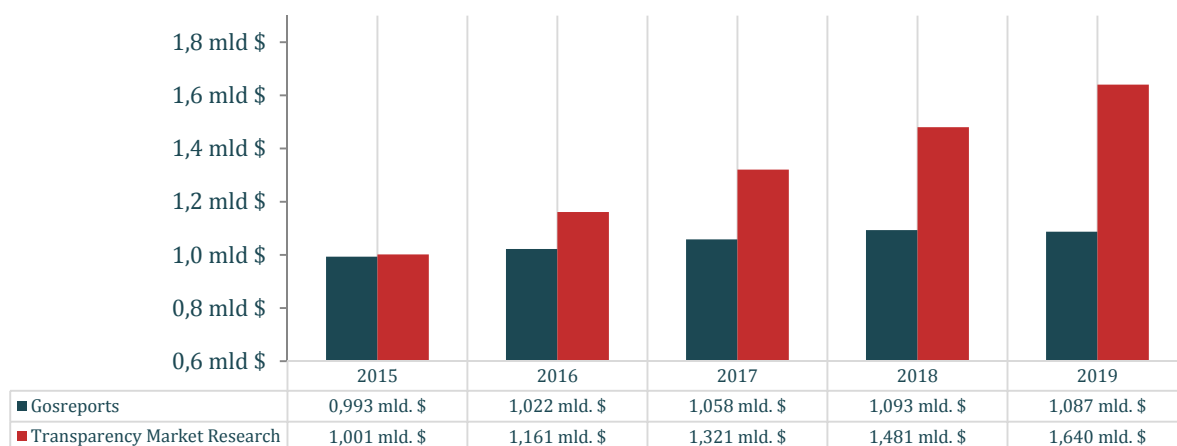
²³ Složená roční míra růstu – „Compound Annual Growth Rate“ (CAGR)



Obr. 22: Odhad růstu globálního trhu s oxidem titaničitým v letech 2014-2024, GVR - kvantifikace trhu v roce 2015 společností Grand View Research

Zdroj: Zpracováno dle <https://www.hexaresearch.com>, <https://www.grandviewresearch.com>

Globální trh nanostříbra tvoří nanočástice stříbra (56%), koloidní stříbro (35%) a ostatní struktury (9%). Roční produkce 2015 dosáhla hodnoty 0,99 miliardy dolarů. Gos Report predikuje růst trhu do roku 2019 na 1,09 miliardy dolarů se složenou roční mírou růstu CAGR 9%. Regionálně největším producentem nanostříbra je Severní Amerika s podílem 41,8% a produkcí 212,8 tun v roce 2013. Očekávaný nárůst produkce v daném regionu do roku 2020 je 484,8 tuny za rok se složenou roční mírou růstu CAGR 12,9%. Asijsko-pacifická oblast očekává složenou roční mírou růstu CAGR 13,5% v letech 2014 a 2020. Hlavními hráči na globálním trhu s nanostříbrem jsou NSM, Advanced Nano Products Co, Creative Technology Solutions, NovaCentrix, Ames Goldsmith, ras materials GmbH [49]. Trhu s nanostříbrem se věnuje i zpráva představená v březnu 2016 společností Transparency Market Research. Dle uveřejněných výsledků zpráva kvantifikuje trh v roce 2013 na 682 milionů dolarů. TMR očekává složenou roční míru růstu CAGR 15,4% mezi roky 2014 až 2020, kdyby měl na konci roku 2020 globální trh dosáhnout 1,8 miliardy dolarů. (Pozn. ke grafu: Hodnoty let 2014-2019 byly pro prognózu TMR spočteny pomocí lineární interpolace mezi roky 2013 a 2020.)



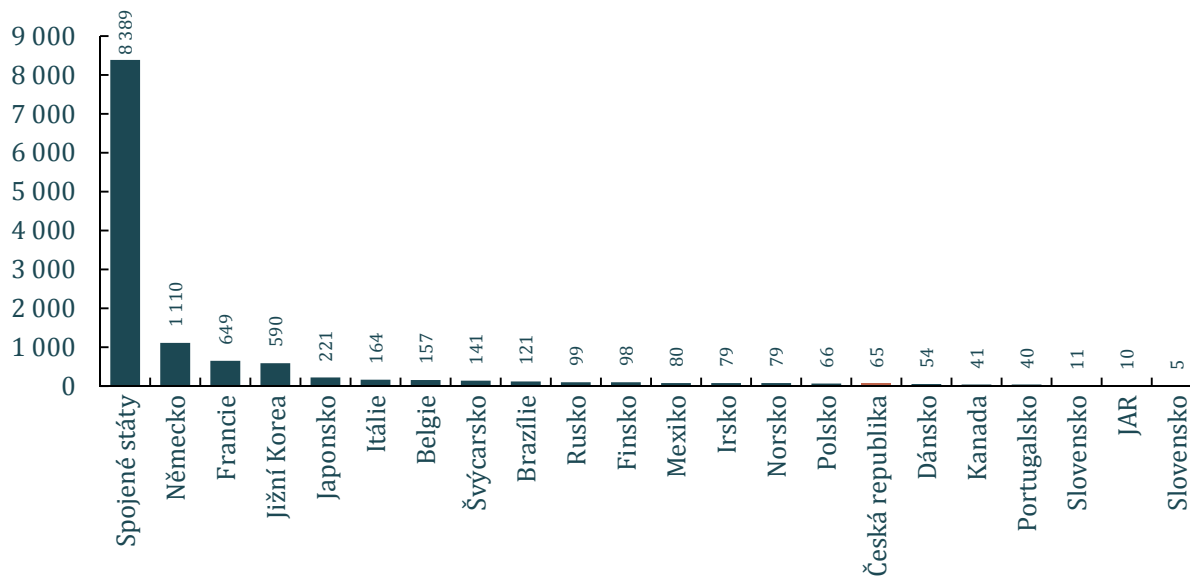
Obr. 23: Odhad nárůstu trhu s nanomateriály a nanoprodukty v letech 2015-2019

Zdroj: Zpracováno dle <http://www.gosreports.com> a <http://www.transparencymarketresearch.com>

Nepřímé charakteristiky globálního trhu s nanočásticemi

Počet výzkumníků / podniků podílejících se na rozvoji nanotechnologií

Dle dat zveřejněných Organizací pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) jsou Spojené státy americké s 8 389 pracovišti vedoucí velmocí v počtu podniků činných v oblasti nanotechnologií. Následuje je Německo s 1 110 a Francie s 649 pracovišti viz obrázek 24.



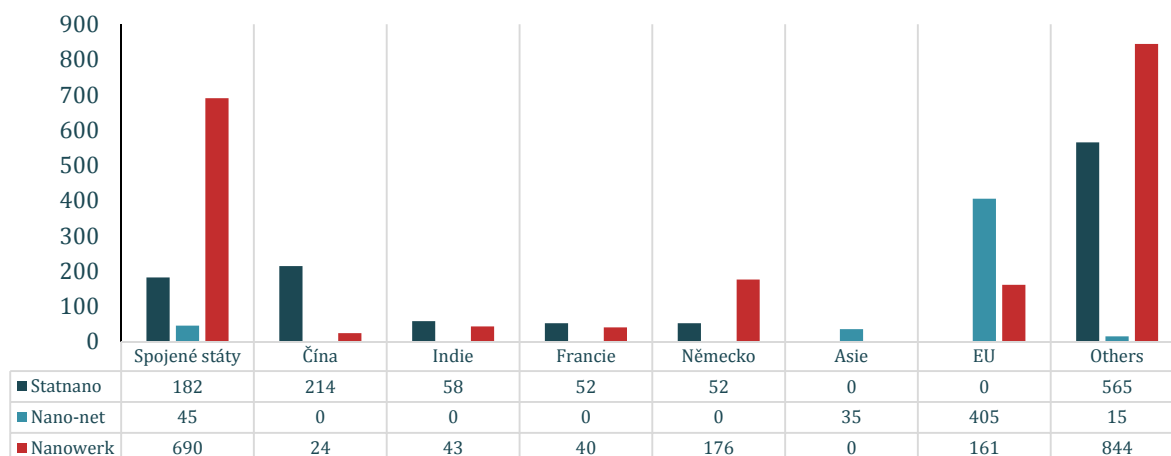
Obr. 24: Počet podniků činných v oblasti nanotechnologií v roce 2014

Zdroj: Zpracováno dle <https://www.oecd.org>

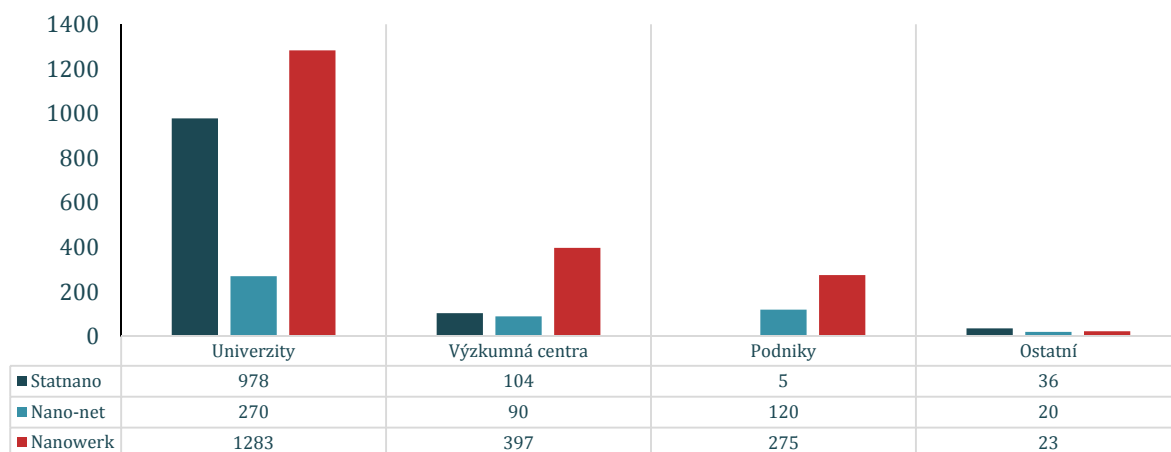
Počet Čínských pracovišť OECD neuvádí. Následující grafy shrnují počty a druhy vědecko-technických pracovišť evidovaných v jednotlivých databázích a na kontaktních severech zaměřujících se na nanotechnologie. V grafech jsou obsažena data ze tří zdrojů uvedených v tabulce.

Tab. 4: Přehled analyzovaných databází a odkazy na zdroj

| Název | Typ zdroje | Dostupné na |
|----------|--------------------|---|
| Statnano | Databáze produktů | http://statnano.com/orgs |
| Nano-net | Kontaktní server | http://www.nano-net.gr |
| NanoWerk | Databáze materiálů | https://www.nanowerk.com |



Obr. 25: Počet podniků činných v oblasti nanotechnologií registrovaných v uvedených databázích
Počty výzkumných pracovišť registrovaných v jednotlivých databázích nevybočují ze zjištění, které poskytují ostatní charakteristiky sledované v této kapitole. Vedoucí role v oblasti počtu výzkumných pracovišť registrovaných v jednotlivých nanodatabázích hájí Spojené státy americké a významnými účastníky jsou i Čína a Evropská unie.

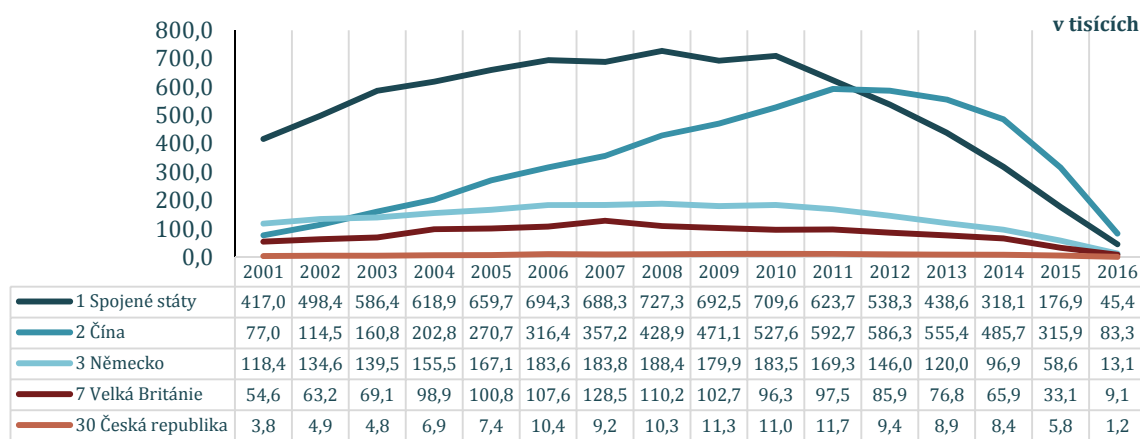


Obr. 26: Druhy vědecko-technických pracovišť registrovaných v uvedených databázích
Do databází se nejčastěji registrují univerzity (ø databází - 69%) a výzkumná centra (ø databází - 16%). Podniky (ø databází - 13%) o zařazení do databází příliš neusilují. Účast podniků se projevuje především v databázích finálních produktů, jako jsou Consumer Products Inventory – CPI (715 členů) a The Nanodatabase (751 členů).

Počet publikací a citací za rok

Již v roce 2006 překonal počet publikací zaměřených na nanotechnologie počet publikací věnujících se lékařskému výzkumu. Zdá se, že tento trend bude i nadále pokračovat, v důsledku růstu počtu koncových produktů. Od roku 2003 do roku 2013 bylo v USA publikováno 160 870 článků (4 056 278 citací) věnujících se nanotechnologii. Druhou nejvíce publikující zemí byla ve stejném období Čína se 154 946 příspěvků (2 049 072 citacemi). Roční počet příspěvků publikovaných celosvětově v roce 2013 vzrostl z 23 957 příspěvků podaných v roce 2003 na 107 371 [26]. Kvalita publikací se odráží v množství jejich citací.

Následující graf 27 zobrazuje počty citací v jednotlivých letech mezi roky 2001 a 2016 rozdělených dle států. V tomto kritériu v celkovém součtu vítězí Spojené státy americké (s celkovým počtem 8 433 314 citací), druhá v pořadí je Čína (s celkovým počtem 5 546 317 citací) a na třetím místě se umístilo Německo (s celkovým počtem 2 238 385 citací). Pokud by se vyhodnocení omezilo pouze na počet citací za rok 2016, první v pořadí by se umístila Čína (s celkovým počtem 83 252 citací), na druhém místě jsou Spojené státy americké (s celkovým počtem 45 374 citací) a třetí místo obsazuje Indie (s celkovým počtem 14 372 citací) a předstihuje tak Německo o 1 278 citací, které zaostává na čtvrté pozici (s celkovým počtem 13 094 citací). Česká republika se v celkovém součtu všech citací ve sledovaném období 2001-2016 umístila na 30 (s celkovým počtem 125 317 citací) respektive 31 místě v počtu citací za rok 2016 (s celkovým počtem 1 212 citací).



Obr. 27: Počet citací za rok, zdroj: Web of Science

Zdroj: Zpracováno dle <https://statnano.com>

Počet patentů

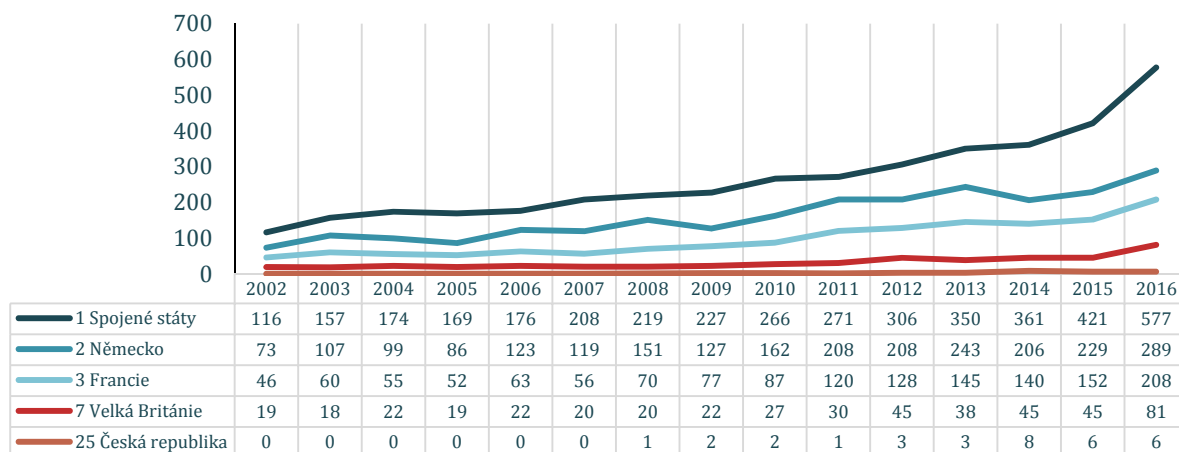
Počet registrovaných patentů udává inovační schopnost daného státu. I v tomto kritériu se jako lídr etablovali Spojené státy americké s celkovým počtem 4 074 registrovaných patentů v roce 2016. Následuje je Německo s 2 469 a Francie s 1499 registrovanými patenty. Čína se v tomto kritériu umístila až na patnáctém místě s 806 registrovanými patenty. Česká republika zaujímá 29 pozici s 32 registrovanými patenty.



Obr. 28: Kumulovaný počet registrovaných patentů od roku 2001 do 2016, rozděleno dle regionu

Zdroj: Zpracováno dle <https://statnano.com>

I v rámci meziročního sledování počtu registrovaných patentů se projevuje rostoucí trend. Toto kritérium vypovídá o postupujícím procesu primárního výzkumu a častějším zapojování soukromého sektoru, který si nechává patentovat své koncové výrobky. Pořadí na čelních místech se oproti kumulovaným hodnotám nemění. Pouze Čína se posouvá na 13 a Česká republika na 25 pozici. Meziroční rychlost růstu počtu registrovaných čínských patentů se za poslední tři roky každý rok více než zdvojnásobila. To by mohlo být spojené s lepším využitím čínského potenciálu a do budoucna by to mohlo znamenat významný posun Číny ve světovém pořadí v daném kritériu.



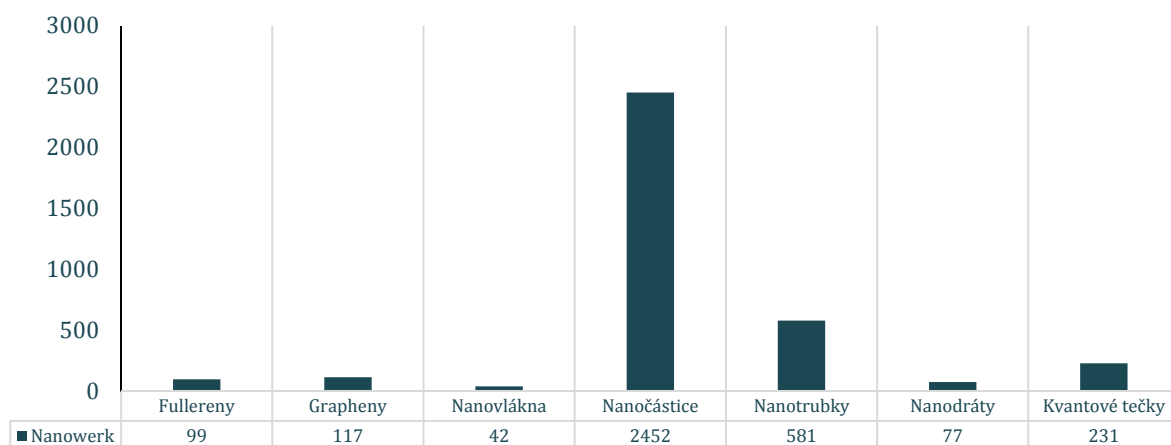
Obr. 29: Počet registrovaných patentů za rok, rozděleno dle regionu

Zdroj: Zpracováno dle <https://statnano.com>

Počet registrovaných produktů na trhu

Jednotná světová databáze registrující nanomateriály a nanoproducty v současné době neexistuje. Postupně však vznikají různé iniciativy, snažící se shromažďovat informace o nově objevených nanomateriálech a komerčně dostupných produktech. Cílem těchto iniciativ je zřehlednit danou oblast trhu. Databází zaměřenou na nanomateriály a nanočástice, vyvinuté vědeckými pracovišti je americká

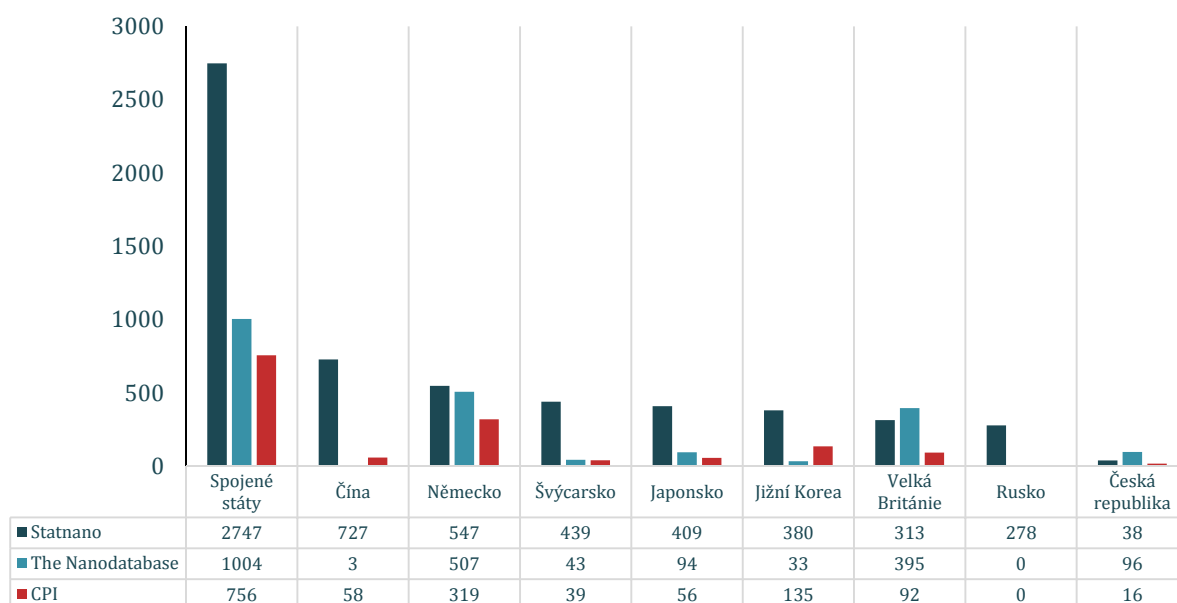
databáze NanoWerk. Ta registruje 3 599 položek nanomateriálů s klasifikací struktury a uvedeným producentem. Rozdělení registrovaných nanostruktur dle jejich druhu je zobrazeno na obrázku.



Obr. 30: Nanomateriály registrované v databázi NanoWerk

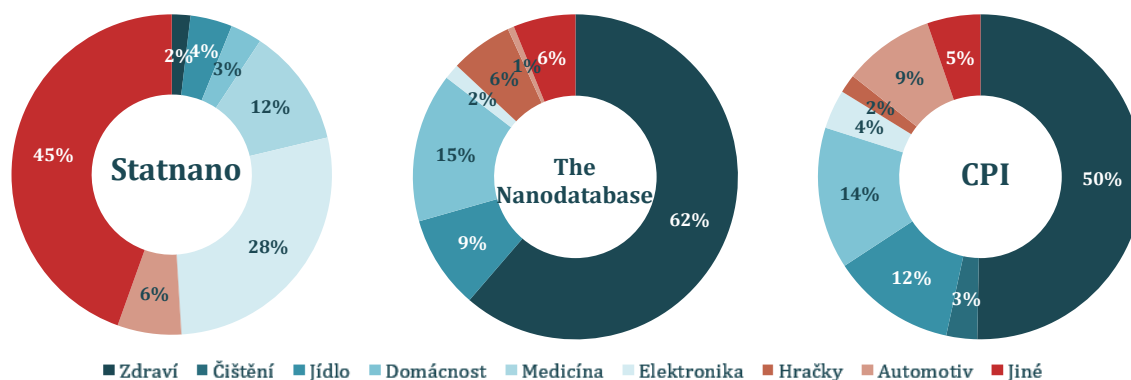
Zdroj: Zpracováno dle <https://nanowerk.com>

Z databází zaměřujících se na komerční produkty je největší počet (7 288) nanoproduktů registrován v databázi Statnano. Ta byla založena v roce 2010 s podporou iránské iniciativy pro nanotechnologie - INIC. Dalšími dvěma uvedenými databázemi jsou: dánská The Nanodatabase založená 2011 s 3 038 registrovanými produkty a financovaná Evropskou radou a americká Consumer Products Inventory – CPI fungující od roku 2013, registrující 1 827 produktů a financovaná z grantu od Institute for Critical Technology and Applied Science – ICTAS. Ve všech uvedených databázích zauímají pozici největšího producenta nanoproduktů Spojené státy. V databázi Statnano mají téměř třetinový podíl (2 747). Následuje Čína a Německo. Ostatní viz následující graf.



Obr. 31: Počet registrovaných produktů v uvedených databázích, rozděleno dle regionu

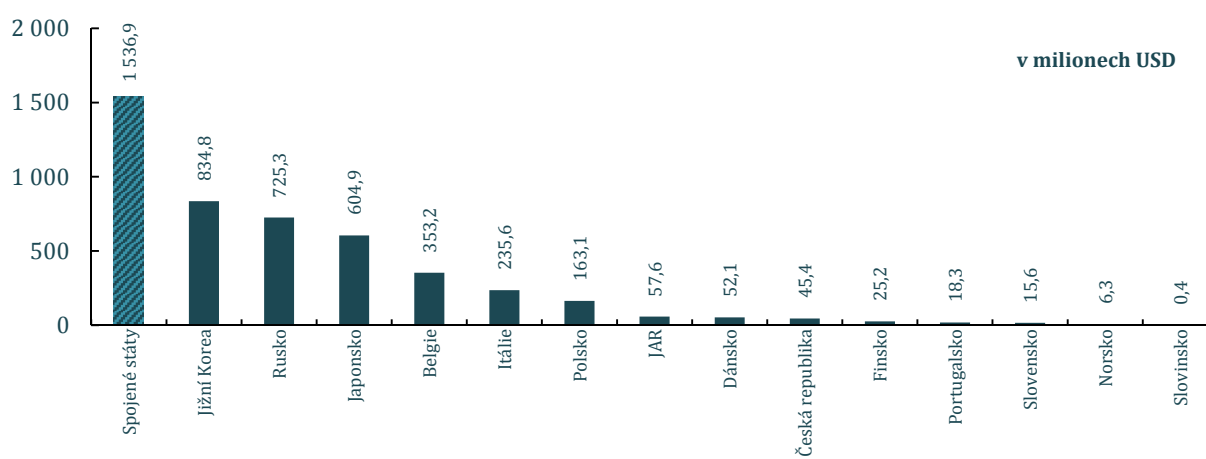
V rámci aplikací jednotlivých produktů registrovaných ve zmiňovaných databázích dochází k zajímavému jevu. Databáze The Nanodatabase a Consumer Products Inventory - CPI registrují produkty v obdobném poměru jednotlivých aplikací. Největší zastoupení mají produkty z oblasti zdraví a zdravého životního stylu, následované produkty k jídlu a pro domácnost. Celkem tyto tři oblasti znamenají cca 80 procent produktů. Výjimku tvoří databáze Statnano, kde je nejvíce registrovaných produktů z oblasti elektroniky, medicínských aplikací a kosmetiky tvořící dohromady přibližně polovinu veškerých registrovaných produktů.



Obr. 32: Hlavní oblasti aplikací produktů registrovaných v uvedených databázích

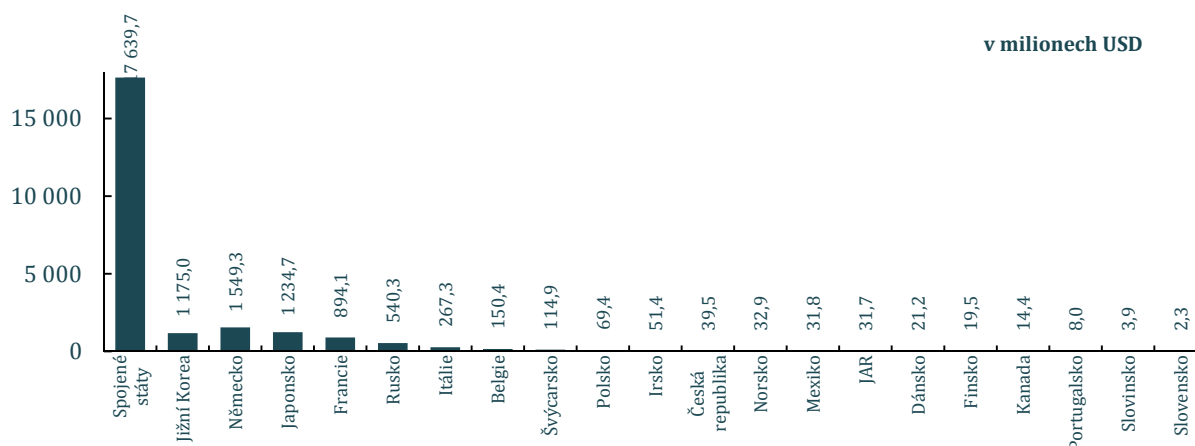
Výzkumné a rozvojové výdaje veřejného a soukromého sektoru

Dle výsledků zveřejněných Organizací pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) a databází Statnano v roce 2014 byly výdaje soukromého sektoru ve Spojených státech amerických téměř 5 krát vyšší než vládní. V obou případech však byly nejvyšší ze zveřejněného seznamu států. Druhé nejvyšší výdaje na nanotechnologie jak ve veřejném, tak soukromém sektoru měla Jižní Korea. Veřejný sektor se třetími nejvyššími výdaji měla podle zprávy OECD Ruská federace. Ve veřejném sektoru třetí příčku v objemu výdajů obsadilo Německo.



Obr. 33: Výdaje na výzkum a vývoj v oblasti nanotechnologií ve vládních a vysokoškolských sektorech, rok 2014 (hodnota pro USA převzata ze Statnano)

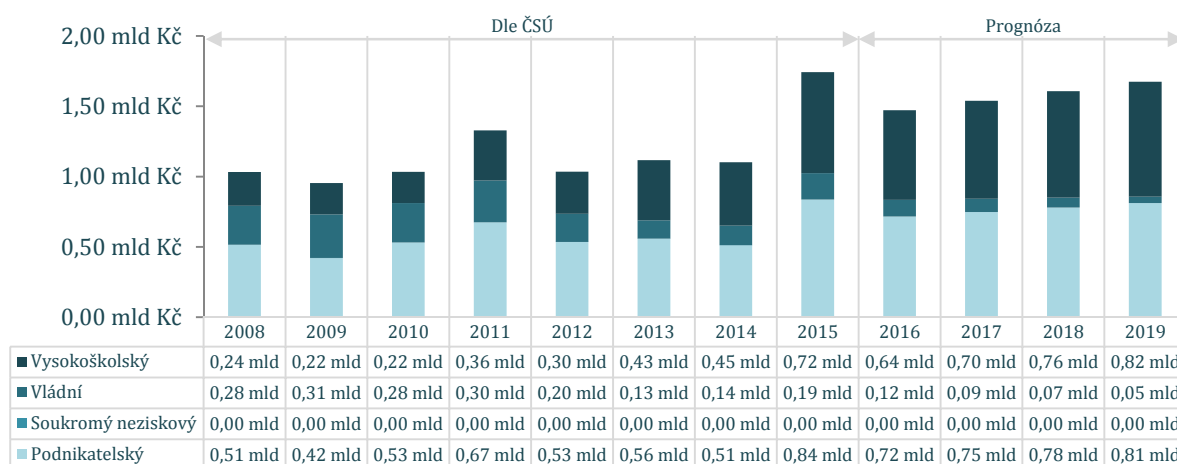
Zdroj: Zpracováno dle <https://www.oecd.org>



Obr. 34: Výdaje na výzkum a vývoj v oblasti nanotechnologií v podnikatelském sektoru, rok 2014 nebo poslední dostupný rok

Zdroj: Zpracováno dle <https://www.oecd.org>

Svou výroční zprávu o výši výdajů na vědu a výzkum dle jednotlivých sektorů představil v roce 2016 i Český statistický úřad (ČSÚ). Z dat vyplývá, že vysokoškolský a vládní sektor vydávají na vědu a výzkum zhruba to samé jako sektor podnikatelský. V roce 2015 to bylo 1,75 miliardy korun. Pozn.: K vytvoření prognózy pro roky 2016 až 2019 byl vypočten lineární trend vypočtený metodou nejmenších čtverců.



Obr. 35: Výdaje v České republice na vědu na výzkum v oblasti nanotechnologie

Zdroj: Zpracováno dle <https://www.czso.cz>

Venture kapitál

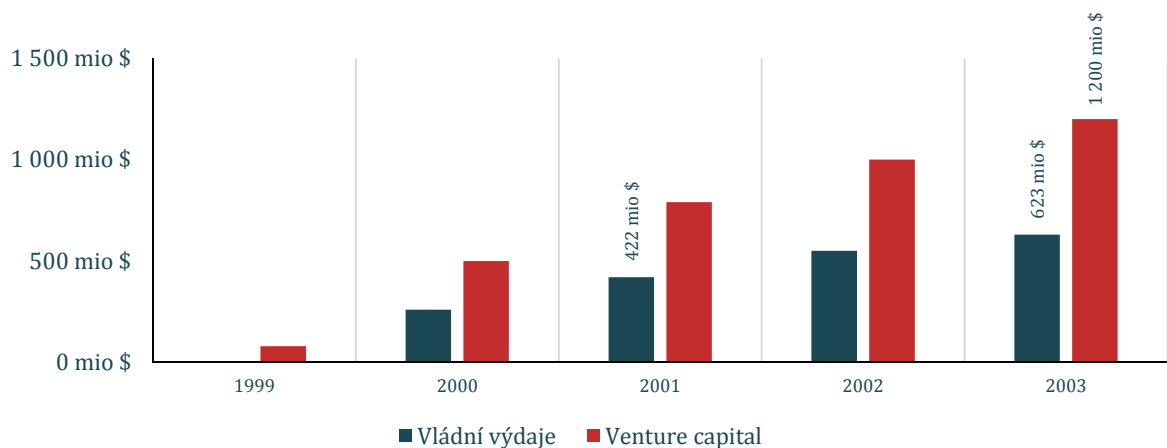
Venture kapitál²⁴ je způsob financování nových projektů, který nacházel pouze omezené uplatnění v oblasti financování rozvoje nanotechnologií. Jeho plné využití limitoval jak stav globálního trhu způsobeného

²⁴ Venture kapitál je v našem (českém) prostředí chápán jako středně až dlouhodobý kapitál investovaný formou kapitálového vstupu do společnosti. Za investici získává fond venture kapitálu podíl na základním kapitálu podniku a společně s finančními prostředky předává firmě také odbornou pomoc (definice dle: Česká asociace venture kapitálu - CVCA)

globální finanční krizí tak bariery vysloveně specifické pro nanotechnologie. V následujícím výčtu jsou uvedeny některé z nich:

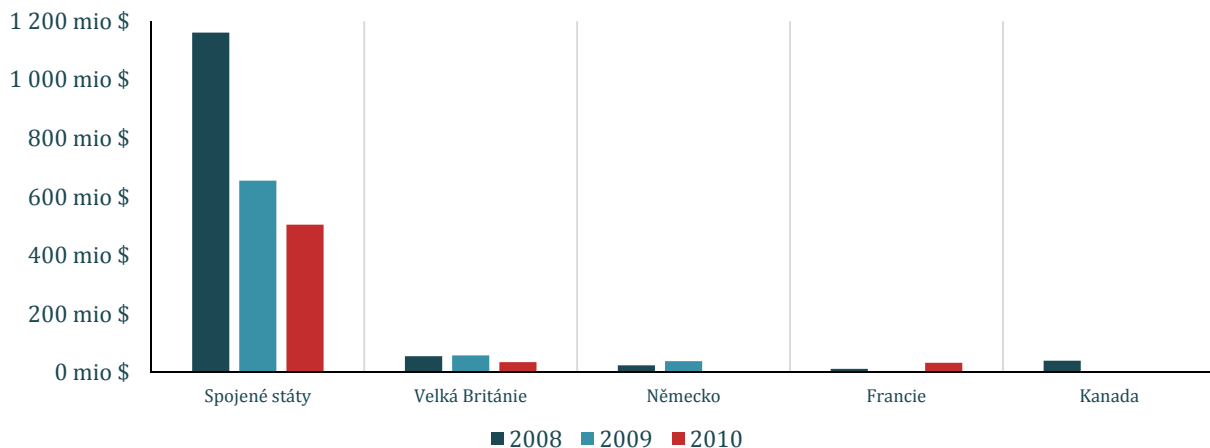
- Většina aplikací nanotechnologií se zaměřuje na vylepšení vlastností existujících produktů. Jedná se tedy pouze o evoluci přinášející navýšení užité hodnoty. To však bývá spojeno jen s malou ochotou spotřebitele, připlácet za substituční produkt. Takový scénář přináší pouze drobné navýšení tržeb a pro investora venture kapitálu není příliš lukrativní. Z investičního pohledu jsou zajímavější projekty generující nové, revoluční vynálezy přinášející změny odvětví, tvořící nové tržní segmenty s exkluzivním tržním postavením. Zájem venture investorů se v oblasti nanotechnologie soustředil především na průmyslová odvětví (zdravotnictví a energetika) nikoli na konkrétní technologické projekty [37].
- Velkou nejistotu venture investic způsobovaly i otázky v oblasti práv duševního vlastnictví. Problémem se ukázala metodika testování patentů používaná patentovými úřady. Americký úřad pro patenty a ochranné známky – USPTO používal klasifikační systém předmětových tříd, který je nevhodný pro interdisciplinární odvětví nanotechnologie. V důsledku toho USPTO vydávalo patentky, které se překrývaly, nebo byly dokonce protichůdné [5].
- Údolí smrti - Valley of Death [5]. Toto expresivní pojmenování označuje mezeru ve finančním krytí vývoje laboratorních objevů. Veřejný sektor se zaměřuje především na financování primárního výzkumu a venture investoři se zajímají o projekty s přijatelnou obchodní strategií a silnými řídicími týmy. Tím vzniká mezera ve financování před-obchodní fáze projektu, která může znamenat konec i slibných laboratorních objevů, které nezískaly prostředky potřebné pro uvedení na trh.
- Problematika regulace. Díky biologickým vlastnostem nanočástic, jako je dobrá prostupnost buněčnou membránou a zvýšené reaktivita v kontaktu s biologickými tkáněmi, vyvstávají otázky spojené s vlivem nanotechnologií na lidské zdraví a životní prostředí. To představuje ohrožení projektů v podobě soudních sporů a nákladů na vyrovnání za způsobené škody. Z těchto důvodů jsou některé projekty s vysokým rizikem nepříznivých účinků (např. nutraceutické potraviny) pro investory nezajímavé [69].
- Dlouhá doba návratnosti investice. Ze statistik vychází, že průměrná doba návratnosti investice venture kapitálu je u běžných projektů 6 let. Dle zkušeností doba návratnosti investic nanotechnologických projektů může být až dvojnásobná [5].
- Nízká úroveň úspěšných projektů. Z 66 startupů, které získaly institucionální venture kapitálové financování do roku 2001, pouze 58% pokračovalo v činnosti. Lux Research uvádí, že ze 171 začínajících projektů podporovaných venture kapitálem bylo od roku 1995 do roku 2006 úspěšně ukončeno pouze 18 [105].

Navzdory zmíněným investičním bariérám byl v USA v letech 1999 až 2003 očekáván rychlejší růst soukromých investic než vládních viz následující graf. Výše investic venture kapitálu byla predikována na 1,2 miliardy dolarů [142].



Obr. 36: Vývoj vládních výdajů a venture kapitálu v USA na přelomu tisíciletí

Zdroj: Zpracováno dle NanoBusiness Alliance a NanoTechnology Initiative



Obr. 37: Vývoj venture kapitálu mezi roky 2008 a 2010 rozděleno dle regionu

Zdroj: Zpracováno dle [228]

Od roku 2003 do roku 2007 dochází v úrovni investování v rámci venture kapitálu k poklesu. V roce 2007 činily celkové investice 702 milionu dolarů. Financováno bylo 61 projektů s průměrnou výší investice 11,51 milionu dolarů. Podle Lux Research nastal v roce 2008 další rozvoj investic. Celosvětově investice dosáhly v roce 2008 přibližně 1,4 miliardy dolarů. Propuknutí hypotéční krize ve Spojených státech, která přerostla v roce 2008 do celosvětové finanční krize, však v roce 2009 znamenalo pokles hodnoty soukromého kapitálu. Hodnota venture investic roku 2009 byla na úrovni 792 milionu dolarů. Financováno bylo 91 projektů s průměrnou hodnotou investice 8,6 milionu dolarů [127].

Přestože financování nanotechnologií venture kapitálem zaostává za tempem vědeckého pokroku, existují snahy o napravení této situace. Rusko v roce 2008 vytvořilo fond v hodnotě 70 milionů dolarů [66]. V Číně se stále častěji prosazují snahy zapojit do financování soukromý kapitál, přesto stále převládajícím způsobem je financování prostřednictvím centrálních a regionálních vlád. Rozvoj růstu soukromých investic lze sledovat i v Evropské unii a Jižní Koreji.

3.2.2. Predikce vývoje trhu s nanomateriály – shrnutí

Z výše uvedeného výčtu přímých a nepřímých charakteristik trhu s nanomateriály vyplývá, že tento tržní segment lze považovat za velice perspektivní. Hlavní autoři (např. [57], [157], [178] a další) zabývající se touto problematikou a výzkumné společnosti (Transparency Market Research, Gos Report, Lux Research a další) se shodují, že v následujících obdobích je možné očekávat prudký rozvoj jak v oblasti produkce nanočástic, tak v počtu komerčních produktů. Jak uvádí Pulit-Prociak, lze v optimistickém případě odhadnout roční produkci nanočástic v roce 2020 na hodnotu 3,6 milionu tun za rok. Výzkumná společnost Lux Research kvantifikovala celkový objem tržeb z prodeje nanoproductů v roce 2018 na částku 3,7 trilionu dolarů. Z těchto důvodů lze očekávat rostoucí poptávku po výrobních kapacitách, které bude nutno nově vytvořit. Pokud by optimistický scénář dle Pulit-Prociak vyšel, znamenalo by to nutnost navýšení výrobních kapacit do roku 2020 o 91 % oproti roku 2014.

Z analýzy nepřímých charakteristik podle Roca se jako hlavní výzkumný lídr etablovaly Spojené státy americké, následované Čínou, Evropskou unií a Japonskem. V rámci Evropské unie na čele stojí Německo, Francie a Velká Británie. Česká republika se pohybuje v pořadí světového hodnocení okolo 30 místa.

3.3. Technologie výroby nanočástic

Pro ekonomické hodnocení výroby nanočástic je nezbytné správně popsat a pochopit probíhající procesy během výroby. Důvodem toho je především snaha o přesnou alokaci nákladů. V této podkapitole bude představena klasifikace a popis hlavních metod výroby nanočástic.

3.3.1. Klasifikace metod výroby nanočástic

Technologie výroby nanočástic (nanoprášků případně nanoroztoků) lze klasifikovat dle různých kritérií. Kritériem může být strategie výroby, povaha procesu výroby, zdroje přetvářecí energie, použité médium nebo třeba skupenství finálních nanočástic. Mezi jednotlivými klasifikacemi dochází k různým překryvům v rámci různého členění. Například většina technologií spadající do skupiny bottom-up je označována jako chemické technologie výroby, zatímco do top-down procesu patří hlavně fyzikální metody. V následujícím textu je vždy stručně popsána daná klasifikace, i když pozornější čtenář si může povšimnout, že některé technologie jsou uvedeny vícekrát.

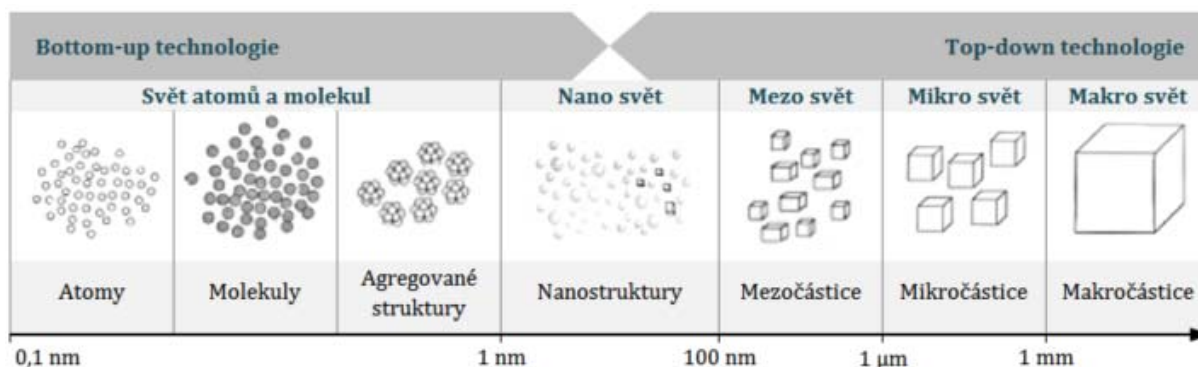
Mluví-li se o klasifikaci dle kritéria strategie výroby, lze rozdělit technologie na „bottom-up“ a „top-down“.

„Bottom-up“ - technologie „zdola nahoru“

Princip „bottom-up“ technologií je založen na vytváření složitějších produktů z jednodušších struktur, jako jsou atomy a molekuly. Příkladem může být plamenná syntéza TiO_2 z plynného TiCl_4 . Takovéto procesy mohou být časově náročné. Nedochozí však ke vzniku odpadního materiálu a z pohledu spotřeby vstupních chemikálií jsou ekonomičtější než „top-down“ technologie. K dalším výhodám patří lepší kontrola velikosti a tvaru částic.

V rámci procesu lze rozpoznat dvě fáze. Je to fáze nukleace čili vytváření jader a následný růst jader. V současné době se pro přípravu nanočástic metodou „bottom-up“ nejvíce využívá chemická nebo

elektrochemická redukce solí kovů a kontrolovaný rozklad metastabilních organometalických sloučenin. Patří sem technologie hydrotermální syntézy, solvotermální syntéza, fluidní procesy, SOL-GEL syntézy, syntézy s mikrovlnným ohřevem, syntézy v mikroemulzích nebo reverzních micelách a sonochemické syntézy. Pro kontrolu růstu částic a k ochraně produktu před agregací se využívají stabilizátory, jako jsou detergenty, donorové ligandy a polymery [182].



Obr. 38: Rozdělení technologií dle kritéria strategie výroby

Zdroj: Vlastní zpracování

„Top-down“ - technologie „shora-dolů“

U „top-down“ technologií se postupuje od složitých makrostruktur k menším částicím a využívá se mechanického²⁵ nebo tepelného²⁶ působení. K nevýhodám patří nemožnost přesné kontroly výsledné velikosti a tvaru částic, větší spotřeba vstupních materiálů, vznik odpadu a narušení vnitřní struktury materiálu. Přestože pomocí „top-down“ technologií lze vyrobit nanočástice s průměrem větším než 10 nm [182], využívají se k výrobě nanočástic jen zřídka. Uplatnění nacházejí především při přípravě prekurzorů [217].

Při klasifikaci technologií výroby nanočástic dle kritéria povaha procesu výroby, lze rozdělit technologie výroby na chemické a fyzikální.

Chemické metody výroby nanočástic

K nejčastěji používaným chemickým metodám výroby nanočástic patří metody založené na bázi redukce solí přechodných kovů. Tyto metody jsou velice jednoduché a při volbě vhodných podmínek umožňují produkci monodisperzní nanočástic požadovaného tvaru a velikosti. Tímto způsobem M. Faraday připravil své koloidní zlato, když redukoval tetrachlorozlatitan citrátem sodným [182].

Další používanou chemickou metodou přípravy nanočástic je postup, při kterém jsou odstraněny ligandy z organokovových sloučenin. Jako příklad lze uvést redukcí vybraných organických sloučenin

²⁵ Patří sem technologie jako je mletí, ořezání a drcení vodním paprskem – mechanické síly způsobují zmenšení objemu

²⁶ Tepelné působení zpříčiňuje cyklické změny objemu a následné popraskání materiálu (vhodné pro materiály s malou teplotní vodivostí)

kobaltu, mědi, niklu, palladia, platiny a zlata. Tímto způsobem lze připravit nanočástice o velikosti několika nanometrů [217].

K produkci nanočástic ve velkém množství a s požadovanou velikostí byla v devadesátých letech vyvinuta elektrochemická metoda, jejíž mechanismus probíhá v prostředí elektrolytu. Na povrchu katody se redukcí iontů kovu, vzniklých rozpouštěním anody, agregují částice, které jsou stabilizované amonnými ionty. Tyto agregáty jsou vysráženy jako výsledné nanočástice. Výhody této metody spočívají především v zamezení tvorby nežádoucích vedlejších produktů, jednoduché izolaci nanočástic z roztoku a možnosti ovlivnění výsledné velikosti nanočástic. Této metody bylo použito při výrobě nanočástic kovů jako je kobalt, nikl, olovo, stříbro, titan, zlato, železo [182].

K výrobě nanočástic chemickou cestou se používají i reakce v omezeném objemu. Jedná se přípravu nanočástic pomocí polymerních micel, které při reakci slouží jako nanoreaktory. Tyto micely mohou mít rozličný tvar, čímž se ovlivňuje výsledný tvar nanočástic. Pomocí této metody se podařilo připravit nanočástice kobaltu, mědi, niklu, olova, palladia, platiny, rhodia, zinku a zlata. Tato metoda lze využít i k přípravě nanočástic oxidů a sulfidů kovů.

Fyzikální metody výroby nanočástic

Fyzikální technologie jsou ve většině případů založeny na využití mechanického či tepelného působení. Prvním příkladem fyzikální metody je fotochemická syntéza nanočástic. Výsledkem lze dosáhnout buď redukcí soli přechodného kovu redukčním činidlem produkovaným radiolyticky, nebo rozkladem organokovového komplexu radiolýzou. V posledních dvaceti letech byly pomocí redukce solí připraveny nanočástice iridia, mědi, olova, platiny, stříbra a zlata. S využitím radiolýzy organokovového komplexu byly vyrobeny částice palladia a platiny velmi malou relativní směrodatnou odchylkou průměru částic.

Při výrobě nanočástic pomocí ultrazvuku jsou dosahovány v látkách velmi vysoké teploty (>5 000 K), tlak (>20 MPa) a rychlost ochlazování (>10⁷ K s⁻¹). Tyto specifické vnější podmínky ovlivňují látky, který tak získávají unikátní vlastnosti. Metoda výroby nanočástic pomocí ultrazvuku byla použita k přípravě nanočástic železa, zlata a dalších.

K ohřívání sloučenin bylo použito mimo ultrazvuku také mikrovlnné záření. Touto metodou lze připravit nanočástice například platiny, stříbra a zlata s malou relativní směrodatnou odchylkou průměru částic.

K fyzikálním metodám patří i metoda hydrotermální syntézy. Ta je založena na využití takzvané superkritické kapaliny, která vytváří prostředí sloužící jako rozpouštědlo. Touto metodou lze připravit nanočástice kobaltu, niklu, železa a oxidů kovů.

Dalšími možnostmi jak členit výrobní technologie nanočástic je zdroj přetvářecí energie. Tímto zdrojem mohou být laser, plazma, plamen, ionty použité k naprašování, elektronový svazek, mikrovlny, hydrotermální energie, vymrazování, vysokoenergetické mletí, vyhořívání, superkritický fluid a další.

Další dvě uvedená členění výrobních nanotechnologií vycházejí ze skupenství látek. První uvedené je skupenství média použitého při výrobě nanočástic. Příkladem je syntéza nanočástic v plynu, v kapalině nebo v pevné fázi. Druhé zmiňované je skupenství finálních nanočástic. Zde lze rozdělit technologie na suché

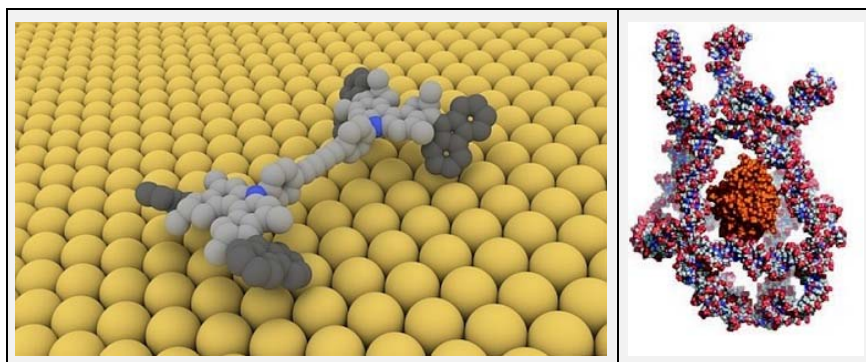
a mokré. Za suché technologie považujeme takové technologie, které mají finální produkt výroby ve formě prášku. Příkladem suchých technologií jsou metody mletí, syntéza spalováním, plamenem, plazmou nebo třeba pyrolýza. Do mokrých metod lze například zařadit hydrotermální syntézu, solvo-termální syntézu a SOL-GEL [231].



Obr. 39: a) Příklad prášku nanočástic zlata, b) Příklad roztoku nanočástic zlata

Zdroj: <http://www.zczy.com>

Do technologií přípravy nanočástic lze zahrnout i technologie manipulující s atomy (mikroskopie atomových sil – AFM) a technologie vytvářející různé druhy nanopovrchů (například metoda Langmuira-Blodgettové) [217]. Popis těchto technologií by byl nad rámec tohoto textu.



Obr. 40: a) Nanoautomobil s rozměry 4x2 nm vytvořený vědci ze společnosti Empa. Je tvořen atomu uhlíku a vodíku a dokáže se pohybovat po atomech mědi, b) Návrh nanorobota schopného transportovat léky

Zdroj: a) <https://www.empa.ch>, b) [77]

Problémy přípravy nanočástic

Největší problémy, se kterými je třeba se při výrobě nanočástic vypořádat, jsou nečistoty a agregace. Vysoká reaktivita nanočástic způsobuje problémy v přípravě čistých nanočástic. Jelikož téměř neexistuje inertní prostředí, dochází k reakci nanočástic s okolím, což vede ke znečištění a znehodnocení nanočástic. Dalším problémem při výrobě nanočástic je jejich spojování do větších agregátů. Tyto agregáty nanočástic jsou stabilnější než samotné nanočástice, ale nevykazují stejné požadované vlastnosti. Tento proces agregace bývá často nevratný a je mu třeba předcházet například přidáváním stabilizátorů [168].

3.3.2. Charakteristika vybraných výrobních metod

V této podkapitole jsou stručně popsány vybrané technologie výroby nanočástic. Výběr byl zaměřen na technologie výroby, které produkují nanočástice a jsou porovnatelné s technologií hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby. Jelikož volba nanočástice ovlivňuje parametry výroby, byla rešerše zaměřena na parametry výroby spojené s produkcí nano TiO₂.

3.3.2.1. Nanočástice TiO₂ jako produkt výrobních nanotechnologií

Nanočástice oxidu titaničitého je možné připravit v různých krystalových strukturách. Je to rutil, anatas a brookit. Přestože existují i jiné polymorfické modifikace (např. jednoklonný TiO₂(B)), nebyly zatím uměle připraveny v čisté formě [168].

Krystalové struktury oxidu titaničitého:

Rutil – jedná se o čtverečný (tetragonální) minerál, v přírodě je to nejčastěji se vyskytující krystalová struktura TiO₂. Pro průmyslové využití má nejširší technické využití. Tato modifikace TiO₂ je stabilnější při vyšších teplotách než anatas brookit.

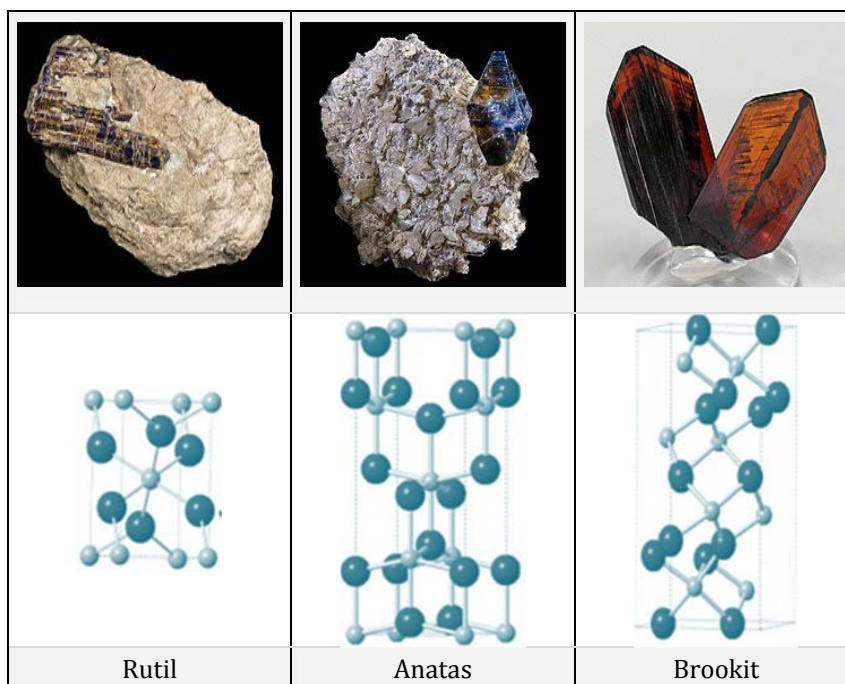
- Fyzikální vlastnosti Tvrдость: 6,0–6,5, křehký
 Hustota: 4,2–4,3 g/cm
 Šířka zakázaného pásu: 3,0 eV (~ 388 nm vlnové délky světla)
- Optické vlastnosti Barva: žlutá, červená, černá
- Chemické vlastnosti Složení: Ti 59,94 %, O 40,06 %

Anatas – Stejně jako u rutilu jde o čtverečný (tetragonální) minerál, který je termodynamicky nestabilní a v přírodě se nevyskytuje tak běžně jako rutil. Anatas je stabilní při nižších teplotách a při vyšších teplotách (~ 1100°C) se přeměňuje na rutil.

- Fyzikální vlastnosti Tvrдость: 5,5–6,0 křehký
 Hustota: 3,9 g/cm³
 Šířka zakázaného pásu: 3,2 eV (~ 413 nm vlnové délky světla)
- Optické vlastnosti Barva: modrá, žlutá, červená, hnědá, černá, bezbarvá
- Chemické vlastnosti: Složení: Ti 59,94 %, O 40,06 %
 Příměsi: Fe, Sn

Brookit – kosočtverečný (ortoromborický) brookit je v přírodě zastoupen pouze vzácně a to především v přeměněných horninách.

- Fyzikální vlastnosti Tvrдость: 5,5–6,0 křehký
 Hustota: 4,1 g/cm
- Optické vlastnosti Barva: žlutohnědá, červenohnědá až černá
- Chemické vlastnosti: Složení: Ti 59,94 %, O 40,06 %
 Příměsi: Fe, Nb, Ta



Obr. 41: Krystalická struktura TiO_2 (forma rutil, anatas, brookit)

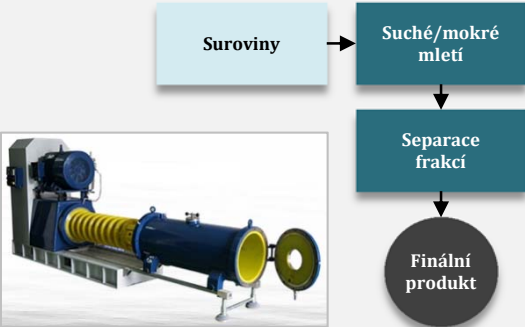
Zdroj: Rutil, Anatas – D. Descouens; Brookit – R. Lavinsky; Krystalická struktura – V. Etacheri

Přesto, že krystalická struktura nanočástic nano TiO_2 má vliv na výrobní proces, v porovnání výrobních technologií se toto kritérium dále neanalyzuje. Většina technologií umožňuje produkovat dvě nejčastěji průmyslově využívané formy (rutil, anatas), ale bližší rozdíly výrobních parametrů jednotlivých technologií potřebných pro ekonomické hodnocení procesu nejsou dostupné. Z tohoto důvodu je dále o produktu uvažováno čistě jako o nano TiO_2 .

Jelikož nanočástice TiO_2 jsou jedny z nejdostupnějších v průmyslových produktech, existuje celkem široká paleta technologií pro výrobu těchto nanočástic. Lze se setkat s vysoce produktivními technologiemi využívanými průmyslově (sulfátový proces, syntéza plamenem), ale i s technologiemi (proces pyrolýzy plamenem), které jsou teprve v pilotní fázi vývoje obdobně jako proces hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby. Ve výčtu, který bude následovat, jsou blíže představeny některé z těchto technologií.

3.3.2.2. Proces mechanického mletí krystalů (Ball-milling process)

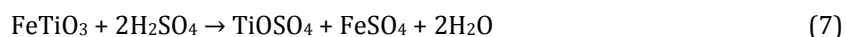
Mezi nejjednodušší používanou metodu výroby nano TiO_2 (rutilu) patří technologie mechanického drcení krystalů. Po rozdrcení dochází k separaci nano TiO_2 a dalších frakcí (písek a zirkon). Tato fyzikální metoda poskytuje jen velmi malou kvalitu nanočástic. Cena tohoto druhořadého pigmentu se na trhu pohybuje okolo 1 dolaru za kilogram [168].

| | | |
|--|------------------------------|---|
| Schéma procesu  | Strategie výroby | Top-down |
| | Povaha procesu výroby | Fyzikální |
| | Produkty | Široce použitelný proces pro suché procesy [217] |
| | Kvalita nanočástic | Špatná, nanočástice s různou velikostí a tvarem [217] |
| | Produktivita | Střední produktivita, jednoduchý proces [217] |
| | Poznámka | Nepoužívá se k prům. výrobě jakostních nanočástic [217], Krystalická struktura TiO ₂ : rutil |

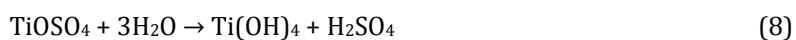
Obr. 42: Schéma a hlavní charakteristiky procesu mechanického mletí nanočástic TiO₂; na obrázku zobrazen válcový mlýn firmy puhler (zdroj: puhler.com)

3.3.2.3. Sulfátový proces (Sulfate process – SP) výroby TiO₂

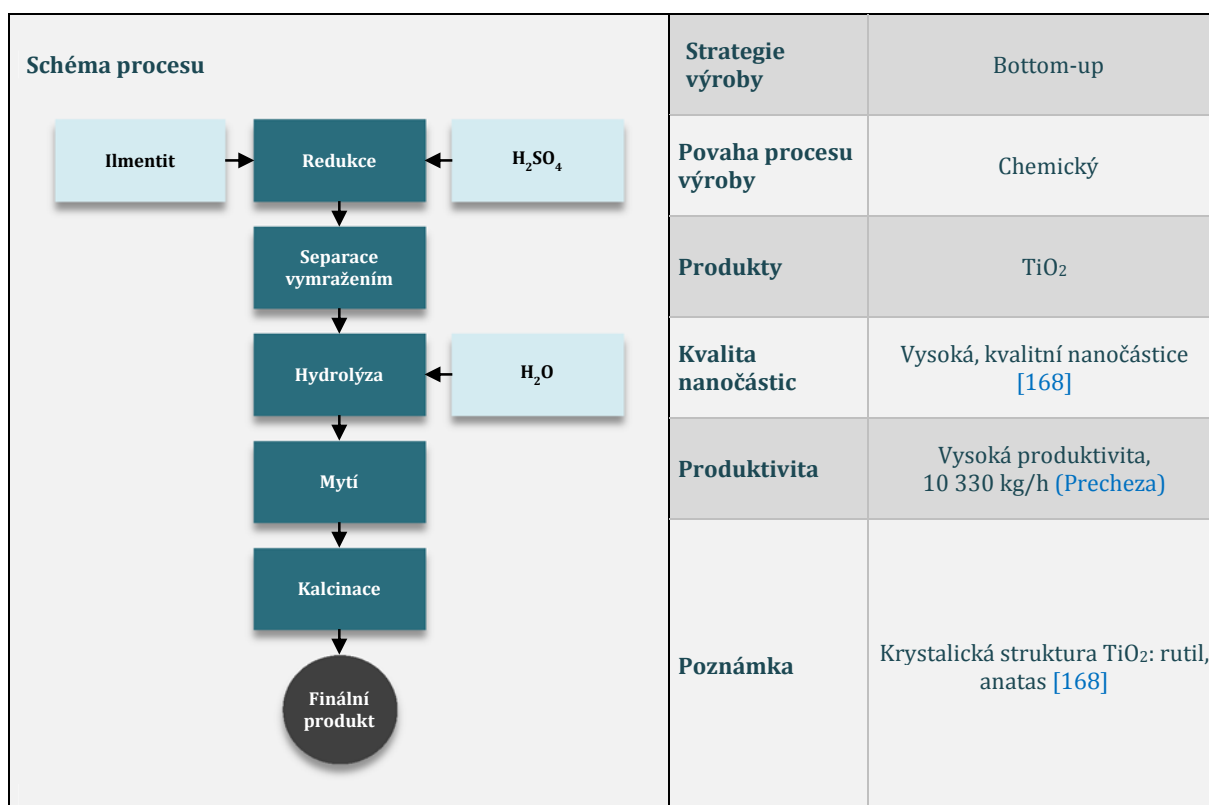
Při síranovém způsobu výroby nano TiO₂ se využívá ilmenit (FeTiO₃) nebo struska vzniklá při výrobě železa obsahující vyšší množství titanu (přes 60 molárních procent). Ilmenit případně struska je rozpouštěna v koncentrované kyselině sírové. Během procesu jsou přidávány železné piliny nebo šrot. Postupně dochází k redukci železitého kationtu na železnatý.



FeSO₄ je odseparován vymražením. Výsledný roztok tvoří obohacený síran titanylu (TiOSO₄) s nízkým procentem nečistot. Během následné hydrolýzy se síran titanylu hydrolyzuje vodou případně probubláváním párou za vzniku hydratovaného oxidu titaničitého a kyseliny sírové.



Po několikanásobném promytí a zbavení zbytku nečistot je hydrát Ti(OH)₄ obohacen o krystalizační zárodky a přísady pro kontrolu fúze a růstu zrn. Výsledná vzniklá pasta putuje do rotačních pecí, kde dochází ke kalcinaci na anatas (při teplotě kalcinace 850°C) nebo rutil (při teplotě kalcinace 950°C). Výsledný produkt se mele a následně se povrchově upravuje, čímž se má zabránit fotokatalýze. Tento proces umožňuje vyrobit TiO₂ pigment s dobrou distribucí částic, kde se cena za kilogram pohybuje okolo 2 dolarů [168].



Obr. 43: Schéma a hlavní charakteristiky sulfátového procesu výroby nanočástic TiO₂

Zdroj: Zpracováno dle [168]

3.3.2.4. Chloridový proces (Chloride process – CHP) výroby TiO₂

Prvním krokem v chloridovém procesu výroby TiO₂ je chlorinace rutilu v redukčním prostředí při teplotě 800 – 1 200 °C za vzniku chloridu titaničitého (TiCl₄).



Chlorid titaničitý je zbaven železa a dalších příměsí opakovanou frakční destilací. Po destilaci následuje oxidace v reaktoru při teplotě 1450°C.



Během oxidace je přidávána přehřátá vodní pára za vzniku čistého TiO₂ se strukturou rutilu. Tento produkt se následně mele a dle zvolené metody mletí lze dosáhnout kvalitních disperzí s velice dobrou distribucí částic. Cena za kilogram se pohybuje okolo 2 dolarů [168].

| | | |
|---------------------------|------------------------------|--|
| Schéma procesu | Strategie výroby | Bottom-up |
| | Povaha procesu výroby | Chemický |
| | Produkty | TiO ₂ |
| | Kvalita nanočástic | Vysoká, kvalitní nanočástice [168] |
| | Produktivita | Vysoká produktivita [168] |
| | Poznámka | Krystalická struktura TiO ₂ : rutil [168] |

Obr. 44: Schéma a hlavní charakteristiky chloridového procesu výroby nanočástic TiO₂

Zdroj: Zpracováno dle [168]

3.3.2.5. Syntéza plamenem (Flame synthesis - FS)

Syntéza plamenem je vysoce produktivní technologie výroby nanočástic. Její princip je obdobou fungování

| | | |
|---------------------------|------------------------------|--|
| Schéma procesu | Strategie výroby | Bottom-up |
| | Povaha procesu výroby | Fyzilální |
| | Produkty | Jednoduché oxidy (TiO ₂ , ZrO ₂ , ZnO, SiO ₂ , Fe ₂ O ₃) |
| | Kvalita nanočástic | Obecně dobrá, dle podmínek, velikost od 21 nm (Degussa P25) |
| | Produktivita | Velmi vysoká produktivita, 25 000 kg/h [196] |
| | Poznámka | Krystalická struktura TiO ₂ : rutil, anatas, Průmyslový produkt: Aeroxide TiO ₂ P25 (Degussa P25) vyráběný německou firmou Evonik Degussa GmbH, levné prekurzory |

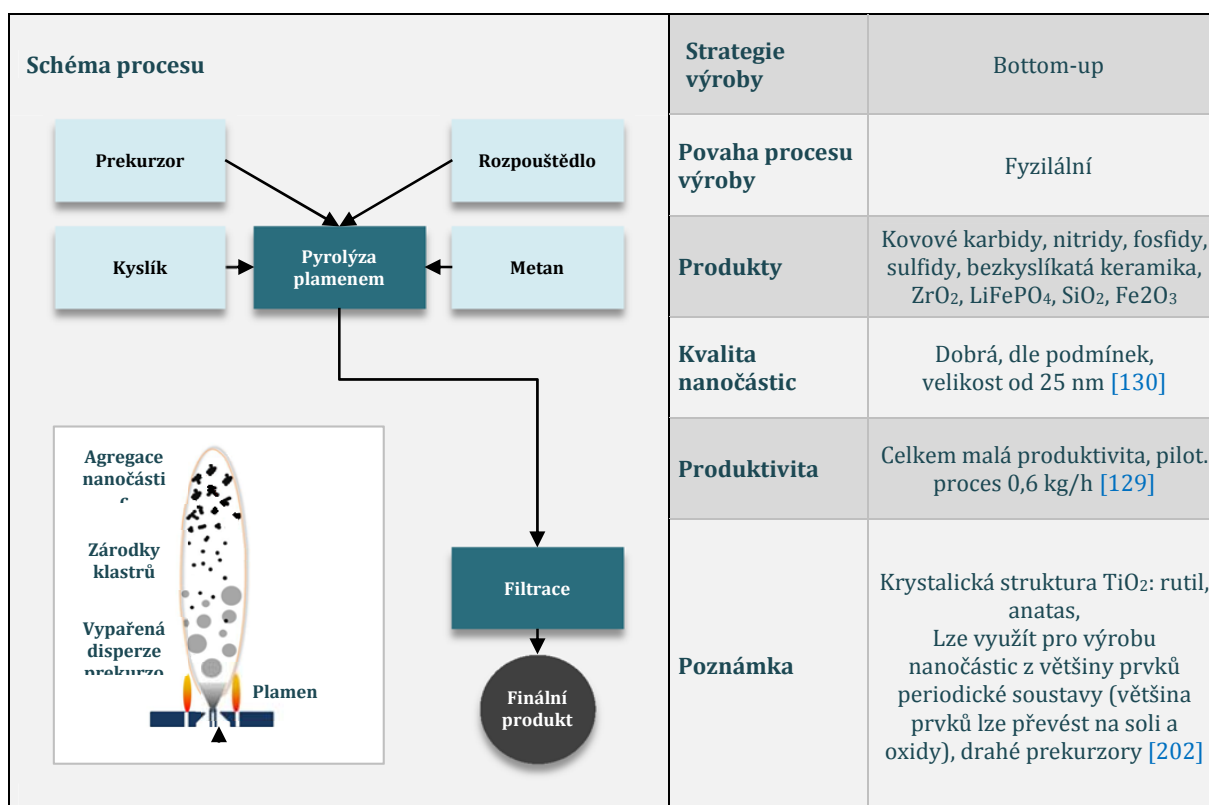
Obr. 45: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO₂ syntézou plamenem

Zdroj: Zpracováno dle [221]

klasické syntézy plamene tzv. chloridový proces oxidů (Ti, Si). Proces spočívá v odpařování chloridů kovů při vysoké teplotě (okolo 2 500 °C).

3.3.2.6. Pyrolýza plamenem (Flame spray pyrolysis – FSP)

Při výrobě nanomateriálů pomocí metody pyrolýzy plamenem je prekurzor v kapalně formě spalován plamenem o vysoké teplotě (2 300 až 2600 °C). Prekurzory jsou spalovány obvykle v organickém rozpouštědle. Kapalina se nastříká a zapálí, což vede k produkci nanočástic. Pomocí této technologie lze vyrobit nanočástice s velmi homogenní velikostí. Výsledná velikost je ovlivněna poměrem prekurzor-rozpouštědlo.

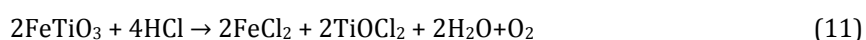


Obr. 46: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO₂ pyrolýzou plamenem

Zdroj: Zpracováno dle <http://www.nffa.eu>

3.3.2.7. Altair hydrochloridový proces (Altair hydrochloride process - AHP)

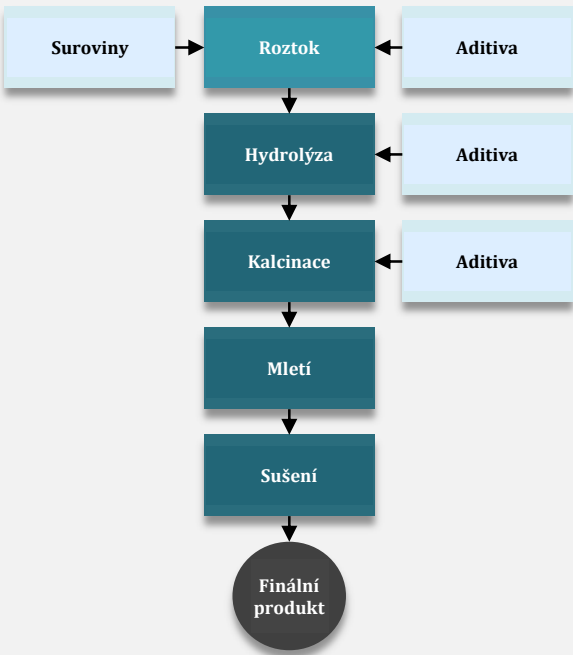
Tento proces se podobá výrobě TiO₂ pomocí sulfátového procesu. Na rozdíl od sulfátového procesu je zde ilmenit (FeTiO₃) rozpuštěn v kyselině chlorovodíkové (HCl) namísto kyseliny sírové (H₂SO₄). V kyselině se odstraňují nečistoty, jako jsou křemičitany (Na₂SiO₃, K₂SiO₃), chromitany (FeCr₂O₄) a radioaktivní prvky (NORMs) přirozeně se vyskytující v ilmenitu.



Do roztoku je postupně přidáno malé množství práškového železa. Roztok je ochlazen na 4 °C a filtrací je z něj odseparován chlorid železnatý (FeCl₂). Výsledný roztok je hydrolyzován za vzniku hydratovaného oxidu titaničitého a kyseliny chlorovodíkové.



Oxid titaničitý je v poslední fázi kalcinován při teplotě 400 až 500 °C a mletý na produkt. Kyselina chlorovodíková je recyklována a znovu se využívá.

| Schéma procesu | Strategie výroby | Bottom-up |
|--|-----------------------|---|
|  | Povaha procesu výroby | Chemický |
| | Produkty | TiO ₂ , ZrO ₂ , Al ₂ O ₃ |
| | Kvalita nanočástic | Dobrá, velikost od 40 nm [55] |
| | Produktivita | Při velkovýrobě až cca 1 000 kg/h [214], vysoká produktivity procesu |
| | Poznámka | Krystalická struktura TiO ₂ : rutil, anatas, malá variabilita produktů, levné prekurzory [214] |

Obr. 47: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO₂ altair hydrochloridovou metodou

Zdroj: Zpracováno dle [214]

3.3.2.8. SOL-GEL proces (SOL-GEL process - SGP)

SOL-GEL proces je využíván k přípravě především anorganických oxidických materiálů nebo organicko-anorganických kompozitních materiálů. Tato metoda je založena na přípravě koloidní suspenze označované jako sol. Syntézu zahajuje srážecí fáze částic pevné látky ve formě koloidního solu vodného nebo nevodného roztoku prekurzoru. Sol se transformuje na gel, který se suší. Dle způsobu sušení lze připravit tzv. xerogel (konvenční vysoušení), nebo aerogel (superkritické sušení).

- **SOL**– koloidní suspenze, jejíž molekuly jsou rovnoměrně dispergovány v celém objemu roztoku a neovlivňuje je gravitační síla. Působí mezi nimi pouze slabé nevazebné interakce jako např. Van der Waalsovy síly.

- **GEL** - je tvořen polymerní sítí složenou z většího počtu monomerů vázaných kovalentní chemickou vazbou či silnými nevazebnými interakcemi.

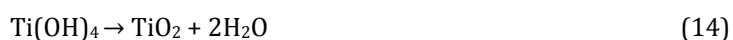
Výsledné produkty mohou mít rozličné vlastnosti a formy. Lze vyrobit monolitickou keramiku, skla, anorganické membrány, tenké filmy, aerogely či jemné prášky. Mezi výhody SOL-GEL metody patří jednoduchost procesu, nízká reakční teplota, dobrá kontrola velikosti a tvaru částic. Nevýhodou je vysoká cena některých prekurzorů a jejich citlivost na vodu a kyslík.

Příprava nanočástic TiO₂ pomocí SOL-GEL procesu:

První fáze přípravy TiO₂ je hydrolyza prekurzorů ve vodném (může být i v alkoholovém) roztoku.



Následuje fáze kondenzace roztoku v gel, kdy je odstraněno rozpouštědlo:



| Schéma procesu | Strategie výroby | Bottom-up |
|---|-----------------------|---|
| <pre> graph TD A[Prekurzor] --> C[Hydrolyza] B[Rozpouštědlo] --> C D[H2O] --> C C --> E[Kondenzace] E --> F[Sušení] F --> G[Kalcinace] G --> H((Finální produkt)) </pre> | Povaha procesu výroby | Chemický |
| | Produkty | TiO ₂ , ZrO ₂ , ZnO, LiFePO ₄ ... |
| | Kvalita nanočástic | Velmi dobrá, velikost od 12 nm [10] |
| | Produktivita | Dávková výroby s cyklem trvajícím okolo 16 h [10], malá produktivita |
| | Poznámka | Ekonomika procesu je významně ovlivněna cenou použitých prekurzorů, velká variabilita produktu [10] |

Obr. 48: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO₂ metodou SOL-GEL

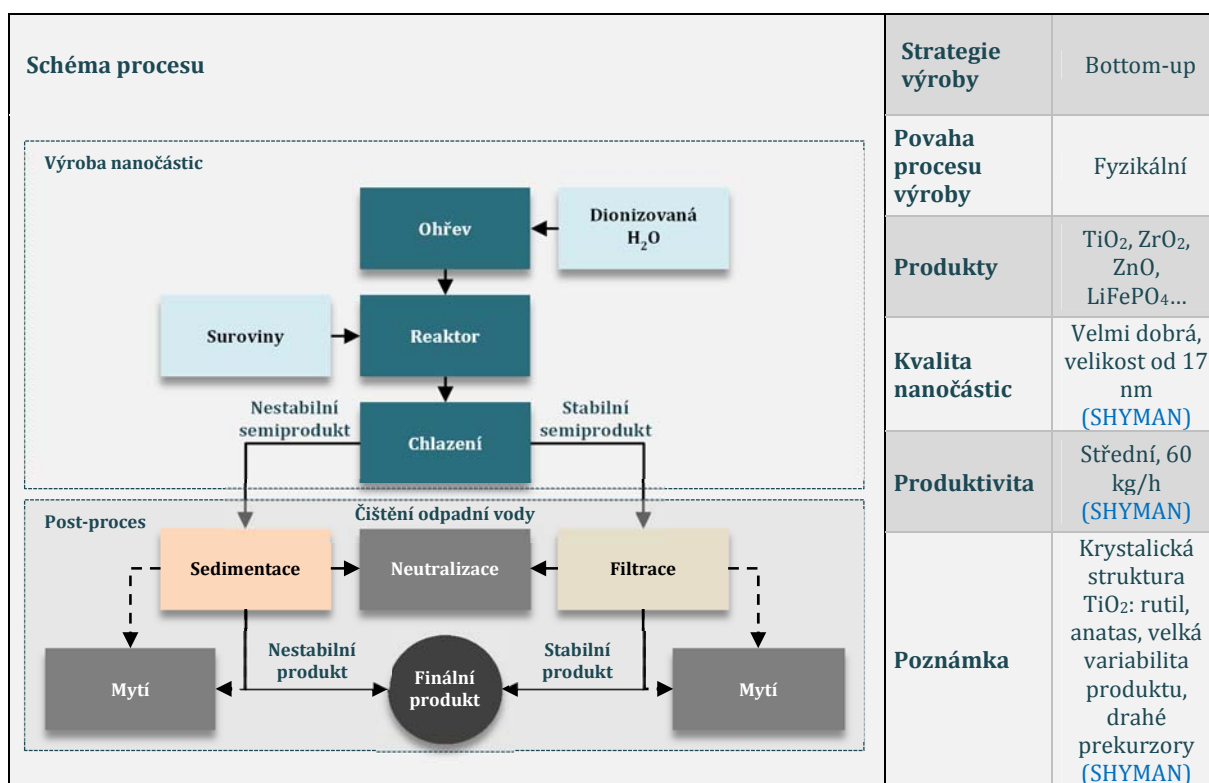
Zdroj: Zpracováno dle [56]

3.3.2.9. Hydrotermální syntéza (Hydrothermal synthesis - HS)

Hydrotermální syntéza je fyzikální proces výroby nanočástic, při kterém dochází ke krystalizaci pevných látek ve vodném roztoku. Proces výroby probíhá v reaktoru, kde se setkává horký proud takzvané

²⁷ Alkyl je uhlovodíkový zbytek obsahující pouze atomy uhlíku a vodíku, jedná se o jednovazebný radikál.

superkritické vody se studeným roztokem prekurzorů a dionizované vody. To vše probíhá za vysoké teploty okolo 250 až 400 °C [101] a vysokého tlaku okolo 10 až 300 MPa [56]. Výstupní roztok nanočástic má nízkou koncentraci nanočástic (okolo 2 hmotnostních procent) a dále se zpracovává s cílem zvýšit výslednou koncentraci (více než 8 hmotnostních procent). Při výrobě nanočástic pomocí hydrotermální syntézy se lze setkat s dvěma druhy semiproductů vzniklých ve fázi výroby. Jednak vodný roztok nanočástic může být stabilní, to znamená, nedochází k usazování nanočástic, nebo nestabilní a nanočástice se začnou po čase usazovat na dno sedimentační nádoby. Pro jednotlivé druhy roztoků nanočástic se využívají různé způsoby zvýšení koncentrace. Stabilní roztoky nanočástic se filtrují pomocí polymerních filtrů, kdy jsou nanočástice zachytávány v pórech filtru a voda prochází dále. Tímto způsobem je možné dosáhnout koncentrace roztoku více jak 10 hmotnostních procent. U nestabilních disperzí je využito přirozených vlastností částic a ty se nechají usazovat v sedimentačních nádobách. V dolní části sedimentačních nádob dochází ke zvyšování koncentrace produkt a v horní části nádrže zůstává odpadní voda. Odpadní voda jak z procesu filtrace, tak z procesu sedimentace je neutralizována dle předpisů čistíčky odpadních vod. V rámci projektu SHYMAN byla technologie hydrotermální syntézy navržena tak, aby mohla fungovat jako kontinuální výrobní proces.



Obr. 49: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO₂ metodou hydrotermální syntézy

Zdroj: Zpracováno dle [243]

3.3.3. Technologie výroby nanočástic - shrnutí

Jak je patrné z výše uvedeného textu, existuje celá řada technologií produkující nanočástice. Tyto technologie lze klasifikovat podle nejrůznějších kritérií, kdy nejrozšířenějším způsobem je klasifikace dle strategie výroby. Dle tohoto kritéria členění lze technologie rozdělit na „bottom-up“ a „top-down“ technologie. Oba dva druhy jsou zastoupeny ve výčtu technologií produkujících nanočástice TiO₂, na které se zaměřovala výše popsaná rešerše.

Na základě této rešerše byla upravena komparativní tabulka výrobních technologií z článku „Comparative study of nanoparticles production technologies“ [200], ze které byly vybrány pouze ekonomické charakteristiky výroby a tabulka byla doplněna o informace o procesu mechanického mletí, sulfátového a chloridového procesu. Výsledná tabulka představuje jednoduchý nástroj pro základní kvalitativní komparaci vybraných výrobních metod.

Tab. 5: Kvalitativní porovnání vybraných parametrů výroby nanočástic, MM – mechanické mletí, SP – sulfátový proces, CHP – chloridový proces, FS – syntéza plamenem, FSP – pyrolýza plamenem, AHP – altair hydrochloridový proces, SOL-GEL – SOL-GEL proces, HTS – hydrotermální syntéza

Zdroj: Zpracováno dle [200]

| Technologie | Produktivita | Kvalita | Variabilita produktu | Náklady na vstupy | Cena zařízení | Spotřeba energie |
|-------------|--------------|---------|----------------------|-------------------|---------------|------------------|
| MM | Střední | Špatná | Střední | Nízké | Nízká | N/A |
| SP | Vysoká | Dobrá | Malá | N/A | Vysoká | Malá |
| CHP | Vysoká | Dobrá | Malá | N/A | Vysoká | N/A |
| FS | Vysoká | Dobrá | Malá | Nízké | Vysoká | Malá |
| FSP | Střední | Dobrá | Velká | Vysoké | Vysoká | Malá |
| AHP | Vysoká | Dobrá | Malá | Nízké | Střední | Malá |
| SOL-GEL | Nízká | Dobrá | Velká | Různé | Nízká | N/A |
| HTS | Střední | Dobrá | Velká | Vysoké | Střední | Malá |

Vytvoření kompletního ekonomického vyhodnocení jednotlivých metod naráží na omezenou dostupnost dat. Nedostatek dat vhodných pro číselnou komparaci metod je způsoben především třemi důvody. Prvním důvodem je, že většina dostupných článků se věnuje popisu laboratorních nebo pilotních projektů, které nesnesou srovnání s vysoce produktivní pro komerční účely vytvořenou metodou a to jak z pohledu produktivity a vstupních parametrů, tak i volby prekurzorů, které mohou značně ovlivňovat ekonomiku projektu. Druhý důvod úzce souvisí s prvním. Přejde-li již projekt z laboratorní nebo pilotní fáze do komerční, stávají se informace o parametrech procesu obchodním tajemstvím. Třetím důvodem je volba nanočástic. Je třeba si uvědomit, že produkt, kterým je konkrétní nanočástice ovlivňuje nastavení parametrů výroby. Parametry výroby nanočástic TiO₂ se mohou významně lišit od parametrů použitých k výrobě nanočástic ZnO.

Z výše uvedeného výčtu výrobních technologií byl udělán užší výběr dle dostupnosti číselných parametrů výroby, které jsou uvedeny v tabulce 6 a na základě nichž lze porovnat některé z výrobních parametrů.

Tab. 6: Technologie vybrané pro komparaci - číselné hodnoty, SP – sulfátový proces, FS – syntéza plamenem, AHP - altair hydrochloridový proces, SOL-GEL – SOL-GEL proces, HTS – hydrotermální

| Položka | SP | FS | AHP | SOL-GEL | HTS |
|-------------|-----------------------------|--|----------------------------|--|-----------------------|
| Nanočástice | TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ | TiO ₂ |
| Prekursor | TiOSO ₄ [168] | SiCl ₄ ; TiCl ₄ [154] | TiCl ₄ [214] | C ₁₂ H ₂₈ O ₄ Ti [160] | TiOS [SHYMAN] |
| Velikost NČ | 220 nm [168] | 21 nm [Degussa P25] | 40 nm [55] | 12 nm [10] | 17 nm [SHYMAN] |
| Investice | - | - | - | - | 888 563 € [SHYMAN] |
| Cena | 1,8 €/kg [168] | 30,0 €/kg [Degussa P25] | - | - | 40,0 €/kg [SHYMAN] |
| Produkce | 10 333 kg/h [168] | 25 000 kg/h [196] | 210 kg/h [55] | 7 kg/h* [103] | 60 kg/h [SHYMAN] |
| Typ výroby | Průmyslová | Průmyslová | Pilotní | Laboratorní | Pilotní |
| Energie | 89 MJ/kg [168] | 19 MJ/kg [154] | 110 MJ/kg [55] | 1 000 MJ/kg [160] | 272 MJ/kg [SHYMAN] |

* premise výpočtu: dávkový cyklus SOL-GEL procesu trvá 30 h [103], dávková produkce 1 kg nanočástic

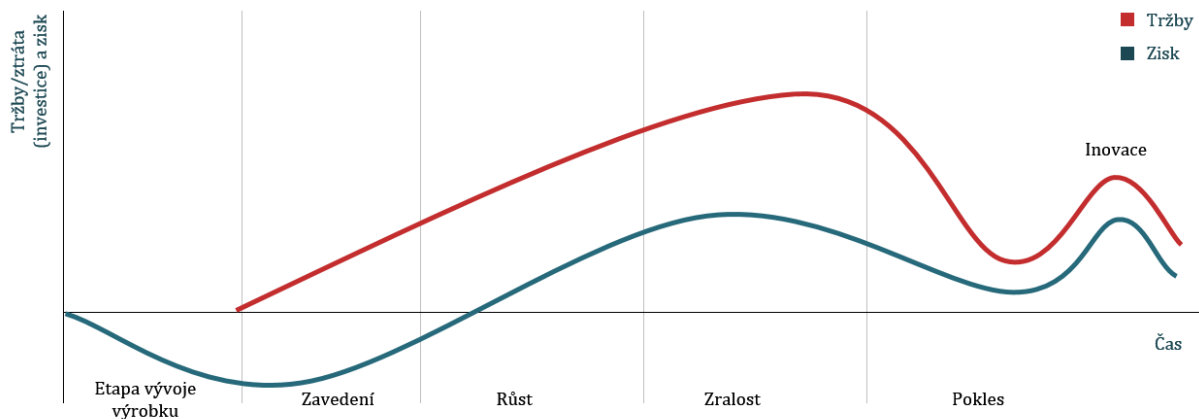
Z tabulky lze vyčíst, že středně velká produktivita technologie hydrotermální syntézy nemůže konkurovat vysoce produktivním technologiím, jako jsou sulfátový proces a syntéza plamenem. Nabízí však širší portfolio nanočástic s vysokou kvalitou²⁸, které lze na daném zařízení vyrobit. V kombinaci s nižšími náklady na pořízení výrobního zařízení lze očekávat, že dané zařízení bude schopné investorům nabídnout pro vybrané aplikace vyšší přidanou hodnotu oproti alternativním technologiím. Na tabulku 6 navazuje analýza provedená v kapitole 5, kde jsou klasifikovány hlavní nákladové položky pro vybrané čtyři výrobní procesy založené na technologiích SP, SOL-GEL a HTS.

²⁸ Kvalita nanočástic produkovaná technologií hydrotermální syntézy je vysoká jak v parametru střední velikosti nanočástic, velikosti povrchu, tak v čistotě fáze.

4. Metody modelování nákladů životního cyklu

4.1. Pojem životního cyklu a jeho hodnocení

Termín životní cyklus (life cycle) je v manažerské praxi spojený se dvěma významnými oblastmi. První oblast se zaměřuje na dlouhodobé sledování vývoje tržeb generovaných prodejem výrobku během životního cyklu [86]. Spadá do sféry zájmu marketingu a v současné době téměř tvoří samostatné odvětví tzv. product lifecycle management.



Obr. 50: Životní cyklus výrobku

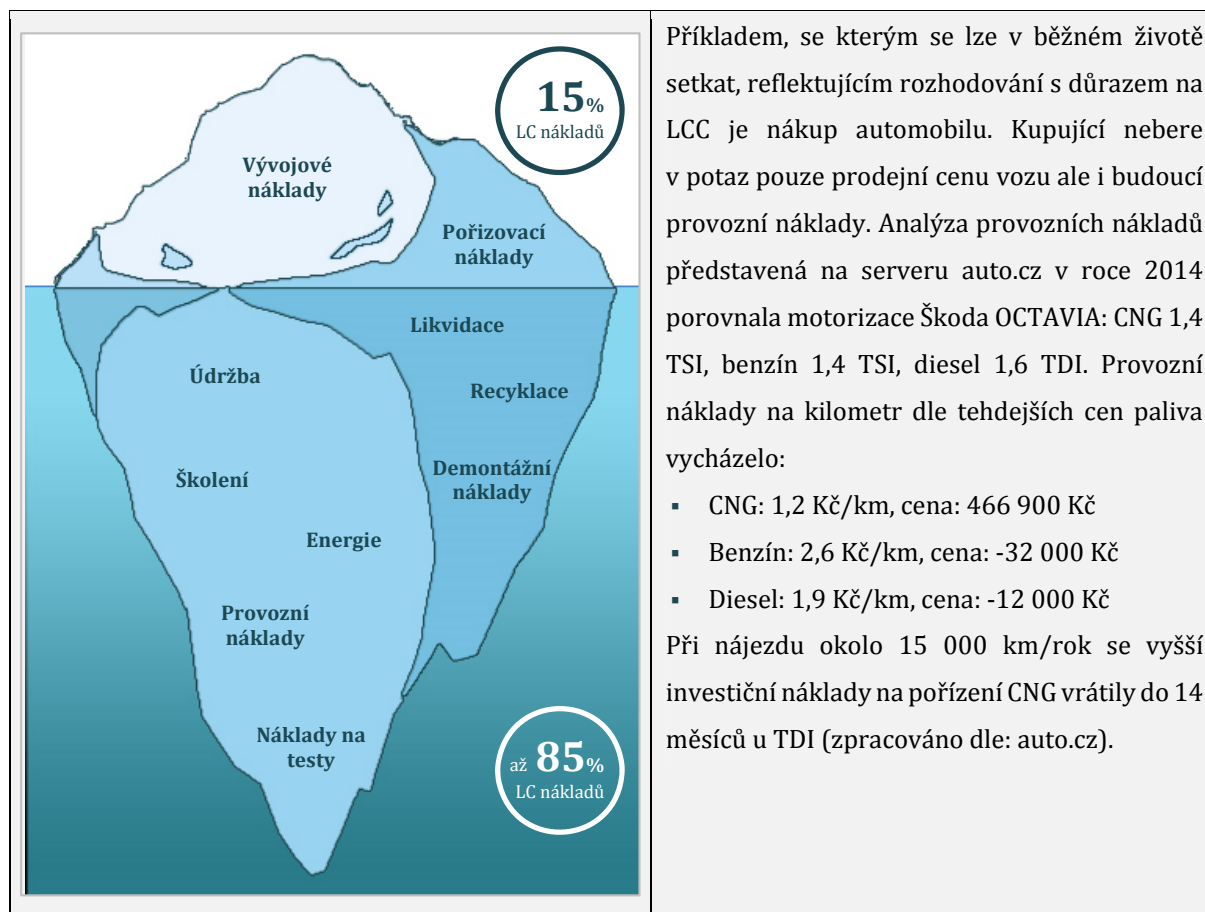
Zdroj: Zpracováno dle [86]

Druhá oblast je spojena především s komplexním posuzováním velkých systémů (projektů, produktů) a to jak z ekonomického, tak ekologického hlediska. V kontextu významu této oblasti mluvíme o systému označovaném jako management životního cyklu (Life cycle management – LCM). Do portfolia nástrojů managementu životního cyklu lze zahrnout metody:

- **Inženýrství životního cyklu (Life Cycle Engineering – LCE):** přístup k posouzení ekonomickými a environmentálními dopady zohledňující technické podmínky,
- **Posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment – LCA):** metoda posuzování environmentálních aspektů projektu, produktu za životní cyklus,
 - **Inventarizační analýza (Life Cycle Inventory – LCI):** identifikace a kvantifikace vstupů systému (druhá fáze LCA),
 - **Hodnocení dopadů životního cyklu (Life Cycle Impact Assessment – LCIA):** vyhodnocení environmentálních dopadů (třetí fáze LCA),
- **Kalkulace nákladů životního cyklu (Life Cycle Costing – LCC):** komplexní hodnocení nákladů za životní cyklus projektu, produktu,
- **Kalkulace celého životního cyklu (Whole Life Cycle – WLC):** kalkulační nákladů životního cyklu rozšířená o parametry výnosů a externích nevýrobních faktorů.

Disertační práce se zaměřuje na metody kalkulační nákladů životního cyklu a kalkulační celého životního cyklu. Ostatní nástroje managementu životního cyklu nejsou brány v potaz.

Hodnocení projektů či produktů²⁹ dle přístupu managementu životního cyklu (LCM) umožňuje maximalizovat hodnotu produktu za dobu životního cyklu při dodržení očekávaných nákladů a přijatelné míry zatížení životního prostředí. Využití těchto metod nachází uplatnění především u projektů s vyššími investičními náklady. Obecně platí, čím vyšší investiční náklady jsou na projekt, tím důležitější je hodnotit projekt z dlouhodobého hlediska [15].



Obr. 51: Schématické znázornění celkových vlastnických nákladů na projekt (LCC ledovec)

Zdroj: Zpracováno dle [216]

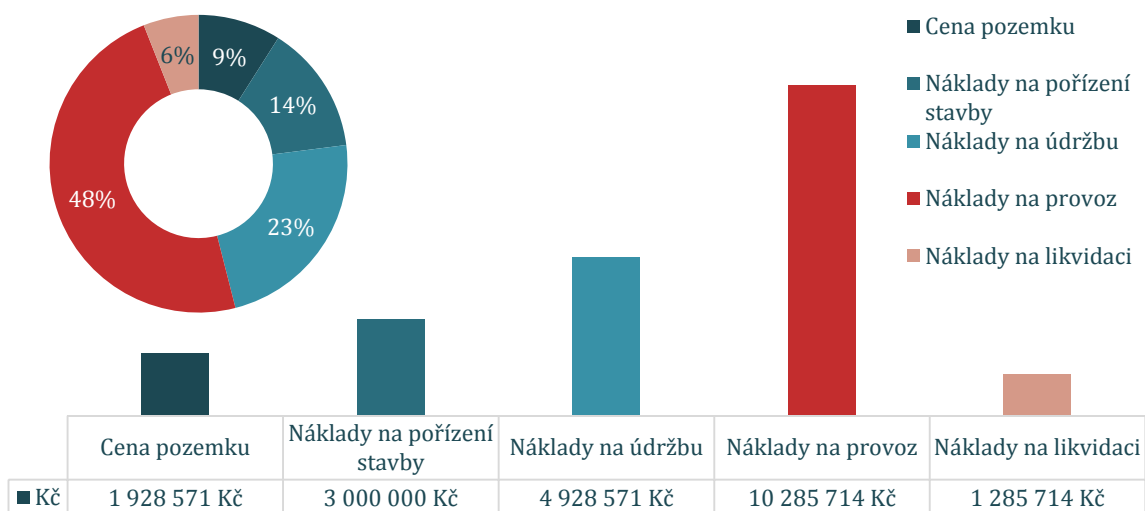
4.1.1. Kalkulace nákladů životního cyklu (LCC) a kalkulace celkových nákladů života (WLC)

Pokud investor uvažuje o realizaci investičního projektu, je možné o investici rozhodovat na základě dvou přístupů. Jeden přístup jako kritérium rozhodování bere pouze cenu, tzn. čistě pořizovací náklady (vývojové a výrobní náklady). Druhý přístup zohledňuje i jiné parametry jako jsou náklady na provoz a údržbu produktu a náklady na jeho likvidaci. Ukazuje se, že cena produktu nehraje vždy tak významnou roli, jak se na první pohled může zdát, viz obrázek 52. Pokud by se investor rozhodl pouze podle ceny, je možné, že levnější produkt bude mít vyšší náklady na údržbu a likvidaci než produkt s vyšší pořizovací cenou a celkové náklady na produkt budou vyšší (viz příklad u obr. 54)[216].

Tento důvod stál za rozvojem přístupu komplexního hodnocení nákladů na projekt na základě nákladů životního cyklu. Kalkulace LCC tedy není pouze ex-post kalkulační metoda, ale jedná se o nástroj určený

²⁹ Další text bude zaměřen pouze na popis projektů, veškerá vyjádření však platí i pro produkty.

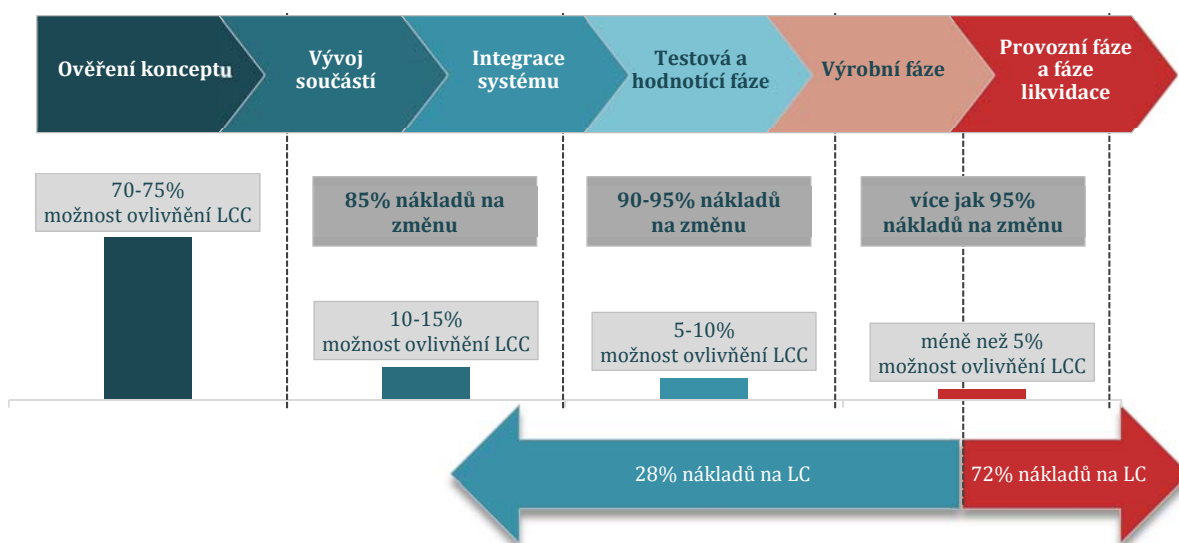
k investičnímu rozhodování, který by měl být využíván především ve vývojové fázi produktu. Nezohlednění fáze užití a likvidace produktu během fáze vývoje může vést k návrhu, který bude vysoce nákladný jak z pohledu nákladů na provoz a údržbu, tak z pohledu likvidace produktu [90].



Obr. 52: Struktura nákladů v rámci životního cyklu stavebních objektů

Zdroj: Zpracováno dle [90]

Jak již bylo výše zmíněno, LCC je nástroj užitečný především ve vývojové fázi projektu. Je to etapa vytváření konceptu projektu, ve které je možné nejvíce ovlivnit náklady na životní cyklus s vynaložením nejnižších nákladů na změnu. V této fázi lze ovlivnit až 75 % nákladů na životní cyklus a to bez dalších nákladů potřebných na změnové rozhodnutí. Možnosti změnit náklady životního cyklu každé další fáze se snižují a znamenají nárůst změnových nákladů [6]. Na obrázku 56 jsou uvedeny i ostatní etapy životního cyklu s procentuálním vyjádřením nákladů na změnové rozhodnutí. Od výrobní fáze jsou možnosti na změnu nákladů životního cyklu značně omezeny. Úpravy provedené během výrobní etapy mohou ovlivnit méně než 5 % nákladů na životní cyklus a většinou generují významné náklady na provedení samotné změny.



Obr. 53: Vliv fáze životního cyklu na možnost ovlivnění nákladů životního cyklu

Zdroj: Zpracováno dle [6]

Co je předmětem a pro koho je určena kalkulace LCC a WLC

Kalkulaci nákladů životního cyklu lze využít k hodnocení širokého spektra předmětů. Mohou to být stavby, výrobní zařízení, celé technologické celky či finální produkty (např. kolejová vozidla, vojenská technika...). Obecně lze říci, že předmět, pro který má smysl sestavovat kalkulaci nákladů životního cyklu, by měl splňovat tyto základní podmínky [201]:

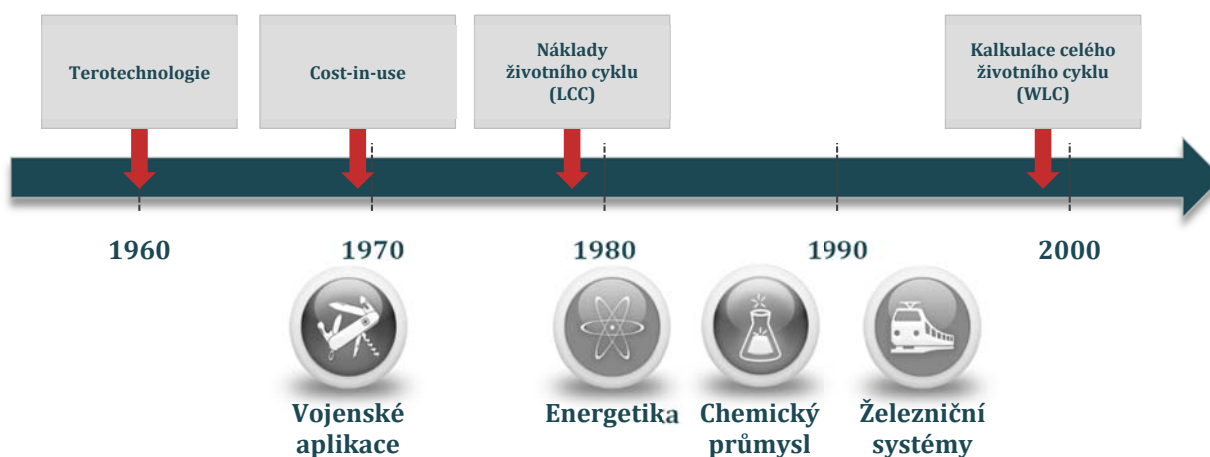
- Investiční významnost,
- Životnost delší než jeden rok,
- Náklady na provoz a údržbu jsou nezanedbatelné vůči investičním nákladům.

Na náklady životního cyklu se lze dívat ze dvou pohledů. Je to pohled výrobce a pohled investora či zákazníka. Každý z uvedených aktérů mající roli v rámci životního cyklu nese jinou část nákladů a sleduje jiné motivy pro optimalizaci nákladů na životní cyklus. Výrobce vynakládá náklady na vývojovou a výrobní fázi. Je tedy motivován k minimalizaci především nákladů vznikajících během této části životního cyklu. Optimalizace zbylých dvou fází je pro něj spojena hlavně se zvýšením konkurenceschopnosti jeho produktu. Na trhu blízkému se teoretickému modelu dokonalé konkurence není místo pro firemní strategii nabízející výrobky s vysokými náklady na životní cyklus³⁰. Hrazení nákladů na zbylé dvě fáze životního cyklu přebírá investor. Ten již mnoho nákladů spojených s užíváním produktu ovlivnit nemůže [6] a proto provozní náklady mohou být kritériem rozhodujícím o pořízení daného produktu.

Vývoj kalkulace nákladů životního cyklu LCC

Od šedesátých let 20. století začíná v investičních kruzích převládat představa, že je nedostatečné hodnotit investiční projekty pouze na základě výše vývojových a pořizovacích nákladů [15]. Tento myšlenkový přístup se rozvíjí především v armádním prostředí, kde začínají být upřednostňovány projekty s vyšším kapitálovým výdajem, od kterých se očekává úspora na provozních a údržbových nákladech [80]. Tento přerod v uvažování investorů lze považovat za úplný počátek úvah o nákladech životního cyklu. Z úvah tohoto směru se vyvinul myšlenkový směr nazývaný jako terotechnologie (obr. 57).

³⁰ Příkladem jsou vysoké náklady na údržbu – výrobce může být například motivován výnosy z prodeje náhradních dílů.



Obr. 54: Vývojové fáze kalkulace nákladů životního cyklu

Zdroj: Zpracováno dle [15] a [80]

Terotechnologie

Prvním systémovým přístupem ke komplexnímu hodnocení jak investičních, tak provozních nákladů byl směr nazývaný terotechnologie. Jedná se o multidisciplinární přístup k dosažení maximálního hospodářského prospěchu z hmotných aktiv. Vyvíjel se ve Velké Británii od šedesátých let dvacátého století, ale hlavní rozvoj přišel v letech sedmdesátých [15]. Přístup terotechnologie vyžaduje systematické uplatňování odborných znalostí managementu k posouzení nákladů vznikajících během životního cyklu. Základní myšlenkou je, že nejlepším řešením není výběr nejlevnější varianty, nýbrž varianta s vyšší úsporou budoucích nákladů. Terotechnologie se v praxi příliš nerozšířila. Hlavním důvodem, který omezil využití tohoto přístupu, byl nedostatečně propracovaný systém sběru a vyhodnocení dat [60].

Kalkulace cost-in-use

Další myšlenková škola, která se snažila rozšířit hodnocení investic o alokaci nákladů spojených s etapou užívání, se v literatuře začala objevovat v průběhu sedmdesátých let 20. století. Byla označována jako cost-in-use. Základem této metodologie byla myšlenka, že náklady na užívání aktiv zahrnují i náklady spojené s jejich provozováním. Cost-in-use našli uplatnění především ve stavebnictví. Širší využití opět naráželo na nedostupnost technik pro odhad budoucích nákladů [60].

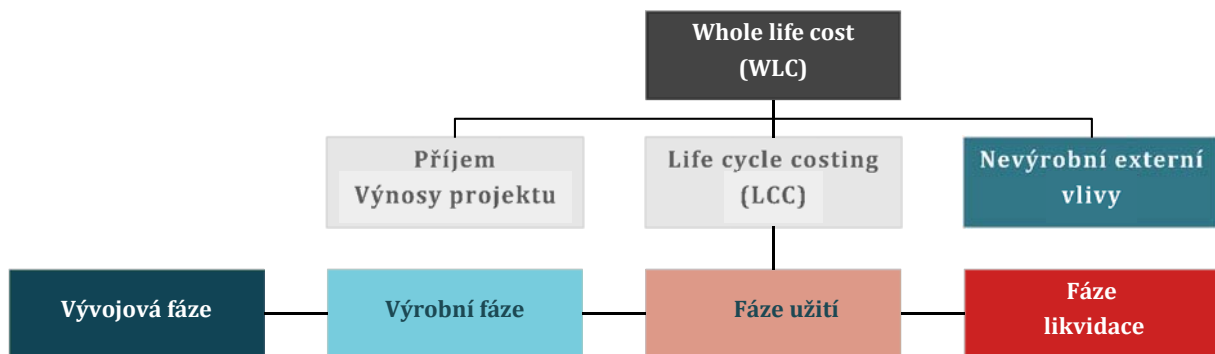
Náklady životního cyklu LCC

V roce 1971 navrhla a začala používat britská instituce Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) metodu sběru dat zaměřující se na mapování provozních nákladů. Tato metodika se nazývala „Building maintenance cost information service“ (BMCIS). Cílem této snahy bylo vytvořit jednoduchý klasifikační systém, jenž by splňoval nároky běžných uživatelů. Slabinou však byla absence doporučeného postupu využívání tohoto klasifikačního systému. V roce 1977 publikovalo britské ministerstvo průmyslu (UK Department of Industry) materiál pod názvem „Life-cycle costing in the management of assets“, ve které byla obsažena první definice nákladů životního cyklu. Od konce sedmdesátých let se začínají objevovat návrhy na různé modely a techniky LCC [15].

V roce 1983 vytvořili výzkumníci Roger Flanagan a George Norman rámec pro sběr nákladových dat. Od roku 1992 se koncept nákladů životního cyklu stává obecně platnou metodikou a je přijímána jako standard. Ve Velké Británii je vydána první norma LCC označená jako BS 3843. Tato norma byla revidována v roce 2000 a začleněna do ISO norem pod označením ISO 15686 část 1 Service Life Planning [15].

Kalkulace celkových nákladů života WLCC

Na konci devadesátých let minulého století se v odborných kruzích začíná hovořit o konceptu nákladů na celý životní cyklus označovaném jako „whole life cost“ (WLC) nebo „whole life cycle costing“ (WLCC). Oba termíny jsou zaměnitelné a jejich použití se liší především dle autorů. S pojmem WLCC se lze například setkat u Kirkhama [82], kdežto pojem WLC je používá Bousabaine [15]. Definice WLC je, „Kalkulace celkových nákladů životního cyklu (WLC) je dynamický a průběžný proces, který umožňuje stochastické hodnocení technického stavu stavebních objektů od proveditelnosti po likvidaci [15]. Přestože, jak uvádí Heralová [60], někteří autoři považují LCC a WLC za synonymum, lze nalézt vymezení pojmu WLC v samotné normě ISO 15 686 viz obrázek 55.



Obr. 55: Vazby kalkulační metody LCC a WLC

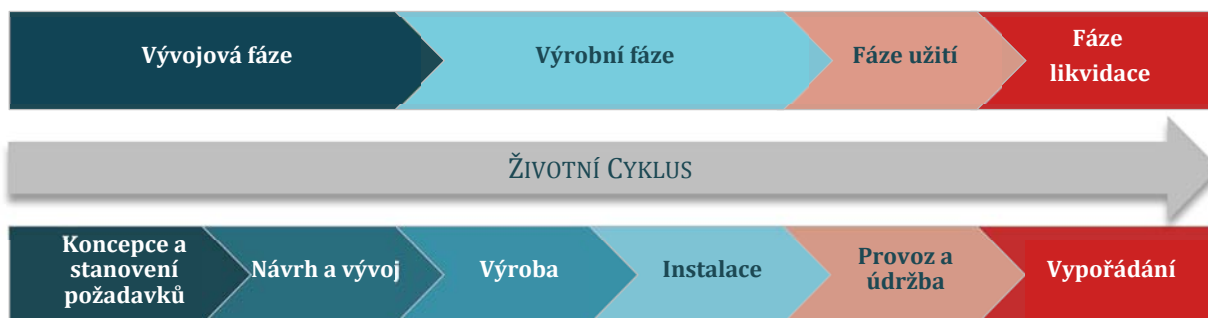
Zdroj: Zpracováno dle ISO 15 686

Cíle kalkulace LCC a WLC

Hlavním cílem kalkulací LCC a WLC je optimalizace nákladů na projekt v průběhu celého jeho životního cyklu.

Fáze životního cyklu

V rámci životního cyklu rozeznáváme 4 hlavní fáze. Je to fáze vývoje, výrobní fáze, fáze užívání a poslední fáze likvidace. V rámci těchto čtyřech fází, lze rozpoznat šest hlavních etap životního cyklu. V rámci fáze návrhu existují dvě etapy. Je to etapa stanovení koncepce a formulace hlavních požadavků na projekt a etapa samotného vývoje. Výrobní fáze se skládá z etapy samotné výroby a instalace. Další dvě fáze se nedělí do jednotlivých etap. Je-li vyhodnocení LCC zaměřeno na produkt, nese náklady na první dvě fáze životního cyklu výrobce a druhé dvě uživatel.



Obr. 56: Vývojové fáze kalkulace nákladů životního cyklu

Zdroj: Zpracováno dle ČSN EN 60300-3-3

Vývojová fáze

Tato fáze má klíčovou roli na výsledné náklady na životní cyklus investičního projektu. Během této fáze je projekt navrhován a jsou vytvářeny jeho základní charakteristiky. Vyhledávají se příležitosti uplatnění projektu, posuzuje se vyrobiteľnost, analyzuje se koncepce a volitelné možnosti systému. Během této fáze jsou analyzovány stěžejní provozní nákladové položky. Na konstruktérech a investorech stojí rozhodnutí, která ovlivní výrobní procesy. Je to volba výrobní technologie a rozhodnutí zda vyrábět či nakupovat. Hlavní nákladové položky jsou náklady na vývoj, certifikaci a testování.

Výrobní fáze

K realizaci výrobní fáze musejí být vynaloženy nemalé investiční prostředky. Snahou, která by měla být během výroby brána v potaz, je optimalizace výrobních nákladů a přínosů návrhu a maximální využití zdrojů. Významnou činností během této fáze je změna konfigurace projektu a zajištění změnového řízení. Hlavním úkolem je volba strategie zjistitelnosti s přizpůsobením výkonosti systému a příprava zavedení nového projektu. Mezi hlavní nákladové položky této fáze patří náklady na provoz a údržbu výrobního zařízení včetně obsluhy a nákladů na prostor a přímé náklady výroby.

Fáze užití

Hlavní nákladové položky této fáze jsou náklady na provoz, údržbu a servis. Během této fáze je nezbytné tyto náklady monitorovat a analyzovat. Cíle spočívají především ve zdokonalení provozního procesu a optimalizaci systému údržby za současné optimalizace využití spotřebovávaných zdrojů.

Fáze likvidace

V této fázi životní cyklus projektu končí a jedná se zde o náklady na jeho recyklaci případně ekologickou likvidaci (např.: náklady na demontáž, recyklaci kovů a likvidaci nerecyklovatelných nebo nebezpečných materiálů). Tématem této fáze je program výměny/obnovy, cena likvidace a zajištění likvidačních prací.

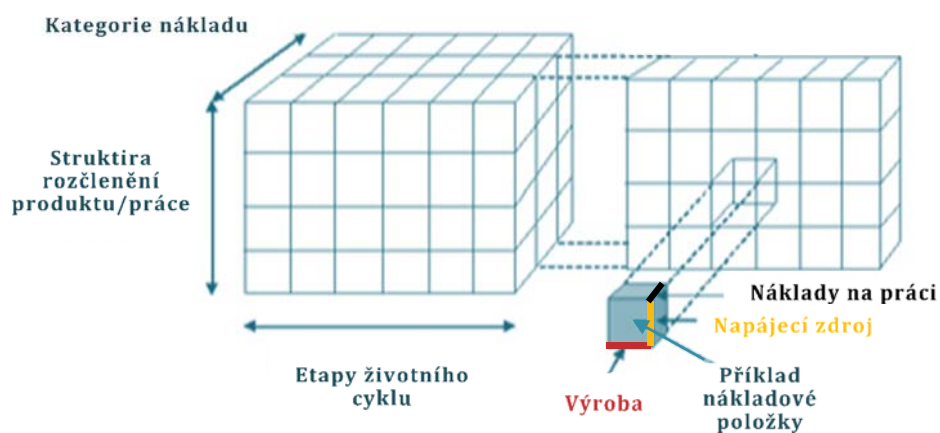
Metody odhadu nákladů

Uplatnění kalkulace nákladů životního cyklu je praxi závislé především na kvalitě odhadu nákladových položek. Sebevíce komplexní model, který pracuje s nevěrohodnými daty, neposkytne relevantní výsledky pro rozhodování. Z tohoto důvodu je kritickým okamžikem tvorby nákladového modelu LCC fáze stanovení nákladů.

Pro vytvoření spolehlivého modelu LCC je účinné a často i nutné rozčlenit celkové náklady na základní nákladové položky, které se snadněji rozpoznávají. Nejčastěji užívaným přístup k členění celkových LC nákladů je vícedimenzionální struktura členění nákladů označovaná jako „Cost Breakdown Structure (CBS)“. Tato trojrozměrná matice, kde hlavní jednotkou je nákladová položka, usnadňuje proces řízení a rozhodování a slouží k podpoře při procesu samotné tvorby nákladové analýzy. Rozdělení CBS do jednotlivých dimenzí je schématicky naznačeno na obrázku 60.

Trojrozměrné členění nákladů dle CBS na jednotlivé položky:

- **Rozčlenění výrobku na nižší stupně rozčlenění** (vytvoření struktury rozčlenění práce na jednotlivé činnosti / výrobku na podsestavy),
- **Rozčlenění do etapy životního cyklu**, ve které je práce/činnost vykonávána,
- **Rozčlenění do kategorie nákladů** na výrobní zdroje (pracovní sílu, materiál, energie, atd.).



Obr. 57: Nákladová struktura CBS s vybranou nákladovou položkou

Zdroj: Zpracováno dle ČSN EN 60300-3-3

Nákladové položky lze členit i jinými způsoby. Velmi časté je dělení na náklady opakované a neopakované, jejichž součet se rovná celkovým LCC. Přehledné je také členění vycházející z podnikové ekonomiky na náklady fixní³¹ a variabilní³².

³¹ Fixní náklady – nejsou závislé na rostoucí produkci.

³² Variabilní náklady – jsou závislé na rostoucí produkci.

4.1.2. Metody odhadu nákladových položek

Mezi v praxi nejpoužívanější metody odhadu nákladových položek patří tři metody.

- **Technická metoda odhadu nákladů:** metoda pracuje na principu rozložení složitějších systému na jednodušší (postupuje se součástí po součásti), ke kterým jsou postupně přiřazeny náklady. K přiřazení nákladů je využíváno standardních zavedených nákladových faktorů, např. firemní technické a výrobní odhady. Výhodou je snadná aktualizace dřívějších odhadů použitím roční diskontní míry nebo činitelů růstu cen (ČSN EN 60300-3-3).
- **Metoda odhadu nákladů na základě analogie:** metoda alokuje náklady navrhovaného systému podle obdobného, který je již znám. Základem je tedy minulé zkušenost. Historické údaje z informačních systémů se aktualizují, a to tak, aby odrážely inflaci a technologický pokrok (ČSN EN 60300-3-3). Tato metoda bývá nejjednodušší a nejméně časově náročná.
- **Parametrická metoda odhadu nákladů:** metoda, při které se k odhadu nákladových položek využívají vztahy mezi parametry a nezávislými proměnnými tzv. Cost estimating relationships (CER). Vztahy CER jsou založeny na bázi statistických nebo regresních metod a bývají vyjádřeny ve formě rovnic nebo algoritmů [153]. Proměnné v těchto vztazích obvykle popisují spotřebu výrobních zdrojů a parametry představují převodní činitele mezi různými systémy jednotek (cena nebo empiricky odvozený poměr).

K odhadu nákladových položek je možné použít jednu nebo více těchto metod. Pokud ani jedna z těchto metod není vhodná, lze využít tu, která se pro danou nákladovou položku hodí více. Výčet dalších metod použitelných k odhadu nákladů je uveden v následující části.

Další metody odhadu nákladů

V této stati věnující se metodám odhadu nákladových položek je uveden komplexní přehled využívaných metod. Výše uvedené metody odhadu nákladových položek jsou, jak již bylo uvedeno, v praxi využívány nejčastěji a do výčtu byly zařazeny také. Metody odhadu budoucích nákladů lze obecně rozdělit do dvou skupin. Jsou to metody kvalitativní a kvantitativní [141].

Kvalitativní metody odhadu nákladů

Kvalitativní metody odhadu nákladů jsou založené především na expertních posudcích. Lze je rozdělit na metody intuitivní a analogické,

Intuitivní metody

Intuitivní metody jsou založeny na expertním odhadu nákladů a vycházejí z minulých zkušeností. Jsou vhodné pro díly a sestavy, které vycházejí z podobných předchůdců. K odhadu je možné použít metody rozhodovacích stromů a tvorbu databází. Patří sem case-based methodology (CBM) [171], decision support systems (DSS), technická metoda odhadu nákladů [81].

Analogické metody

Analogické metody využívají podobnosti kritérií na základě historických údajů o nákladech na výrobky se známou cenou [68]. Lze se setkat s modely regresní a korelační analýzy a modely back-propagation neural-network (BPNN).

Kvantitativní metody odhadu nákladů

Metody kvantitativní pracující s matematickým a statistickým aparát a lze je rozdělit na metody parametrické a analytické.

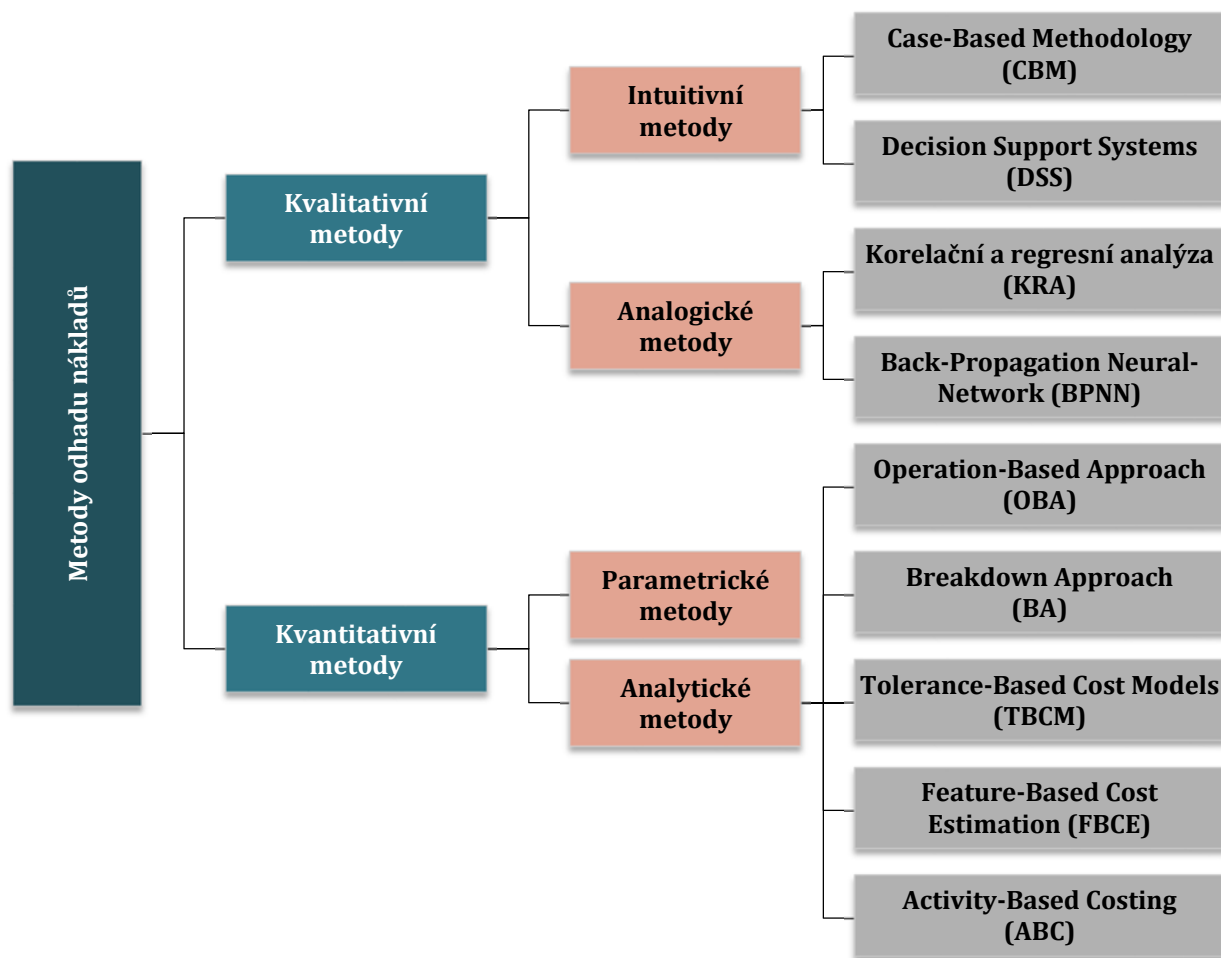
Parametrické metody

Parametrické metody odhadování náklad vycházejí ze statistických metod, kdy náklady jsou závislé na jisté proměnné (parametru), který lze identifikovat [17]. Tyto metody jsou hojně využívány například ve stavebnictví a v chemickém průmyslu. Patří sem parametrická metoda odhadu nákladů popsaná výše.

Analytické metody

Analytické metody odhadu nákladů využívají postup identifikování činností a zdrojů potřebných k vytvoření produktu [141]. Mezi tyto metody patří operation-based approach (OBA), breakdown approach (BA), tolerance-based cost models (TBCM), feature-based cost estimation (FBCE) a activity-based costing (ABC).

V rámci disertační práce byly využity metody activity based costing a technická metoda odhadu nákladů.



Obr. 58: Vývojové fáze kalkulace nákladů životního cyklu

Zdroj: Zpracováno dle [141]

4.1.3. Hlavní nákladové položky kalkulace LCC a WLC

V praxi se lze setkat s rozličným členěním nákladů životního cyklu. Zde uvedené členění je spíše souhrnné a zohledňuje pouze hlavní skupiny nákladů pro danou fázi životního cyklu. Volba nákladového členění by měla především reagovat na požadavky hodnoceného procesu a měla by umožnit jejich jasnou interpretaci.

Celkové náklady životního cyklu

Jedná se o součet nákladů na jednotlivé fáze a etapy životního cyklu. Cílem sledování celkových nákladů během životního cyklu je tyto náklady minimalizovat. Jak již bylo zmíněno výše, nejvhodnější fáze, kde je vhodné kalkulaci LCC sestavit, je fáze vývoje a koncepce výrobku. Během koncepce je možné nejvíce ovlivnit potenciálně nejvýznamnější položku celkových nákladů, kterou jsou náklady vzniklé při fázi užívání³³.

³³ U projektů, kde náklady na fázi užití nejsou nejdůležitější položkou (případně nepatří k významným položkám) celkových nákladů životního cyklu, se tento nástroj většinou nepoužívá. Je to především z důvodu, že sestavení věrohodného modelu LCC je poměrně komplikované a časově náročné a pokud

$$N_{CELK} = N_{VF} + N_{VRF} + N_{FU} + N_{FL} \quad (15)$$

Kde:

| | |
|------------|--|
| N_{CELK} | Celkové náklady na životní cyklus [Kč] |
| N_{VF} | Náklady vývojové fáze [Kč] |
| N_{VRF} | Náklady výrobní fáze [Kč] |
| N_{FU} | Náklady fáze užití [Kč] |
| N_{FL} | Náklady fáze likvidace [Kč] |

Náklady na vývojovou fázi

Do této skupiny nákladu patří jak náklady z etapy koncepce projektu, tak náklady z etapy návrhu. Nejčastěji se náklady během této fáze spotřebovávají na činnosti, jako jsou: ověřování uplatnění produktu/projektu, koncepce volitelných částí systému, zajištění hlavních nákladových položek, prověření technologičnosti konstrukce, koncepce výroby a volba výrobní technologie, make or buy analýza, tvorba technické a výrobní dokumentace. Tyto náklady nese výrobce produktu. Pro uživatele produktu jsou rozpuštěny do pořizovací ceny a nejsou mu známy. K jejich snížení přezpívá zákon zhromadnění, obdobně jako u fixních nákladů výrobní fáze.

$$N_{VF} = N_{EKON} + N_{ENVH} \quad (16)$$

Kde:

| | |
|------------|---------------------------------------|
| N_{VF} | Náklady vývojové fáze [Kč] |
| N_{EKON} | Náklady na etapu koncepce [Kč] |
| N_{ENVH} | Náklady na etapu návrhu a vývoje [Kč] |

$$N_{EKON} = N_{PTR} + N_{MPRek} + N_{AKON} + N_{SPECp} \quad (17)$$

Kde:

| | |
|-------------|--|
| N_{EKON} | Náklady na etapu koncepce [Kč] |
| N_{PTR} | Náklady na průzkum trhu [Kč] |
| N_{MPRek} | Náklady na management projektu etapy koncepce [Kč] |
| N_{AKON} | Náklady na analýzu koncepce [Kč] |
| N_{SPECp} | Náklady na specifické požadavky [Kč] |

$$N_{ENVH} = N_{MPRen} + N_{IN} + N_{DK} + N_{ZK} + N_{VS} + N_{OSTen} \quad (18)$$

Kde:

| | |
|-------------|--|
| N_{ENVH} | Náklady na etapu návrhu a vývoje [Kč] |
| N_{MPRen} | Náklady na management projektu etapy návrhu [Kč] |
| N_{IN} | Náklady na inženýrský návrh [Kč] |

by přínos kalkulace neznamenal významnou změnu v užitných hodnotách projektu, tak by bylo zbytečné plýtvat podnikovými zdroji.

| | |
|-------------|--|
| N_{DK} | Náklady na dokumentaci [Kč] |
| N_{ZK} | Náklady na zkoušky [Kč] |
| N_{VS} | Náklady na vývoj software [Kč] |
| N_{OSTen} | Ostatní náklady etapy návrhu [Kč] (náklady na ověření vyrobiteľnosti, volbu obchodníků, management jakosti, analýzu rizik, analýzu dopadů na životní prostředí, vývoj logistiky) |

Náklady na výrobní fázi

Ve výrobní fázi vznikají náklady jak během etapy výroby, tak během etapy instalace. Výrobní fáze je charakteristická čerpáním podnikových zdrojů na výrobní³⁴ a nevýrobní³⁵ činnosti. Náklady spojené s uvedenými činnostmi lze dělit na jednorázové případně opakované. Z pohledu výrobce je nezbytné tyto náklady důsledně sledovat, protože tvoří významnou položku nákladů životního cyklu, které jsou pod jeho přímým vlivem. Jelikož tyto náklady se vynakládají v okamžiku velmi blízkém ke vzniku/pořízení produktu, lze jejich výpočet ponechat bez vyhodnocení faktoru času.

$$N_{VRF} = N_{EV} + N_{EINS} \quad (19)$$

| | | |
|------|------------|---------------------------------|
| Kde: | N_{VRF} | Náklady výrobní fáze [Kč] |
| | N_{EV} | Náklady na etapu výroby [Kč] |
| | N_{EINS} | Náklady na etapu instalace [Kč] |

$$N_{EV} = N_{JNV} + N_{ONV} \quad (20)$$

| | | |
|------|-----------|---------------------------------------|
| Kde: | N_{EV} | Náklady na etapu výroby [Kč] |
| | N_{JNV} | Jednorázové náklady etapy výroby [Kč] |
| | N_{ONV} | Opakované náklady etapy výroby [Kč] |

$$N_{EINS} = N_{VZ} + N_{POŘ} + N_{INST} + N_{TRAN} + N_{OSTin} \quad (21)$$

| | | |
|------|-------------|---|
| Kde: | N_{EINS} | Náklady na etapu instalace [Kč] |
| | N_{VZ} | Náklady na vybudování výrobních prostředků [Kč] |
| | $N_{POŘ}$ | Náklady na pořízení [Kč] |
| | N_{INST} | Náklady na montáž a instalaci [Kč] |
| | N_{TRAN} | Náklady na transport [Kč] |
| | N_{OSTin} | Ostatní náklady na instalaci [Kč] |

³⁴ Za výrobní jsou považovány ty činnosti, které jsou přímo spojeny s produktem.

³⁵ Nevýrobními případně podpůrnými jsou označovány činnosti sloužící k zajištění činností výrobních.

Náklady na fázi užití

Fáze užití je spojena se spotřebou provozních nákladů a nákladů na údržbu. Provozní náklady jsou veškeré náklady spotřebované při používání zařízení a náklady s tím bezprostředně spojené. Dle charakteru se jedná o náklady jednorázové a opakované. Příkladem jednorázových provozních nákladů je například zaškolení obsluhy, nákup zařízení potřebného pro údržbu, nákup dokumentace apod. Větší skupinou jsou náklady opakované, kam patří například náklady na provozní materiál, spotřebovanou energii, mzdové náklady a další. Do nákladů na údržbu patří jak náklady na údržbu po poruše, tak náklady na preventivní údržbu. U těchto nákladů je již účelné do kalkulace zařadit hodnocení faktoru času.

$$N_{FU} = N_{PROV} + N_{UDRŽ} + N_{TRAN} + N_{OSTfu} \quad (22)$$

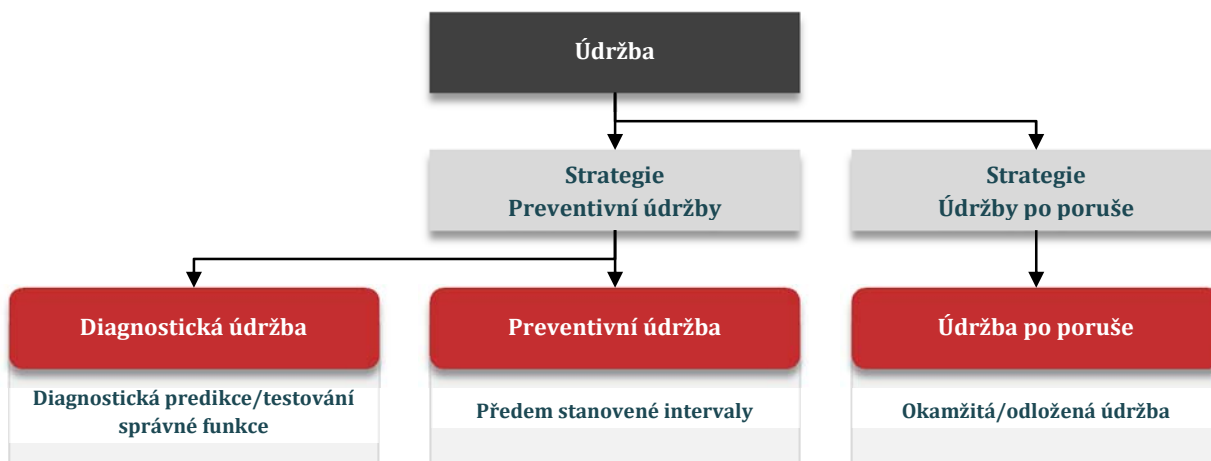
| | | |
|------|-------------|--|
| Kde: | N_{FU} | Náklady fáze užití [Kč] |
| | N_{PROV} | Náklady na provoz [Kč] |
| | $N_{UDRŽ}$ | Náklady na údržbu (po poruše/preventivní) [Kč] |
| | N_{TRAN} | Náklady na transport vstupního materiálu a produktů [Kč] |
| | N_{OSTfu} | Ostatní náklady fáze užití [Kč] |

$$N_{PROV} = N_{PMAT} + N_{OBSL} + N_{VYB} + N_{OSTfp} \quad (23)$$

| | | |
|------|-------------|-----------------------------------|
| Kde: | N_{PROV} | Náklady na provoz [Kč] |
| | N_{PMAT} | Náklady na provozní materiál [Kč] |
| | N_{OBSL} | Náklady na obsluhu [Kč] |
| | N_{VYB} | Náklady na vybavení [Kč] |
| | N_{OSTfp} | Ostatní provozní náklady [Kč] |

Náklady na údržbu - volba strategie údržby

Významnou položkou nákladů na životní cyklus jsou náklady na údržbu. Tato kategorie nákladů slouží k zajištění udržitelnosti. Udržitelnost je schopnost objektu v daných podmínkách používání a údržby být udržen ve stavu nebo být navrácen do stavu, ve kterém funguje tak, jak je požadováno (ČSN IEC 60050-192). K zajištění funkčního stavu objektu je možné volit různé strategie údržby. V rámci hodnoceného nákladového modelu, byly hodnoceny tři strategie údržby, viz obrázek. Volba strategie údržby vycházela z kritéria minimalizace nákladů na údržbu.



Obr. 59: Strategie údržby

Zdroj: Zpracováno dle [98]

Údržba po poruše

Přesto, že tento způsob údržby, kdy se údržba řeší až v situaci porušení systému, neodpovídá současným trendům, lze se s ním v praxi často setkat. Je to z důvodů, že pro některé jednodušší systémy se nevyplácí náklady spojené s preventivní údržbou, u různých objektů stále není dobře možné stanovit dobu do preventivní údržby a pro stálou existenci údržby po poruše hovoří i fakt, že i při zařazení preventivních strategií údržby může dojít k nahodilé poruše.

Nevýhody údržby po poruše:

- **Nahodilost** – není možné údržbu dopředu plánovat,
- **Tvorba prostojů** – z důvodu nemožnosti plánování údržby mohou vznikat nežádoucí prostoje a výpadky v produkci a s tím spojené další náklady,
- **Složitě plánování řízení zásob náhradních dílů** příp. vysoké náklady na zásoby,
- **Pohotovostní údržba** – technik údržby musí držet pohotovost
- **Vznik závislých poruch** – porušení objektu může znamenat větší výslednou škodu na celém zařízení,
- **Riziko ohrožení bezpečnosti a životního prostředí.**

Výhody údržby po poruše:

- **Plné využití fyzického života objektu,**
- **Jednodušší řízení údržby** – odpadá plánovací činnost,
- **Nižší nákladovost** – u vybraných systémů může být levnější.

Preventivní periodická údržba

Jedná se o systém údržby, který se snaží předcházet poruchám tím, že je údržba vykonána dříve než k poruše dojde. Pomocí výpočtu jsou předem stanoveny intervaly údržby, které se následně dodržují.

Nevýhody preventivní periodické údržby:

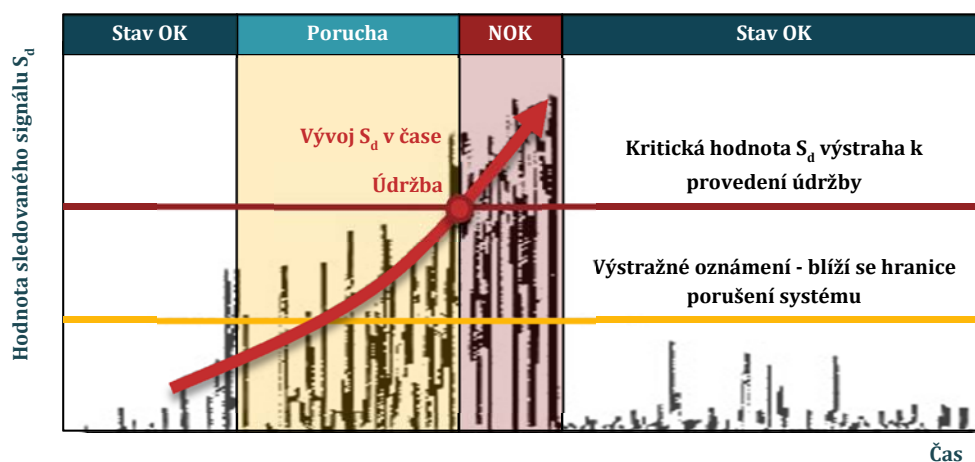
- **Předčasná údržba** – není využit celý životní cyklus objektu,
- **Složitý systém údržby** – nutné plánovat údržbu a neustále sledovat a optimalizovat interval údržby.

Výhody preventivní periodické údržby:

- **Předcházení poruch** – systém preventivní údržby předchází výskytu poruch a tím se i snižuje riziko závislých poruch,
- **Jednoduchý plán údržby** – dopředu lze připravit zařízení a výrobní plán na údržbu,
- **Jednoduché řízení zásob náhradních dílů,**
- **Snížené riziko ohrožení bezpečnosti a životního prostředí.**

Preventivní diagnostická údržba

I tento systém preventivní údržby si klade za cíl předcházet vzniku poruch tím, že údržba je provedena před tím, než dojde k poruše. Oproti preventivní periodické údržbě však nevyužívá předem pevně stanovené intervaly údržby, ale využívá sledování technického stavu objektu pomocí monitorování diagnostických signálů, které indikují blížící se poruchu. Diagnostickým signálem může být hladina hluku, teplota, případně vibrace. V rámci plánu údržby se stanoví kritické hodnoty diagnostického signálu. Při překročení těchto hodnot je zahájena údržba.



Obr. 60: Preventivní diagnostická údržba – vývoj systému v čase

Zdroj: Zpracováno dle dokumentace k přístroji SIEMENS SITRANS DA400

Nevýhody preventivní diagnostické údržby:

- **Vyšší vyvolané náklady na údržbu** – vznik nákladů na diagnostické a vyhodnocovací zařízení,
- **Obtížnější plánování údržby** - oproti prediktivní periodické údržbě je termín údržby proměnný => vyšší náklady na pohotovost techniků údržby

Výhody preventivní diagnostické údržby:

- **Předcházení poruch** – systém preventivní údržby předchází výskytu poruch a tím se i snižuje riziko závislých poruch,
- **Vyšší využití fyzického života objektu** – diagnostická údržba při správném nastavení kritické hodnoty signálu S_a přibližuje údržbu k fyzickému meznímu stavu objektu.

Náklady na fázi likvidace

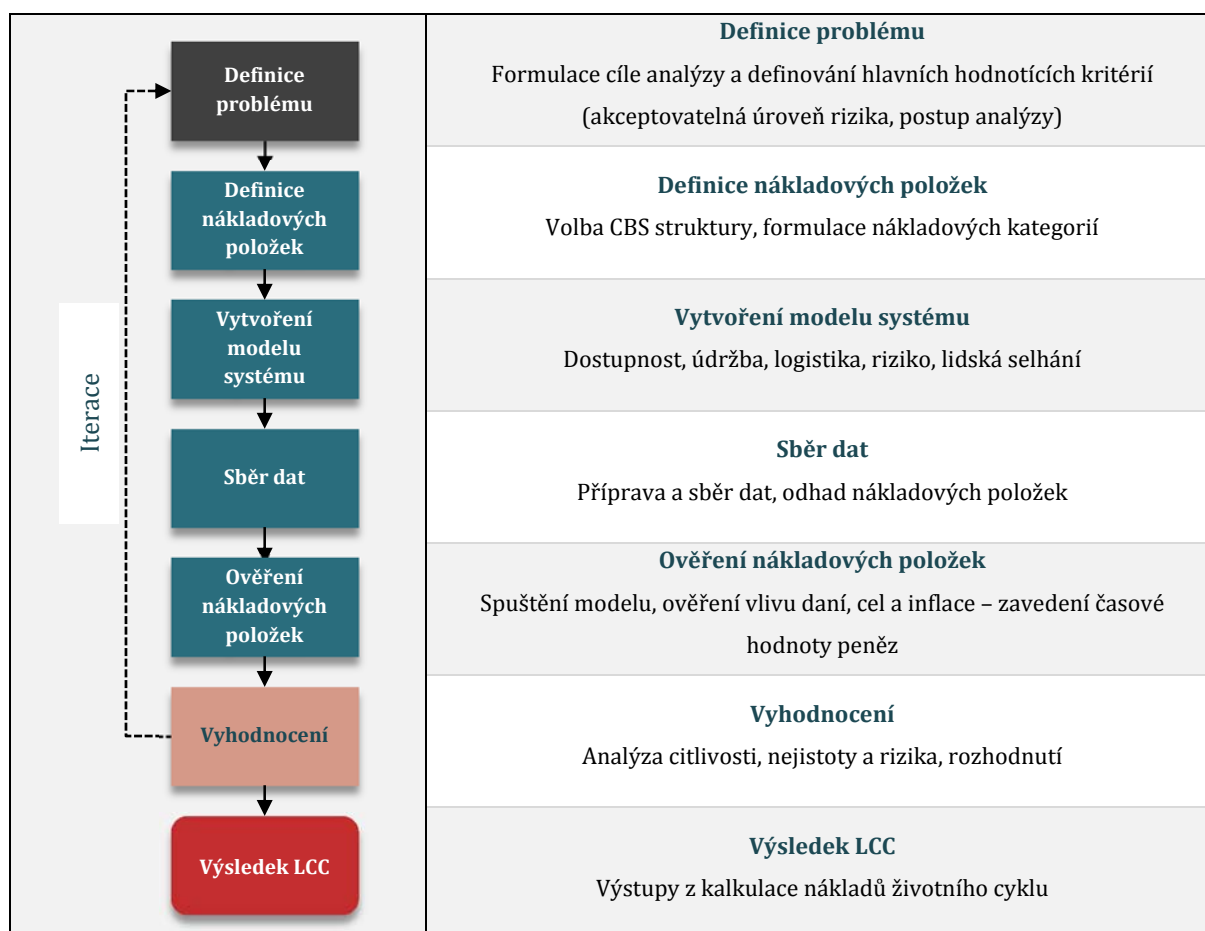
Během této fáze je systém demontován, zbytky zařízení jsou recyklovány, případně ekologicky likvidovány. Mezi nákladové položky patří zajištění demontážních prací a transport odpadu na sběrné místo a poplatky za ekologickou likvidaci případně za skládkování. Je-li dobře proveden návrh produktu a bylo-li přihlédnuto k hledisku životního cyklu, nechá se většina částí jednoduše recyklovat, případně dále využít. Recyklace materiálů může pro projekt znamenat dodatečné výnosy. I u této skupiny nákladů je vhodné zahrnout faktor času.

$$N_{FL} = N_{OS} + N_{ROS} + N_{RLS} \quad (24)$$

| | | |
|------|-----------|---|
| Kde: | N_{FL} | Náklady fáze likvidace [Kč] |
| | N_{OS} | Náklady na odstavení systému [Kč] |
| | N_{ROS} | Náklady na rozebrání a odklizení systému [Kč] |
| | N_{RLS} | Náklady na recyklaci a likvidaci [Kč] |

4.1.4. Popis procesu LCC analýzy

Každý objekt, který je v rámci analýzy životního cyklu hodnocen, je specifický. Nelze proto využít standardizovaný proces, který by vystihoval všechny specifické náklady vznikající během životního cyklu. Přesto lze v postupu návrhu nákladového model LCC vysledovat šest hlavních činností viz obrázek 61, které jsou společné pro všechny analýzy LCC [80].



Obr. 61: Šest hlavních činností kalkulace nákladů životního cyklu

Zdroj: Zpracováno dle [80]

4.1.5. Kalkulace celého životního cyklu (WLC)

Doposud byly popisovány položky patřící do kalkulace nákladů životního cyklu. V této části bude výčet rozšířen o položky patřící do kalkulace celého životního cyklu (WLC). Tato kalkulace rozšiřuje model LCC o nevýrobní externí vlivy a zohledňuje výnosovou stranu hodnoceného projektu.

Nevýrobní externí vlivy - externality

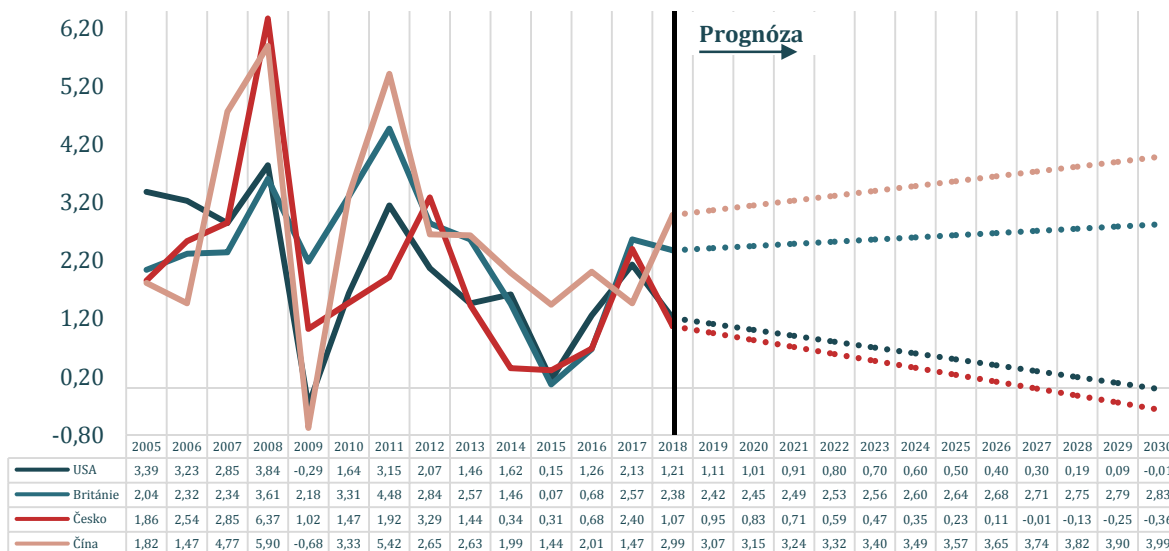
Za nevýrobní externí vlivy lze označit vnější faktory, které ekonomicky ovlivňují investiční projekty a nejsou přímo spojeny s výrobou. Mohou mít charakter výnosu (pozitivní externalita) případně nákladu (negativní externalita). Do této skupiny jsou v rámci modelu hodnocení nákladů celého životního cyklu (WLC) zahrnuty vlivy mezinárodní logistiky produktu, daňových a celních systémů hodnocených zemí a možnosti pronájmu případně výstavby výrobní haly ve zvoleném státě.

Ekonomické faktory výpočtu LCC a WLC

V rámci hodnocení vnějších ekonomických faktorů lze uvažovat o vlivech inflace, zdanění a vlivu směnných kurzů (zpracováno dle ČSN EN 60300-3-3).

Inflace

Výši meziroční změny inflace jde velmi obtížně predikovat. To je důvod, proč je běžné kalkulovat náklady životního cyklu v takzvaných stálých cenách³⁶. U projektů s krátkou životností, kde je nízká míra rizika špatného odhadu vývoje inflace, je vhodné inflaci do vyhodnocení zahrnout. V takovém případě je důležité zkontrolovat, aby byly inflací zatíženy všechny nákladové položky, které jsou jejím působením ovlivněny.



Obr. 62: Vývoj inflace v jednotlivých hodnocených státech; tečkovaná část je prognózovaná pomocí lineární metody nejmenších čtverců

Zdroj: Zpracováno dle [147]

Z obrázku zobrazujícího vývoj inflace v jednotlivých letech a pro vybrané státy je patrné, že inflace se reálně opravdu dynamicky vyvíjí a dosáhnout věrohodné prognózy je téměř nemožné. Z tohoto důvodu je i nákladový model životního cyklu výroby nanočástic pomocí metody hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby hodnocen na bázi stálých cen. Pro úplnost je však vyhodnocení vnitřní míry výnosu sestaveno pro prognózované hodnoty inflace vypočtené pomocí lineární metody nejmenších čtverců (tečkovaná čára na obrázku).

Daně a daňové systémy vybraných států

Při sestavování nákladového modelu je třeba zvážit zařazení hodnocení daní a subvencí. Obecně daně rozdělujeme na přímé a nepřímé. Přímé daně je možné přesně specifikovat a přiřadit ke konkrétnímu daňovému subjektu (poplatníkovi), který je nejčastěji i jejich plátcem. Obvykle se odvádějí z příjmu nebo majetku a proto je lze rozdělit na důchodové a majetkové (zpracováno dle [121]).

³⁶ Změna inflace není do nákladů promítnuta a s jejím vlivem se nepočítá.

Dělení přímých daní:

Důchodové přímé daně

- Daň z příjmů právnických osob,
- Daň z příjmů fyzických osob,

Majetkové přímé daně

- Daň z nemovitých věcí,
- Daň z nabytí nemovitých věcí,
- Silniční daň.

Jako nepřímé se označují daně, u kterých není dopředu jednoznačně možné určit, kdo bude daňovým poplatníkem. Tyto daně jsou zahrnuty jako přírůžka k ceně zboží případně služby. Z tohoto důvodu jsou nepřímé daně označovány jako daně ze spotřeby.

Dělení nepřímých daní:

- Univerzální (daň z přidané hodnoty),
- Selektivní (spotřební daň),
- Ekologická (daň z elektřiny, ze zemního plynu, z pevných paliv),
- Poplatky za znečištění vzduchu či vody,
- Poplatky za odpad.

Přímé daně se do nákladového modelu běžně zahrnují a pracuje se s nimi jako s běžnými nákladovými položkami. U daní nepřímých³⁷ je důležité zvážit významnost jejich vlivu na nákladový model a většinou se z modelu vylučují³⁸.

Daňový systém USA – vybrané daňové položky

Stejně jako daňový systém evropské unie je daňový systém USA členěn na daně přímé a nepřímé. Zdanění ve spojených státech je jedno z nejnižších v rámci států OECD. Systém je založen na nízkých daních a jejich důsledném výběru. Jelikož jsou Spojené státy americké federální republika, je tomuto zřízení přizpůsoben i daňový systém. Daně mají více složek a míra zdanění se v jednotlivých členských státech liší [161].

Složky daňového systému USA:

- **Federální daň** – plátce ji odvádí federální vládě prostřednictvím daňového úřadu,
- **Státní daň** – platí se členskému státu, kde plátce žije a pracuje,
- **Místní daň** - platí se místním samosprávám a regionům, kde plátce bydlí a pracuje.

³⁷ Především u daně z přidané hodnoty je nezbytná úvaha, zda ji do modelu začlenit či ne.

³⁸ Na základě tohoto doporučení bylo rozhodnuto, že nepřímé daně nebudou v rámci modelu hodnoceny. Z tohoto důvodu nebudou v následujícím textu věnujícím se daňovým systémům ve vybraných státech nepřímé daně zmiňovány.

Přímé daně:

- **Daně z příjmu fyzických osob a daně ze mzdy** - výši daně z příjmu fyzických osob ovlivňuje mnoho faktorů. Liší se dle toho, zda je poplatník v manželském svazku či svobodný, jaký má hrubý příjem, kolik dní vykonával práci a další. Zdanění fyzických osob je progresivní a při zohlednění odpočtů se průměrné zdanění a ostatní sociální náklady pohybuje mezi 15 % až 20 % příjmu,

Tab. 7: Výpočet federální daně z příjmu fyzických osob v USA; Zdroj: Zpracováno dle (<https://finexpert.e15.cz>, 2012)

| Svobodný poplatník | | Manželský pár | |
|---------------------|-----|----------------------|-----|
| Základ daně | Daň | Základ daně (v USD) | Daň |
| do 8 700 \$ | 10% | do 17 400 \$ | 10% |
| 8 700 - 35 350 \$ | 15% | 17 400 - 70 700 \$ | 15% |
| 35 350 - 85 650 \$ | 25% | 70 700 - 142 700 \$ | 25% |
| 85 650 - 178 650 \$ | 28% | 142 700 - 217 450 \$ | 28% |
| 178 650 - 388 350 | 33% | 217 450 - 388 350 \$ | 33% |
| 388 350 \$ a více | 35% | 388 350 \$ a více | 35% |

- **Daň z příjmů právnických osob** - daň z příjmů právnických osob je ukládána na všech správních úrovních (federální, státní a místní). Zdanění se liší stát od státu. V průměru tvoří daň z příjmů právnických osob přibližně 10 % ze zisku společnosti.

Tab. 8: Výpočet federální daně z příjmu právnických osob v USA; Zdroj: Zpracováno dle (<https://podnikam.webnoviny.sk>, 2016)

| Základ daně od | Základ daně do | Daň |
|----------------|----------------|--|
| 0 \$ | 50 000 \$ | 15% |
| 50 000 \$ | 75 000 \$ | 7 500 + 25% z částky nad 50 000 \$ |
| 75 000 \$ | 100 000 \$ | 13 750 + 34% z částky nad 75 000 \$ |
| 100 000 \$ | 335 000 \$ | 22 250 + 39% z částky nad 100 000 \$ |
| 335 000 \$ | 10 000 000 \$ | 113 900 + 34% z částky nad 335 000 \$ |
| 10 000 000 \$ | 15 000 000 \$ | 3 400 000 + 35% z částky nad 10 000 \$ |
| 15 000 000 \$ | 18 333 333 \$ | 5 150 000 + 38% z částky nad 15 000 000 \$ |

- **Daň z nemovitých věcí** – daň z nemovitosti patří k daním odváděným členskému státu a dle jednotlivých států se liší. V rámci modelu byla použita daň pro Texas a město Houston. Kde její výše je stanovena na 2,54 %.
- **Daň z prodeje nemovitosti** – prodej nemovitosti není v Texasu zatížen daně.

Daňový systém Velké Británie – vybrané daňové položky

Britský daňový systém je založen na tradičním rozdělení na přímé a nepřímé daně. V rámci členských států Evropské unie je celkové zdanění v Británii jedno z nejnižších. To je způsobeno především nižšími odvody na zdravotní a sociální pojištění a nižšími dávkami vyplácenými státem [188].

Přímé daně:

- **Daň z příjmů fyzických osob** - Velká Británie využívá progresivního zdanění příjmu fyzických osob, kdy jsou zavedeny tři sazby daně, viz tabulka. Pro daň z příjmu fyzických osob je zavedena vysoká základní daňová úleva ve výši 7 475 £ a lze čerpat slevu na manžela či děti.

Tab. 9: Výpočet daně z příjmu fyzických osob ve Velké Británii; Zdroj: Zpracováno dle [189]

| Základ daně | Daň |
|--------------------|-----|
| do 35 000 £ | 20% |
| 35 000 – 150 000 £ | 40% |
| 150 000 £ a více | 50% |

- **Daň z příjmu právnických osob** – pro vypočtení sazby daně je nutné sečíst veškerý zdanitelný zisk a příjmy z dividend společnosti.

Tab. 10: Výpočet daně z příjmu právnických osob ve Velké Británii; Zdroj: Zpracováno dle (<http://www.fek-zcu.cz>, 2014)

| Základ daně | Daň |
|-----------------------|--------------------|
| 0 - 300 000 £ | 20% |
| 300 000 – 1 500 000 £ | Mezní daňová úleva |
| 1 500 000 £ a více | 23% |

Mezní daňová úleva

Společnosti čerpající mezní daňovou úlevu, lze rozdělit do tří skupin.

Skupina 1 – podmínkou je, že společnost je po celé zdaňovací období daňovým rezidentem a nesmí se jednat o soukromou investiční holdingovou společnost. Součet zdanitelných příjmů a dividend nepřesáhne zvýšenou hranici 1,5 miliónu liber za rok.

Pro výpočet daňové povinnosti se nejprve vypočte zdanitelný příjem a vynásobí standardní sazbou daně 23 %. Tato částka se sníží o vypočtenou mezní daňovou úlevu, viz následující vzorec.

$$MDÚ_{SK1} = F \cdot (U - A) \cdot \frac{N}{A} \quad (25)$$

| | | |
|------|--------------------|--|
| Kde: | MDÚ _{SK1} | Mezní daňová úleva skupiny 1 [£] |
| | F | Základní poměr = 3/400 [-] |
| | U | Horní hranice (1,5 miliónu liber) [£] |
| | A | Zdanitelný příjem navýšený o čistý investiční příjem [£] |
| | N | Zdanitelný příjem [Kč] |

Skupina 2 - společnosti, jejichž zdanitelný zisk navýšený o čistý investiční zisk se skládá pouze ze zisků z přísně účelového financování.

Výpočet daně je obdobný jako u skupiny jedna, pouze za hodnotu základního poměru F se dosadí tzv. účelový poměr s hodnotou F = 11/400 a sazba zdanění je 30 %.

Skupina 3 - společnosti, jejichž zdanitelný zisk navýšený o čistý investiční zisk se neskládá jen ze zisků z přísně účelového financování. Daňová povinnost se snižuje o částku vypočtenou pomocí účelového poměru $F = 11/400$ z poměrné částky, která odpovídá příjmům z přísně účelového financování, ze zbylého příjmu se vypočte daňová úleva pomocí základního poměru $F = 3/400$.

- **Daň z nemovitých věcí** – platí se paušální poplatek se o 1 138 £/rok. Poplatek za pozemky se neplatí (cityoflondon.gov.uk).
- **Daň z prodeje nemovitosti** - při prodeji nemovitosti se ve velké Británii platí daň 5 % z prodejní ceny (<https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com>).

Daňový systém České republiky – vybrané daňové položky

Daňový systém České republiky je podobný většině států Evropské unie. Stejně jako daňový systém USA a Velké Británie dělí daně na přímé a nepřímé. Daňové příjmy z přímých a nepřímých dané jsou zhruba srovnatelné.

Přímé daně:

- **Daň z příjmu fyzických osob** - od zdaňovacího období 2008 byla zavedena jednotná sazba daně z příjmů fyzických osob, která je stanovena ve výši 15 % (<http://www.businessinfo.cz>).
- **Daň z příjmu právnických osob** – sazba daně z příjmu právnických osob je od roku 2010 stanovena na 19 % (výjimku tvoří investiční fondy, podílové fondy, zahraniční fondy kolektivního investování a penzijní fondy, pro které platí 5 %). Ve většině zemí Evropské unie jsou firemní daně o něco vyšší než v ČR.
- **Daň z nemovitých věcí** - daní z nemovitých věcí jsou zatíženy pozemky a stavby.

Tab. 11: Výpočet sazby daně z pozemků; Zdroj: Zpracováno dle [118]

| | Druh pozemku | Daň |
|---|---|------------------------|
| A | Orná půda, chmelnice, vinice, zahrada, ovocný sad | 0,75 % |
| B | Trvalý travní porost | 0,25 % |
| C | Hospodářský les | 0,25 % |
| D | Rybník s intenzivním a průmyslovým chovem ryb | 0,25 % |
| E | Zastavěná plocha a nádvoří | 0,20 Kč/m ² |
| F | Stavební pozemek | 2 Kč/m ² |
| G | Ostatní plocha | 0,20 Kč/m ² |
| X | Zpevněné plochy pozemků, užívané k následující podnikatelské činnosti: zemědělské prvovýroby, lesní a vodní hospodářství | 1 Kč/m ² |
| Y | Zpevněné plochy pozemků, užívané k následující podnikatelské činnosti: průmysl, stavebnictví, doprava, energetika, ostatní zemědělská výroba, ostatní podnikatelská činnost | 5 Kč/m ² |

Tab. 12: Výpočet sazby daně ze staveb; Zdroj: Zpracováno dle [119]

| Druh nemovitosti | | Daň |
|------------------|--|----------------------|
| H | Obytný dům | 2 Kč/m ² |
| I | Ostatní stavba tvořící příslušenství k obytnému domu | 2 Kč/m ² |
| J | Stavba pro individuální rekreaci, rodinný dům využívaný pro individuální rekreaci | 6 Kč/m ² |
| K | Stavba plnící doplňkovou funkci ke stavbě pro individuální rekreaci | 2 Kč/m ² |
| L | Garáž vystavěná odděleně od obytného domu | 8 Kč/m ² |
| M | Stavba užívaná pro podnikatelskou činnost – zemědělská prvovýroba, lesní a vodní hospodářství | 2 Kč/m ² |
| N | Stavba užívaná pro podnikatelskou činnost – průmysl, stavebnictví, doprava, energetika, ostatní zemědělská výroba | 10 Kč/m ² |
| O | Stavba užívaná pro podnikatelskou činnost – ostatní podnikatelská činnost | 10 Kč/m ² |
| P | Ostatní stavba | 6 Kč/m ² |
| R | Byt | 2 Kč/m ² |
| S | Samostatný nebytový prostor užívaný pro podnikatelskou činnost – zemědělská prvovýroba, lesní a vodní hospodářství | 2 Kč/m ² |
| T | Samostatný nebytový prostor užívaný pro podnikatelskou činnost – průmysl, stavebnictví, doprava, energetika, ostatní zemědělská výroba | 10 Kč/m ² |
| U | Samostatný nebytový prostor užívaný pro podnikatelskou činnost – ostatní podnikatelská činnost | 10 Kč/m ² |
| V | Samostatný nebytový prostor užívaný jako garáž | 8 Kč/m ² |
| Z | Ostatní samostatný nebytový prostor | 2 Kč/m ² |

- **Daň z prodeje nemovitosti** – daň z prodeje nemovitosti neplatí v České republice prodávající, ale kupující. Ten platí daň z nabytí nemovitých věcí a sazba této daně činí 4 % z nabývací hodnoty. Daň z příjmu z prodeje nemovitosti se daní jako ostatní příjmy sazbou 15 %.

Daňový systém Číny – vybrané daňové položky

Daňový systém Číny spadá do kompetencí Státního daňového úřadu (SAT) a místních daňových úřadů. Do státem vybíraných daní spadají cla a spotřební daně, zatímco lokální daně tvoří daň z používání pozemku, daň z nemovitosti, ostatní majetkové daně a kolkovné. Daně z příjmu fyzických a právnických osob, daně z přidané hodnoty, obchodní daně si centrální a místní daňové úřady dělí mezi sebou. Daňový systém místních vlád přispívá do rozpočtu 54 % (rok 2015) [123]. Hlavní příjmy jdoucí do čínského daňového systému pocházejí z výběru 6 daní:

- Daň z příjmu,
- Daň z přidané hodnoty,
- Spotřební daň,
- Daň z nemovitostí,
- Daň z přírodních zdrojů,
- Environmentální daň.

Přímé daně:

- **Daň z příjmu fyzických osob** - u jednotlivců podléhají dani z příjmu fyzických osob platy, renty, kapesné, apod.

Tab. 13: Výpočet daně z příjmu fyzických osob v Číně; Zdroj: Zpracováno dle [123]

| Základ daně od | Základ daně do | Daň |
|----------------|----------------|-----|
| 0 ¥ | 1 500 ¥ | 3% |
| 1 500 ¥ | 4 500 ¥ | 10% |
| 4 500 ¥ | 9 000 ¥ | 20% |
| 9 000 ¥ | 35 000 ¥ | 25% |
| 35 000 ¥ | 55 000 ¥ | 30% |
| 55 000 ¥ | 80 000 ¥ | 35% |
| 80 000 ¥ | a více ¥ | 45% |

- **Daň z příjmu právnických osob** – základ daně z příjmu právnických osob v Číně tvoří příjem podniku, který je definován jako částka zbývající z hrubého příjmu za zdaňované období po odečtení nezdanitelných příjmů, daňově uznatelných nákladů a ztrát. Právnické osoby podléhají dani z příjmu ve výši 25 % (výjimku tvoří tzv. daňoví rezidenti, kteří nejsou fyzicky přítomni v Číně, ale získávají příjmy ze zdrojů v této zemi. Ti podléhají daňové sazbě ve výši ve výši 20 %).
- **Daň z nemovitých věcí** - daní z nemovitých věcí jsou v Číně zatíženy jak pozemky, tak stavby. Daň z pozemku se platí ve výši 1,5 CNY/m² [76]. Daň ze staveb se nevztahuje na cizince. Splácí se ročně ve výši 1,2 % ze zůstatkové ceny majetku (mzdovapraxe.cz).
- **Daň z prodeje nemovitosti** - Sazby daně z převodu nemovitosti se pohybují v rozmezí 3 % - 5 %.

Daňové systémy shrnutí

Výše daně z příjmu právnických osob je nejdůležitější daňovou nákladovou položkou kalkulace nákladů celého životního cyklu (WLC), v některých státech dosahuje výše až 35 % ze zisku. Z tohoto důvodu je s touto položkou nutné v nákladovém modelu počítat. Ostatní výše uvedené daňové položky již nejsou pro celkové výsledky tak důležité. V níže uvedené tabulce jsou porovnány odvody na daň z příjmu právnických osob pro hodnocené státy a jsou porovnány dva scénáře. NS – scénář nízké sazby zohledňuje nejnižší daňovou zátěž pro státy, kde je progresivní zdanění příjmu právnických osob (USA a Velká Británie). Druhý scénář NVS – zobrazuje nejvyšší možnou daňovou zátěž v daném státě. Z tabulky vyplývá, že nejnižší zdanění ve scénáři NS mají Spojené státy americké a nejdražší je Čína. Ve scénáři NVS jsou však Spojené státy nejdražší a nejnižší zdanění takto vysokých příjmů má Česká republika.

Tab. 14: Porovnání daní z příjmu právnických osob; NS – scénář nízké sazby; NVS – scénář nejvyšší daňové sazby

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Výše základu daně NS | 1 000 000 Kč | 1 000 000 Kč | 1 000 000 Kč | 1 000 000 Kč |
| Daňová sazba | 15% | 20% | 19% | 25% |
| Daň | 150 000 Kč | 200 000 Kč | 190 000 Kč | 250 000 Kč |
| Čistý zisk | 850 000 Kč | 800 000 Kč | 810 000 Kč | 750 000 Kč |
| Výše základu daně NVS | 420 000 000 Kč | 420 000 000 Kč | 420 000 000 Kč | 420 000 000 Kč |
| Daňová sazba | 35% | 23% | 19% | 25% |
| Daň | 147 000 000 Kč | 96 600 000 Kč | 79 800 000 Kč | 105 000 000 Kč |
| Čistý zisk | 273 000 000 Kč | 323 400 000 Kč | 340 200 000 Kč | 315 000 000 Kč |

Státní subvence

Subvencí se rozumí státní podpora určité oblasti (zemědělství, kultura) či oboru činnosti (výzkumná činnost) za účelem jejího rozvoje či vyrovnání rozdílů. Může být realizována v podobě dotací, půjček, výhodnějších úvěrů, snížení daní apod. Do nákladového modelu WLC by se subvence měli zahrnovat, protože významným způsobem mohou ovlivnit bilanci projektu.

Celní poplatky

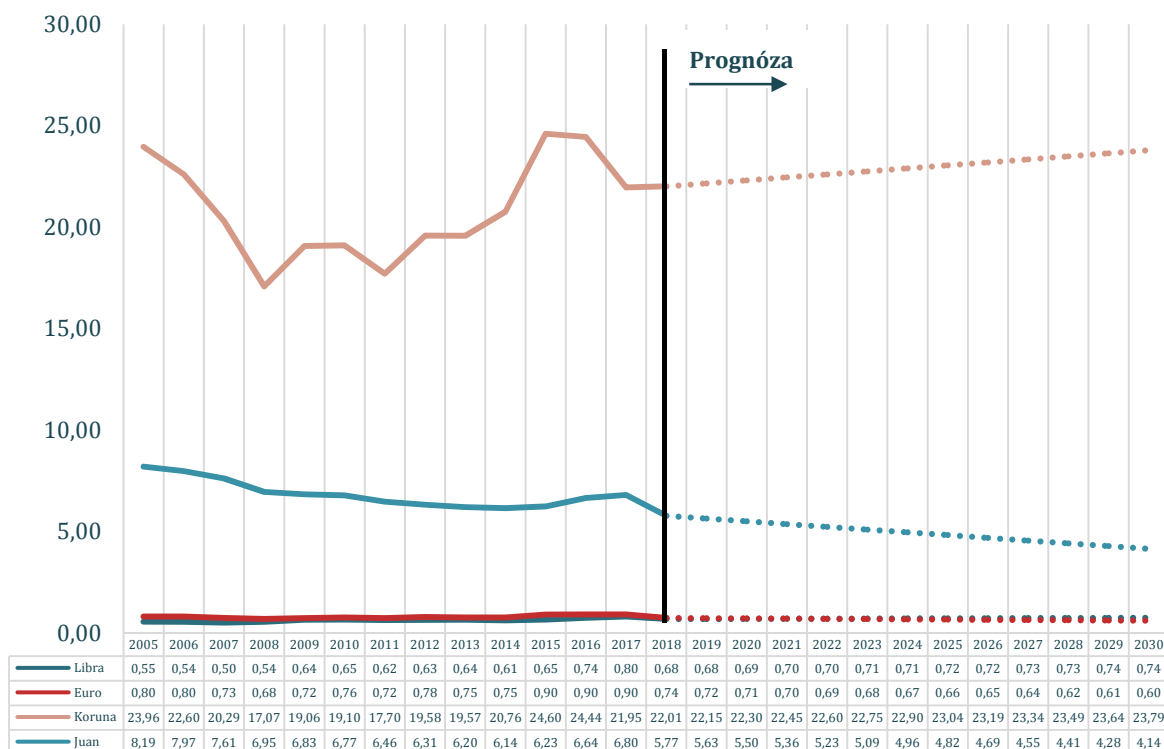
Celní náklady jsou spojené s vývozem produktů mimo stát případně bezcelní unii. Tyto náklady jsou standardní součástí nákladových modelů WLC.

Tab. 15: Výše celních poplatků pro vybrané státy; sazby jsou uvedeny pro výrobky chemického průmyslu; České dovozní clo není hodnoceno, protože hodnocený scénář nákladového modelu uvažuje pouze s vývozem z ČR

| Stát | Clo (pro rok) | Zdroj |
|----------|---------------|----------------------|
| USA | 7,65% (2016) | The World Bank, 2017 |
| Británie | 5,30% (2016) | GOV.UK, 2017 |
| Česko | - | - |
| Čína | 4,64% (2014) | The World Bank, 2017 |

Směnný kurz

Směnný kurz lze charakterizovat jako cenu, s jakou se jedna měna vyměňuje za jinou. Na obrázku 68 je uveden směnný kurz a jeho prognóza vůči dolaru. To znamená, že například za jeden dolar si lze koupit v roce 2017 0,80 liber, 0,9 euro, 21,95 korun a 6,8 juanu. Vývoj cen jednotlivých měn je závislý na podmínkách nabídky a poptávky po příslušné měně na trhu.



Obr. 63: Vývoj směnného kurzu vůči dolaru jednotlivých měn; tečkovaná část je prognózovaná pomocí lineární metody nejmenších čtverců

Zdroj: Zpracováno dle [146]

Směnný kurz by se měl zahrnout do kalkulace nákladů WLC v situaci, kdy jsou produkty nakupovány nebo prodávány v zahraničních měnách.

Náklady ušlé příležitosti

Do nákladových modelů LCC a WLC by se měly zahrnout i náklady ušlé příležitosti, které vznikají z důvodu vázanosti kapitálu ve vývojové a výrobní fázi životního cyklu projektu. Tento kapitál by při jiném strategickém rozhodnutí mohl generovat alternativní výnosy. V rámci hodnoceného projektu však tyto náklady nejsou uvažovány, protože vývojová a výrobní fáze projektu byla realizována ze zdrojů sedmého rámcového projektu a tyto prostředky nebylo z pohledu vývojového týmu možné investovat jiným způsobem.

4.1.6. Techniky finančního hodnocení

Pro analýzu nákladů životního cyklu (LCC) a celkových nákladů životního cyklu (WLC) je užitečné použít finanční techniky hodnocení peněžních toků. Tyto techniky jsou založeny na předpokladu existence vlivu času na hodnotu peněz v průběhu životního cyklu. Pod označením „vliv času na hodnotu peněz“ si lze představit proměnu základní sazby, rizika a inflace.

Základní sazbou může být výnos z peněz, jež budou uloženy s poměrně malým rizikem do bankovních institucí na úrok. V současné době (rok 2017) je možné získat úrok na spořicí účet od 0,3 do 1,1 %. Riziko

představuje procentuální míru ocenění za podstoupené riziko a průměrná roční inflace s její prognózou ve vybraných státech je vidět na obrázku 67 [242].

Diskontování peněžních toků (DPT)

Jedná se o techniku přepočtu (diskontování) nákladů z různých fází životního cyklu ke zvolenému základnímu roku analýzy. Přepočty jsou prováděny za pomoci diskontních sazeb (úrokových mír) s cílem zjištění čisté hodnoty nákladu. Tato technika přepočtu peněžních toků se využívá v nákladovém modelu LCC.

$$N_t = \sum_{t=0}^n \frac{\check{C}N_t}{(1+r)^t} \quad (26)$$

| | | |
|------|----------------|-----------------------------|
| Kde: | N_t | Diskontovaný náklady [Kč] |
| | $\check{C}N_t$ | Čisté náklady v roce t [Kč] |
| | r | Diskontní sazba [%] |
| | t | Rok hodnocení projektu [-] |
| | n | Životnost projektu [roky] |

Metoda čisté současné hodnoty (ČSH) - Net present value (NPV)

Tato metoda je založena stejně jako DPT na přepočtu (diskontování) peněžních toků z různých období životního cyklu projektu na stejnou časovou bázi. Čistá současná hodnota vyjadřuje rozdíl mezi současnou hodnotou ročních příjmů z projektu a kapitálovými výdaji, diskontovanými za dobu životního cyklu projektu. Výsledky kalkulace WLC jsou ověřovány na bázi hodnocení čisté současné hodnoty.

Algoritmus výpočtu čisté současné hodnoty

- Stanovení současné hodnoty budoucích finančních toků vyvolaných investičním projektem,
- Čistá hodnota předpokládaných finančních toků je určena diskontováním,
- Posléze se stanoví čistá současná hodnota všech peněžních toků,
- Kritériem pro realizaci investice je čistá současná hodnota. Při porovnávání alternativ, které mají kladné čisté současné hodnoty je výhodnější ta, které má čistou současnou hodnotu větší. Investice se zápornou čistou současnou hodnotou se nedoporučují realizovat³⁹. Tato metoda však neuvažuje faktory, jako jsou nutnost a naléhavost investice, dostatek finančních zdrojů atd.

³⁹ Pro realizaci projektu se zápornou čistou současnou hodnotou musí mít investor konkrétní důvod (např. investice je spojena s realizací dalšího projektu, který pokryje ztráty způsobené realizací hodnoceného projektu).

$$\check{C}SH = -Inv + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (27)$$

| | | |
|------|-----|--|
| Kde: | ČSH | Čistá současná hodnota [Kč] |
| | INV | Investice vložené do projektu [Kč] |
| | CF | Cash flow – peněžní toky projektu (zisk + nepeněžní náklady (odpisy)) [Kč] |
| | r | Diskontní sazba [%] |
| | t | Rok hodnocení projektu [-] |
| | n | Životnost projektu [roky] |

Čistá současná hodnota jako kritérium je silně ovlivňována hodnotou diskontní sazby (úrokové míry). Čím je vyšší diskontní sazba, tím je nižší čistá současná hodnota.

Metoda vnitřní výnosové procento (VVP) - Internal rate of return (IRR)

Vnitřní výnosové procento je taková diskontní sazba (úroková míra), při které je hodnota plánovaných (očekávaných) příjmů a výdajů z investice rovna současné hodnotě investičních výdajů. Je to tedy taková diskontní sazba, kdy čistá současná hodnota vychází rovna nule. Diskontní sazba se hledá iterační metodou, lineární interpolací, či speciálními programy s počítačovou podporou.

$$0 = -Inv + \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+VVP)^t} \quad (28)$$

| | | |
|------|-----|--|
| Kde: | VVP | Vnitřní míra výnosnosti [Kč] |
| | INV | Investice vložené do projektu [Kč] |
| | CF | Cash flow – peněžní toky projektu (zisk + nepeněžní náklady (odpisy)) [Kč] |
| | r | Diskontní sazba [%] |
| | t | Rok hodnocení projektu [-] |
| | n | Životnost projektu [roky] |

Vnitřní výnosové procento (VVP) vyjadřuje úroveň rentability hodnocené investice. Je-li VVP vyšší než diskontní sazby (výnosnost investičního projektu měřená úrokovou mírou) je investice výhodná k realizaci. Při výběru z více variant s vyšším VVP, volí se ta varianta, která má vnitřní míru výnosnosti nejvyšší.

4.1.7. Hodnocení rizika projektu

Jelikož kalkulace nákladů životního cyklu mapuje náklady vznikající po celý životní cyklus zařízení, je sledované období poměrně dlouhé (řádově jednotky až desítky let). To s sebou nese vysokou míru rizika. Toto riziko vyvolané obtížně predikovatelným vývojem vstupních proměnných ovlivňuje celkovou spolehlivost a věrohodnost kalkulace LCC. Z těchto důvodů je vhodné s tímto rizikem pracovat a ověřovat

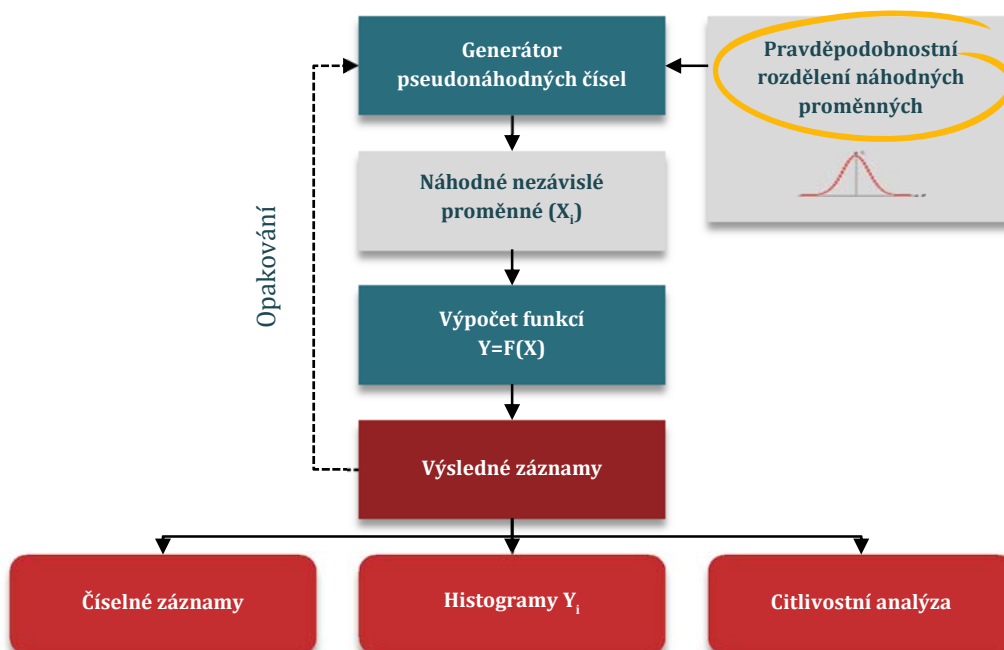
různé scénáře vývoje ovlivňující kalkulaci LCC. Pro tyto účely je možné využít například metodu Monte Carlo (MMC) simulující stavy systému za určitých podmínek (scénářů).

Metoda Monte Carlo

Simulační metoda Monte Carlo (MMC) je stochastická metoda, která byla rozvíjena ve 40. letech 20. století⁴⁰. Pracuje na principu generování velkého počtu pseudonáhodných čísel charakterizující faktory rizika, čímž jsou ověřovány různé scénáře vývoje. Pseudonáhodná čísla jsou generována v rozsahu zvoleného rozdělení pravděpodobnosti, které nejlépe charakterizuje rizikový faktor. Nejdůležitějším a zároveň nejnáročnějším krokem je právě volba nastavení parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, protože tento krok má zásadní vliv na výsledky, které MMC poskytuje. Dojde-li k volbě nesprávného rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, nebo jeho parametry nebudou odpovídat vývoji rizikového faktoru, nebude mít metoda MMC žádnou vypovídací hodnotu ve vztahu k řízení rizika hodnocené kalkulace LCC.

Postup simulace Monte Carlo

- Určení klíčových faktorů rizika
- Stanovení rozdělení pravděpodobnosti pro faktory rizika
- Simulace náhodných čísel



Obr. 64: Postup metody Monte Carlo, žlutě vyznačený je krok stanovení parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny

Zdroj: Zpracováno dle [248]

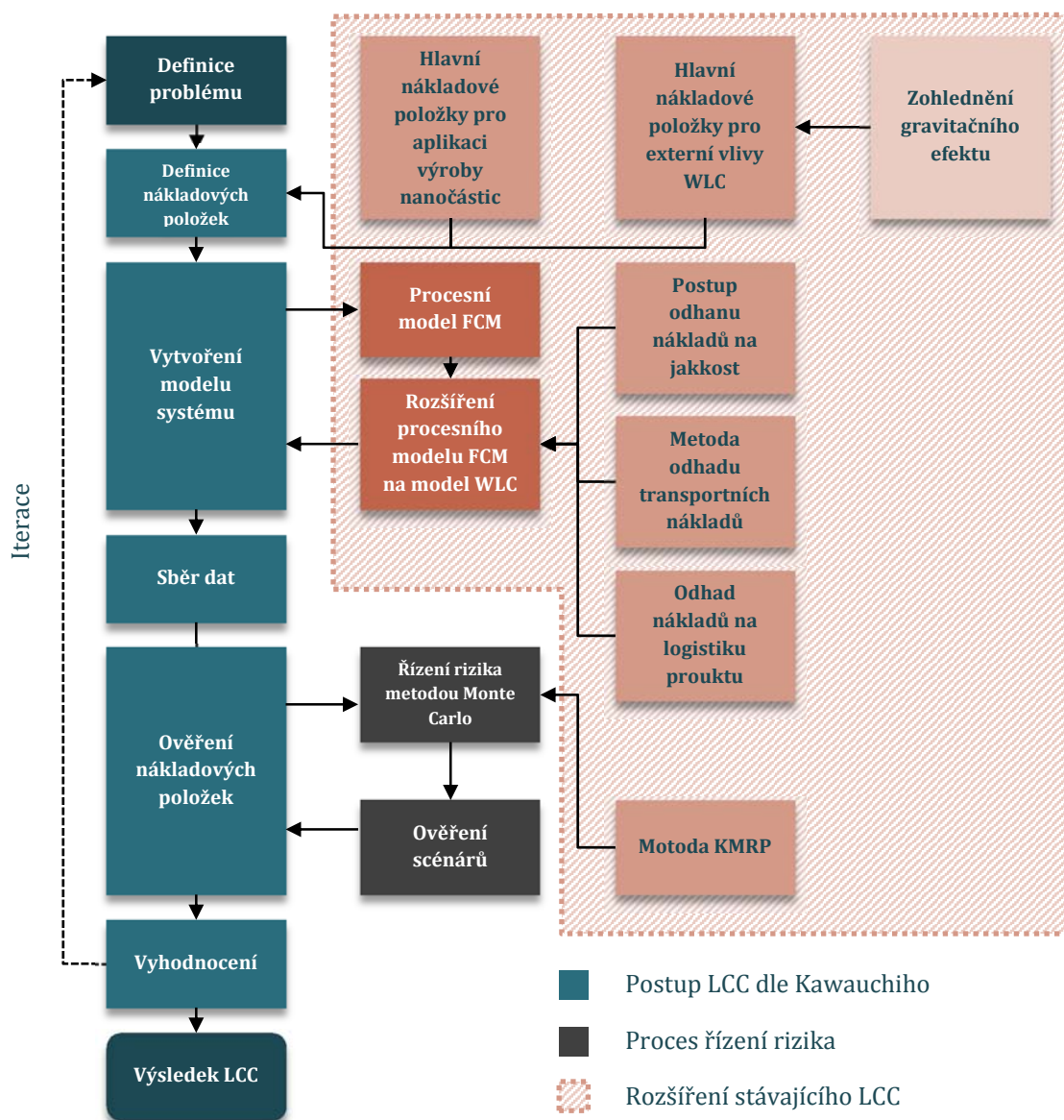
⁴⁰ Za tvůrce MMC jsou označováni Stanisław Marcin Ulam a John von Neumann, kteří se věnovali teorii her. Autoři metodu využívali během druhé světové války ke zkoumání chování neutronů.

Citlivostní analýza

Citlivostní analýza je metoda zkoumající významnost příspěvku změny vstupní proměnné k výsledným nákladům. Analýza citlivosti bývá posledním krokem výpočetního hodnocení. V modelu je tato metoda využita jako doplněk aparátu hodnocení rizika. Na základě výsledků citlivostní analýzy je možné určit ty faktory, na které je třeba se během jednotlivých fází životního cyklu nejvíce zaměřit, protože mohou nejvíce ohrozit ekonomiku projektu a ovlivnit věrohodnost výsledků kalkulačních metod.

5. Metodický koncept ekonomického hodnocení životního cyklu

V následující kapitole jsou charakterizovány nejvýznamnější nákladové položky výroby nanočástic a jsou zde shrnuty základní východiska, která byla využita při tvorbě modelů FCM a WLC. Ty následně budou blíže popsány v navazující kapitole 6, ve které je detailněji popsán navržený postup alokace a vyčíslení nákladů. Další částí kapitoly 5 je popis koncepce nástrojů navržených pro predikci transportních nákladů a stanovení krajních mezí rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny rizikového faktoru sloužící k řízení rizika spojeného se stanovováním vstupů do numerických modelů. Tyto nástroje jsou implementovány do výpočtového modelu WLC. Na obrázku 65 je vyznačena oblast rozšíření stávající metodiky nákladů životního cyklu a vazba modelů a nástrojů na obecný postup kalkulace.

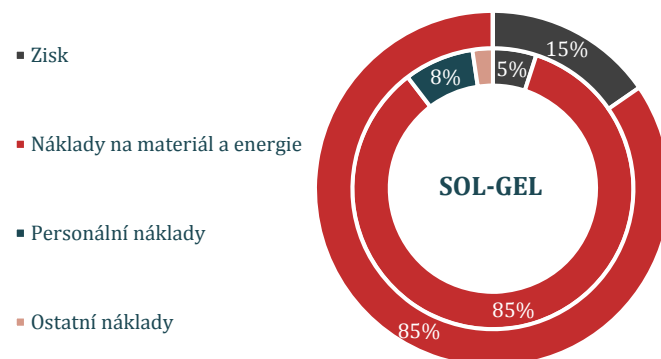
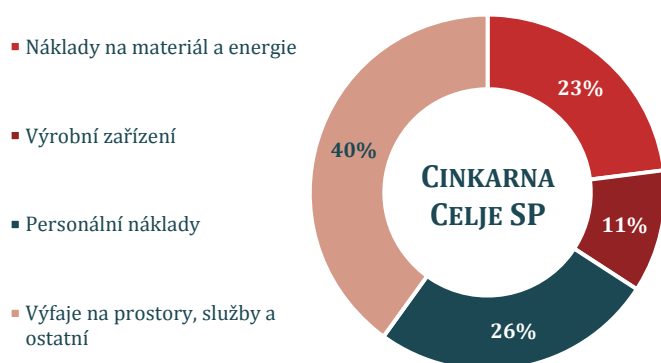
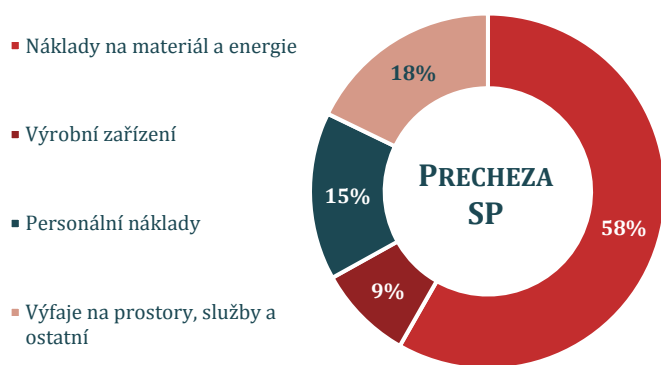


Obr. 65: Rozšíření obecného procesu LCC o specifické nástroje odhadu nákladů a řízení rizika

Zdroj: Vlastní zpracování

5.1. Klasifikace hlavních nákladových položek

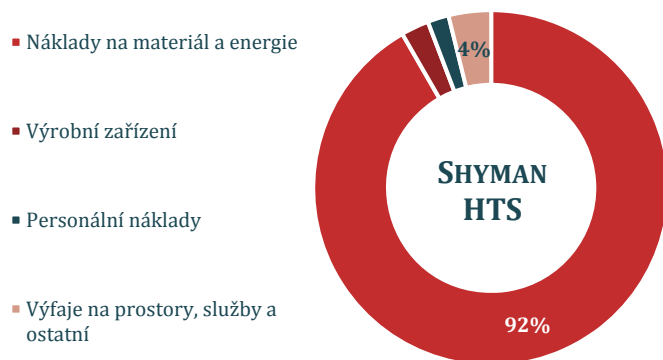
Při stanovování hlavních nákladových položek byla porovnána data čtyř výrobních procesů (PRECHEZA ČR – sulfátový proces výroby nano TiO₂, CINKARNA CELJE SLO – sulfátový proces výroby nano TiO₂, SOL-GEL proces výroby nano TiO₂ a SHYMAN ČR⁴¹ - hydrotermální proces výroby nano TiO₂). První dva procesy jsou běžící velkokapacitní výrobní procesy založené na bázi sulfátového procesu (viz kapitola 3 s roční produkcí nano TiO₂ v řádu 50 – 70 tisíc tun). Třetí porovnávaný proces je laboratorní pilotní proces založený na SOL-



GEL principu s produkcí 40 t/rok a čtvrtým je hydrotermální syntéza na bázi projektu SHYMAN s roční produkcí 250 tun.

Přesto, že porovnávané procesy jsou velmi rozdílné, analýzy ukázaly, že hlavními nákladovými položkami chemické výroby nanočástic jsou variabilní náklady na vstupní materiál a energie. Chemické výrobní procesy jsou velmi energeticky náročné a cena vstupních chemikálií je často jen o málo nižší než samotný produkt. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké nároky na volbu vstupních prekurzorů. Tržní velkoobdobatelské ceny materiálu mohou významnou měrou ovlivňovat roční výsledky hospodaření chemických provozů. Mzdové náklady se v rámci rozsahu produkce liší. Je to především z důvodu velikosti a složitosti procesu. Zajištění sulfátového procesu výroby v popisovaném měřítku je spojeno se spotřebou velkého množství ilmenitu, což znamená vysoké nároky na jeho logistiku (vlaková doprava) a úpravu. Tyto procesy vyžadují velké personální obsazení. Výdaje na prostory a služby není možné dle dostupných dat blíže rozčlenit, ale výsledky naznačují, že jejich výše není v rámci struktury nákladů tak významná. Detailní struktura

⁴¹ Do porovnání vstupují hodnoty vyhodnocení výroby na bázi hydrotermální výroby projektu SHYMAN umístěné v České republice. Detail výpočtu je uveden v kapitole 6.



Obr. 66: Struktura nákladů a) PRECHEZA sulfátový proces, b) CINKARNA CELJE sulfátový proces, c) SOL-GEL proces – vnější prstenec odpovídá hodnotě 15,4% výše zisku, při této hodnotě a vstupních parametrech z tabulky 6 jsou pokryty variabilní náklady na materiál a energie, ale nezůstává příspěvek na úhradu ostatních položek nákladů; vnitřní prstenec odpovídá hodnotě 5,0% zisku a náklady na personál odpovídají hodnotě projektu SHYMAN, d)

SHYMAN hydrotermální syntéza

Zdroj: a) <https://or.justice.cz>, b) www.cinkarna.si, c) tabulka [10], d) kapitola 6

nákladů pro projekt SHYMAN je uveden v kapitole 6. Výše nákladů na prostory a služby u výroby v CINKARNA CELJE může být zkreslena modernizací a zkapacitněním výrobního procesu realizovaného v letech 2016-2017. Z důvodů stanovení citlivosti jednotlivých nákladových položek popsanych procesů byla provedena simulace 10 000 scénářů pro změnu nákladových položek o $\pm 10\%$ a byl sledován vývoj nezdaněného zisku. Nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím celkový zisk byla prodejní cena nanočástic a to u všech hodnocených procesů. Tento parametr nejvyšší měrou ovlivňuje ekonomičnost produkce. Výsledky citlivostní analýzy jsou uvedeny na obrázcích níže. Kompletní přehled nejčastějších nákladů životního cyklu je uveden v příloze číslo 3.

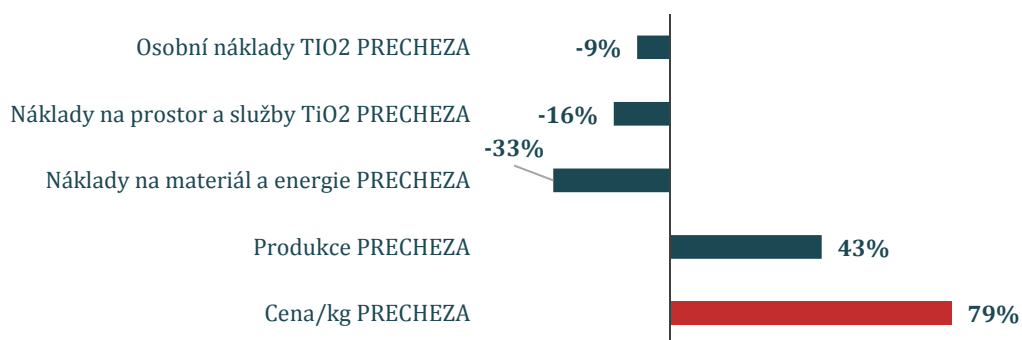
V následující tabulce jsou porovnány hlavní nákladové položky pro hodnocené procesy. U procesu hydrotermální syntézy na bázi projektu SHYMAN jsou uvedeny i výsledky fází životního cyklu stanovených v kapitole 6. Na závěr tabulky jsou uvedeny hodnoty efektivity investice ve vztahu na tunu vyrobeného produktu a počet personálu potřebného na vyrobení 10 000 tun produktu.

Tab. 16: Přehled výše nákladů sledovaných výrobních procesů; Zdroj: Zpracováno dle PRECHEZA výroční zpráva 2017 (<https://or.justice.cz>), CINKARNA CELJE výroční zpráva 2017 (www.cinkarna.si), SOL-GEL - [10], SHYMAN – vlastní zpracování

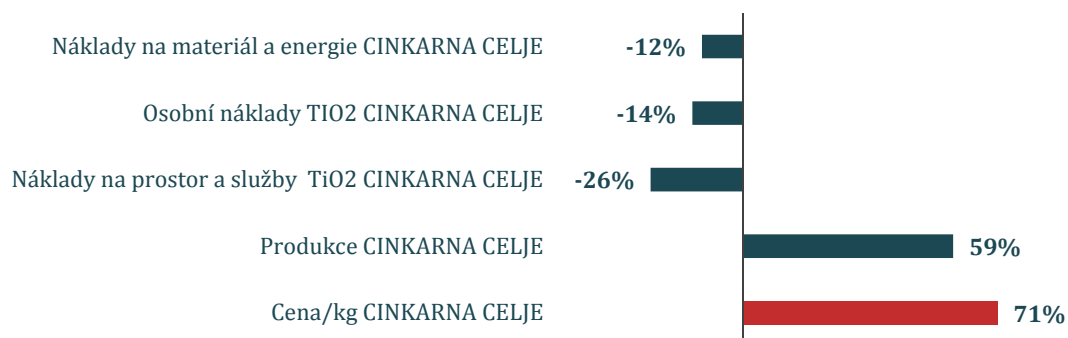
| Fáze životního cyklu | Nákladová skupina | PRECHEZA SP | CINKARNA CELJE SP | SOL-GEL | SHYMAN HTS |
|---|--------------------------------------|-------------|-------------------|-----------|------------|
| Vývojová fáze | Personální náklady | - | - | - | 41% |
| | Subdodávky | - | - | - | 1% |
| | Ostatní přímé náklady | - | - | - | 25% |
| | Nepřímé náklady | - | - | - | 34% |
| Výrobní fáze | Výroba a instalace | - | - | - | - |
| Fáze užití | Náklady na materiál a energie | 58% | 23% | 85% | 92% |
| | Výdaje na výrobní zařízení | 9% | 11% | | 2% |
| | Personální náklady | 15% | 26% | 15% | 2% |
| | Náklady na prostor, služby a ostatní | 18% | 40% | | 4% |
| Fáze likvidace | Rozebrání | - | - | | 81% |
| | Recyklace | - | - | | 0% |
| | Likvidace | - | - | | 11% |
| Investice na t výrobní kapacity | | 0,18 €/kg* | ? | 7,50 €/kg | 3,57 €/kg |
| Počet lidí na vyrobení 10 000 t nano TiO ₂ | | 110 VD | 112 VD | 1 000 VD | 161 VD |

* Zdroj: Zpracováno dle ČTK: tisková zpráva společnosti PRECHEZA, 08.06.2017

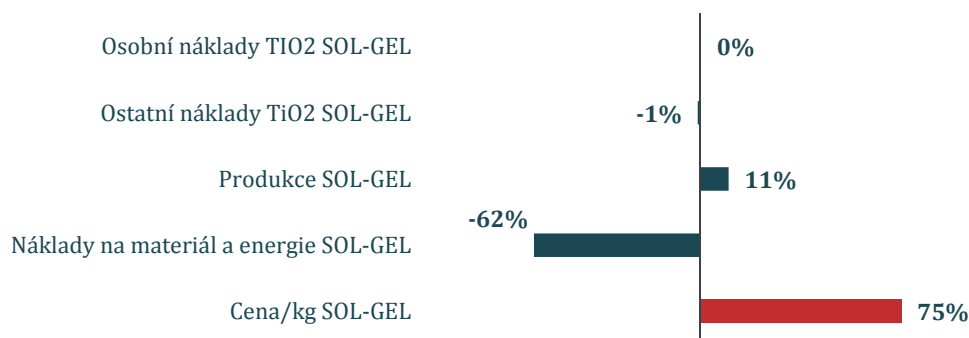
PRECHEZA



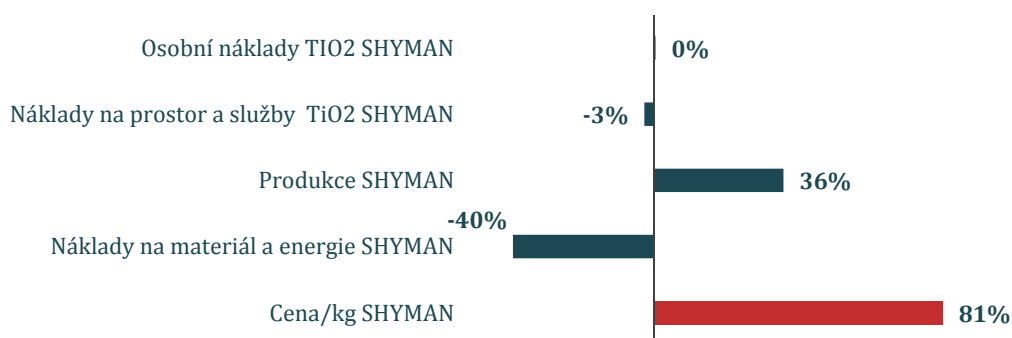
CINKARNA CELJE



SOL-GEL



SHYMAN

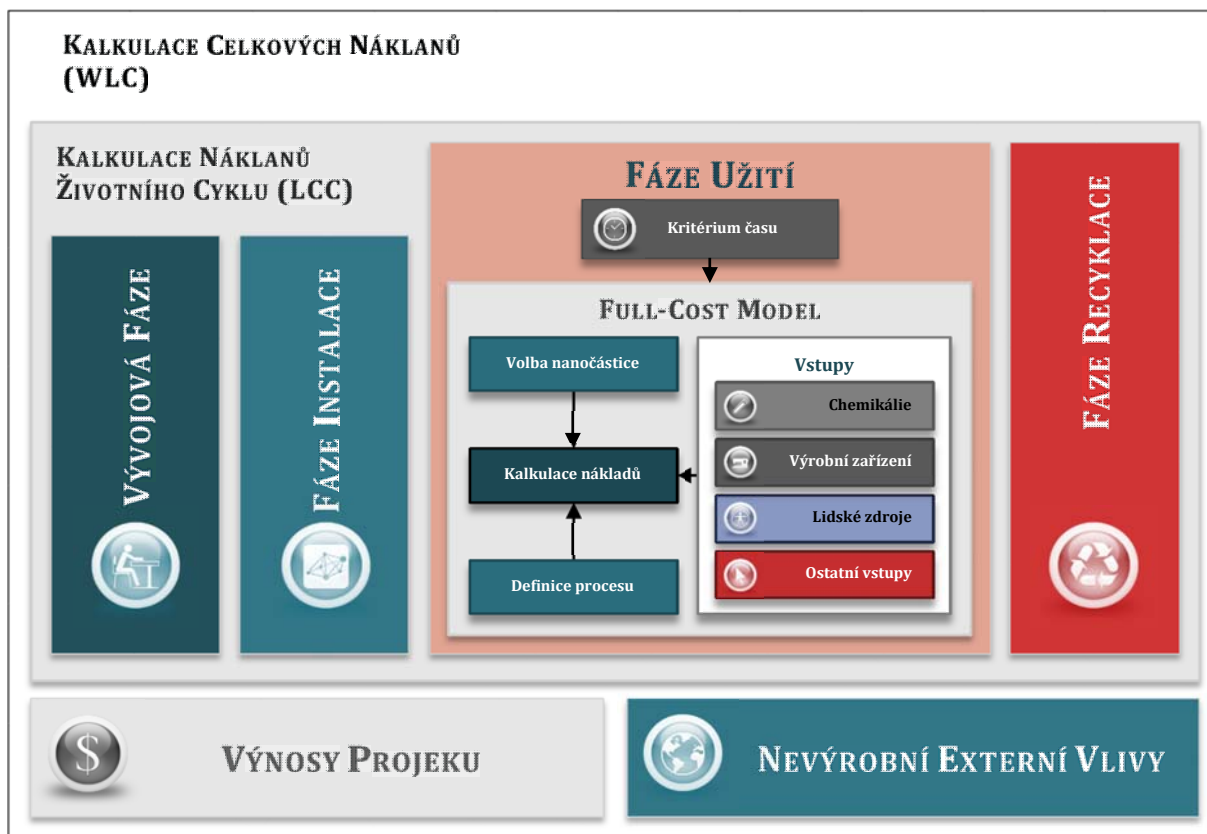


Obr. 67: Výsledky citlivostní analýzy vlivu změny hodnocených položek na celkový zisk pro jednotlivé výrobní procesy

Zdroj: Vlastní zpracování

5.2. Tvorba nákladového modelu

Při ekonomickém hodnocení výroby nanočástic je účelné sestavit nákladový model. Příklad takového modelu bude ilustrován na technologii hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby, pro kterou bylo sestaveno několik dílčích kalkulačních modelů. Každý z modelů poskytuje jiná výstupní data. Full-cost model (FCM) nákladově popisuje výrobní proces. Nákladové položky alokované na proces výroby ve FCM jsou částí vstupních dat fáze užití hodnocených v kalkulaci životního cyklu (LCC). Doplněním kalkulace nákladů životního cyklu o příjmy projektu a nevýrobní externí vlivy vzniká třetí model celého životního cyklu (WLC). Schématické vazby modelů jsou na následujícím obrázku. V této kapitole jsou popsána základní teoretická východiska, která stála za vznikem numerických modelů uvedených v příloze 4. Detailní popis funkcí modelu FCM je nahrán k modelu FCM též příloha 4.



Obr. 68: Vazby kalkulačních metod Full-cost modelu, LCC a WLC

Zdroj: Vlastní zpracování

5.2.1. Základní východiska pro model úplných nákladů Full-cost model FCM

Full-cost modely jsou nástroj k analýze přímých a nepřímých nákladů projektu. V praxi se často využívají ke komplexnímu vykazování nákladů na projekty financované z veřejných zdrojů [100]. V rámci tématu disertační práce byl FCM navržen a využit ke stanovení nákladů na výrobní fázi technologie produkce nanočástic pomocí metody hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby. Lze však univerzálně využít pro obdobné výrobní procesy (procesy založené na syntéze chemických sloučenin). Hranice systému popsaného v modelu byly zakotveny na hranici výrobních vstupů a na druhé straně dokončení finálního produktu (nanočástice). Vytvořený model byl rozšířen o nadstavbu plánování kapacit a zakázek a o příjmovou stranu. Tohoto rozšíření klasického FCM bylo využito pro analyzování ekonomičnosti výrobního procesu sloužícímu k podpoře manažerského plánování a rozhodování.

Cíle modelu FCM

Cílem modelu FCM je věrohodné zachycení nákladů spojených s entitou (procesem) a usnadnění manažerského rozhodování v oblasti plánování výrobních kapacit, optimalizace využití výrobních prostředků a prověření výrobní strategie.

Postup při sestavování modelu FCM

Aby bylo možné nákladový FCM sestavit, je nutné nejprve určit jednotlivé nákladové položky a věrohodně je přiřadit ke kalkulační jednotice⁴². K tomuto účelu bylo využito kalkulačních metod Activity base costing (ABC) a metody hodinové nákladové sazby (HNS). Obě tyto metody jsou v souladu se současnými kalkulačními trendy a reagují na aktuální potřeby v oblasti řízení nákladů. Popis obou metod je uveden dále v této kapitole.

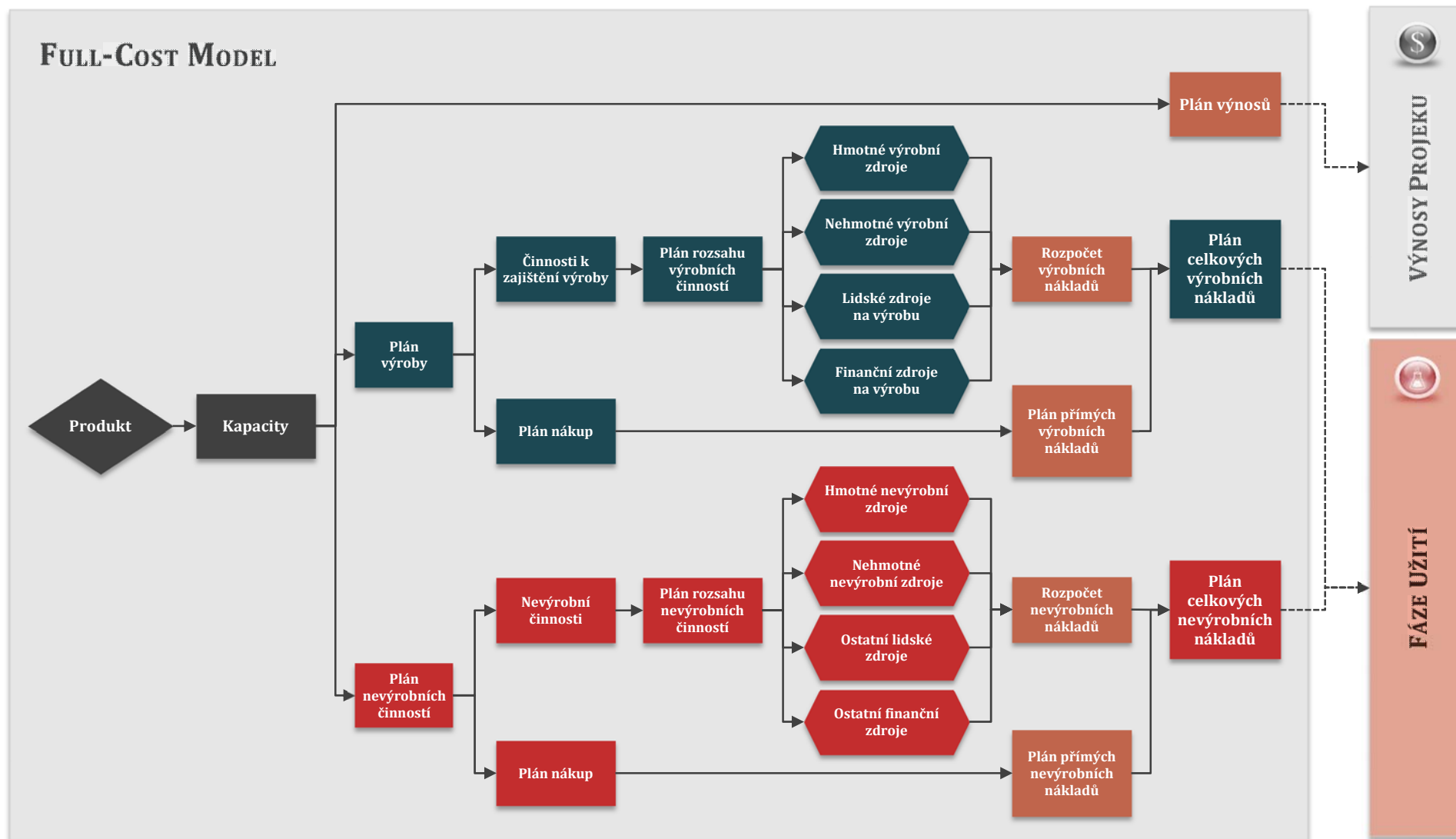
FCM byl vytvořen v prostředí programu MS Excel a primárně je strukturován procesně (snaží se reagovat na výrobní specifika). Na obrázku 69 jsou uvedeny vazby modelu FCM, které ilustrují postup při definování nákladových položek. Na základě analýzy výrobních procesů byl model rozdělen na dvě hlavní fáze. Fáze výroby nanočástic a fáze post-procesu, kdy jsou nanočástice dále upravovány a čištěny (například se zvyšuje jejich koncentrace). Další popis bude přizpůsoben výrobnímu procesu hydrotermální syntézy nanočástic. Je však možné ho s drobnými obměnami aplikovat na alternativní výrobní procesy. Zaměření se na popis hydrotermální syntézy vychází z důvodu dostupnosti nejdetailejších procesních dat.

Výrobní fáze hydrotermální syntézy je zahájena výrobou dionizované vody, ke které jsou při procesu míchání přidány prekurzory a ostatní vstupy. Tento roztok pokračuje do reaktoru, kde vzniká roztok obsahující nanočástice. Roztok je chlazen a přechází do druhé fáze post-procesu.

Druhá fáze se procesně skládá z procesu filtrace a sedimentace dle jednotlivých druhů nanočástic (stabilní = filtrace, nestabilní = sedimentace). Pro zjednodušení modelu není sedimentace považována za samotnou fázi, jelikož se v zásadě jedná o pasivní proces, kdy je semi-produkt usazován v sedimentačních tancích. Sedimentační zařízení je považováno za součást zařízení na výrobu nanočástic. Výše uvedenému členění odpovídají i formuláře na jednotlivých listech FCM.

Odpadní voda jak z výrobní tak z post-procesní fáze je neutralizována tak, aby splňovala požadavky na odpadní vodu.

⁴² Kalkulační jednotice – jedná se o elementární prvek kalkulace, ke kterému se přiřazují náklady. Nejčastěji bývá kalkulační jednoticí: výrobek, služba, činnost, fáze činnosti, okruh produktů.



Obr. 69: Vazby prvků ve Full-cost modelu a návaznost na kalkulaci celého životního cyklu (WLC), schématický postup kalkulace

Zdroj: Zpracováno dle [244]

Metoda procesního řízení nákladů Activity base costing (ABC)

Vysoká diverzifikace portfolia výrobků s krátkými životními cykly a rostoucí nároky na kvalitu jsou prvky, které z pohledu kalkulací vytvářejí dynamicky se měnící prostředí. Většina klasických kalkulačních metod alokuje náklady na kalkulační jednici přes nákladová střediska. Tento způsob alokace nákladů není v takto nestabilních podmínkách schopen poskytovat věrohodné výsledky. Oproti tomu metoda ABC alokuje náklady na kalkulační jednici přes podnikové aktivity. Opouští tak tradiční představu, že příčinou vzniku nákladů je především objem (výše cen materiálu, cena práce atd.) a za původce vzniku nákladů považuje činnosti, které jsou prostředníkem mezi náklady a nákladovými objekty. V souvislosti se vznikem této metody jsou spojena jména jako Kaplan, Cooper, Johnson, kteří v USA v 80. letech 20. století začali publikovat články na téma nedostatků tradičních metod rozvrhujících režijní náklady [120].

Co je cílem kalkulace ABC

Základním smyslem kalkulace ABC je snaha o vyjádření vztahu mezi příčinnou (činností) a důsledkem (náklady).

Postup při sestavování kalkulace ABC

Metoda kalkulace ABC pracuje s pojmy:

- **Objekt** – jedná se o nákladový objekt, který je výsledkem činností a procesů ve firmě, nejčastěji se jedná o výrobek nebo službu,
- **Nákladový objekt** – výstup z modelu ABC,
- **Činnost** – jedná se o prvek procesu, který je nutné vykonat, aby mohl vzniknout objekt (sled činností vytváří **proces**),
- **Zdroje** – základní výrobní faktory, které jsou při činnostech a firemních procesech spotřebovávány, čímž vznikají náklady.

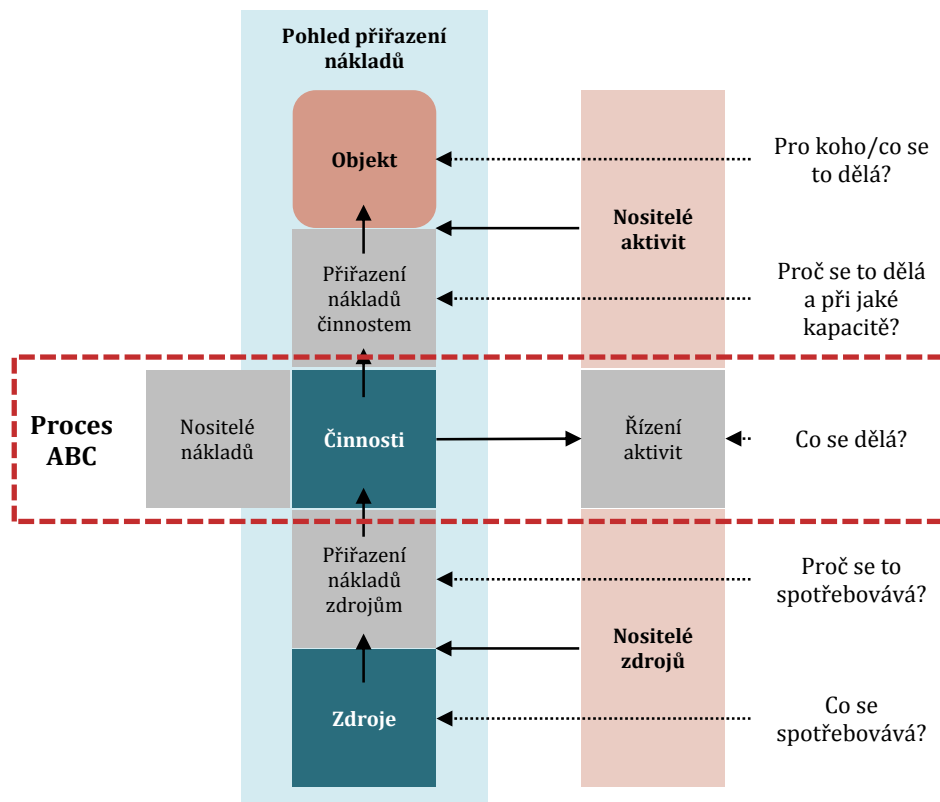
Základní zdroje spotřebovované v podniku jsou:

- **Lidské zdroje** – přímý a nepřímý personál,
- **Hmotné zdroje** – zařízení, nástroje, budovy ...,
- **Nehmotné zdroje** – duševní vlastnictví (patenty, vlastnická práva ...),
- **Finanční zdroje** – peněžní prostředky ...

Postup kalkulace ABC lze rozdělit do několika fází.

1. **Identifikace podnikových činností** – jedná se o fázi mapování podnikových procesů, které jsou rozpadány na jednotlivé činnosti. Každá činnost by měla být věcně a časově ohraničená. U jednotlivých činností se následně hledají tzv. „Cost drivers“, což je označení pro příčiny změn nákladů spotřebovovaných na jednotlivé objekty.

2. **Identifikace zdrojů a přiřazení zdrojů k činnostem** – během této fáze se uvažuje o činnostech z pohledu zdrojů, které dané činnosti spotřebovávají. Příčiny spotřeby zdrojů jsou označovány jako tzv. „activity drivers“.
3. **Identifikace nákladových objektů** – jedná se o hledání objektů, které jsou příčinou vykonávání činností a spotřebou zdrojů.
4. **Alokace nákladů na nákladový objekt** – v této závěrečné fázi jsou oceňovány nákladové objekty pomocí „cost driverů“.



Obr. 70: Proces kalkulace ABC, ve vodorovném směru je naznačen postup kalkulace ABC, ve svislém je popsán proces alokace nákladů

Zdroj: Zpracováno dle [21]

Metoda hodinové nákladové sazby (HNS)

Nástroj vnitropodnikového řízení nazývaný hodinová nákladová sazba (HNS) slouží především k určení nákladů na jednu hodinu činnosti vybrané entity⁴³. Tuto metodu kalkulace můžeme využít jak pro stanovení (předem = ex-ante) nebo zjištění (následně = ex-post) vlastních nákladů nebo ceny na kalkulační jednici. Přesto, že se jedná o nástroj používaný v obchodních vztazích velice dlouho [234], je jeho využití stále aktuální. Aktuálnost metody HNS vychází především ze schopnosti zohlednit kapacitu při alokaci nákladů.

⁴³ Entita je objekt jednotky řízení. Entitou může například být středisko, oddělení, proces, činnost.

To reaguje na současné požadavky na řízení nákladů, kdy díky stále vyšším pořizovacím investicím na výrobní zařízení je nezbytné plné využití jejich kapacity.

Co je cílem kalkulace HNS

Cílem kalkulace hodinové nákladové sazby je určit výši režijních nákladů entity za jednotku času.

Postup při sestavování kalkulace HNS

$$HNS = \frac{N_R}{Kap} \quad (29)$$

Kde: HNS Hodinová nákladová sazba [Kč/h]
N_R Režijní náklady [Kč]
Kap Kapacita entity [h]

V praxi se lze setkat s různými modifikacemi metody HNS. Tyto modifikované varianty rozšiřují využití prosté metody HNS. Varianty metody HNS jsou:

- **Prostá** – základní metoda HNS,
- **Položková** – využití nachází v aplikacích, kdy je nutné stanovit hodnotu dílčích položek v rámci vysoké hodinové sazby (dělí tuto hodnotu do menších celků, které je možné lépe kontrolovat a řídit),
- **Vertikální** – slouží ke stanovení hodinových sazeb jednotlivých pracovišť v rámci větších celků,
- **Controllingová** – využití této metody HNS lze vyhodnocovat faktory ovlivňující rozdíl plánu a skutečnosti.

Pro FCM je využito základní varianty prosté hodinové sazby.

Pomocí výše popsaných kalkulačních metod jsou alokovány nákladové položky. Detailní popis modelu viz příloha čtyři a postup kalkulace viz kapitola 6.

5.2.2. Design modelu nákladů rozšířeného životního cyklu WLC

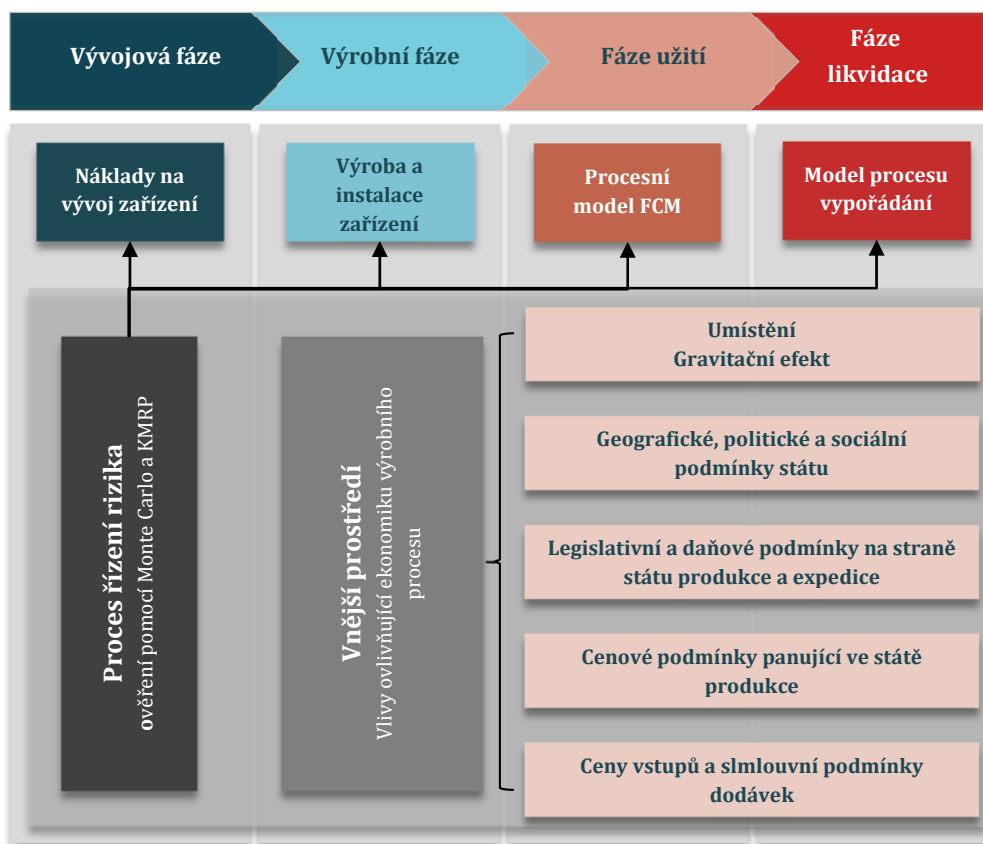
Tato podkapitola je věnována postupu, který byl využit při návrhu a tvorbě modelu rozšířených nákladů na životní cyklus zařízení pro výrobu nanočástic. Tento model má sloužit jako numerický nástroj usnadňující stanovení nákladů WLCC a jako takový navazuje na model FCM, který je rozšířen o jednotlivé fáze životního cyklu, čímž vzniká model nákladů životního cyklu LCC. Ten je dále rozšířen o externí vlivy popsané níže. Samotný model LCC je zaimplementován do modelu WLC a neexistuje jako samostatný nástroj.

Cíle modelu WLC

Cílem modelu WLC je rozšíření nákladové analýzy z modelu FCM o faktor času a další fáze životního cyklu a vytvoření komplexního modelu mapujícího náklady na celý životní cyklus výrobního zařízení pro výrobu nanočástic. Snahou je vytvořit numerický nástroj umožňující odhad rozšířených nákladů na životní cyklus výroby nanočástic.

Postup při vytváření modelu WLC

Při návrhu a vytváření modelu WLC bylo navázáno na výstupy modelu FCM. Tento model poskytl nejen vycíslení hlavních nákladových položek fáze užití výrobního zařízení, ale též je díky němu možné modelovat výnosovou stranu bilance a kapacitní možnosti výrobního procesu v závislosti na vstupních parametrech výroby (teplota a tlak). Pro stanovení nákladů životního cyklu bylo nutné pohled na výsledky FCM rozšířit na celé období fáze užití. Jelikož výrobní zařízení je schopné produkovat vysoké množství produktu, které se pravděpodobně není možné uplatnit na lokálním trhu, byl vytvořen nástroj pro formulaci scénáře uplatnění produktů v rámci globálního světového trhu s nanočásticemi reflektující zjištění z kapitoly 3.2. To vyvolává následné požadavky na rozšíření klasického modelu nákladů na životní cyklus o vlivy vnějšího prostředí a vliv gravitačního efektu trhu na výrobní proces. Z tohoto důvodu je nutné do modelu WLC zapracovat modul, umožňující oceňovat tyto vlivy.



Obr. 71: Schéma vazeb vlivu vnějšího okolí na model WLC

Vnější vlivy (faktory vnějšího okolí) ovlivňující ekonomiku výrobního zařízení

- **Umístění výrobního procesu** – gravitační efekt trhu tzn. výše nákladů na transport v rámci lokálního a mezinárodního trhu, dostupnost vstupních surovin a z toho plynoucí transportní náklady
- **Geografické, politické a sociální podmínky státu, kde je umístěno výrobní zařízení** – hustota silniční sítě, politická omezení podnikání, politická a ekonomická nestabilita, směnný kurz, dostupnost kvalifikovaných zaměstnanců a další.
- **Legislativní a daňové podmínky na straně státu, kde je umístěno výrobní zařízení** – sem patří daně (výše odvodů za zaměstnance, zdanění příjmu právnických osob,...), omezení dopravní sítě (zatížení LKW, poplatky za využívání dopravní sítě apod.)
- **Legislativní a daňové podmínky na straně státu, kam je dovážen produkt** – clo, poplatky za přepravu chemických produktů, omezení dopravní sítě (zatížení LKW, poplatky za využívání dopravní sítě apod.)
- **cenové podmínky panující ve státě, kde je umístěno výrobní zařízení** - ceny vstupních surovin, ceny energie, tepla, vodné, stočné, mzdové hladiny, ceny pozemků, náklady na stavbu hal, ceny pronájmu hal, ceny služeb, apod.
- **Ceny vstupů a smluvní podmínky dodávek mající vliv na volbu strategie údržby** – cena personálu, ceny náhradních dílů, výše poplatků za výpadek produkce a další.

Gravitační efekt mezinárodního trhu a a míra jeho vlivu

Gravitační efekt mezinárodního trhu je koncept založený na podobnosti teorie Newtonovské fyziky popisující gravitaci (přitažlivost), která závisí na velikosti (hmotnosti) předmětů a jejich vzdálenosti. Obdobně je ovlivňována přitažlivost mezinárodního trhu pro výrobce produktů. Přitažlivost trhu je závislá na velikosti a vzdálenosti trhu od místa produkce. Důvodů pro klesající přitažlivost vzdálených tržních segmentů je celá řada. Jako příklad lze uvést rozdílnost tržního prostředí, politické a kulturní bariéry trhu, délka transportu pro produkty mající krátkou časovou expiraci, vysoké nároky produktu na transportní podmínky a další. Pominou-li se vlivy vnějšího prostředí, lze za hlavní důvod klesající přitažlivosti vzdáleného trhu označit vysoké náklady na logistiku. Tyto důvody ovlivňují ekonomické výsledky a z tohoto důvodu je vhodné je do vyhodnocení začlenit. Vyčíslení vlivu vnějších faktorů na ekonomiku je však velice obtížné a těžko predikovatelné. Z tohoto důvodu není vhodné do LCC začleňovat vliv vnějších faktorů, není-li doplněn analýzou rizik. Modelové vyčíslení nákladů na logistiku ovlivněnou gravitačním efektem trhu je vyčísleno v kapitole 6.2.2.3.

Míra vlivu gravitačního efektu mezinárodního trhu a faktorů vnějšího okolí

V tabulce níže je uvedeno modelové vyčíslení faktorů vnějšího prostředí, které je možné ovlivnit rozhodnutím o umístění výrobního podniku. Hodnoty jsou převzaty z výpočtů popsanych v kapitole 6. Samotný gravitační efekt způsobuje v rámci modelovaného scénáře navýšení transportních nákladů o 39%. Z výsledků je zřejmé, že při zohlednění všech sledovaných faktorů vnějšího okolí lze optimalizovat celkové náklady WLCC až o 36%,

Tab. 17: Tabulka vlivu faktorů vnějšího okolí založená na hodnotách z kapitoly 6; modře jsou označeny % změny nákladů v porovnání s hladinou v ČR pro jednotlivé vlivy; Zdroj: Vlastní zpracování

| Stát | Vnější faktor | USA | UK | ČR | CH |
|------------------------------------|------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Personál | Cenová hladina | 72 311 467 Kč -153% | 51 492 198 Kč -80% | 28 576 457 Kč | 12 365 925 Kč 57% |
| Daně z příjmu | Odvody | 626 063 167 Kč -81% | 411 795 809 Kč -19% | 346 689 458 Kč | 495 240 137 Kč -43% |
| Voda | Cenová hladina | 45 552 748 Kč 19% | 66 852 970 Kč -18% | 56 577 758 Kč | 9 919 864 Kč 82% |
| Elektřina | Cenová hladina | 5 848 524 Kč 24% | 10 854 861 Kč -41% | 7 696 658 Kč | 17 252 082 Kč -124% |
| Plyn | Cenová hladina | 1 238 490 Kč 50% | 2 361 186 Kč 5% | 2 482 014 Kč | 3 493 950 Kč -41% |
| Náklady na prostory | Cenová hladina | 42 331 838 Kč -42% | 56 349 308 Kč -89% | 29 879 595 Kč | 39 518 450 Kč -32% |
| Logistika a clo | Gravitační efekt | 230 331 570 Kč 20% | 260 649 808 Kč 10% | 289 083 053 Kč | 175 466 072 Kč 39% |
| Celkem | - | 1 023 677 804 Kč | 860 356 140 Kč | 760 984 993 Kč | 753 256 481 Kč |
| Výše vlivu vnějších faktorů | - | 35% | 13% | 0% | -1% |

5.2.3. Nástroj pro odhad transportních nákladů dle volby přepravního konceptu MPTN

Současným fenoménem, se kterým se výrobní podniky setkávají, je globalizující se trh s výrobními vstupy/výstupy (vstupní materiál, semiprodukty, hotové výrobky). Dnes již není nic neobvyklého odebrat vstupní materiál například z Číny či USA firmou ze střední Evropy. Příčin tohoto jevu je celá řada. Mezi hlavní lze zařadit jednání firem produkující vstupní materiál dle „zákonu zhromadnění“, který říká, že vlivem většího výrobního množství klesají jednotkové náklady na produkt. Stejným způsobem se projevují stále vyšší požadavky na kvalitu a složitost vstupních materiálů. S tím spojené vysoké fixní náklady moderních výrobních procesů logicky vedou k centralizaci výroby za cenu zvýšené potřeby logistiky. Přesto, že zvýšená potřeba logistiky znamená snižování její ceny, stávají se náklady na logistiku významnou položkou mezi náklady na celý životní cyklus produktu. Významnost této nákladové položky je vždy ovlivněna nastavením platebních podmínek (kdo logistické náklady nese), avšak v konečném důsledku se vždy její výše projeví v konečné ceně produktu. Do logistických nákladů lze zařadit náklady na disponování, balení, transport, manipulaci a skladování. Položka transportních nákladů je ovlivněna způsobem přepravy, nároky na přepravu a přepravní vzdáleností.

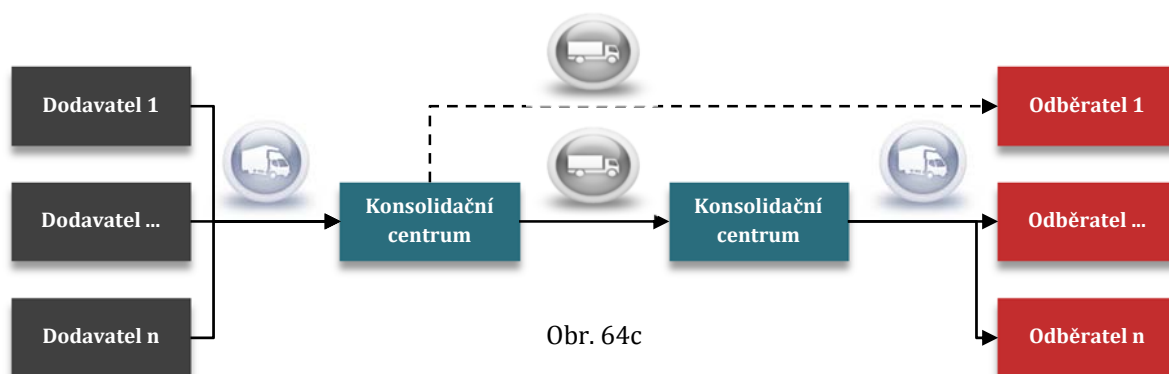
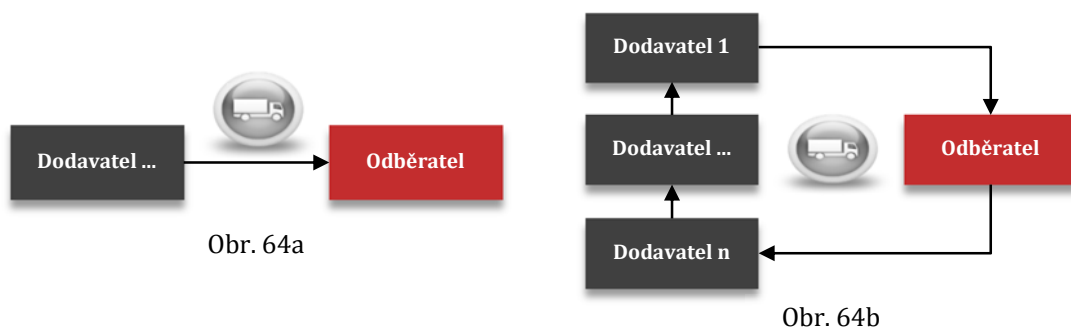
Kamionová přeprava:

Kamionová (LKW) přeprava lze charakterizovat jako přeprava materiálu a zboží využívající různé druhy nákladních vozů jezdících po silniční síti. Patří mezi rychlejší způsoby přepravy a její využití je značně flexibilní. Tato flexibilita vychází nejen ze široké dostupnosti, ale lze ji využít k transportům na krátkých až dlouhých trasách, kdy silniční síť má menší omezení než ostatní druhy přepravy (železniční, lodní, letecká, potrubní přeprava).

Transportní koncepty:

U kamionové přepravy se je možné setkat s různými transportními koncepty. Prvním hlediskem je, zda kamion jede jednocestně (cesta pouze od dodavatele k odběrateli), nebo zda se vrací zpět tzv. "kolečko". Transport v kolečku se často využívá k vracení více oběhových obalů. Dalším možným hlediskem je koncept z pohledu druhu dopravy. Jedná se o tyto koncepty:

- **Přímá jízda pravidelná** – jedná se o koncept ucelených kamionů jedoucích od dodavatele přímo k odběrateli. Pravidelnost v tomto případě znamená lepší cenové a smluvní podmínky.
- **Přímá jízda jednorázová** – i v tomto případě se jedná o ucelený kamion jedoucí přímo mezi dodavatelem a odběratelem. Hlavní rozdíl je především ve vyšší ceně plynoucí z horšího vyjednávacího postavení odběratele.
- **Milk run** – druh sběrné jízdy, který je využíván v případě blízkých dodavatelů a je postaven na principu postupného zaplňování kamionu, který objíždí postupně jednotlivé dodavatele.
- **Sběrná jízda** – sběrná jízda je transportní koncept využívaný v případě neucelených kamionů. Neucelenost kamionu může vzniknout vlivem malých objemů, či nutnosti častých dodávek (nelze čekat na ucelení kamionu). Do procesu sběrné jízdy bývá začleněna služba konsolidačních center, kdy malé transportní objemy od různých dodavatelů jsou svezeny nákladními vozy (často dodávky apod.) do skladu, kde je ucelen kamion a je poslán buď přímo k odběrateli, nebo do dalšího konsolidačního centra, odkud jsou rozvezeny jednotlivé zakázky.



Obr. 72: a) Schéma přímé jízdy, b) Schéma Milk runu, c) Schéma sběrné služby – využití jednoho konsolidačního centra pro odběratele 1 a využití 2 konsolidačních center pro ostatní odběratele

Zdroj: Vlastní zpracování

Typ dopravy:

U kamionové přepravy se lze setkat se členěním na lokální a mezinárodní přepravu. Rozhraní těchto pojmů není nikde pevně ustanoveno, ale v praxi se používá hranice 150 km a transport přes území více států.

- **Lokální přeprava** – často se jedná o kamionovou přepravu v rámci jednoho státu s transportním rádiem 150 km. Tyto služby jsou nejčastěji účtovány v hodinových sazbách. Cena hodinové sazby se v Evropě může pohybovat od 500 do 3 000 Kč/hodinu.
- **Mezinárodní přeprava** – kamionová přeprava na území více států s transportním rádiem větším než 150 km. V rámci služeb mezinárodní přepravy se běžně účtuje na ujetý kilometr. Ceny ujetého kilometru se mohou v Evropě pohybovat od 20 do 50 Kč za kilometr.

Účtování transportních nákladů:

Ceny účtované za kamionovou přepravu se mohou výrazně lišit a jejich predikce je velmi obtížná. Cenu ovlivňují jak volba transportního konceptu, typ dopravy, typ přepravního prostředku, četnost a z toho vycházející smluvní ceny, aktuální situace na trhu a další. Cílem představované prediktivní metody není absolutně stanovit náklady na kamionovou dopravu, ale je to nástroj pro hrubé plánování využitelný pro dlouhodobé plánování v návaznosti na životní cyklus výrobku. Metodika se dá využít jak ke stanovení nákladů na kamionovou logistiku vstupních materiálů, tak finálních produktu a byla navržena pro čtyři země. Jsou to: Spojené státy americké (USA), Velká Británie (UK), Česká republika (Čr) a Čína (CH). Pro stanovení rozdílu cenových hladin za kalkulační jednici (hodina, kilometr) bylo postupováno následujícím způsobem.

- 1) Definování hlavních položek ovlivňující cenu kalkulační jednice,
- 2) Zjištění položek pro jednotlivé státy,
- 3) Výpočet poměru ceny kalkulační jednice v závislosti na ceně za 1 km.

Hlavní položky ovlivňující cenu kalkulační jednice:

Mezi hlavní předpokládané položky se zařazuje leasing na tahač a návěs, cena pohonných hmot a náklady na řidiče a údržbu. Detaily k jednotlivým položkám jsou uvedeny v tabulce 18 a 19. Leasing je uvažován jako pronájem s následnou koupí. Cena tahače a návěsu je stanovena jako součet akontace a měsíčních splátek poskytovaných firmou Walter-Leasing [218]. Pro zjednodušení je roční leasingová splátka rovna rovnoměrnému účetnímu odpisu zařízení. Daně a poplatky se v jednotlivých zemích liší, avšak nelze jednoznačně určit výsledné náklady bez doplňkových znalostí, jako je druh transportovaného materiálu, trasa transportu a další. Proto byla pro tyto dvě položky určena paušální cena.

Tab. 18: Hlavní vstupní premisy výpočtů; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| | | | |
|-------------------|--------------|---------------------------------------|--------------|
| Tahač SCANIA R500 | 2 750 800 Kč | Návěs KRONE Mega SDP 27 ⁴⁴ | 764 400 Kč |
| Doba odepisování | 5 let | Doba životnosti | 8 let |
| Roční nájezd | 144 000 km | ø spotřeba | 36,5 l/100km |
| Cena pneumatik | 10 000 Kč | Počet pneu na tahač + návěs | 12 ks |
| Odhad ceny údržby | 360 000 Kč | Daně/ostatní | 1 Kč/km |
| Poplatky | 3,5 Kč/km | Směnný kurz (Euro/Dolar ke Kč) | 26,0/24,4 |

Náklady na řidiče vycházejí z ceny řidiče v České republice a hodnota mzdy je uvedena v poměru průměrných mezd ve sledovaných zemích pro rok 2017 [150, 205]. Cena pohonných hmot vychází z údajů ze serveru Global petrol prices [45].

Tab. 19: Průměrná mzda v jednotlivých státech a poměr k průměrné mzdě v České republice. Ceny pohonných hmot a jejich poměr k průměrné ceně pohonných hmot v České republice za rok 2018. Poslední sloupeček „Porovnání“ uvádí poměr ceny jednoho kilometru v jednotlivých zemích v porovnání s Českou republikou. Výpočet vychází z údajů v tabulce 20. Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Stát | Průměrná mzda | % mzda | ø cena diesel | % diesel | Porovnání (ks) |
|------|----------------|--------|---------------|----------|----------------|
| USA | 1 470 159 Kč/r | 253% | 18,8 Kč/l | 57% | 116% |
| UK | 1 046 884 Kč/r | 180% | 40,1 Kč/l | 121% | 127% |
| ČR | 580 986 Kč/r | 100% | 33,2 Kč/l | 100% | 100% |
| CH | 251 411 Kč/r | 43% | 22,5 Kč/l | 68% | 74% |

Tab. 20: Přehled hlavních položek ovlivňující cenu kalkulační jednotice. Ceny před lomítkem jsou uvedeny v korunách za rok. Hodnoty za lomítkem v závorce udávají cenu dané položky na jeden kilometr. Modře jsou uvedeny položky, u kterých se neočekává zásadní změna v rámci sledovaných zemí. Leasing odpovídá výši ročního odpisu a pojištění je řešeno v rámci leasingu. Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Položka | USA | UK | ČR | CH |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Leasing tahač+návěs | 703 040/(4,9) | 703 040/(4,9) | 703 040/(4,9) | 703 040/(4,9) |
| Nafta | 989 113/(6,9) | 2 106 682/(14,6) | 1 747 004/(12,1) | 1 181 797/(8,2) |
| Údržba | 910 964/(6,3) | 648 688/(4,5) | 360 000/(2,5) | 155 783/(1,1) |
| Pneumatiky | 115 200/(0,8) | 115 200/(0,8) | 115 200/(0,8) | 115 200/(0,8) |
| Řidič | 1 434 769/(10,0) | 1 021 683/(7,1) | 567 000/(3,9) | 245 359/(1,7) |
| Pojištění | 0/(0,0) | 0/(0,0) | 0/(0,0) | 0/(0,0) |
| Daně/ostatní | 144 000/(1,0) | 144 000/(1,0) | 144 000/(1,0) | 144 000/(1,0) |
| Poplatky | 504 000/(3,5) | 504 000/(3,5) | 504 000/(3,5) | 504 000/(3,5) |
| Celkem | 4 801 085 (33,3) | 5 243 292/(36,4) | 4 140 244/(28,8) | 3 049 179/(21,2) |

Náklady na lokální transport:

Stanovení nákladů na lokální přepravu je založené na hodinové nákladové sazbě. Jelikož lokální kamionová přeprava bývá často nasmlouvána dlouhodobě, mohou se smluvní ceny pohybovat v rozptylu

⁴⁴ Plachtový MEGA návěs s rozměry 13,60 x 2,45 x 3,00 m. Běžnější návěsy mají rozměry 13,60 x 2,45 x 2,70 m.

až 30 %. K nižší ceně obecně vede maximální vytížení kapacity tahače bez prostojů mezi zakázkami. Častým případem využití lokální kamionové přepravy je interní podniková přeprava. Pro model bylo využito hodinové nákladové sazby firmy Sommer-also [193].

Tab. 21: Hlavní vstupní premisy výpočtu lokální přepravy; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| | | | |
|--------------------------|------------|--------------------------|---------|
| Hodinová sazba HNS | 2 080 Kč/h | Ø rychlost tahače | 65 km/h |
| Dolní hranice transportu | Od 0 km | Horní hranice transportu | 150 km |
| Doba nakládky nákladu | 45 min. | Doba vykládky | 30 min. |

Stanovení transportních nákladů lokální zakázky dle MPTN [247]:

$$t_{CELK} = t_N + t_C + t_V \quad (30)$$

$$t_C = v_{AVR} \cdot s_{PÁS} \quad (31)$$

$$TN_{LZ} = HNS \cdot t_C \cdot k_S \cdot k_{VP} \quad (32)$$

Kde:

| | |
|------------|--|
| t_N | Doba nakládky návěsu [h] |
| t_C | Doba cesty [h] |
| t_V | Doba vykládky návěsu [h] |
| t_{CELK} | Celková doba transportu [h] |
| v_{AVR} | Průměrná rychlost [km/h] |
| $s_{PÁS}$ | Vzdálenost pásma (od 0 km do 150 km) [km] |
| HNS | Hodinová nákladová sazba [Kč/h] |
| k_S | Koeficient nákladnosti km v rámci hodnocených zemích viz tab. 19 sloupec „Porovnání“ [-] |
| k_{VP} | Koeficienty vracení palet (nabývá hodnot 1 – jednocestná jízda a 2 – kolečko) [-] |
| TN_{LZ} | Transportní náklady lokální zakázky [Kč] |

Tab. 22: Výsledné hodnoty pro vybraná vzdálenostní pásma lokální přepravy v jednotlivých státech, ceny platí pouze pro jednocestné transporty; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Vzdálenost | Cena LKW USA | Cena LKW UK | Cena LKW ČR | Cena LKW CH |
|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 25 km | 3 943 Kč | 4 306 Kč | 3 400 Kč | 2 504 Kč |
| 50 km | 4 870 Kč | 5 319 Kč | 4 200 Kč | 3 093 Kč |
| 75 km | 5 798 Kč | 6 332 Kč | 5 000 Kč | 3 682 Kč |
| 100 km | 6 726 Kč | 7 345 Kč | 5 800 Kč | 4 272 Kč |
| 125 km | 7 653 Kč | 8 358 Kč | 6 600 Kč | 4 861 Kč |
| 150 km | 8 581 Kč | 9 372 Kč | 7 400 Kč | 5 450 Kč |

Náklady na mezinárodní transport:

Jak již bylo výše zmíněno, u mezinárodní přepravy je často účtováno na základě ujetých kilometrů. Tento požadavek zohledňuje prostoje vzniklé povinnými zastávkami řidičů, stáním při přechodu státních hranic a podobně. Maximální ujetá vzdálenost u mezinárodní přepravy není definovaná, ale v praxi se většinou

nesetkáváme s delšími vzdálenostmi jedné trasy než 3 500 km. Při delších trasách se častěji využívá železniční přeprava. Zdrojem ceny Sommer-also [193].

Tab. 23: Hlavní vstupní premisy výpočtu mezinárodní přepravy; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| | | | |
|--------------------------|-----------|--------------------------------|----------|
| Cena za kilometr | 39 Kč/km | - | - |
| Dolní hranice transportu | Od 150 km | Běžná horní hranice transportu | 3 500 km |

Stanovení transportních nákladů mezinárodní zakázky dle MPTN [247]:

$$TN_{MZ} = p_{km} \cdot s_{P\acute{A}S} \cdot k_s \cdot k_{VP} \quad (33)$$

- Kde: p_{km} Cena za kilometr [Kč/km]
 $s_{P\acute{A}S}$ Ujetá vzdálenost [km]
 k_s Koeficient nákladnosti km v rámci hodnocených zemích viz tab. 19 sloupec „Porovnání“ [-]
 k_{VP} Koeficienty vracení palet (nabývá hodnot 1 – jednocestná jízda a 2 – kolečko) [-]
 TN_{MZ} Transportní náklady mezinárodní zakázky [Kč]

Tab. 24: Výsledné hodnoty pro vybraná vzdálenostní pásma mezinárodní přepravy v jednotlivých státech, ceny platí pouze pro jednocestné transporty; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Vzdálenost | Cena LKW USA | Cena LKW UK | Cena LKW ČR | Cena LKW CH |
|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 200 km | 9 045 Kč | 9 878 Kč | 7 800 Kč | 5 744 Kč |
| 500 km | 22 612 Kč | 24 695 Kč | 19 500 Kč | 14 361 Kč |
| 1 000 km | 45 225 Kč | 49 390 Kč | 39 000 Kč | 28 722 Kč |
| 1 500 km | 67 837 Kč | 74 086 Kč | 58 500 Kč | 43 084 Kč |
| 2 000 km | 90 450 Kč | 98 781 Kč | 78 000 Kč | 57 445 Kč |
| 2 500 km | 113 062 Kč | 123 476 Kč | 97 500 Kč | 71 806 Kč |
| 3 000 km | 135 675 Kč | 148 171 Kč | 117 000 Kč | 86 167 Kč |
| 3 500 km | 158 287 Kč | 172 866 Kč | 136 500 Kč | 100 529 Kč |

Cena přepravy dle transportního konceptu:

Volba transportního konceptu má významný vliv na celkovou výši transportních nákladů. Výše uvedené ceny za lokální a mezinárodní kamionovou přepravu (tabulka 22 a 24) odpovídají transportnímu konceptu jednosměrné přímé jízdy. Ostatní transportní koncepty obvykle znamenají změnu nákladů na transport. U pravidelných sběrných jízd je možné očekávat snížení ceny v řádu jednotek až desítek procent. Varianta dodávek materiálu či zboží pomocí konceptu Milk run s sebou nese prodražení vlivem prostojů vzniklých vícenásobnými zastávkami kamionu u různých dodavatelů. Přesto se jedná o koncept obecně levnější než sběrné jízdy. U sběrných jízd dochází k prodražení vícenásobnou manipulací a začlenění činnosti konsolidačního centra do procesu transportu. Vyčíslení významnosti vlivu konceptu na cenu transportních nákladů je velice obtížné a těžko predikovatelné. Přesto pro účely hrubého plánování transportních nákladů byly stanoveny koeficienty tohoto vlivu (tabulka 25), které jsou spíše konzervativní. Věřohodnost koeficientů byla konzultována s transportním oddělením ŠKODA AUTO.

Tab. 25: Konzervativní návrh koeficientů vlivu transportních konceptů na cenu kamionové přepravy

Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Transportní koncept | Koeficient |
|-------------------------|------------|
| Přímá jízda pravidelná | 0,9 |
| Přímá jízda jednorázová | 1,0 |
| Milk run | 1,2 |
| Sběrná jízda | 1,3 |

Vliv vytížení LKW:

Náklady na kalkulační jednici (kus, m3 ...) klesají se zvyšujícím se vytížením transportního prostředku. Rámec vytížení určují objemové či hmotnostní limity. Objemové limity jsou dány volbou návěsu (v kalkulaci použitý návěs KRONE Mega SDP 27 má objem 99,96 m3). Hmotnostní limity vycházejí ze zákonných limitů pro zatížení silniční sítě. Tato hodnota se v různých zemích světa liší. Přehled pro sledované země je uveden v tabulce 27.

Tab. 26: Maximální možné zatížení návěsu ve sledovaných státech; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Stát | Maximální zatížení |
|------|--------------------|
| USA | 20 000 kg [72] |
| UK | 26 000 kg [72] |
| ČR | 26 600 kg [72] |
| CH | 27 000 kg [222] |

Pro zjednodušený postup odhadu počtu kusů v LKW bylo navrženo 8 kategorií dílu dle objemového či hmotnostního hlediska.

Tab. 27: Kategorie dílu pro zjednodušený odhad počtu kusů v LKW, sloupce USA-CH udávají počty kusů v dané kategorii, které se vejdu na předepsaný návěs. Číslo před lomítkem udává počet kusů s hmotností v dané kategorii splňující váhové limity, číslo v závorce za lomítkem udává počet kusů s objemem v dané kategorii splňující objemové limity (za ucelený kamion je považováno vytížení 75 m3).

Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Kategorie dílu | Hmotnost | Objem | USA | UK | ČR | CH |
|----------------|----------|--------|----------|-----------|-----------|-----------|
| A | 250 kg | 0,5 m3 | 80/(150) | 104/(150) | 106/(150) | 108/(150) |
| B | 500 kg | 1,0 m3 | 40/(75) | 52/(75) | 53/(75) | 54/(75) |
| C | 750 kg | 1,5 m3 | 26/(50) | 34/(50) | 35/(50) | 36/(50) |
| D | 1 000 kg | 2,0 m3 | 20/(37) | 26/(37) | 26/(37) | 27/(37) |
| E | 1 250 kg | 2,5 m3 | 16/(30) | 20/(30) | 21/(30) | 21/(30) |
| F | 1 500 kg | 3,0 m3 | 13/(25) | 17/(25) | 17/(25) | 18/(25) |
| G | 1 750 kg | 3,5 m3 | 11/(21) | 14/(21) | 15/(21) | 15/(21) |
| H | 2 000 kg | 4,0 m3 | 10/(18) | 13/(18) | 13/(18) | 13/(18) |

Prvek inflace ve výpočtu:

Změny cen transportů podléhají řadě vlivů. Mezi hlavní činitele patří položky z tabulky 18. Největší měrou však působí mzda řidiče a ceny pohonných hmot. Jelikož žádný z parametrů nepodléhá žádným pravidelným trendům rozvoje, jejich predikce pomocí metod prognózování může do odhadu nákladů vnést

větší míru rizika, než při využití pevných aktuálních cen. Obecně lze doporučit využití nástroje inflace pouze pro vyjádření zdražování aktuálních cen.

Tab. 28: Shrnutí volby využití inflace při odhadu nákladů na kamionovou přepravu

Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Pevné aktuální ceny | Zohlednění inflace |
|---|--|
| + Minimalizuje vliv špatného odhadu parametrů | + Zohledňuje hodnotu peněz v čase |
| - Neodráží změnu hodnoty vstupů | - Riziko správného vývoje úrokové míry |
| Vhodné pro hrubý odhad | Vhodné využít v období stabilního ekonomického vývoje |

Transportní náklady se zohledněním inflace dle MPTN [247]:

$$TN_{IN} = \sum_n^1 TN_{LZ/MZ} \cdot (1 + r)^n \quad (34)$$

Kde: $TN_{LZ/MZ}$ Transportní náklady lokální/mezinárodní zakázky

r Úroková míra

n Počet let diskontování

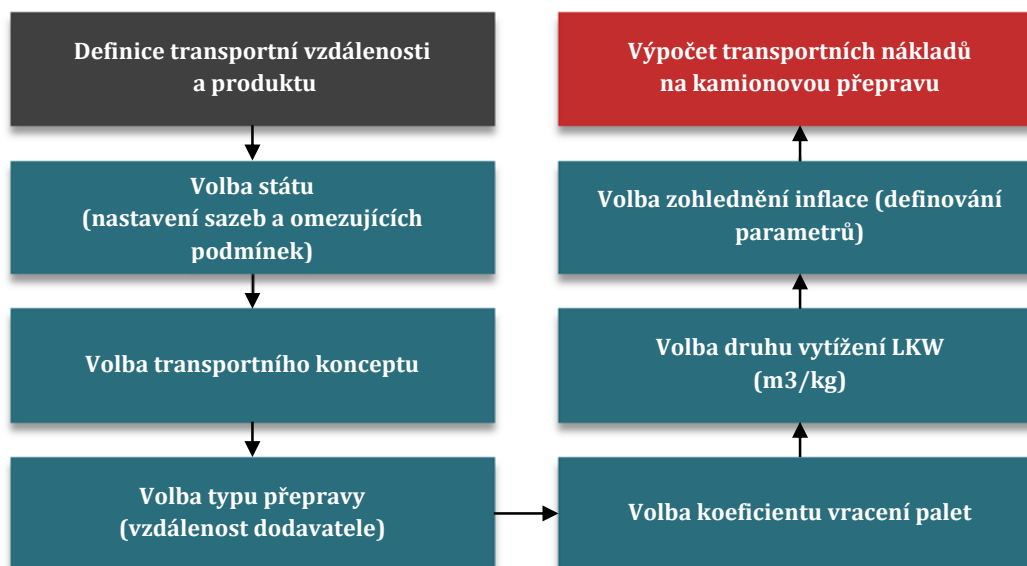
TN_{IN} Transportní náklady se zohledněním inflace

5.2.3.1. Metodický postup MPTN:

Ke stanovení odhadu transportních nákladů vyjdeme z výše uvedených premis. Při odhadu nákladů dle zde přestavené metodiky je nezbytné znát alespoň hrubě dodavatele/odběratele a produkt, pro které budou transportní náklady odhadovány. V první řadě je nutné zvolit stát, ve kterém bude přeprava realizována. Tato volba ovlivňuje nákladovost transportů a hmotnostní omezení (tabulka 19 a 26). Následuje volba transportního konceptu dle klíče uvedeného v tabulce 27. Dle vzdálenosti dodavatele je vybrána volba typu přepravy a účtování (lokální přeprava – Kč/h; mezinárodní přeprava – Kč/km). Následující krok upravuje náklady na transport dle potřeby jednocestné / vícecestné přepravy. Dle hrubé definice produktu uvedené v kroku jedna se zvolí způsob sledování vytížení LKW (objemové / hmotnostní omezení transportní kapacity = množství přepraveného materiálu / zboží). V dalším kroku musí být zvolena varianta, zda má být zohledněn prvek inflace, či budou transportní náklady odhadnuty na základě pevných aktuálních cen (nutno zvážit rizika). V posledním kroku je již proveden samotný výpočet odhadu nákladů na kamionovou přepravu.

Tab. 29: Klíč pro volbu transportního konceptu; Zdroj: Zpracováno dle [247]

| Sběrná služba | Milkrun | Přímá jízda jednorázová | Přímá jízda pravidelná |
|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|
| < 20 000 kg / 100 m3 | < 60 000 kg / 300 m3 | >= 20 000 kg / 100 m3 | >= 60 000 kg / 300 m3 |
| Nepravidelné | Pravidelné | Nepravidelné | Pravidelné |



Obr. 73: Schéma metodického postupu při odhadu nákladů na kamionovou přepravu

Zdroj: Zpracováno dle [247]

5.2.4. Návrh metodiky odhadu parametrů rozdělení pravděpodobnost náhodné veličiny metody Monte Carlo KMRP

Z textu uvedeného v kapitole 4.1.7. vyplývá důležitost správné volby a stanovení parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny. Pro většinu rizikových faktorů v ekonomických aplikacích, kde je známa nejpravděpodobnější aktuální hodnota, je možné použít trojúhelníkové, resp. normální rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny [39]. Pokud bylo zvoleno rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, dalším krokem je definovat jeho parametry. U trojúhelníkového rozdělení bude nutné nalézt dolní a horní mez.

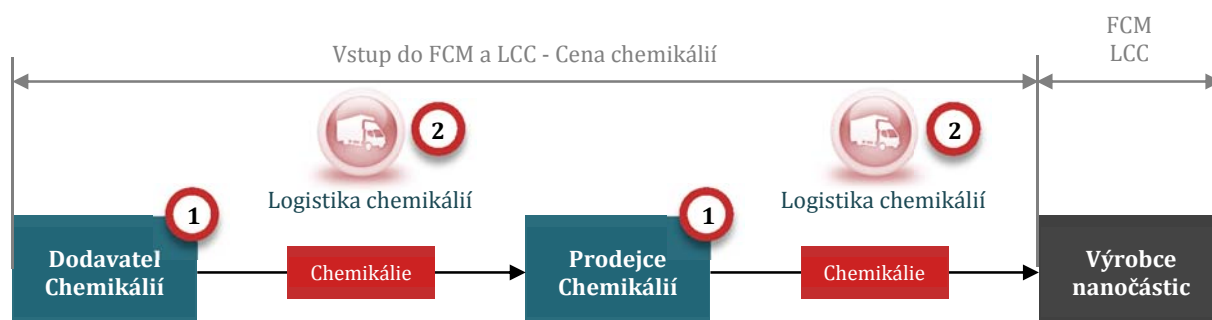
Za účelem stanovení mezí byla navrhována metoda odhadu parametrů rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny metody Monte Carlo založená na bázi kvalitativního hodnocení zvolených hodnotících kritérií. Bližší popis, platnost a hranice systému pro uplatnění této metody jsou popsány níže.

Hranice a popis systému řízení rizika v rámci LCC pro navrhovanou metodiku KMRP

Zde představovaný návrh metody řízení rizika je zaměřen na stanovení mezí rozdělení pravděpodobnosti rizikových faktorů pro fázi užití výrobního zařízení LCC s hranicemi systému definovanými: dodavatel materiálu – výrobce produktu⁴⁵ (obrázek 74). Rizika, která jsou v rámci takto nastavených hranic uvažována, jsou následující: riziko změny ceny chemikálií vlivem tržních a obchodních okolností a riziko změny transportního konceptu. Pro riziko změny ceny chemikálií bylo definováno 13 hodnotícími kritérii

⁴⁵ Materiálem jsou v tomto případě označovány chemikálie vstupující do procesu výroby produktu (nanočástic). Lze však obecně mluvit o jakémkoliv materiálu (suroviny, polotovary a podsestavy vstupující do procesu výroby finálního produktu).

a riziko spojené s vlivem změny transportního konceptu (změna dopravního prostředku, změna dodavatele apod.) dodávek chemikálií jich popisuje 6. Bližší popis jednotlivých kritérií je popsán níže.



Obr. 74: Oblasti vzniku hodnoceného rizika, 1 – riziko změny ceny chemikálií, 2 – riziko změny transportního konceptu chemikálií

Zdroj: Zpracováno dle [248]

5.2.4.1. Návrh hodnotících kritérií metody KMRP pro riziko změny pořizovací ceny

Pořizovací cenu chemikálií ovlivňuje celá řada faktorů, u kterých je různá míra pravděpodobnosti čili různá míra rizika, že ke změně ceny reálně dojde. Pro popis rizika vývoje pořizovací ceny byla zvolena hodnotící kritéria z následujících oblastí:

- Vývoj odvětví,
- Produkt a jeho charakteristika,
- Dodavatel a jeho konkurence,
- Možnost slevy (věrnostní, množstevní, za odběr více produktů).

V rámci jednotlivých oblastí jsou definována hodnotící kritéria viz tabulka 30.

Tab. 30: Hodnotící kritéria pro riziko změny ceny nanočástic (DOD – dodavatel; VÝR – výrobce)

| Riziko | Oblast | Hodnotící kritérium | Riziko v ... |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Změna ceny materiálu (chemikálií) | Vývoj odvětví | Vývoj odvětví materiálu | Možnost ztráty výrobních kapacit |
| | Vývoj odvětví | Vývoj cen odvětví materiálu | Možnost růstu výrobních nákladů |
| | Produkt | Cena produktu | Cenová zařazení materiálu |
| | Produkt | Jedinečnost produktu | Existence substitučního materiálu |
| | Produkt | Jakost produktu | Kvalitativní nároky na materiál |
| | Dodavatel | Velikost dodavatele | Předpokládaná stabilita dodavatele |
| | Dodavatel | Hodnocení dodavatele | Kvalitativní hodnocení dodavatele |
| | Dodavatel | Postavení dodavatele | Hodnota výrobce materiálu |
| | Dodavatel | Konkurence v odvětví | Vliv konkurence na cenu materiálu |
| | Dodavatel | Smluvní podmínky (DOD-VÝR) | Stabilita ceny materiálu |
| | Slevy | Četnost objednávky | Možnost věrnostní slevy |
| | Slevy | Kumulativnost odběru | Sleva za odběr více druhů produktu |
| | Slevy | Velikost odběru | Možnost množstevní slevy |

5.2.4.2. Hodnotící kritéria metody KMRP pro riziko změny transportního konceptu dodávek materiálu

Stejně jako cenu chemikálií ovlivňují vnější faktory i volbu konceptu transportu dodávek chemikálií. Jedná se především o rizika výpadku dodávek v rámci distribuční sítě a jejich nahrazení a zvláštní nároky na přepravu. Oblasti, na které jsou soustředěna hodnotící kritéria, jsou:

- Distribuční síť,
- Nároky transportu,
- Právní předpisy.

Pro výše uvedené oblasti jsou zvolena tato hodnotící kritéria viz tabulka 31.

Tab. 31: Hodnotící kritéria pro riziko změny transportního konceptu dodávek chemikálií

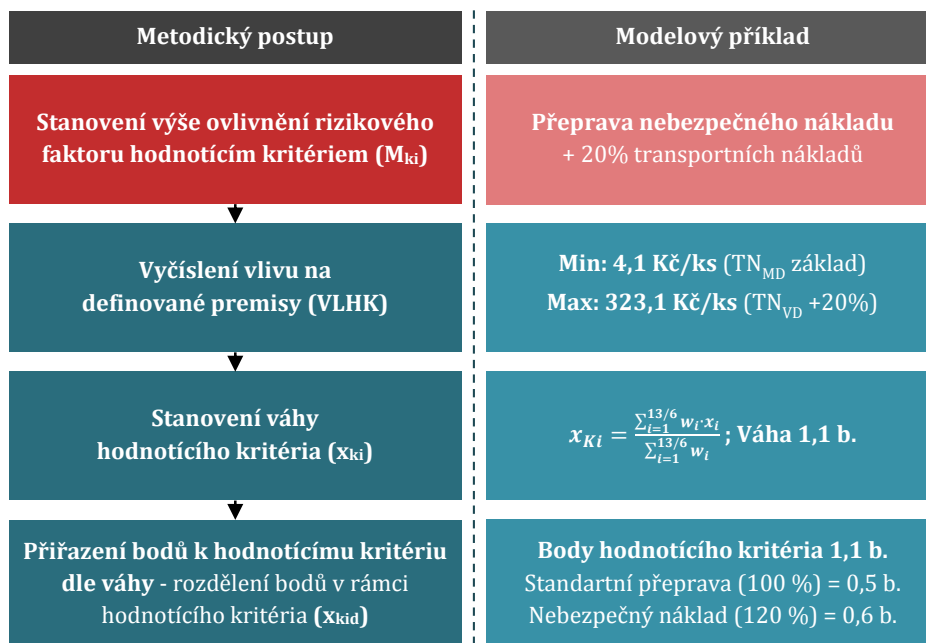
| Riziko | Oblast | Hodnotící kritérium | Riziko v ... |
|------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Změna transp. konceptu | Distrib. síť | Distribuční síť | Možnost výpadku dodávek |
| | Distrib. síť | Vzdálenost dodavatele | Zvýšení ceny vlivem vzdálenosti |
| | Distrib. síť | Dodávky | Vliv distribučních partnerů |
| | Transport | Nároky na dobu zpracování | Volba transportního konceptu |
| | Transport | Nároky na transport | Nestandardní požadavky na transport |
| | Předpisy | Zákony a předpisy | Příplatky za přepravu |

5.2.4.3. Popis zvoleného postupu stanovení váhy vlivu hodnotících kritérií metody KMRP

Váhy vlivu jednotlivých hodnotících kritérií na rozdělení pravděpodobnosti byly stanoveny na základě výpočtu provedeného pro zvolené vstupní premisy, které jsou uvedeny v tabulce 30. Jsou zde uvedeny tři objemy obecně přepravovaného materiálu vycházející z univerzálních obalových jednotek zastupující malé (MD), střední (SD) a velké díly (VD). Hmotnost dílů (materiálu, chemikálií) umístěného do obalových jednotek odpovídá maximálnímu zatížení dané obalové jednotky. Dále tabulka obsahuje tři kategorie materiálu děleného dle ceny. Tabulka obsahuje zástupce dílů levných, středně drahých a drahých. Jednotlivé ceny charakterizující cenové kategorie a jsou vstupní premisou. Váha vlivu je vypočtena jako rozdíl největšího a nejmenšího dopadu do ceny materiálu/transportních nákladů na základě působení změny hodnotícího kritéria dle postupu naznačeného na obrázku 71.

Tab. 32: Vstupní premisy pro ověření váhy vlivu hodnotících kritérií; Zdroj: Zpracováno dle [248]

| Položka | Objem 1 (MD) | Objem 2 (SD) | Objem 3 (VD) |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Vzor obalové jednotky | KLT 6280 | IBC 1000 | Paleta 1,2x2,45x1,5 m |
| Objem transportní palety | 0,067 m ³ | 1,200 m ³ | 4,410 m ³ |
| Hmotnost palety | 2,68 kg | 50,00 kg | 200,00 kg |
| Hmotnost dílu | 45,00 kg | 1 000,00 kg | 2 000,00 kg |
| Položka | Díl A | Díl B | Díl C |
| Cena produktu (p _{Dij}) | 1 000 Kč | 10 000 Kč | 100 000 Kč |
| Produkce produktu | 500 ks | 50 ks | 5 ks |
| Výnosy z produktu | 500 000 Kč | 500 000 Kč | 500 000 Kč |



Obr. 75: Metodický postup stanovení významnosti hodnotícího kritéria a modelový příklad

Zdroj: Zpracováno dle [248]

Vyčíslení vlivu hodnotícího kritéria metody KMRP na definované premisy [248]:

$$VLHK = p_{Di} \cdot M_{ki} \quad (35)$$

Kde: VLHK Vliv hodnotícího kritéria na definované premisy [- / body]
 p_{Di} Cena produktu (díl A; B; C) [Kč]
 M_{ki} Míra vlivu hodnotícího kritéria [%]

5.2.4.4. Implementace nástroje pro volbu pravděpodobnosti stavu vyvolávajícího změnu rizikového faktoru

Aby bylo možné ovlivnit pravděpodobnost stavu změny rizikového faktoru je do výpočtu zaveden nástroj pravděpodobnosti (P_{ki}). Ten nabývá hodnot z tabulky 31 a je-li jím vynásobena hodnota bodů hodnotícího kritéria (x_{kid}) je získána finální hodnota zvoleného kritéria.

Vyčíslení hodnoty kritéria metody KMRP [248]:

$$HK = x_{kid} \cdot P_{ki} \quad (36)$$

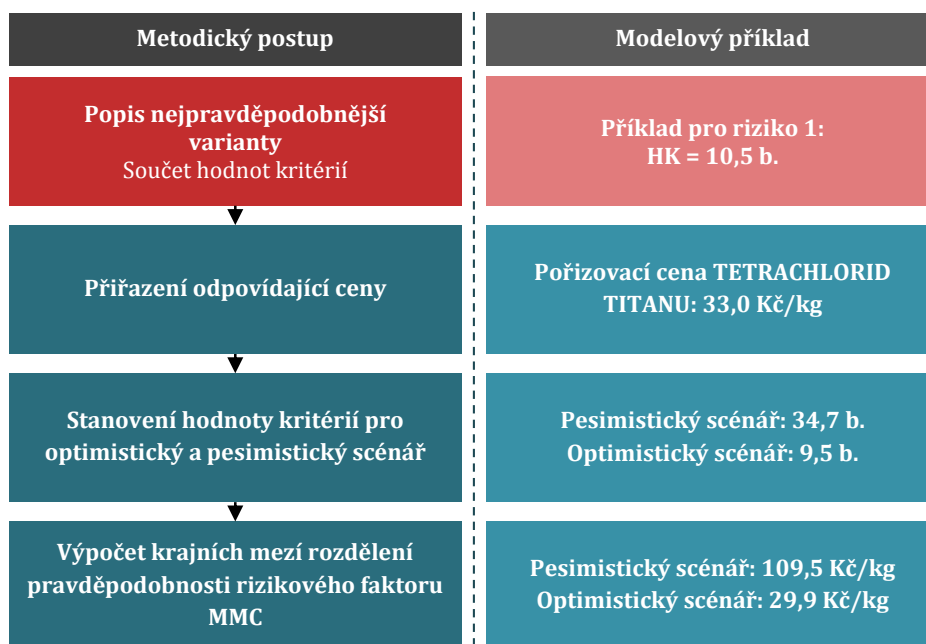
Kde: HK Hodnota kritéria [- / body]
 x_{kid} Váha hodnotícího kritéria [- / body]
 P_{ki} Pravděpodobnost stavu vyvolávajícího změnu rizikový faktor [%]

Tab. 33: Hodnoty pravděpodobnosti stavu vyvolávajícího změnu rizikového faktoru; Zdroj: Zpracováno dle [248]

| Význam | Pravděpodobnost (P_{ki}) |
|-----------------------|------------------------------|
| Nepravděpodobný | 10% |
| Málo pravděpodobný | 30% |
| Středně pravděpodobný | 50% |
| Velmi pravděpodobný | 70% |
| Téměř jistý | 90% |

5.2.4.5. Popis postupu stanovení krajních mezí rozdělení pravděpodobnosti rizikového faktoru metodou KMRP

Jsou-li nastaveny váhy hodnotících kritérií a je-li přiřazena pravděpodobnost stavu vyvolávajícího změnu rizikového faktoru k danému hodnotícímu kritériu (je stanovena hodnota kritéria HK), je možné přistoupit k závěrečnému kroku a to určení krajních mezí rozdělení pravděpodobnosti rizikového faktoru MMC. V rámci výběru hodnotících kritérií uvedených v tabulkách 33; 34; 35 je nutné sečíst všechny hodnoty kritéria HK popisující nejpravděpodobnější stav odpovídající současnému stavu hodnoceného kritéria a kvantifikovaného jeho současnou známou hodnotou. V následujících krocích se popíše pesimistický a optimistický scénář vývoje rizikového faktoru a k tomu se přiřadí součet hodnot kritérií. Na základě součtu bodů HK nejpravděpodobnějšího scénáře a jeho současné známé hodnoty se poměrově vypočtou krajní meze pro optimistickou a pesimistickou variantu.



Obr. 76: Metodický postup stanovení krajních mezí rozdělení pravděpodobnosti změny pořizovací ceny a modelový příklad určení krajních mezí pro tetrachlorid titanu

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 34: Parametry modelového příkladu určení krajních mezí tetrachloridu titanu (PS – potenciál slevy)

| Hodnotící kritérium | Optimistický scénář | | Nejpravděpodobnější scénář | | Pesimistický scénář | |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|---------------------------|---------|
| | | | | | | |
| Vývoj odvětví materiálu | Pokles odvětví | 0,7 b. | Stagnace odvětví | 0,6 b. | Pokles odvětví | 0,7 b. |
| Vývoj cen odvětví materiálu | Pokles cen | 1,0 b. | Stagnace cen | 1,1 b. | Růst cen | 1,2 b. |
| Cena produktu | Nízká cena produktu | 1,7 b. | Běžná cena produktu | 2,5 b. | Vysoká cena produktu | 22,3 b. |
| Jedinečnost produktu | Běžný | 0,4 b. | Běžný | 0,4 b. | Unikátní se substitutem | 0,5 b. |
| Jakost produktu | Jednoduchý | 1,4 b. | Jednoduchý | 1,4 b. | Sofistikovaný | 2,7 b. |
| Velikost dodavatele | Korporátní velikost (>3 000 zam.) | 0,6 b. | Korporátní velikost (>3 000 zam.) | 0,6 b. | Malá velikost (<100 zam.) | 0,7 b. |
| Hodnocení dodavatele | Vynikající | 0,6 b. | Dobrý | 0,7 b. | Dobrý | 0,7 b. |
| Hodnota značky | Běžná značka | 1,3 b. | Běžná značka | 1,3 b. | Prémiová značka | 3,9 b. |
| Konkurence v odvětví | Střední míra konkurence | 0,6 b. | Střední míra konkurence | 0,6 b. | Nízká míra konkurence | 0,7 b. |
| Smluvní podmínky | Střednědobá dohoda | 0,2 b. | Dlouhodobá dohoda | 0,2 b. | Bez dohod | 0,3 b. |
| Četnost objednávky PS | Pravidelný odběr PS | 0,3 b. | Jednorázový odběr PS | 0,3 b. | Ojedinelý odběr PS | 0,3 b. |
| Kumulativnost odběru | Odběr více produktů | 0,5 b. | Odběr jednoho produktu | 0,5 b. | Odběr jednoho produktu | 0,5 b. |
| Velikost odběru | Velký odběr | 0,3 b. | Malý odběr | 0,3 b. | Střední odběr | 0,3 b. |
| Body celkem | 9,5 b. | | 10,5 b. | | 34,7 b. | |
| Cena chemikálie | 22,9 Kč/kg | | 33,0 Kč/kg | | 109,5 Kč/kg | |

Tab. 35: Celkový přehled hodnotících kritérií pro riziko změny pořizovací ceny materiálu se zobrazenými mírami, váhami a pravděpodobnostmi

| Ozn. | Hodnotící kritérium | Volba míry kritéria | Míra (M_{ki}) | Stanoveno dle | Váha (x_{ki}) | (x_{kid}) | Pravděpodobnost (P_{ki}) | Popis (zdroj) |
|------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|--|-------------------|---------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Vývoj odvětví materiálu | Růst odvětví | 90% | Ø růst odvětví chemického průmyslu [39] | 3,6 b. | 1,1 b | 50% | Středně pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Stagnace odvětví | 100% | | | 1,2 b | | |
| | | Pokles odvětví | 110% | | | 1,3 b | | |
| 2 | Vývoj cen odvětví materiálu | Růst cen | 110% | Ø růst cen chemického průmyslu [25] | 3,6 b. | 1,3 b | 90% | Téměř jistý (Odborný odhad) |
| | | Stagnace cen | 100% | | | 1,2 b | | |
| | | Pokles cen | 90% | | | 1,1 b | | |
| 3 | Cena produktu | Vysoká cena produktu | 900% | Cena luxusního zboží [215] | 37,8 b. | 31,8 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Běžná cena produktu | 100% | | | 3,5 b | | |
| | | Nízká cena produktu | 70% | | | 2,5 b | | |
| 4 | Jedinečnost produktu | Unikátní bez substitutu | 135% | Marže odvětví software Marže odvětví elek. zařízení Marže odvětví chem. průmysl Marže odvětví prům. výroba [36] | 3,9 b. | 1,1 b | 50% | Středně pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Unikátní se substitutem | 125% | | | 1,0 b | | |
| | | Vzácný | 120% | | | 1,0 b | | |
| | | Běžný | 100% | | | 0,8 b | | |
| 5 | Jakost produktu | Vysoce sofistikovaný | 600% | Ø porovnání cen chemikálií od Sigma Aldrich a chemikáliích dostupných na Alibaba.com | 17,7 b. | 11,8 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Sofistikovaný | 200% | | | 3,9 b | | |
| | | Jednoduchý | 100% | | | 2,0 b | | |
| 6 | Velikost dodavatele | Korporátní velikost (>3 000 zam.) | 100% | Odhad míry hodnotícího kritéria | 3,6 b. | 0,8 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Velká velikost (>500 zam.) | 105% | | | 0,9 b | | |
| | | Střední velikost (>100 zam.) | 110% | | | 0,9 b | | |
| | | Malá velikost (<100 zam.) | 120% | | | 1,0 b | | |
| 7 | Hodnocení dodavatele | Vynikající | 90% | Odhad míry rizika | 3,2 b. | 0,9 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Dobrý | 100% | | | 1,0 b | | |
| | | Špatný | 130% | | | 1,3 b | | |
| 8 | Postavení dodavatele (hodnota značky) | Prémiová značka | 300% | Odhad míry hodnotícího kritéria | 9,3 b. | 4,3 b | 90% | Téměř jistý (Odborný odhad) |
| | | Uznávaná značka | 150% | | | 2,2 b | | |
| | | Běžná značka | 100% | | | 1,4 b | | |
| | | Neuznávaná značka | 95% | | | 1,4 b | | |
| 9 | Konkurence v odvětví | Vysoká míra konkurence | 92% | Odhad míry hodnotícího kritéria | 3,7 b. | 1,1 b | 50% | Středně pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Střední míra konkurence | 100% | | | 1,2 b | | |
| | | Nízká míra konkurence | 115% | | | 1,4 b | | |

Tab. 36: Celkový přehled hodnotících kritérií pro riziko změny pořizovací ceny materiálu se zobrazenými mírami, váhami a pravděpodobnostmi; Zdroj pro Tab. 33; 34; 35: Vlastní zpracování

| Ozn. | Hodnotící kritérium | Volba míry kritéria | Míra (M_{ki}) | Stanoveno dle | Váha (x_{ki}) | ($x_{ki,d}$) | Pravděpodobnost (P_{ki}) | Popis (zdroj) |
|------|---|--------------------------------|-------------------|---|-------------------|----------------|------------------------------|------------------------------------|
| 10 | Smluvní podmínky (DOD-VÝR) | Dlouhodobá dohoda | 100% | Odhad míry hodnotícího kritéria | 3,4 b. | 0,8 b | 30% | Málo pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Střednědobá dohoda | 105% | | | 0,8 b | | |
| | | Krátkodobá dohoda | 110% | | | 0,9 b | | |
| | | Bez dohod | 115% | | | 0,9 b | | |
| 11 | Četnost objednávky - potenciál slevy (PS) | Pravidelný odběr PS | 95% | Odhad míry hodnotícího kritéria | 3,1 b. | 1,0 b | 30% | Málo pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Ojedinelý odběr PS | 97% | | | 1,0 b | | |
| | | Jednorázový odběr PS | 100% | | | 1,1 b | | |
| 12 | Kumulativnost odběru | Odběr více produktů | 95% | Odhad míry hodnotícího kritéria | 3,1 b. | 1,5 b | 30% | Málo pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Odběr jednoho produktu | 100% | | | 1,6 b | | |
| 13 | Velikost odběru | Velký odběr | 80% | Výše množstevní slevy, odhad zpracován dle [54] | 4,1 b. | 0,8 b | 30% | Málo pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Střední odběr | 95% | | | 1,0 b | | |
| | | Malý odběr | 100% | | | 1,1 b | | |
| | | Odběr pro laboratorní podmínky | 110% | | | 1,2 b | | |

Tab. 37: Celkový přehled hodnotících kritérií pro riziko změny transportního konceptu dodávek materiálu se zobrazenými mírami, váhami a pravděpodobnostmi

| Ozn. | Hodnotící kritérium | Volba míry kritéria | Míra (M_{ki}) | Stanoveno dle | Váha (x_{ki}) | ($x_{ki,d}$) | Pravděpodobnost (P_{ki}) | Popis (zdroj) |
|------|---------------------------|---|-------------------|---|-------------------|----------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Distribuční síť | Globální distribuční síť (GDS) | 106% | Výpadek produkce po dobu alternativní dodávky* | 40,0 b. | 0,9 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Rozsáhlá distribuční síť (RDS) | 132% | | | 4,3 b | | |
| | | Střední rozsah distribuční sítě (SRDS) | 164% | | | 8,7 b | | |
| | | Omezená dostupnost (OD) | 292% | | | 26,1 b | | |
| 2 | Vzdálenost dodavatele | Nad 1 000 km | 2017% | Stanoveno dle ceny přepravy a dle hmotnosti dílu** | 12,4 b. | 8,0 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Nad 500 km | 672% | | | 2,7 b | | |
| | | Nad 100 km | 336% | | | 1,3 b | | |
| | | Pod 100 km | 100% | | | 0,4 b | | |
| 3 | Dodávky | Napřímo | 100% | Zpracováno dle [204] | 1,1 b. | 0,3 b | 50% | Středně pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Didtribuční síť sdílená | 110% | | | 0,4 b | | |
| | | Distribuční síť unikátní | 130% | | | 0,4 b | | |
| 4 | Nároky na dobu zpracování | Krátká doba expirace (KDE) | 4818% | Stanoveno dle ceny různých druhů přepravy a dle hmotnosti dílu*** | 42,2 b. | 32,1 b | 90% | Téměř jistý (Odborný odhad) |
| | | Střední doba expirace (SDE) | 895% | | | 6,0 b | | |
| | | Dlouhá doba expirace (DDE) | 518% | | | 3,4 b | | |
| | | Bez doby expirace (BDE) | 100% | | | 0,7 b | | |
| 5 | Nároky na transport | Vysoce speciální nároky na transportní podmínky | 378% | Stanoveno na bázi nadměrných přeprav [9] | 3,3 b. | 1,7 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Speciální nároky na transportní podmínky | 274% | | | 1,2 b | | |
| | | Běžné nároky na transportní podmínky | 100% | | | 0,4 b | | |
| 6 | Zákony a předpisy | Produkt podléhající speciálním právním omezením | 120% | Příplatky za ADR Přepravy; počítáno 10 000 Kč/zakázku [25] | 1,1 b. | 0,6 b | 70% | Velmi pravděpodobný (Odborný odhad) |
| | | Produkt bez zvláštních právních omezení | 100% | | | 0,5 b | | |

*Výše nákladů na výpadek produkce byla stanovena na základě výnosů z prodeje denního množství nanočástic vyprodukovaných v roce 2017 (500 000 Kč). Doba výpadku odpovídá době dopravy od alternativního dodavatele (GDS – 100 km/0,1 dne; RDS – 500 km/0,3 dne; SRDS – 1 000 km/0,6 dne; OD - 3 000 km/1,9 dne).

**Cena za LKW/cena za kg (3 000 km – 117 000 Kč/LKW / 4,40 Kč/kg; 1 000 km – 39 000 Kč/LKW / 1,47 Kč/kg; 500 km – 19 500 Kč/LKW / 0,73 Kč/kg; 100 km – 5 800 Kč/LKW / 0,22 Kč/kg).

***Pro výpočet bylo zvoleno kritérium konceptu přepravy; KDE (letecká přeprava) – 11,74 Kč/tkm; SDE (kamionová přeprava) – 2,18 Kč/tkm; DDE (vlaková přeprava) – 1,26 Kč/tkm; BDE (lodní doprava) – 0,24 Kč/tkm

6. Koncepce ekonomického vyhodnocení výrobního procesu na bázi hydrotermální syntézy

Šestá kapitola disertační práce popisuje navržený postup alokace jednotlivých nákladových položek ke kalkulačním jednicím vyhodnocovaných kalkulačních metod. V rámci celkového hodnocení výrobního procesu hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby vycházejícího z procesu SHYMAN byly sestaveny tři⁴⁶ nákladové modely. Postupně budou popsány výpočty použité k alokaci nákladů v jednotlivých modelech. Chronologie představení jednotlivých kalkulačních modelů odpovídá procesu vyhodnocování celého projektu. Projekt je vyhodnocen pro čtyři nanočástice, kterými jsou TiO_2 , ZrO_2 , ZnO a LiFePO_4 .

V rámci jednotlivých analýz nejsou vstupní měny převedeny na české koruny, které jsou hlavním měnou vyhodnocení. Důvodem pro záměrné ponechání hodnot v původní měně je fakt, že se eliminují vlivy kurzových převodů a umožňuje to u vybraných položek⁴⁷ zachovat si řádovou představu o správnosti. Měna se převádí pomocí fixního směnného kurzu až v posledním kroku, kdy vstupuje do celého nákladového modelu WLC.

6.1. Ekonomické vyhodnocení výrobní fáze na základě full-cost modelu

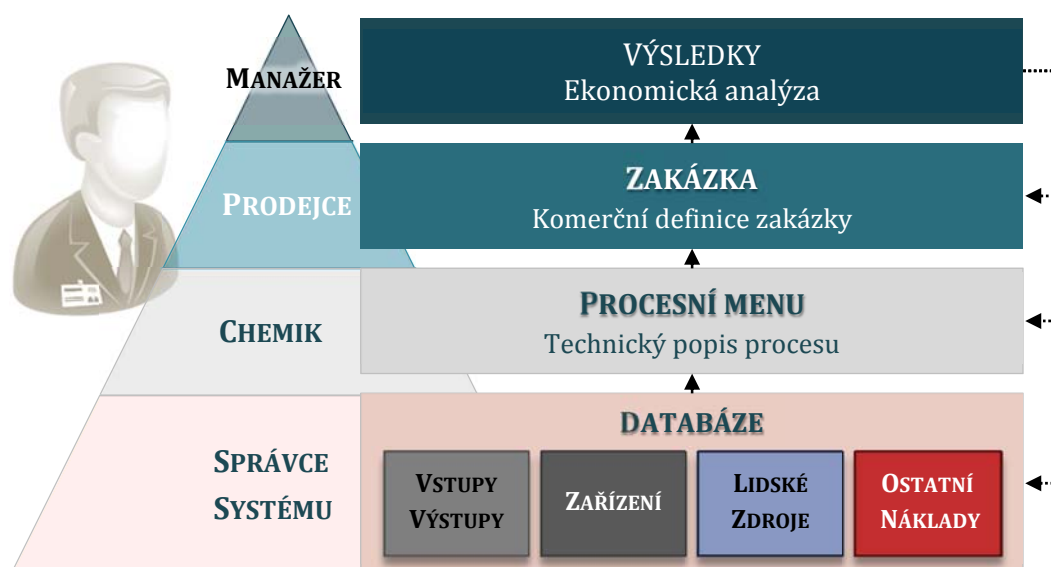
Prvním stupněm vyhodnocení ekonomičnosti procesu výroby metodou hydrotermální syntézy je stanovení nákladů výrobní fáze výrobního zařízení. Za tímto účelem byl navržen a sestaven full-cost model (FCM). Pojetí procesně orientovaného nákladového modelu je orientováno na manažerská rozhodnutí. Z tohoto důvodu byl FCM koncipován jako víceúrovňový systém poskytující data ve formě usnadňující rozhodování. Vyhodnocení pomocí FCM je zaměřeno na výrobu umístěnou ve Velké Británii. Rozšíření modelu o další státy bude provedeno v podkapitole věnované nákladům životního cyklu.

6.1.1. Návrh základní struktury FCM

Full-cost model je strukturován do několika úrovní (obr. 77), s nimiž jsou spojeny typické uživatelské role. Všechny čtyři role však může zastávat jedna osoba. Rozdělení do rolí pouze indikuje typické úlohy a vstupy/výstupy, se kterými daná osoba pracuje [240].

⁴⁶ Přesto, že je zde hovořeno o třech modelech, model nákladů životního cyklu (LCC) je součástí modelu celkových nákladů životního cyklu (WLC) a nelze ho od něj oddělit. Z tohoto důvodu mohou čtenáři jednotlivé modely splývat.

⁴⁷ Příkladem může být cena kontejneru, která se běžně obchoduje v dolarech. Převod na koruny může být pro rychlé čtení zavádějící.



Obr. 77: Struktura full-cost modelu (FCM)

Zdroj: Zpracováno dle [240]

Zdrojové databáze systému FCM – 1. úroveň systému

Základní úroveň FCM jsou vstupní zdrojové databáze. Tyto databáze jsou udržovány správcem systému, který do databází zadává jednotlivá zdrojová data. Tato data se stávají vstupy pro další úrovně FCM. V rámci zdrojových databází se definují následující položky:

- **Vstupy / výstupy** - chemikálie vstupující a vystupující z procesu výroby nanočástic,
- **Zařízení** - zařízení, která utváří samotný proces hydrotermální syntézy (čerpadla, boiler...),
- **Lidské zdroje** - personál zajišťující chod celého výrobního procesu,
- **Ostatní náklady** - náklady na prostor, energie (kromě energií na samotný chod výrobního procesu) nakupované služby, další vybavení, které netvoří samotný výrobní proces (laboratorní vybavení, HW, SW, etc.).

Procesní a kapacitní menu systému FCM – 2. úroveň systému

Druhá úroveň systému FCM definuje výrobní proces a jeho kapacitních možností. Vstupní parametry systému FCM popisují nastavení výrobního zařízení, které definuje technický pracovní (chemik). Hlavní obsah je zastoupen na dvou listech. Prvním listem je procesní menu a druhým je kapacitní list. Procesní menu slouží ke správě procesních listů, do kterých vstupují data z databází. Každý procesní list popisuje konkrétní proces charakterizovaný nanočásticemi a nastavením výrobních parametrů. V listu jsou alokovány náklady na procesní hodinu využití v dalších úrovních systému. Kapacitní list slouží ke stanovení výrobních kapacit zařízení. Umožňuje formulovat časové omezení (směnnost, pracovní dobu, počty pracovních dní) a volit způsob výrobního procesu (kontinuální/dávková výroby). Samotný výpočet využití kapacity reaguje na požadavky prodejce zadávané ze třetí úrovně systému. V rámci tohoto modulu je zpracován nástroj pro optimalizaci využití kapacit na základě předsunutí zakázek.

Do procesních listů je nutné doplnit tyto položky:

- **Vstupní chemikálie** a jejich **hodinová spotřeba**,
- **Výstupní chemikálie** a jejich **hodinová produkce**,
- **Volba součástí výrobního zařízení** a jejich **spotřeba energie a zemního plynu**,
- **Další volitelné parametry** – například neproduktivní čas potřebný pro nastavení zařízení.

Definice zakázky systému FCM – 3. úroveň systému

Zakázkový list je věnován obchodní definici zakázky. Umožňuje prodejci specifikovat cenu pro konkrétního zákazníka, modelovat využití kapacit. Do listu je nutné zadat položky:

- **Nanočástice** – volba druhu nanočástice a výrobního procesu,
- **Prodejní objemy** – množství nanočástic na zakázku,
- **Prodejní cena kg nanočástic** – lze měnit dle odběratele a velikosti zakázky,
- **Výrobní týden** – termín, kdy má být zakázka dokončena.

List poskytuje tyto ekonomické charakteristiky:

- **Procesní čas na zakázku**
- **Příspěvek na úhradu** - prostý, kumulativní,
- **Break even price (BEP)** – prodejní cena nanočástice s nulovým ziskem,
- **Výrobní náklady na 1 kg nanočástic**

Výsledkový list systému FCM – 4. úroveň systému

Nejvyšší úroveň FCM je úroveň prezentující výsledná data a umožňující provádět ekonomické analýzy (obr. 74). List je vybaven filtrem produktů a zakázek, modulem pro přepočítání měnového kurzu a modulem pro plánování kapacity.

List umožňuje analyzovat ekonomické parametry:

- **Příspěvek na úhradu** – prostý, kumulovaný, příspěvek na úhradu za hodinu,
- **Výnosy** – výnosy jednotlivých zakázek,
- **Nákladová struktura** – náklady rozčleněné dle procentuálního zastoupení,
- **Break even price (BEP)** – prodejní cena nanočástice s nulovým ziskem,
- **Procesní čas zakázek** – v hodinovém nebo procentním vyjádření,
- **Variabilní kalkulace vybrané zakázky** – ve formě koláčového/vodopádového grafu,
- **Souhrnné ekonomické charakteristiky** – celkové výnosy, náklady, zisk,
- **Využití kapacity** – celkové využití kapacity, využití kapacity dle jednotlivých týdnů.

List umožňuje provádět následující analýzy:

- Hodnocení celkových výrobních možností a strategie,
- Ekonomické hodnocení výrobního procesu,
- Ekonomické hodnocení jednotlivých zakázek a nanočástic,
- Prioritizace zakázek dle ekonomických výsledků a kapacitních možností,

- Optimalizace produktového portfolia na základě ekonomických výsledků,
- Citlivostní analýza,
- Analýza co když (what-if analýza)



Obr. 78: Ukázka výsledkového listu FCM

Zdroj: Zpracováno dle [240]

6.1.2. Východiska pro alokaci nákladů a ekonomické hodnocení

Výše popsaný model FCM slouží ke kalkulaci nákladových položek. V této části budou představeny hodnocené nákladové položky, principy jejich kalkulace a jednotlivé výstupy kalkulací.

Premisy výpočtu:

- Odhadované prodejní ceny nanočástic jsou převzaty z projektu SHYMAN. V rámci projektu byla data získána analýzou trhu a konzultacemi s experty (J. Procházka, Advanced Materials-JTJ),
- V tabulce 38 a 39 jsou dále uvedeny hlavní výrobní charakteristiky procesu.

Tab. 38: Vstupní data použitá ve výpočtech FCM, LCC, WLC

| Položka | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|
| Cena 1 kg/NČ * | 40,00 €/kg | 43,00 €/kg | 43,00 €/kg | 30,00 €/kg |
| Hodinová produkce nanočástic** | 59,9 kg/h | 92,4 kg/h | 30,5 kg/h | 47,3 kg/h |
| Koncentrace produktu | 8% | 8% | 8% | 8% |
| Reakční teplota | 400 °C | 400 °C | 400 °C | 400 °C |
| Celkový průtok zařízením | 4 500 kg/h | 4 500 kg/h | 4 500 kg/h | 4 500 kg/h |

* Cena nanočástic vychází z analýzy trhu a byla převzata z projektu SHYMAN.

** Hodinová produkce nanočástic vychází z projektu SHYMAN, jedná se o parametr výrobního procesu, který je zjištěn empirickým měřením.

Dalšími vstupy jsou kapacitní charakteristiky výroby, ceny zemního plynu, elektřiny, vody a směnné kurzy. Výrobní zařízení SHYMAN je koncipováno jako velkokapacitní a proto pro výpočet byla zvolena maximální výrobní kapacita třisměnného režimu. V závěru jsou uvedeny výstupy z analýzy Monte Carlo a citlivostní analýzy, které kvantifikují případná rizika tohoto nastavení procesu.

$$KAP_{z\check{r}} = PH \cdot SM \cdot PD \cdot VPD \quad (37)$$

- Kde: KAP_{zř} Výrobní kapacita zařízení [h]
 PH Počet pracovních hodin za směnu [h]
 PS Počet směn za den (pozn. v modelu je uvažován max. 15 směnný režim) [směna]
 PD Počet pracovních dní za rok [dny]
 VPD Procento čistého pracovního času – využití pracovní doby [%]

Tab. 39: Vstupní data použitá ve výpočtech kapacity

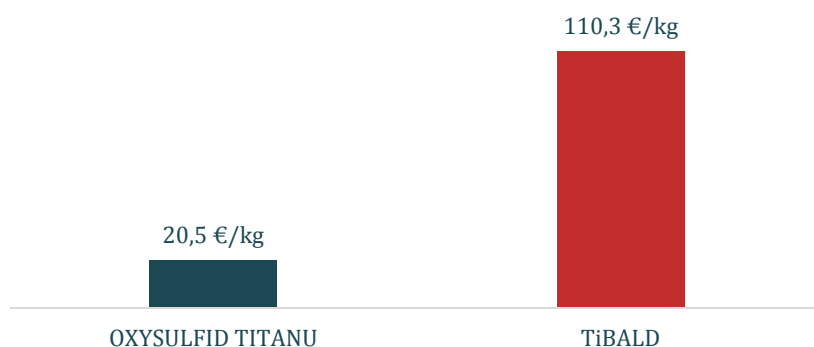
| Položka | Hodnota | Položka | Hodnota |
|--------------------------|-----------|--------------------|------------------------|
| Počet hodin za den | 7,5 h | Cena zemního plynu | 0,043 £/kWh |
| Počet směn za den | 3 s | Cen elektřiny | 0,130 £/kWh |
| Počet pracovních dní/rok | 231 d | Cena vody | 1,815 £/m ³ |
| Využití pracovní doby | 80% | Kurz £ | 33,00 Kč |
| Kapacita | 4 158,0 h | Euro € | 27,03 Kč |

6.1.2.1. Postup alokace variabilních nákladů na vstupní chemikálie

Vstupní chemikálie spadají do kategorie variabilních nákladů a významným způsobem ovlivňují celou ekonomiku výrobního procesu. Jednotlivé ceny prekurzorů a jejich spotřeba se mohou výrazně lišit a volba prekurzoru může zvrátit ziskovost výrobního procesu ve ztrátu viz tabulka 40 a obrázek 79.

Tab. 40: Rozdílné náklady prekurzorů pro výrobu nanočástic TiO₂; Zdroj: Zpracováno dle (projekt SHYMAN)

| Položka | Spotřeba | Cena | Produkce | Náklady |
|-------------------|------------|----------|-----------|------------|
| OXY-SULFID TITANU | 799,7 kg/h | 1,5 €/kg | 59,9 kg/h | 20,5 €/kg |
| TiBALD | 216,6 kg/h | 18,3 €/l | 35,9 kg/h | 110,3 €/kg |



Obr. 79: Vstupní náklady na prekursorů pro výrobu nanočástic TiO₂

Zdroj: Zpracováno dle [241]

$$N_{CH} = \frac{J_{C_{CH}} \cdot SP_{CH}}{HP_{NČ}} \quad (38)$$

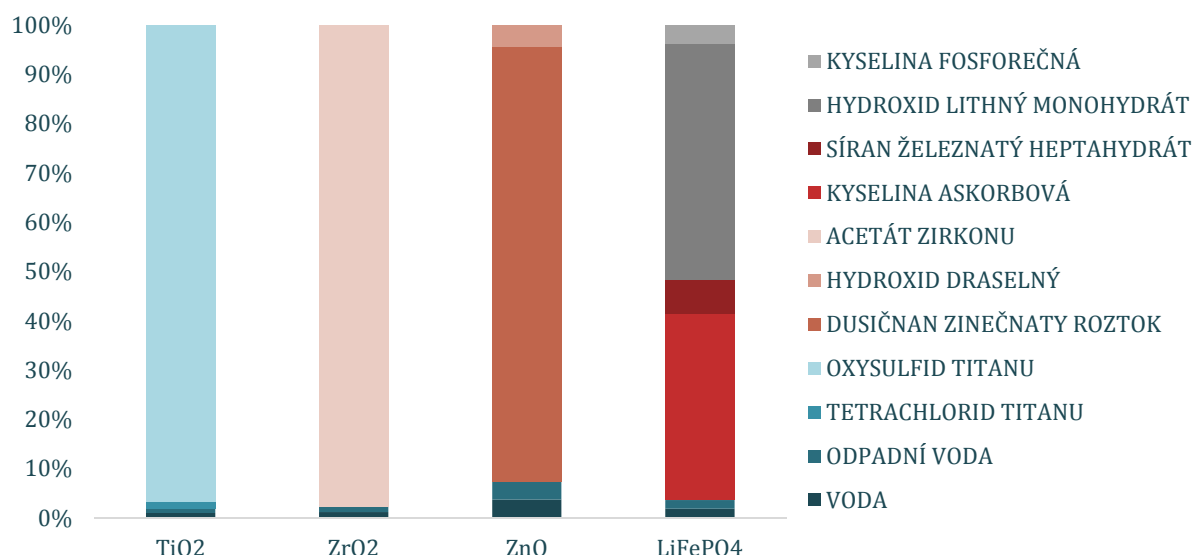
- Kde: N_{CH} Náklady na chemikálie na 1 kg nanočástic [€/kg]
 $J_{C_{CH}}$ Jednotková cena za kilogram chemikálie [€/kg]
 SP_{CH} Hodinová spotřeba chemikálie [kg/h]
 $HP_{NČ}$ Hodinová produkce nanočástic [kg/h]

Tab. 41: Struktura nákladů na vstupní chemikálie pro vybrané nanočástice

| Chemikálie | Jedn. cena [€/kg]* | Spotřeba za hodinu [kg/h]** | | | | Náklady na kilogram NČ [€/kg] | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------|----------|---------------------|-------------------------------|------------------|--------------|---------------------|
| | | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
| VODA | 0,00 | 5 592,15 | 5 665,59 | 5 350,00 | 4 974,00 | 0,21 | 0,14 | 0,39 | 0,23 |
| ODPADNÍ VODA | 0,00 | 5 212,10 | 5 281,18 | 5 279,25 | 4 682,52 | 0,19 | 0,13 | 0,38 | 0,22 |
| TETRACHLORID TITANU | 1,22 | 13,35 | - | - | - | 0,27 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| OXYSULFID TITANU | 1,49 | 799,65 | - | - | - | 19,88 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DUSIČNAN ZINEČNATÝ | 1,95 | - | - | 144,22 | - | 0,00 | 0,00 | 9,23 | 0,00 |
| HYDROXID DRASELNÝ | 0,71 | - | - | 20,20 | - | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 0,00 |
| ACETÁT ZIRKONU | 2,42 | - | 427,71 | - | - | 0,00 | 11,19 | 0,00 | 0,00 |
| KYSELINA ASKORBOVÁ | 6,96 | - | - | - | 32,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,71 |
| SÍRAN ŽELEZNATÝ HEPTAHYDRÁT | 0,39 | - | - | - | 105,32 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,87 |
| HYDROXID LITHNÝ MONOHYDRÁT | 6,71 | - | - | - | 41,96 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,95 |
| KYSELINA FOSFOREČNÁ | 0,61 | - | - | - | 36,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |
| Celkem | | | | | | 20,55 | 11,45 | 10,47 | 12,45 |

* Jednotková cena vstupních chemikálií vychází z analýzy trhu a byla převzata z projektu SHYMAN [241].

** Spotřeba chemikálií za hodinu vychází z projektu SHYMAN, jedná se o parametr výrobního procesu, který je zjištěn empirickým měřením.



Obr. 80: Struktura nákladů na vstupní chemikálie pro vybrané nanočástice

Zdroj: Vlastní zpracování

Z výše uvedeného grafu je patrné, že prekurzory tvoří nejvýznamnější položku nákladů na vstupní chemikálie.

6.1.2.2. Ostatní variabilní náklady

Do této skupiny nákladů patří přímé variabilní položky spotřebované při výrobním procesu. Jsou to náklady na elektřinu, zemní plyn a vodu. Elektrická energie je v rámci výrobního procesu využívána k pohánění čerpadel, zemní plyn se spotřebovává při ohřevu superkritické vody a voda je jedním ze vstupů do chemického procesu viz tabulka 42 a obrázek 81.

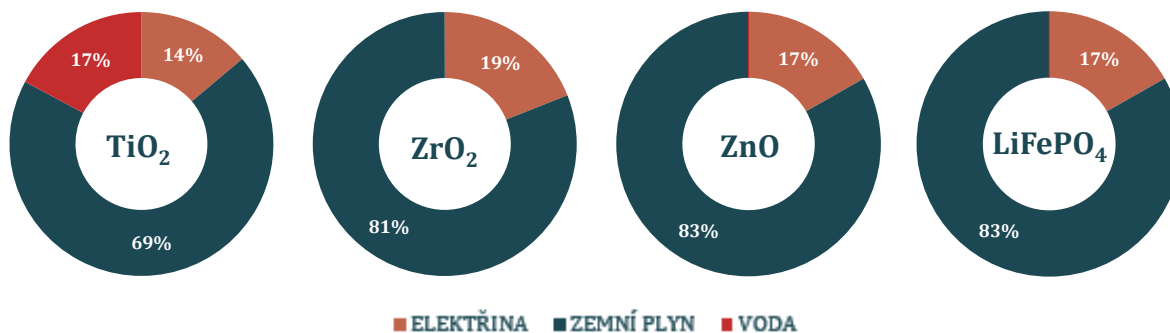
$$VN = \frac{JC_{VN} \cdot SP_{VN}}{HP_{NČ}} \quad (39)$$

- Kde: VN Variabilní náklady na 1 kg nanočástic [€/kg]
 JC_{VN} Jednotková cena za kWh/kg elektřiny/zemního plynu/vody [€/kg]
 SP_{VN} Hodinová spotřeba elektřiny/zemního plynu/vody [kWh; kg/h]
 HP_{NČ} Hodinová produkce nanočástic [kg/h]

Tab. 42: Struktura ostatních variabilních nákladů pro vybrané nanočástice

| Položka | Jedn. cena [€/kg] | Spotřeba za hodinu [kWh; kg/h]* | | | | Náklady na kilogram NČ [€/kg] | | | |
|------------------|-------------------|---------------------------------|------------------|----------|---------------------|-------------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| | | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
| ELEKTŘINA (kWh) | 0,16 | 76,32 | 77,84 | 76,69 | 76,69 | 0,20 | 0,13 | 0,40 | 0,26 |
| ZEMNÍ PLYN (kWh) | 0,05 | 1 150,00 | 1 003,80 | 1 150,00 | 1 150,00 | 1,01 | 0,57 | 1,98 | 1,28 |
| VODA (kg/h) | 0,00 | 113,34 | 1,87 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Celkem | | | | | | 1,46 | 0,70 | 2,38 | 1,53 |

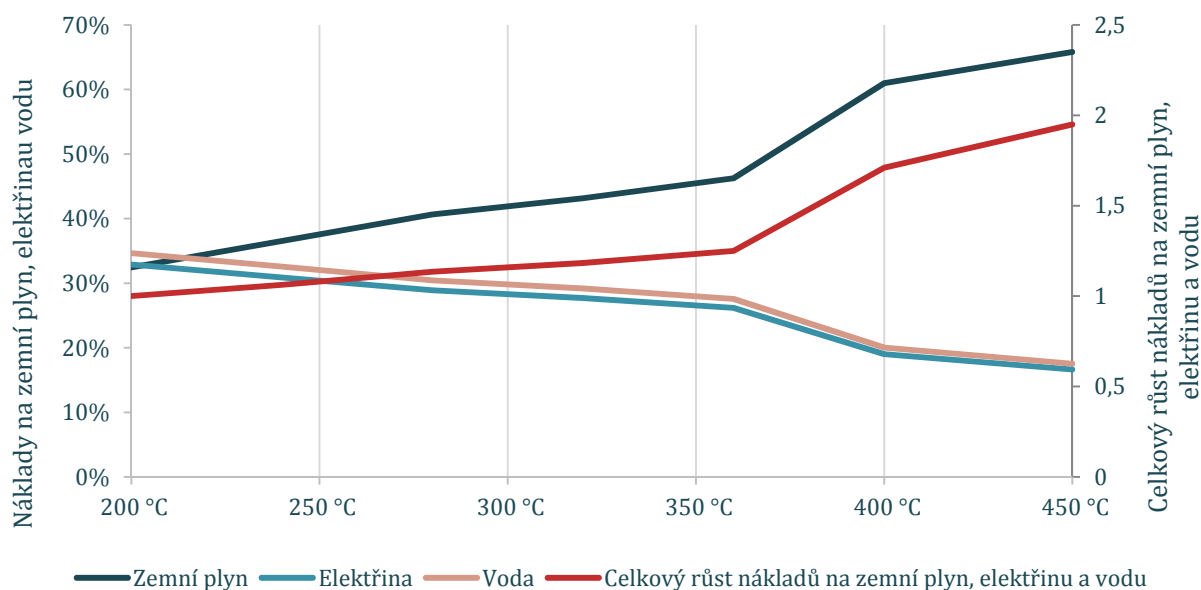
* Spotřeba variabilních nákladů za hodinu vychází z projektu SHYMAN [241], jedná se o parametr výrobního procesu, který je zjištěn empirickým měřením.



Obr. 81: Struktura ostatních variabilních nákladů pro vybrané nanočástice

Zdroj: Vlastní zpracování

Do modelu byla zaimplementována funkcionality zohledňující měnící hodnoty nákladů na zemní plyn, elektřinu a vodu v závislosti na nastavení teplotních parametrů výrobního procesu (obr. 78). V rámci vyhodnocení není s touto funkcionalitou počítáno, protože nanočástice mající vhodné kvalitativní parametry pro komerční aplikace jsou ty, které byly hodnoceny. Toto hodnocení vycházelo především z empirických měření provedených během projektu SHYMAN. Výstupní závislosti jsou uvedeny na obrázku.



Obr. 82: Závislost vybraných variabilních nákladů a teplotních parametrů výrobního procesu

Zdroj: Zpracováno dle empirického měření z projektu SHYMAN [241]

6.1.2.3. Postup odhadu nákladů na součásti výrobního zařízení

Náklady na výrobní zařízení lze klasifikovat v kombinovaném členění nákladů jako nepřímé fixní náklady ve formě odpisů prvků výrobního zařízení. Pro vyhodnocení byla zvolena doba odepisování tři roky, viz tabulka. Tato doba odepisování odpovídá odpisu 1. odpisové skupiny pro jednotlivé součásti výrobního zařízení. Zařízení se skládá z hlavních prvků, jako jsou čerpadla, ohříváč, generátor dionizované vody a filtry (tab. 41). Zbytek zařízení tvoří vysokotlaké potrubí, ventily a sběrné nádrže a další menší součásti.

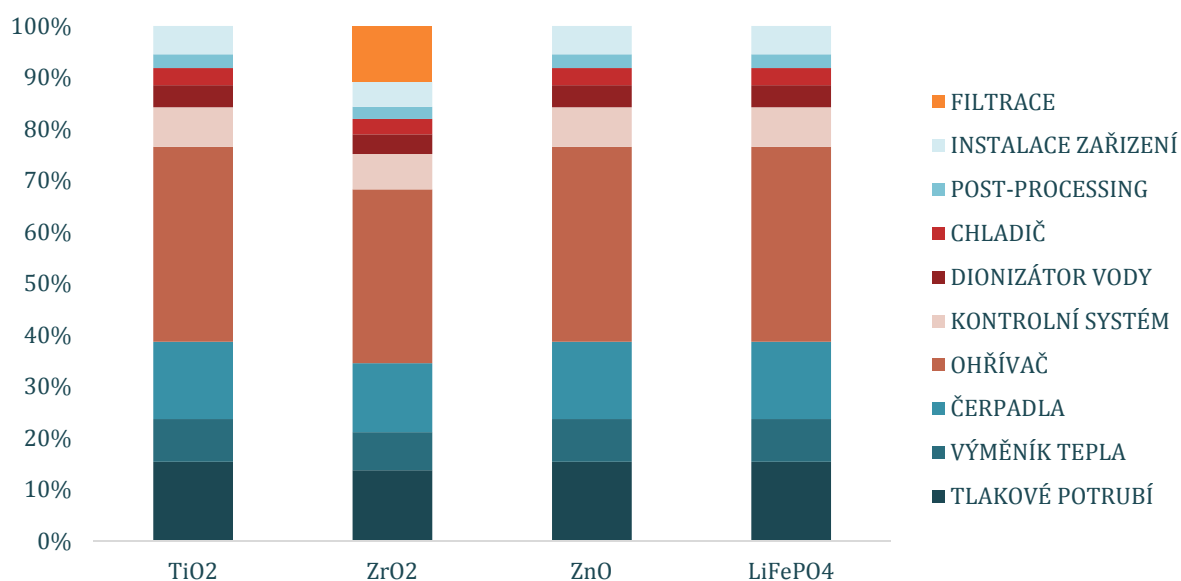
$$N_z = \frac{\frac{C_z}{DO_z}}{(KAP_z \cdot HP_{N\check{C}})} \quad (40)$$

Kde: N_z Náklady na výrobní zařízení vztažené na 1 kg nanočástic [€/kg]
 C_z Cena zařízení [€]
 DO_z Doba odepisování zařízení [r]
 KAP_z Kapacita zařízení [h]
 $HP_{N\check{C}}$ Hodinová produkce nanočástic [kg/h]

Tab. 43: Náklady na součásti výrobního zařízení při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

| Zařízení | Doba odep. [roky]* | Cena [€] | Odpis [€/r] | Odpisy na kilogram NČ [€/kg] | | | |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| | | | | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
| VÝROBNÍ ZAŘÍZENÍ | 3 | 816 155 | 272 051 | 1,09 | 0,71 | 2,14 | 1,39 |
| POST-PROCESSING | 3 | 23 583 | 7 861 | 0,03 | 0,02 | 0,06 | 0,04 |
| INSTALACE ZAŘÍZENÍ | 3 | 48 825 | 16 275 | 0,07 | 0,04 | 0,13 | 0,08 |
| FILTRACE | - | - | - | - | 0,09 | - | - |
| Celkem | | 888 563 | 296 187 | 1,19 | 0,77 | 2,33 | 1,51 |

* Pro odepisování výrobního zařízení byla použita zkrácená doba odepisování (rovnoměrný účetní odpis), tato sazba je použita pro všechny komparované technologie. Cílem je odepsání zařízení v první fázi projektu.



Obr. 83: Náklady na součásti výrobního zařízení při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

Zdroj: Vlastní zpracování

Největší nákladovou položkou v kategorii odpisů výrobního zařízení jsou odpisy ohříváče a čerpadel. K významným položkám patří i odpisy armatur (obr. 79).

6.1.2.4. Stanovení nákladů na lidské zdroje

Vyhodnocení projektu počítá se čtyřmi zaměstnanci na různých úrovních. Jelikož proces výroby nanočástic pomocí hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby se nechá dobře řídit a automatizovat, nepředpokládá se přítomnost všech pozic na pracovišti během všech směn viz tabulka 44 a obrázek 84.

$$N_{LZ} = \frac{(MZDA + DAŇ + POJ)}{(KAP_z \cdot HP_{NČ})} \quad (41)$$

Kde: N_{LZ} Náklady na lidské zdroje vztažené na 1 kg nanočástic [€/kg]

MZDA Mzda zaměstnance [€]

DAŇ Odvod za zaměstnance [€]

POJ Pojištění [€]

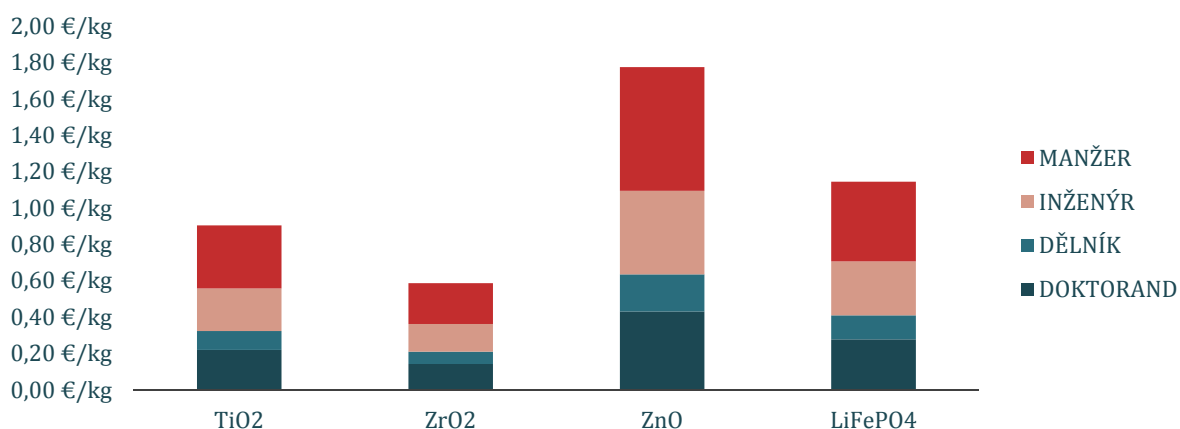
KAP_z Kapacita zařízení [h]

$HP_{NČ}$ Hodinová produkce nanočástic [kg/h]

Tab. 44: Náklady na lidské zdroje při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

| Zaměstnanec* | Směna | Mzda [€/r] | Daň [€/r] | Pojištění [€/r] | Náklady na kilogram NČ [€/kg] | | | |
|---------------|-----------|----------------|---------------|-----------------|-------------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| | | | | | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
| DOKTORAND | Raní | 40 281 | 9 112 | 5 236 | 0,22 | 0,14 | 0,43 | 0,28 |
| DĚLNÍK | Večerní | 19 530 | 3 906 | 2 539 | 0,10 | 0,07 | 0,20 | 0,13 |
| INŽENÝR | Odpolední | 42 722 | 10 089 | 5 554 | 0,23 | 0,15 | 0,46 | 0,30 |
| MANŽER | Odpolední | 61 031 | 17 412 | 7 934 | 0,35 | 0,22 | 0,68 | 0,44 |
| Celkem | - | 163 564 | 40 519 | 21 263 | 0,90 | 0,59 | 1,78 | 1,15 |

* Doktorand – zajištění a kontrola procesu, výzkumná a rozvojová činnost; Dělník – zajištění a kontrola procesu vč. údržby; Inženýr – technická činnost, zajištění a kontrola procesu; Manažer – vedoucí, personální a obchodní činnosti.



Obr. 84: Náklady na lidské zdroje při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

Zdroj: Vlastní zpracování

Výpočet mzdových nákladů pro ostatní hodnocené státy vychází z průměrné mzdy v daném státě viz příloha 1 a 2. Ve stejném poměru k průměrné mzdě jako ve Velké Británii jsou přepočteny náklady na všechny pracovní pozice.

Ostatní fixní náklady

Ostatní fixní náklady obsahují náklady na hardware, software, náklady prostoru, náklady na přípravu sítí a náklady na služby (tab. 43). V rámci FCM je uvažováno o pronájmu haly, kde pronajímatel platí za služby. Náklady na prostor a náklady na služby jsou nejvýznamnější složkou těchto nákladů (obr. 81).

$$N_{OF} = \frac{\frac{N_{RF}}{DO}}{(KAP_Z \cdot HP_{NČ})} \quad (42)$$

Kde: N_{OF} Ostatní fixní náklady vztažené na 1 kg nanočástic [€/kg]

N_{RF} Roční fixní náklady [€]

DO Doba odepisování [r]

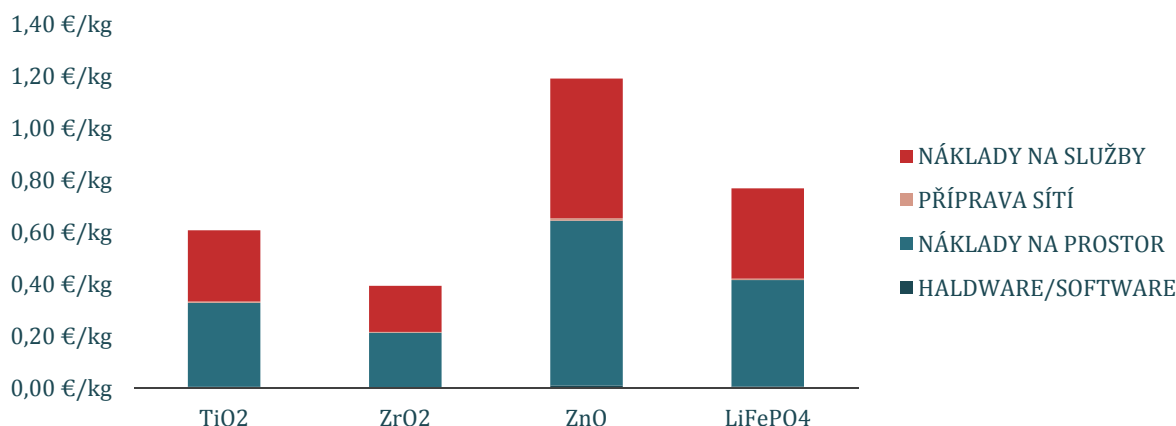
KAP_Z Kapacita zařízení [h]

$HP_{NČ}$ Hodinová produkce nanočástic [kg/h]

Tab. 45: Ostatní fixní náklady při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

| Další náklady | Doba odep. [roky]* | Cena [€] | Odpis [€/r] | Náklady na kilogram NČ [€/kg] | | | |
|----------------------------|--------------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| | | | | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
| HARDWARE/SOFTWARE | 1 | 1 221 | 1 221 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| LABORATORNÍ ZAŘÍZENÍ | 1 | 1 221 | 1 221 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| NÁKLADY NA PROSTOR | 1 | 80 561 | 80 561 | 0,32 | 0,21 | 0,63 | 0,41 |
| PRONÁJEM HALY | 1 | 48 825 | 48 825 | 0,20 | 0,13 | 0,38 | 0,25 |
| OPRAVY A ÚDRŽBA | 1 | 610 | 610 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TOPENÍ | 1 | 2 441 | 2 441 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| ENERGIE | 1 | 2 441 | 2 441 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| VODA | 1 | 1 221 | 1 221 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| PLYN | 1 | 1 221 | 1 221 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| BEZPEČNOST | 1 | 1 221 | 1 221 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| UKLID | 1 | 610 | 610 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| POJIŠTĚNÍ | 1 | 3 662 | 3 662 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,02 |
| DAŇ Z NEMOVITOSTI | 1 | 18 309 | 18 309 | 0,07 | 0,05 | 0,14 | 0,09 |
| PŘÍPRAVA SÍTÍ | 30 | 35 398 | 1 180 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| DODÁVKY ELEKTŘINY | 30 | 17 089 | 570 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DODÁVKY PLYNU | 30 | 12 206 | 407 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| DODÁVKY VODY | 30 | 3 662 | 122 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| STRUKTURÁLNÍ ÚPRAVY | 30 | 2 441 | 81 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| NÁKLADY NA SLUŽBY | 1 | 68 355 | 68 355 | 0,27 | 0,18 | 0,54 | 0,35 |
| TELEKOMUNIKACE | 1 | 2 441 | 2 441 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| FINANČNÍ NÁKLADY | 1 | 6 103 | 6 103 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,03 |
| ÚČETNÍ SLUŽBY, DANĚ, AUDIT | 1 | 3 662 | 3 662 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,02 |
| REGULACE | 1 | 1 221 | 1 221 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| PATENTNÍ POPLATKY | 1 | 24 412 | 24 412 | 0,10 | 0,06 | 0,19 | 0,12 |
| MARKETINGOVÉ NÁKLADY | 1 | 6 103 | 6 103 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,03 |
| CESTOVNÍ NÁKLADY | 1 | 18 309 | 18 309 | 0,07 | 0,05 | 0,14 | 0,09 |
| LABORATORNÍ TESTY | 1 | 6 103 | 6 103 | 0,02 | 0,02 | 0,05 | 0,03 |
| Celkem | | 185 535 | 151 317 | 0,61 | 0,39 | 1,19 | 0,77 |

* Rovnoměrný účetní odpis

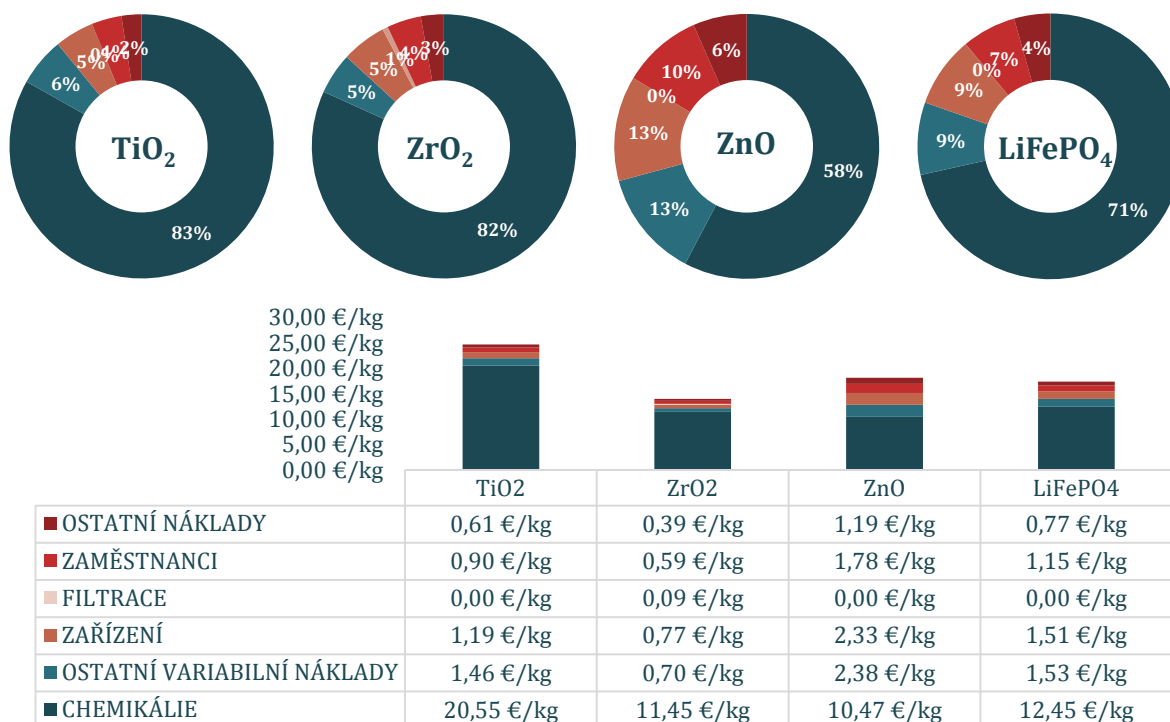


Obr. 85: Ostatní fixní náklady při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

Zdroj: Vlastní zpracování

Ekonomické hodnocení výrobního procesu

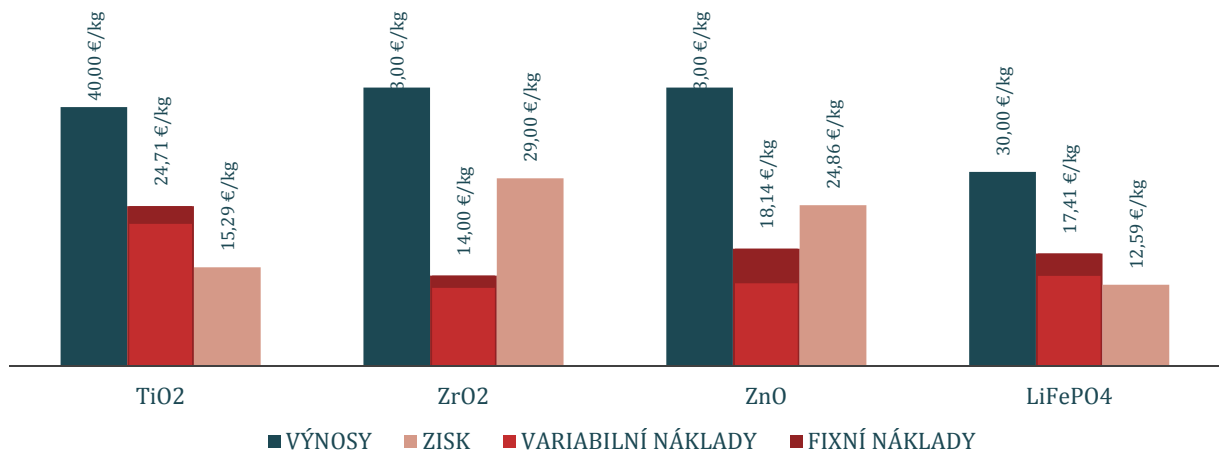
Z výše uvedeného výčtu nákladových položek je sestaven celkový přehled nákladů výrobního procesu. Hlavní nákladovou položkou na kilogram nanočástic jsou náklady na vstupní chemikálie (obr. 82). Tento vstup dokáže zásadním způsobem ovlivnit ziskovost procesu. Snahou pro optimalizaci je maximální snížení těchto nákladů a to prostřednictvím například volby jiných prekursorů použitých k výrobě nanočástic [249].



Obr. 86: Struktura a hodnoty celkových nákladů při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice

Zdroj: Zpracováno dle [249]

Zisk na kilogram vyrobených nanočástic při maximální výrobní kapacitě je zobrazen na obrázku 83. Z něho vyplývá, že nejziskovější je výroba nanočástic ZrO₂, kde je očekávaný zisk 29 euro na kilogram. Příčiny vyšší přidané hodnoty zisku jsou větší hodinová produkce a levnější vstupní prekurzory.



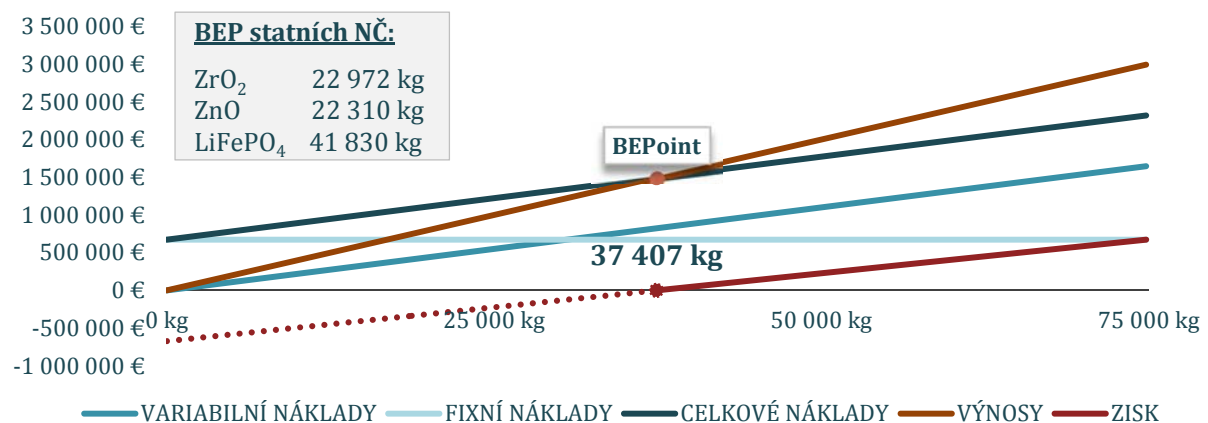
Obr. 87: Výnosy, náklady a zisk na 1 kilogram nanočástic pro zvolenou kapacitu

Zdroj: Vlastní zpracování

Při hodnocení kritéria ročního zisku je účelné prověřit, při jakém okamžiku produkce jsou pokryty roční fixní náklady [239]. Tento okamžik se nazývá bod zvratu (BEP) a popisuje stav nulového zisku výroby. Každá další vyrobená jednotka produktu znamená zisk. Body zvratu pro jednotlivé hodnocené nanočástice jsou uvedeny na obrázku 88 a tabulka 46. Každá hodnota charakterizuje pouze výrobu jednoho typu nanočástic.

$$Q_{BEP} = \frac{N_F}{(PC - N_V)} \quad (43)$$

- Kde:
- Q_{BEP} Množství vyrobeného produktu při dosažení bodu zvratu [kg]
 - N_F Fixní náklady na kg produktu [€/kg]
 - N_V Variabilní náklady na kg produktu [€/kg]
 - PC Prodejní cena produktu [€/kg]



Obr. 88: Bod zvratu (BEP) výroby nanočástice TiO₂ při zvolené kapacitě

Zdroj: Vlastní zpracování

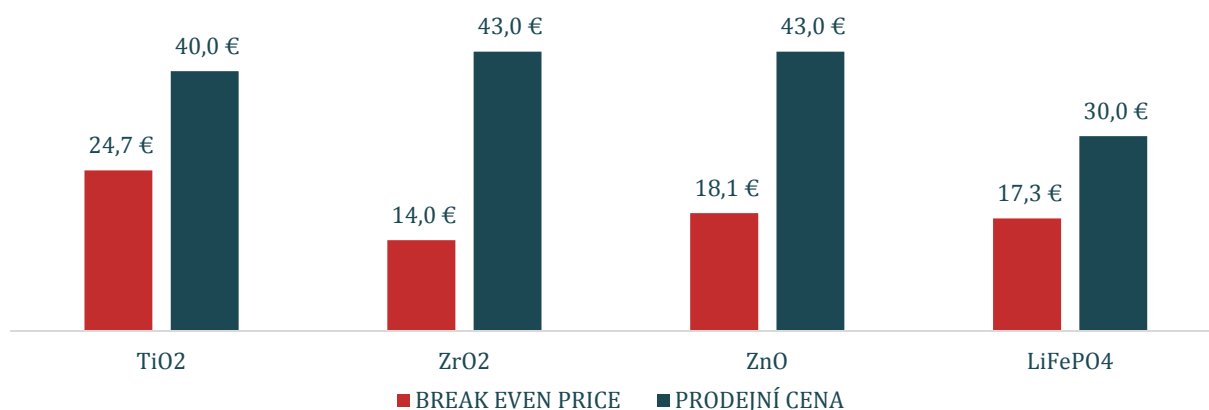
Tab. 46: Bod dosažení bodu zvratu (BEP), maximální produkce, % při dosažení produkce

| Položka | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
|--------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|
| Produkce při BEP | 37 407 kg | 22 972 kg | 22 310 kg | 41 830 kg |
| Max produkce | 249 064 kg | 384 241 kg | 126 944 kg | 196 798 kg |
| % produkce při BEP | 15% | 6% | 18% | 21% |

Je-li ověřena ziskovost procesu v průběhu dosažitelné výrobní kapacity, je vhodné se zaměřit na parametr prodejní ceny, který jak vyplývá ze vzorce bodu zvratu, ovlivňuje míru zisku/ztráty. Za tímto účelem byla vypočítána cena, při které daný výrobní proces začíná být ziskový (BEPrice), obrázek 89.

$$P_{BEPrice} = \frac{N_F}{Q} + N_V \quad (44)$$

- Kde: $P_{BEPrice}$ Prodejní cena produktu při dosažení bodu zvratu [€/kg]
 N_F Fixní náklady na kg produktu [€/kg]
 N_V Variabilní náklady na kg produktu [€/kg]
 Q Množství produktu [kg]



Obr. 89: Porovnání prodejní ceny (předpokládaná prodejní cena nanočástic s danou kvalitou – expertní odhad, převzato z projektu SHYMAN) a BEP ceny pro vybrané nanočástice při zvolené kapacitě

Zdroj: Vlastní zpracování

Výsledky ukazují, že je prostor ke snížení prodejní ceny vybraných nanočástic. To může být důležitý nástroj komunikace výrobce se zákazníkem, kdy je možné například poskytnout množstevní slevu důležitým zákazníkům a podobně.


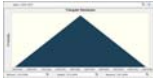







Hodnocení rizika FCM

Rizika kalkulace FCM plynoucí z nejistoty byla hodnocena pomocí vícekriteriální simulace Monte Carlo a citlivostní analýzy. Do simulace Monte Carlo byly zařazeny všechny vstupní parametry mimo vstupů spojených s investicí do hardware a software a úpravami sítí. Tyto hodnoty jsou dobře odhadnutelné, a proto se neočekává jejich významná změna.

Pro ověření byla provedena simulace 2 000 scénářů pomocí pseudonáhodných čísel generovaných dle rozdělení pravděpodobnosti pro vybrané rizikové faktory uvedené v tabulce. Pro zobrazení nejistoty byla zvolena následující rozdělení:

- Trojúhelníkové rozdělení pro položky chemikálie a prodejní ceny nanočástic, viz tabulky 38 a 41, dolní a horní mez jsou převzaty z tabulky 48.
- Trojúhelníkové rozdělení pro položky: cena elektřiny, cena zemního plynu a cena vody viz tabulka 47, dolní a horní mez byly stanoveny na $\pm 10\%$ z nejpravděpodobnější hodnoty.
- Rozdělení minimum extrém pro položky: využití pracovní doby, náklady na prostor, náklady na služby. Nejpravděpodobnější hodnota a další parametr nastavení jsou uvedeny v tab. 47,
- Weibullovo rozdělení bylo použito pro parametr mzdových nákladů. Vycházelo se z předpokladu nejpravděpodobnější hodnoty 225 346 €, kdy pravděpodobnostní rozdělení má měřítko 8 000 € a tvar rozdělení je 2 viz tabulka 47.

Tab. 47: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory výroby nanočástic při zvolené kapacitě, NP – nejpravděpodobnější hodnota, M – měřítko, T – tvar

| Položka | Rozdělení pravděpodobnosti | Průběh | Parametry |
|-----------------------|----------------------------|--|-----------------------------------|
| CHEMIKÁLIE | Trojúhelníkové |  | Viz tabulka 48 |
| CENA ELEKTRINY | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%$ |
| CENA ZEMNÍHO PLYNU | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%$ |
| CENA VODY | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%$ |
| PRODEJNÍ CENA | Trojúhelníkové |  | Viz tabulka 48 |
| VYUŽITÍ PRACOVNÍ DOBY | Minimum extrém |  | NP: 80% M: 1% |
| NÁKLADY NA PROSTOR | Minimum extrém |  | NP: 80 561€ M: 500€ |
| NÁKLADY NA SLUŽBY | Minimum extrém |  | NP: 68 355€ M: 1 000€ |
| MZDOVÉ NÁKLADY | Weibullovo |  | NP: 225 346€ M: 8 000€ T: 2 |

Tab. 48: Krajní meze rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory pořizovací ceny chemikálií a prodejní ceny nanočástic (optimistická variant = dolní mez, pesimistická varianta = horní mez); modře jsou uvedeny přiřazené body hodnotících kritérií dle metodického postupu z kapitoly 4.1.2.7.

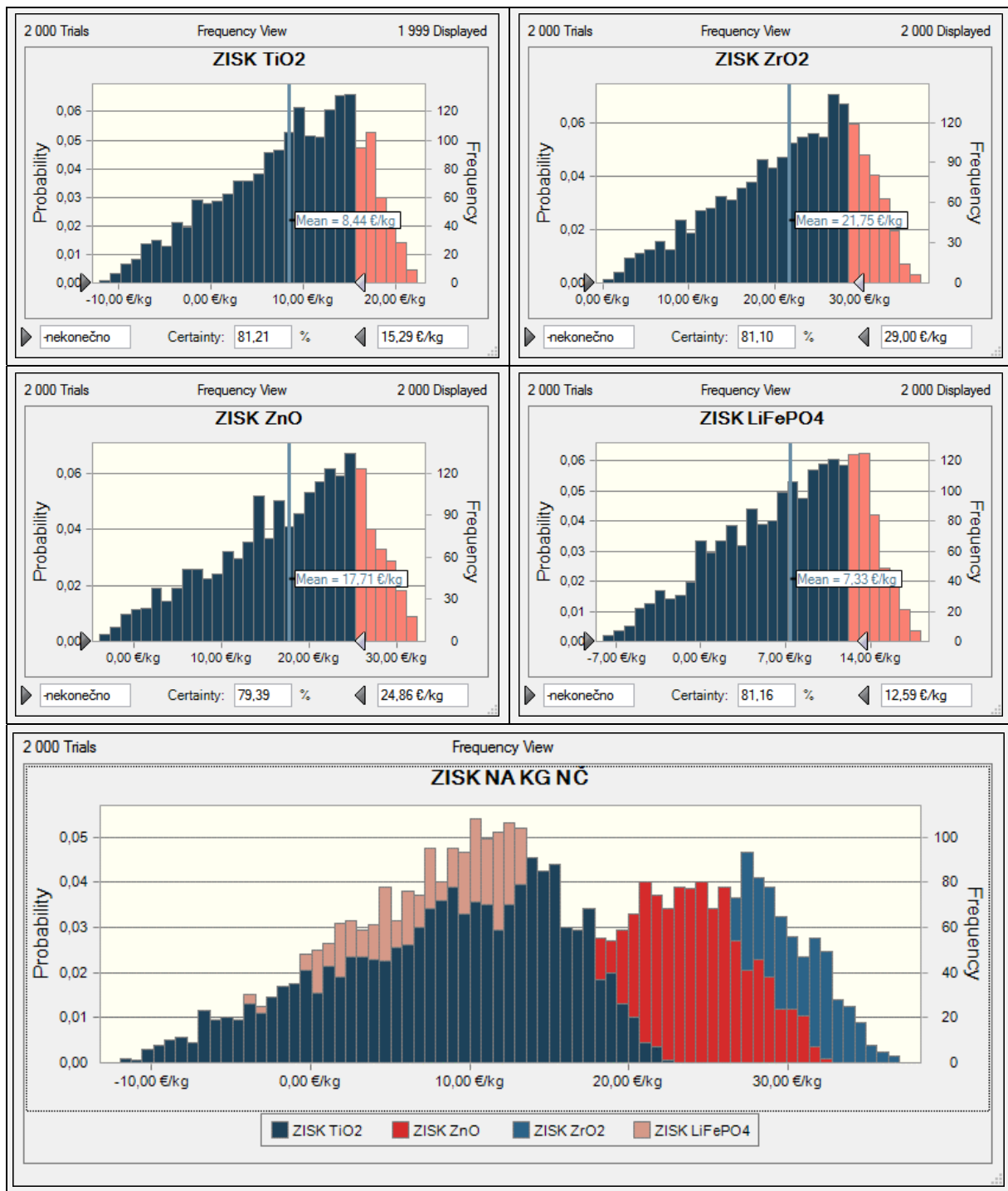
| Chemikálie* | Optimistický scénář | Realistický scénář | Pesimistický scénář |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| TETRACHLORID TITANU | 9,5 b. 1,11 €/kg | 10,5 b. 1,22 €/kg | 12,1 b. 1,41 €/kg |
| OXYSULFID TITANU | 9,5 b. 1,35 €/kg | 10,5 b. 1,49 €/kg | 12,1 b. 1,72 €/kg |
| ZINC NITRATE HEXAHYDRATE | 9,5 b. 3,02 €/kg | 10,6 b. 3,36 €/kg | 12,2 b. 3,87 €/kg |
| ZINC NITRATE | 9,5 b. 3,57 €/kg | 10,6 b. 3,97 €/kg | 12,2 b. 4,58 €/kg |
| DUSIČNAN ZINEČNATÝ ROZTOK | 9,5 b. 1,78 €/kg | 10,5 b. 1,95 €/kg | 12,1 b. 2,26 €/kg |
| HYDROXID DRASELNÝ | 9,5 b. 0,69 €/kg | 9,8 b. 0,71 €/kg | 10,7 b. 0,78 €/kg |
| ZINC OXIDE | 9,5 b. 8,24 €/kg | 10,6 b. 9,15 €/kg | 12,2 b. 10,57 €/kg |
| ACETÁT ZIRKONU | 9,5 b. 2,20 €/kg | 10,5 b. 2,42 €/kg | 12,1 b. 2,80 €/kg |
| ZIRCONIA | 30,0 b. 42,30 €/kg | 30,3 b. 42,72 €/kg | 32,0 b. 45,12 €/kg |
| KYSELINA ASKORBOVÁ | 9,5 b. 6,26 €/kg | 10,6 b. 6,96 €/kg | 12,2 b. 8,03 €/kg |
| SÍRAN ŽELEZNATÝ HEPTAHYDRÁT | 9,5 b. 0,38 €/kg | 9,8 b. 0,39 €/kg | 10,7 b. 0,43 €/kg |
| HYDROXID LITHNÝ MONOHYDRÁT | 9,5 b. 6,04 €/kg | 10,6 b. 6,71 €/kg | 12,2 b. 7,75 €/kg |
| KYSELINA FOSFOREČNÁ | 9,5 b. 0,59 €/kg | 9,8 b. 0,61 €/kg | 10,7 b. 0,67 €/kg |
| NANO TiO ₂ | 10,3 b. 12,95 €/kg | 31,9 b. 40,00 €/kg | 37,7 b. 47,17 €/kg |
| NANO ZrO ₂ | 10,3 b. 13,93 €/kg | 31,9 b. 43,00 €/kg | 37,7 b. 50,71 €/kg |
| NANO ZnO | 10,3 b. 13,93 €/kg | 31,9 b. 43,00 €/kg | 37,7 b. 50,71 €/kg |
| NANO LiFePO ₄ | 10,3 b. 9,72 €/kg | 31,9 b. 30,00 €/kg | 37,7 b. 35,38 €/kg |

* Pro položky s označením NANO, je riziko spojené s poklesem prodejní ceny (u ostatních položek je riziko spojené s růstem pořizovací ceny).

Tab. 49: Výsledky simulace Monte Carlo ziskových hodnot výrobního procesu nanočástic; FCM je označení hodnoty vypočtené v kalkulaci FCM

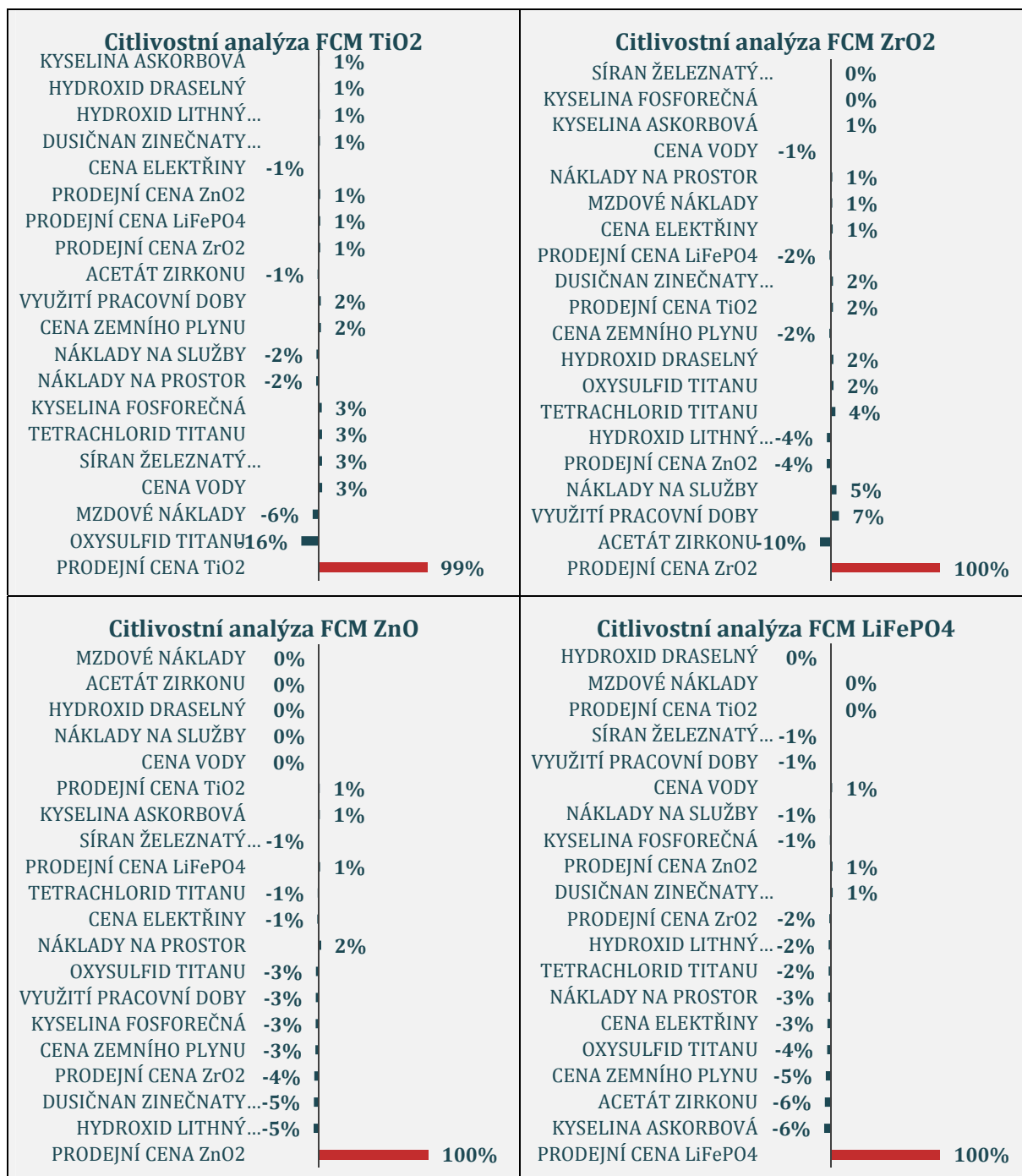
| Položka | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|
| Dolní mez zisku na kg NČ | -12,02 €/kg | 0,05 €/kg | -3,84 €/kg | -7,98 €/kg |
| Horní mez zisku na kg NČ | 22,20 €/kg | 37,02 €/kg | 32,17 €/kg | 18,03 €/kg |
| Střední hodnota zisku na kg NČ | 8,44 €/kg | 21,75 €/kg | 17,71 €/kg | 7,33 €/kg |
| FCM hodnota zisku na kg NČ | 15,29 €/kg | 29,00 €/kg | 24,86 €/kg | 12,59 €/kg |
| Pravděpodobnost (zisk ≤ FCM) | 81,21% | 81,10% | 79,39% | 81,16% |

Výsledky simulace Monte Carlo naznačují (obr. 86), že při zohlednění rizikových faktorů definovaných dle tabulky 47 a 48 může dojít k poklesu příspěvku na úhradu na jeden kilogram pod hodnotu 0 €/kg, což by vedlo ke ztrátám. To je samozřejmě významné zjištění. Přesto více jak 84% scénářů generuje kladný příspěvek na úhradu riziko negativního vývoje je relativně malé. Jako hlavní faktor mající největší vliv na ziskovost procesu byla identifikována prodejní cena nanočástic a ceny prekurzorů (obr. 87). To se ostatně dalo předpokládat a potvrzujete předchozí zjištění.



Obr. 90: Výsledky simulace Monte Carlo ziskových hodnot výrobního procesu nanočástic, a) histogram hodnot zisku pro nanočástice TiO₂, b) histogram hodnot zisku pro nanočástice ZrO₂, c) histogram hodnot zisku pro nanočástice ZnO, d) histogram hodnot zisku pro nanočástice LiFePO₄, e) porovnání výsledů

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. 91: Výsledky citlivostní analýzy – zobrazeny příspěvky rizikových faktorů FCM k riziku projektu pro jednotlivé nanočástice

Zdroj: Vlastní zpracování

Porovnání výrobních technologií

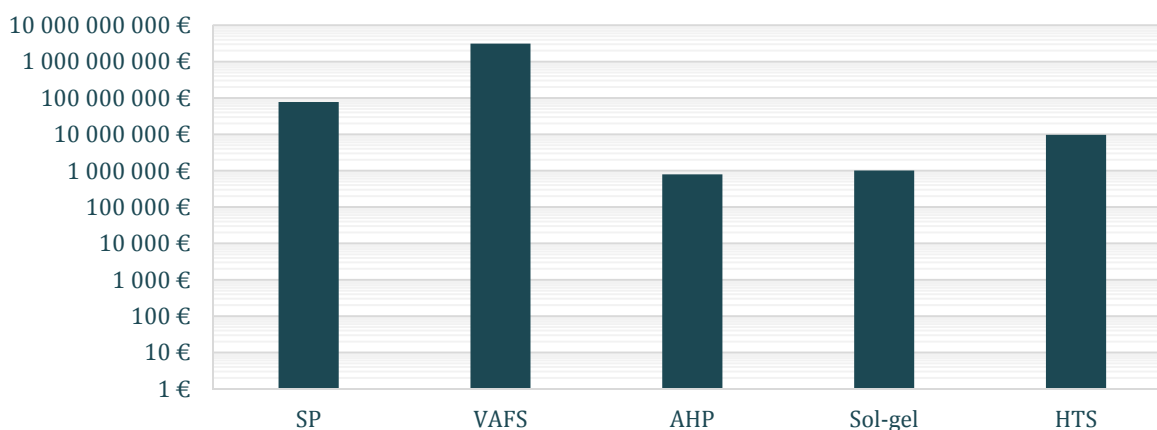
Porovnání výrobních technologií naráží na nedostatek číselných hodnot pro výrobní parametry. Z tohoto důvodu se bylo nutné omezit pouze na hodnocení ročních tržeb za prodej nanočástic TiO₂ (tab. 48, obr. 88). Přesto, že toto hodnocení nemá velkou vypovídací hodnotu, lze si udělat představu o zacílení jednotlivých technologií v rámci hromadnosti produkce. Při porovnání metody SOL-GEL a hydrotermální syntézy,

je na první pohled zřejmé kapacitní omezení metody SOL-GEL. Přes nižší náklady na výrobní zařízení, generuje metoda hydrotermální syntézy vyšší příspěvek na úhradu.

Tab. 50: Porovnání příspěvků na úhradu jednotlivých technologií výroby pro nanočástice TiO₂ při roční kapacitě výroby; SP – sulfátový proces, FS – syntéza plamenem, AHP - altair hydrochloridový proces, SOL-GEL – SOL-GEL proces, HTS – hydrotermální syntéza; Výpočet vychází z parametrů výrobních technologií uvedených v tabulce 6 při kapacitě z tabulky 39 (4 158 h), odpis je stanoven na 3 roky

| Položka | SP | FS | AHP | SOL-GEL | HTS |
|----------------------------|---------------|-----------------|------------|--------------|--------------------|
| ROČNÍ PRODUKCE | 42 966 000 kg | 103 950 000 kg | 873 180 kg | 27 720 kg | 249 064 kg |
| ROČNÍ VÝNOSY | 77 685 536 € | 3 118 500 000 € | 789 385 € | 1 108 800 €* | 9 962 568 € |
| ODPISY ZAŘÍZENÍ | ? € | ? € | ? € | ? € | 296 188 € |
| PŘÍSPĚVEK NA ÚHRADU | - | - | - | - | 9 666 380 € |

* Při předpokladu stejné ceny nanočástic jako u HTS (obdobná kvalita nanočástic)



Obr. 92: Porovnání ročních tržeb vybraných nanotechnologií při naplnění roční výrobní kapacity; SP – sulfátový proces, FS – syntéza plamenem, AHP - altair hydrochloridový proces, SOL-GEL – SOL-GEL proces, HTS – hydrotermální syntéza

Zdroj: Vlastní zpracování

6.2. Návrh ekonomického hodnocení nákladů na základě kalkulace životního cyklu LCC a WLCC

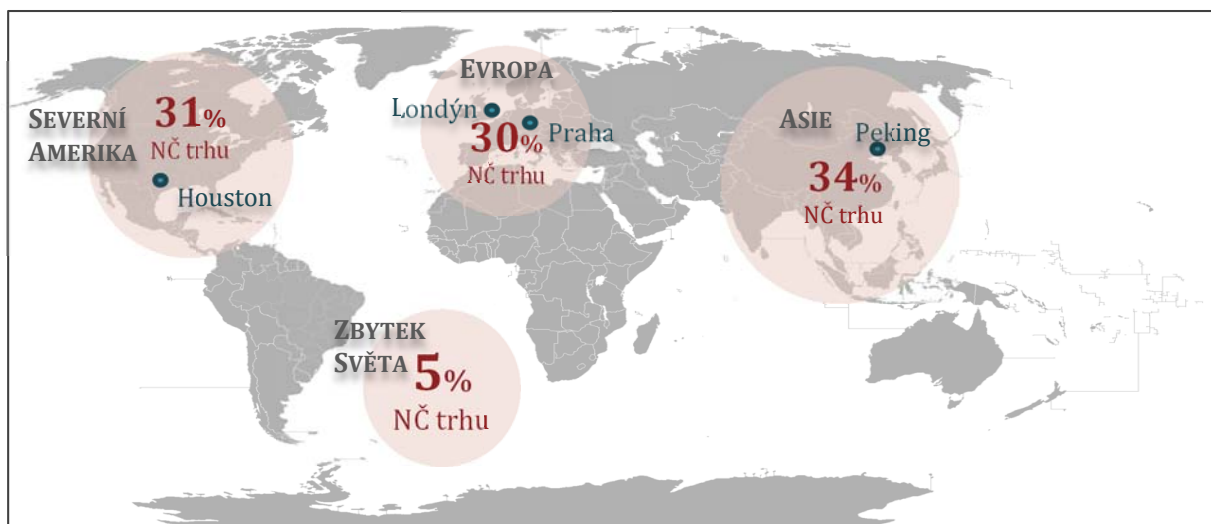
V následující podkapitole bude využito výstupů z kalkulace FCM, které budou doplněny o další fáze životního cyklu a v rámci jejich hodnocení bude zohledněn faktor času pomocí metody diskontování. Hodnoty předvýrobních fází jsou do modelu získány z projekty SHYMAN. Pro ostatní fáze je využito analytických metod odhadu nákladů, které budou popsány v navazujícím textu.

6.2.1. Hodnoty použité pro výpočty v nákladové analýze

V rámci kalkulace nákladů rozšířeného celého životního cyklu (WLCC) byl systém vymezen hranicemi výrobní podnik (dodavatel) a zákazník (odběratel). Ekonomické hodnocení projektu pracuje se 4 scénáři možného umístění výrobního podniku v různých státech světa. Jedná se o Houston v Texasu ve Spojených státech amerických, Londýn ve Velké Británii, Praha v České republice a Peking v Číně. Vybraná města

(mimo Prahu, která je zařazena spíše z důvodu komparace) mají dobře dostupné přístavy, odkud jsou v kontejnerech posílány NČ na finální trhy. Umístění výrobního podniku je vždy uvažováno v okrajových průmyslových oblastech města, kde jsou nižší náklady na prostor.

Stejně tak je zvažováno rozmístění potenciálních zákazníků. Pro hodnocení byl vytvořen scénář, který vychází z rozdělení trhu s nanočásticemi (NČ) v rámci jednotlivých kontinentů. Jak uvádí autorka Pulit-Prociak hlavními spotřebiteli nanočástic jsou Asie (34% produkce NČ) Severní Amerika (31% produkce NČ), Evropa (31% produkce NČ) a zbytek světa (5% produkce NČ) viz obrázek 93. Vyhodnocení počítá s dodávkami NČ do tří hlavních oblastí spotřeby. Jsou to Spojené státy americké, Evropa a Čína.



Obr. 93: Velikost světového trhu s nanočásticemi dle jednotlivých teritorií – gravitační efekt trhu

Zdroj: Zpracováno dle [170]

Výše uvedeného rozdělení spotřeby NČ je dále členěno dle konkrétních nanočástic hodnocených v rámci vyhodnocení. Opět byly využity informační zdroje pro stanovení objemů dodávaných na vybrané trhy. Velikost trhu v jednotkách tun za rok pro jednotlivé nanočástice byl rozdělen dle klíče uvedeného v tab. 49.

Tab. 51: Velikost světového trhu s vybranými nanočásticemi

| Nanočástice | Množství roční produkce | Zdroj |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|
| TiO ₂ | 60 000 tun/r | Pulit-Prociak, 2017 |
| ZrO ₂ | 40 000 tun/r | Research and Markets, 2015 |
| ZnO | 32 000 tun/r | Pulit-Prociak, 2017 |
| LiFePO ₄ | 12 500 tun/r | ReportBuyer, 2015 |

Klíč pro rozdělení distribučních cest jednotlivých nanočástic dle států hodnocených v analýze LCC (tab. 50).

Tab. 52: Rozdělení světového trhu s vybranými nanočásticemi dle jednotlivých analyzovaných států

| TiO ₂ | | | ZrO ₂ | | |
|------------------|--------|----------------|------------------|--------|----------------|
| Stát | % | Zdroj | Stát | % | Zdroj |
| USA | 52,78% | Statnano, 2014 | USA | 6,00% | Zircomet, 2014 |
| CH | 25,00% | | CH | 88,00% | |
| UK | 10,00% | | UK | 4,00% | |
| Ostatní | 12,23% | | Ostatní | 2,00% | |

| ZnO | | | LiFePO ₄ | | |
|---------|--------|------------|---------------------|--------|------------|
| Stát | % | Zdroj | Stát | % | Zdroj |
| USA | 33,00% | AMR, 2016* | USA | 29,00% | RB, 2015** |
| CH | 24,00% | | CH | 39,00% | |
| UK | 29,00% | | UK | 13,00% | |
| Ostatní | 14,00% | | Ostatní | 19,00% | |

* AMR – Alliedmarketresearch

** BR – ReportBuyer

6.2.2. Výpočet nákladů vstupujících nově do modelu LCC a WLC

Výpočty nákladů životního cyklu vycházejí ze stejných premis použitých pro kalkulaci nákladů v modelu FCM. Nově přibývá hodnocení nákladových položek zbylých fází životního cyklu.

Premisy výpočtu:

- Životnost projektu je počítána na 15 let [122]⁴⁸,
- Pokud není uvedeno jinak, jsou výpočty počítány ve stálých cenách,
- Budova (v případě pořízení) je po skončení projektu odprodána za zbytkovou účetní cenu (pořizovací cena mínus již odepsaná hodnota),
- Základní převod je proveden dle směnného kurzu viz tabulka 53,
- Scénáře odpovídají zadání uvedenému výše v části 6.2.1.

Tab. 53: Hodnoty vstupů⁴⁹ a konstantního směnného kurzu použité k výpočtu⁵⁰; směnný kurz pro rok 2016

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Cena elektřiny | 1,222 Kč/kWh [51] | 2,268 Kč/kWh [51] | 1,608 Kč/kWh [51] | 3,605 Kč/kWh [70] |
| Cena zemního plynu | 0,018 Kč/kWh [16] | 0,034 Kč/kWh [16] | 0,035 Kč/kWh [32] | 0,050 Kč/kWh [16] |
| Cena vody | 68,58 Kč/m ³ [1] | 100,65 Kč/m ³ [7] | 85,18 Kč/m ³ [24] | 14,93 Kč/m ³ [190] |
| Průměrná mzda | 1 470 159 Kč/r [150] | 1 046 884 Kč/r [150] | 580 986 Kč/r [150] | 251 411 Kč/r [205] |
| Směnný kurz koruny | 24,44 Kč [146] | 33,00 Kč [149] | 1,00 Kč [146] | 3,68 Kč [146] |

Existují-li doplňkové premisy, jsou uvedeny přímo v popisu výpočtu.

6.2.2.1. Výběr druhu nákladu na prostor (vlastnictví / pronájem)

V nákladovém modelu jsou porovnávány dva scénáře pro výpočet nákladů na prostor (tab. 52). Jedním scénářem je nákup pozemku a výstavba haly, kdy je po skončení projektu uvažován odprodej haly za zbytkovou cenu. Druhý scénář počítá s pronájmem haly a venkovních prostor se stejnými parametry jako má scénář jedna.

⁴⁸ Zpracováno dle metodického pokynu vydaného Ministerstvem pro místní rozvoj na základě doporučení Evropské komise pro výzkumné a podnikatelské projekty.

⁴⁹ Výpočet provozních nákladů se neliší od výpočtu použitého ve FCM, z tohoto důvodu již nebude znovu popisován

⁵⁰ Tyto hodnoty směnného kurzu slouží k základnímu přepočtu. V části věnované kvantifikaci vlivu měnových kurzů jsou pak použity prognózované hodnoty stanovené dle historických dat OECD.

Premisy výpočtu:

- Pozemek, na kterém stojí hala je 2 000 m²,
- Hala má plochu 1 500 m²,
- Plocha, za kterou se platí pronájem, je 1 500 m² (venkovní plochy jsou zahrnuty v ceně).

Tab. 54: Porovnání cen/m² pro pořízení pozemku, výstavbu haly a pronájem haly

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Cena pozemek | 530 Kč/m ² | 7 348 Kč/m ² | 1 880 Kč/m ² | 2 652 Kč/m ² |
| Výstavba haly | 17 450 Kč/m ² | 24 254 Kč/m ² | 14 501 Kč/m ² | 8 460 Kč/m ² |
| Pronájem haly/měsíc | 155 Kč/m ² | 207 Kč/m ² | 109 Kč/m ² | 145 Kč/m ² |

Zdroje cen pozemků v jednotlivých státech převzaty z:

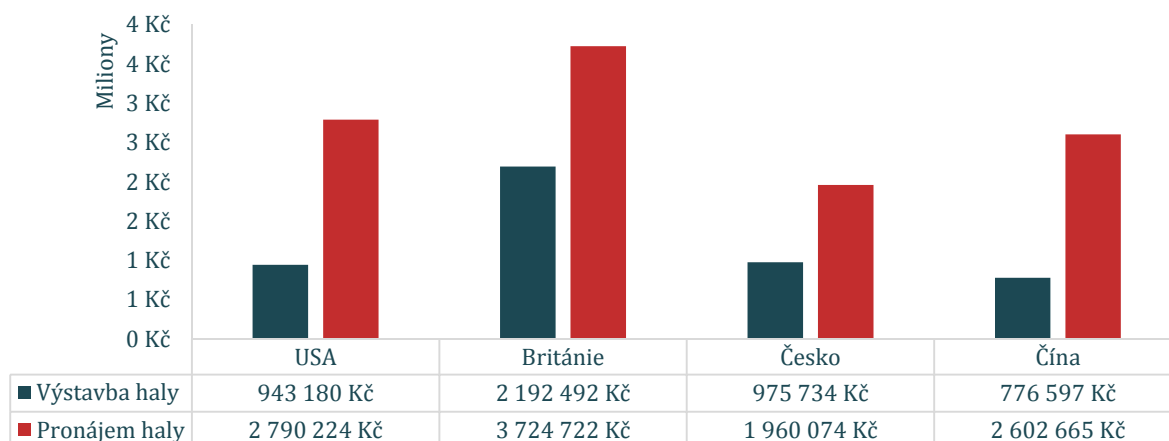
| | |
|----------|---|
| USA | https://www.landcentury.com/articles-news/average-commercial-land-prices-across-the-us/ |
| Británie | https://www.london.gov.uk/sites/default/files/chapter4-economic-evidence-base-2016.pdf |
| Česko | https://www.mmreality.cz/en/properties/for-sale/industrial-land/hlavni-mesto-praha/?sort=sLowestPrice |
| Čína | http://english.cctv.com/20090515/102422.shtml |

Zdroje nákladů na výstavbu haly v jednotlivých státech převzaty z:

| | |
|-------------|---|
| USA, UK, CH | http://www.turnerandtownsend.com/media/1518/international-construction-market-survey-2016.pdf |
| Česko | Expertní odhad oddělení výstavby podniku Škoda Auto a.s. |

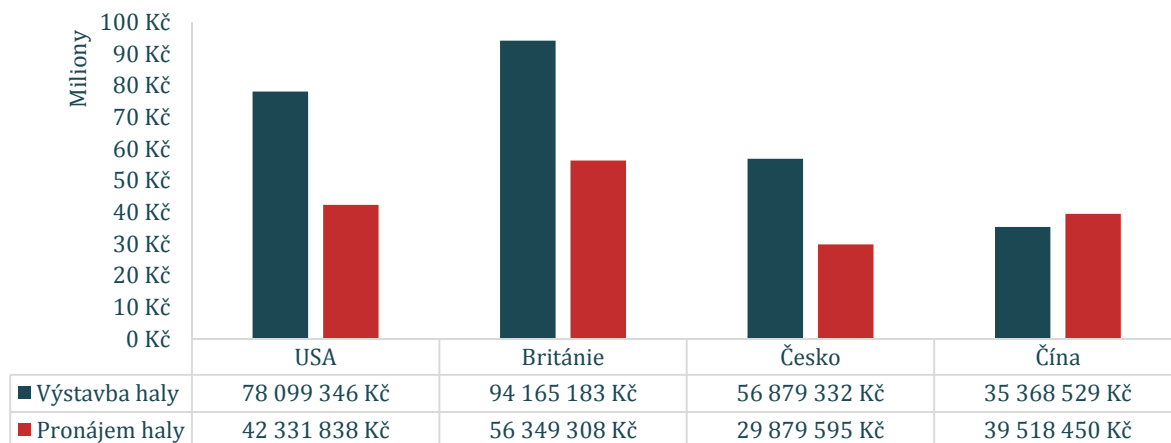
Zdroje cen pronájmu haly v jednotlivých státech převzaty z:

| | |
|----------|---|
| USA | http://www.us.jll.com/united-states/en-us/Research/United-States-Industrial-Outlook-Q1-2017-JLL.pdf |
| Británie | https://www.london.gov.uk/sites/default/files/chapter4-economic-evidence-base-2016.pdf |
| Česko | https://www.praguerealestate.cz/warehouse-logistics-space-for-rent-5-000m2-situated-in-a-1026480.html |
| Čína | http://www.cbre.eu/portal/pls/portal/res_rep.show_report?report_id=2898 |



Obr. 94: Porovnání ročních nákladů na prostory bez zohlednění poplatků a pojištění; výstavba haly je očištěna o prodej budovy za zbytkovou cenu

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. 95: Porovnání celkových nákladů na prostory včetně poplatků; výstavba haly je očištěna o prodej budovy za zbytkovou cenu

Zdroj: Vlastní zpracování

Z komparace vyplývá, že výhodnější je varianta pronájmu haly a to až na výjimku, kterou tvoří Čína (obr. 90 a 91). Přesto, že u Číny je levnější varianta výstavby haly, bude dále zvažována pouze varianta pronájmu haly tak, aby se daly jednotlivé scénáře umístění výrobní haly porovnat.

6.2.2.2. Náklady na údržbu systému, volba systému údržby

Pro výpočet nákladů na údržbu bylo provedeno vyhodnocení tří systémů údržby na bázi minimálních jednotkových nákladů na provoz za účelem volby optimálního systému údržby. Dva zvažované systémy údržby byly preventivní (periodická údržba, diagnostická údržba) a jeden byl klasický systém údržby po poruše. Vstupní hodnoty viz tabulka 55.

Premisy výpočtu:

- Při výpadku systému se předpokládá tří hodinový výpadek produkce,
- Údržbě podléhají pouze čerpadla a ohřívač,
- Náklady na preventivní údržbu byly stanoveny na 13 500 Kč (500 €) [30],
- Ke sledování diagnostického signálu hluku čerpadel bylo využito zařízení Siemens SITRANS LUT400 s pořizovací cenou 37 000 Kč (zdroj: Ebay.com),
- Jednotkové náklady na diagnostickou údržbu byly stanoveny na 6 Kč/h (0,23 €/h), rozpočteny zřizovací a provozní náklady na zařízení Siemens SITRANS LUT400,
- Nepředpokládá se diagnostická údržba u ohřívače,
- Pravděpodobnost poruchy byla stanovena bodovým odhadem Weibullova rozdělení.

Tab. 55: Vstupy pro analýzu nákladů na údržbu; náklady po poruše jsou spočteny jakou součet ceny opravy objektu a ztrát produkce, čerpadla 101, 103, 105, 107 je počítána rovnou výměna zařízení; ztráty produkce jsou vypočteny jako tříhodinový výpadek v produkci mixu nanočástic; Zdroj: Zpracováno dle (ceny instalace čerpadla a náklady na opravu: <https://www1.eere.energy.gov>; ceny instalace ohřívače a náklady na jeho údržbu: Energy.gov., 2001)

| Zařízení | Cena zařízení | Instalace | Cena opravy | Ztráty produkce | Náklady po poruše N_{up} |
|------------------|---------------|-----------|-------------|-----------------|----------------------------|
| ČERPADLO 101 | 439 € | 1 500 € | 439 € | 4 498 € | 4 937 € |
| ČERPADLO 103 | 439 € | 1 500 € | 439 € | 4 498 € | 4 937 € |
| ČERPADLO 105 | 457 € | 1 500 € | 457 € | 4 498 € | 4 955 € |
| ČERPADLO 107 | 452 € | 1 500 € | 452 € | 4 498 € | 4 950 € |
| ČERPADLO 301 | 1 221 € | 1 500 € | 1 221 € | 4 498 € | 5 719 € |
| ČERPADLO 102 | 27 340 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| ČERPADLO 104 | 27 340 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| ČERPADLO 106 | 20 279 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| ČERPADLO 108 | 55 302 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| OHŘÍVAČ | 336 555 € | 2 622 € | 1 003 € | 4 498 € | 5 501 € |
| ČERPADLO 401 | 3 348 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| ČERPADLO 402 | 3 442 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| ČERPADLO 403 | 2 589 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |
| ČERPADLO 409-410 | 9 272 € | 1 500 € | 2 500 € | 4 498 € | 6 998 € |

Výpočet ztrát produkce Z_{up} (zpracováno dle [98]):

$$Z_{up} = \sum_{i=1}^n J C_{N\check{c}i} \cdot H P_{N\check{c}i} \cdot D V_Z \quad (45)$$

- Kde: Z_{up} Jednotkové náklady na preventivní diagnostickou údržbu [Kč]
 $J C_{N\check{c}i}$ Jednotková cena nanočástice [Kč/h]
 $H P_{N\check{c}i}$ Hodinová produkce nanočástic [kg/h]
 $D V_Z$ Doba výpadku zařízení [h]
i Druh nanočástice [-]
n Počet druhů vyráběných nanočástic [-]

Bodový odhad Weibullova rozdělení:

Po získání všech vstupů potřebných pro hodnocení kritéria minimálních jednotkových nákladů byl proveden bodový odhad parametrů Weibullova rozdělení. Aby bylo možné bodový odhad provést, byly simulovány náhodné hodnoty pro položky: doba do poruchy, hodnota diagnostického signálu a doba do kritického signálu S_d . Nastavení generátoru náhodných čísel je uvedeno níže. Pro bodový odhad byl vytvořen nástroj v MS Excel, který pracuje na bázi numerického integrálu a stanovuje hlavní parametry rozdělení. Pro bodový odhad lze též využít webovou stránku https://www.wessa.net/rwasp_fitdistrweibull.wasp. Hodnoty parametrů jsou uvedeny v příslušných tabulkách popisující systém údržby.

Parametry nastavení generátoru náhodných čísel Weibullova rozdělení využitých pro simulaci náhodných hodnot:

- **Doba do poruchy čerpadla:** dolní mez je odhadnuta na 14 000 h, horní mez je odhadnuta na 40 000 h (zdroj: Typical equipment MTBF values, dostupné na: <https://src.alionscience.com>),
- **Doba do poruchy ohřívače:** dolní mez je odhadnuta na 14 000 h a horní mez je odhadnuta na 17 500 h (Typical equipment MTBF values, dostupné na: <https://src.alionscience.com>),
- **Hodnota diagnostického signálu čerpadla:** dolní mez je odhadnuta na 15 dB a horní mez je odhadnuta na 30 dB (technická dokumentace SITRANS DA400),
- **Doba kritického signálu Sa:** dolní mez je odhadnuta na 35 000 h a horní mez je odhadnuta na 40 000 h ((Typical equipment MTBF values, dostupné na: <https://src.alionscience.com>).

Výpočet jednotkových nákladů na údržbu po poruše (zpracováno dle [98]):

$$u_{up}(MOTTF) = \frac{N_{up}}{MOTTF} = \frac{N_{up}}{\beta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)} \quad (46)$$

| | | |
|------|-----------------|--|
| Kde: | $u_{up}(MOTTF)$ | Jednotkové náklady na údržbu po poruše [Kč] |
| | N_{up} | Náklady na údržbu po poruše [Kč] |
| | MOTTF | Střední doba provozu do poruchy (Mean Operating Time to Failure) [h] |
| | α | Parametr tvaru Weibullova rozdělení [-] |
| | β | Parametr měřítka Weibullova rozdělení [-] |
| | Γ | Funkce GAMMA [-] |

Tab. 56: Vypočtené hodnoty jednotkových nákladů údržby po poruše

| Zařízení | Par. tvaru α | Par. měřítka β | MOTTF | u_{up} |
|-------------------|---------------------|----------------------|----------|----------|
| ČERPADOLO 101 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,02 €/h |
| ČERPADOLO 103 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,02 €/h |
| ČERPADOLO 105 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,02 €/h |
| ČERPADOLO 107 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,02 €/h |
| ČERPADOLO 301 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,05 €/h |
| ČERPADOLO 102 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| ČERPADOLO 104 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| ČERPADOLO 106 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| ČERPADOLO 108 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| OHŘÍVAČ | 20,28 | 16 856 | 16 415 h | 0,06 €/h |
| ČERPADOLO 401 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| ČERPADOLO 402 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| ČERPADOLO 403 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |
| ČERPADOLO 409-410 | 4,12 | 29 709 | 26 973 h | 0,09 €/h |

Výpočet jednotkových nákladů na preventivní periodickou údržbu (zpracováno dle [98]):

$$u_{pu}(t_{pu}) = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot F(t_{pu})}{\bar{t}(t_{pu})} = \frac{N_{pu} + Z_{up} \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t_{pu}}{\beta}\right)^\alpha\right)\right)}{\int_0^{t_{pu}} \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right) dt} = \min \quad (47)$$

| | | |
|------|-------------------|---|
| Kde: | $u_{up}(t_{pu})$ | Jednotkové náklady na preventivní periodickou údržbu [Kč] |
| | N_{pu} | Náklady na preventivní údržbu [Kč] |
| | Z_{up} | Vyvolané ztráty [Kč] |
| | $F(t_{pu})$ | Pravděpodobnost poruchy v intervalu periodické údržby $t_{(pu)}$ [-] |
| | t_{pu} | Doba preventivní údržby [-] |
| | $\bar{t}(t_{pu})$ | Střední doba provozu do provedení preventivní periodické údržby v čase (t_{pu}) [h] |
| | α | Parametr tvaru Weibullova rozdělení [-] |
| | β | Parametr měřítka Weibullova rozdělení [-] |

Tab. 57: Vypočtené hodnoty jednotkových nákladů preventivní periodické údržby

| Zařízení | N_{pu} | Z_{up} | t_{pu} | $U_{pu}(t_{pu})$ |
|------------------|----------|-----------|----------|------------------|
| ČERPADLO 101 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 103 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 105 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 107 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 301 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 102 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 104 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 106 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 108 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| OHŘÍVAČ | 113 € | 4 498 €/h | 13 750 h | 0,11 €/h |
| ČERPADLO 401 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 402 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 403 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |
| ČERPADLO 409-410 | 500 € | 4 498 €/h | 19 850 h | 0,18 €/h |

Výpočet jednotkových nákladů na preventivní diagnostickou údržbu (zpracováno dle [98]):

$$u_{du}(S_d) = \frac{N_{pu} + Z_{up} \cdot F(S_d)}{\bar{t}(S_d)} + u_d = \frac{N_{up} + Z_{up} \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{S_{dm}}{\beta}\right)^\alpha\right)\right)}{\frac{1}{n} \left[\sum_{i=t}^{m(S_d)} t_i(S_d) + \sum_{j=t}^{n-m(S_d)} t_j(S_{dm}) \right]} = \min \quad (48)$$

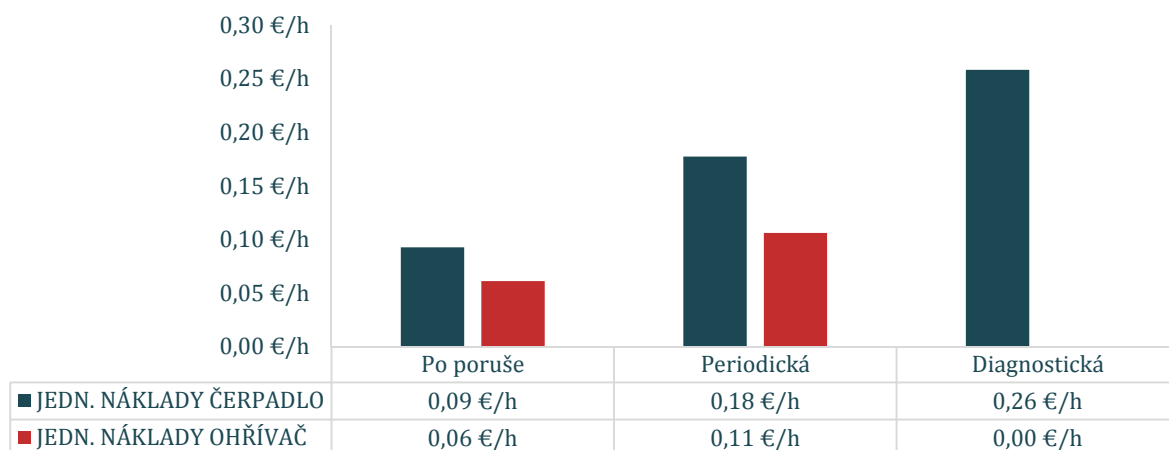
| | | |
|------|----------------|--|
| Kde: | $u_{du}(S_d)$ | Jednotkové náklady na preventivní diagnostickou údržbu [Kč] |
| | N_{pu} | Náklady na preventivní údržbu [Kč] |
| | Z_{up} | Vyvolané ztráty [Kč] |
| | $F(S_d)$ | Pravděpodobnost poruchy pro zvolenou hodnotu diagnostického signálu S_d [-] |
| | S_d | Stav předcházení poruchám – hodnota diagnostického signálu [-] |
| | $\bar{t}(S_d)$ | Střední doba provozu do provedení preventivní diagnostické údržby v čase $\bar{t}(S_d)$ a pro hodnotu diagnostického signálu (S_d) [h] |

| | |
|----------|---|
| u_d | Jednotkové náklady na diagnostiku [Kč] |
| α | Parametr tvaru Weibullova rozdělení [-] |
| β | Parametr měřítka Weibullova rozdělení [-] |

Tab. 58: Vypočtené hodnoty jednotkových nákladů preventivní diagnostické údržby

| Zařízení | αS_{dm} | βS_{dm} | S_d | u_d | $t(S_d)$ | $U_{du}(S_d)$ |
|------------------|-----------------|----------------|----------|----------|----------|---------------|
| ČERPADLO 101 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 103 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 105 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 107 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 301 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 102 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 104 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 106 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 108 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| OHŘÍVAČ | - | - | - | - | - | - |
| ČERPADLO 401 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 402 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 403 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |
| ČERPADLO 409-410 | 6,89 | 25,30 | 23,65 dB | 0,23 €/h | 24 760 h | 0,26 €/h |

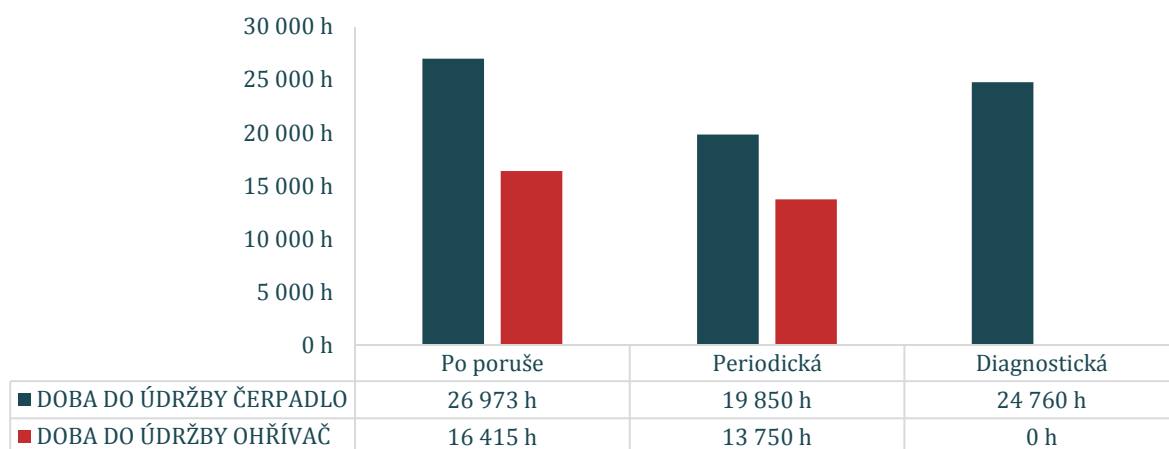
Z výsledků uvedených v tabulkách 56, 57 a 58 vyplývá, že nejnižší kritérium jednotkových nákladů na údržbu splňuje pro hodnocený proces údržba po poruše (obr. 92). Je to způsobeno především nízkými náklady na samotnou údržbu a dlouhou životností jednotlivých zařízení. Pro hodnocení nákladů na životní cyklus bude zvolena jako výchozí varianta.



Obr. 96: Porovnání jednotkových nákladů na údržbu pro tři hodnocené systémy údržby uvedené pro čerpadlo a ohříváč; u nákladu na údržbu čerpadla je použita nejhorší hodnota jednotkových nákladů – další hodnoty jsou 0,02 €/h a 0,05 €/h

Zdroj: Vlastní zpracování

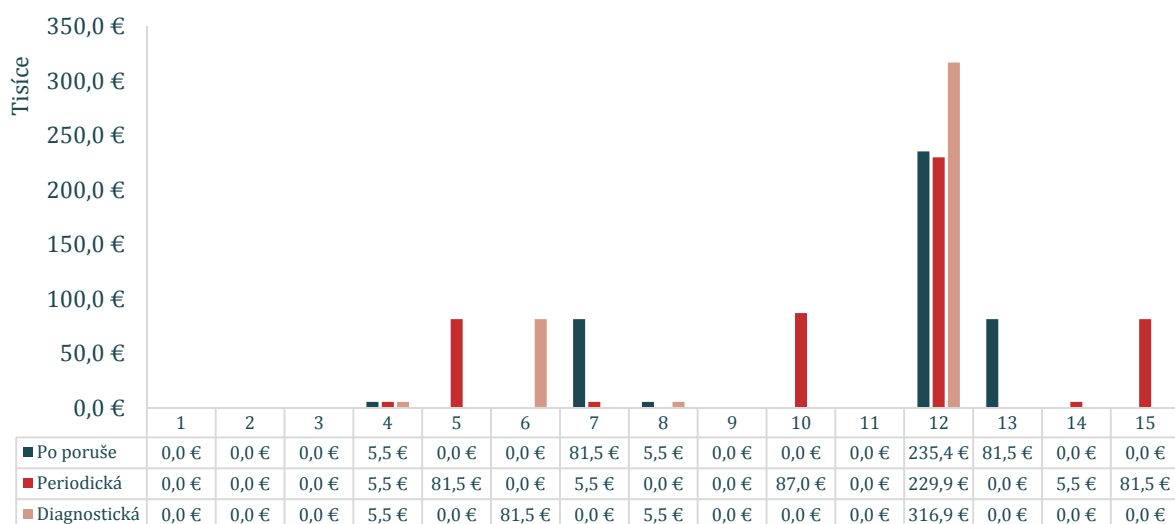
Jako druhá v pořadí při hodnocení stejného kritéria skončila preventivní periodická údržba. Ta však významným způsobem zkracuje využití fyzického života objektu a to se projevuje vyššími jednotkovými náklady údržby (obr. 93).



Obr. 97: Doba do údržby pro jednotlivé systémy údržby uvedená pro čerpadlo a ohřívač; výsledky korespondují s předpokladem, že nejdelší interval údržby bude mít údržba po poruše a naopak nejkratší preventivní periodická údržba

Zdroj: Vlastní zpracování

Jak je zřejmé z grafu 89 zohledňujícího rozložení nákladů na údržbu v jednotlivých letech projektu, projevuje se v nákladech významně posun doby do provedení údržby. To je dobře vidět na údržbě čerpadel, které se při volbě systému periodické preventivní údržby opravují již v pátém roce projektu, kdežto při volbě preventivní diagnostické údržby je to v průběhu šestého a u údržby po poruše až sedmého roku. Pozn.: Tento graf zobrazuje čistě náklady na údržbu samotných zařízení (čerpadlo, ohřívač). Do kalkulace LCC bude navíc zahrnut roční paušál na údržbu v hodnotě 20 000 Kč na drobnou údržbu prováděnou přímo zaměstnanci v rámci jejich rutinní práce.



Obr. 98: Náklady na údržbu zohledňující dobu do údržby dle volby systému údržby v průběhu projektu

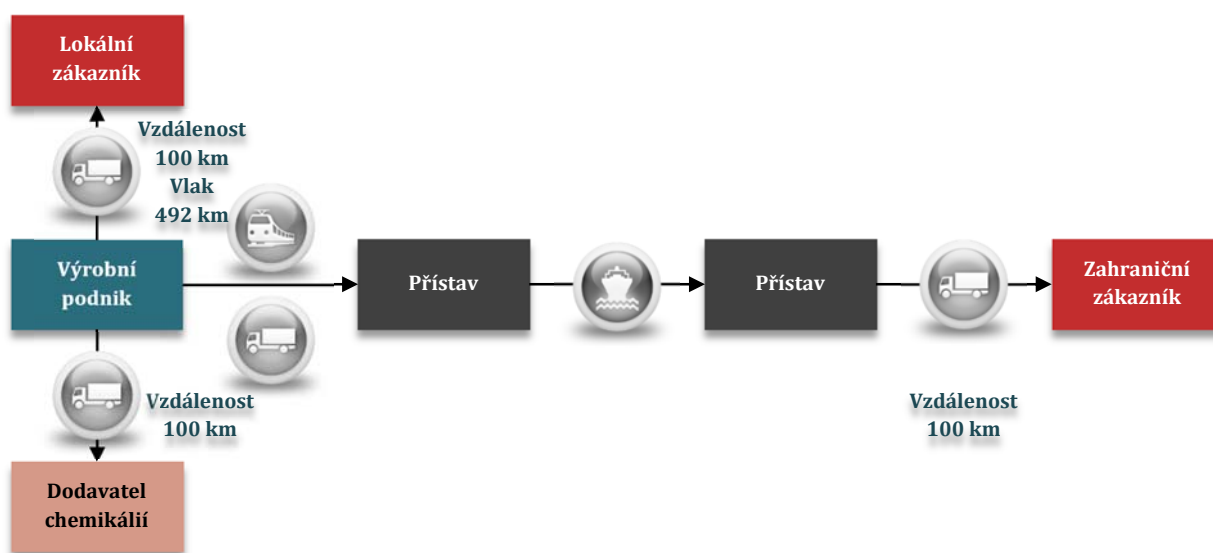
Zdroj: Vlastní zpracování

6.2.2.3. Náklady na logistiku – výpočet logistických nákladů

Do nevýrobních vlivů nákladového modelu WLC je zahrnuta logistika chemikálií⁵¹ a nanočástic. Bude-li naplněn výše popsáný scénář dodávek nanočástic do vybraných destinací (podkapitola 6.2.1.), bude logistika v nákladech zaujímat nezanedbatelnou roli. To může ovlivnit výsledek volby vhodné destinace pro vybudování výrobní technologie.

Pro transport chemikálií je uvažován scénář přímých dodávek kamionovou nákladní přepravou, kdy vzdálenost dodavatele chemikálií se uvažuje do 100 km. Jedná se tedy o lokální transport, který bude realizován v kolečku, tak aby bylo možné obalové jednotky zasílat zpět. Premisa pro obalové jednotky je taková, že IBC palety patří dodavateli dle pravidla, kdo dodává materiál, pořizuje⁵² obalové jednotky. Cena obalových jednotek je rozpuštěna v ceně chemikálií.

Pro transport nanočástic na vybrané trhy je uvažována kombinovaná přeprava: kamionová nákladní doprava, lodní doprava a vlaková doprava v případě trasy Praha-Hamburk. Logistický materiálový tok použitý při výpočtech je naznačen na následujících obrázcích 95 a 97. V dalším textu bude blíže popsán způsob stanovení nákladů na logistiku nanočástic.



Obr. 99: Schéma logistického materiálového toku

Zdroj: Vlastní zpracování

Náklady na logistiku vstupních chemikálií

Jak již bylo výše zmíněno, pro přepravu vstupních chemikálií pro výrobu nanočástic bude využita kamionová nákladní přeprava do vzdálenosti 100 km. Typově tento způsob přepravy spadá to takzvané lokální přepravy účtované v hodinových sazbách. Předpokládá se maximální hmotnostní vytížení dopravního prostředku. Z toho také vyplývá koncept dodávek, kdy je plánována obousměrná jednorázová

⁵¹ Všechny čtyři hodnocené varianty umístění výroby jsou ve velkých městech. Z tohoto důvodu byla přijata premisa stejné nákladové náročnosti transportu vstupních chemikálií pro všechny čtyři scénáře.

⁵² U dlouhodobých dodávek lze často využít možnost rozpuštění ceny transportních jednotek v pořizovací ceně, zvláště jsou-li obalové jednotky vícecestné jako je tomu u IBC obalů.

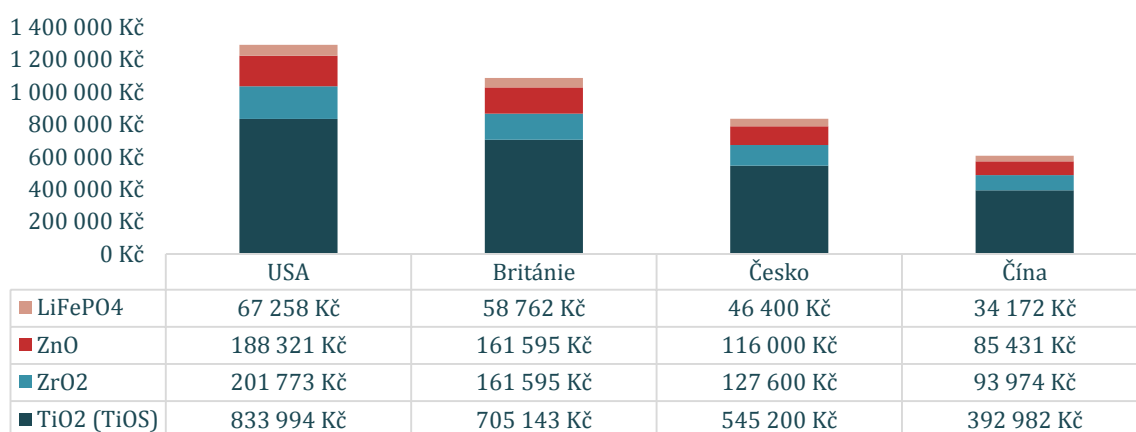
přímá jízda. Náklady na logistiku produktu budou stanoveny na základě sazeb (tabulka 22) a metodiky predikce transportních nákladů popsané v kapitole 4.1.2.3.

Tab. 59: Vstupní cena LKW stanovená pro obousměrnou přímou jízdu

| Položka | USA | UK | ČR | CH |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Základní cena za LKW | 6 726 Kč | 7 345 Kč | 5 800 Kč | 4 272 Kč |
| Koeficient konceptu | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Koeficient vracení palet | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Celková cena za LKW | 13 452 Kč | 14 690 Kč | 11 600 Kč | 8 543 Kč |

Tab. 60: Potřebné počty přímých jízd LKW pro vstupní chemikálie využívané pro hodnocené nanočástice

| Položka | TiO2 (TiOS) | ZrO2 | ZnO | LiFePO4 | Celkem |
|---------------------------|-------------|--------|--------|---------|----------------|
| Roční spotřeba chemikálií | 1 233 t | 280 t | 261 t | 86 t | 1 860 t |
| Počet potřebných LKW USA | 62 LKW | 15 LKW | 14 LKW | 5 LKW | 96 LKW |
| Počet potřebných LKW UK | 48 LKW | 11 LKW | 11 LKW | 4 LKW | 74 LKW |
| Počet potřebných LKW ČR | 47 LKW | 11 LKW | 10 LKW | 4 LKW | 72 LKW |
| Počet potřebných LKW CH | 46 LKW | 11 LKW | 10 LKW | 4 LKW | 71 LKW |

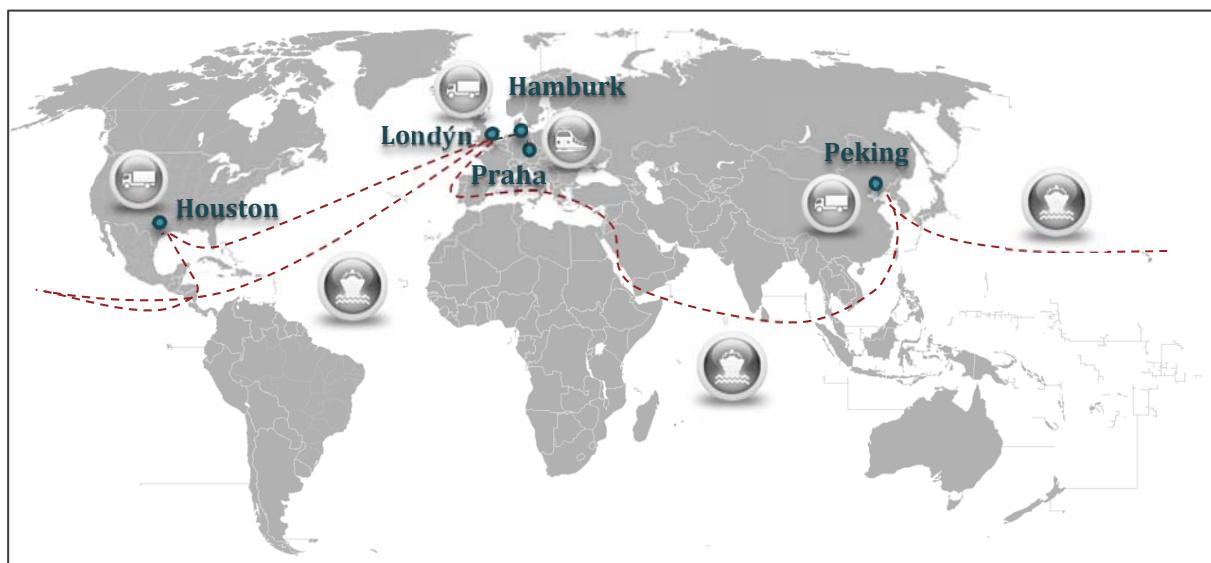


Obr. 100: Náklady na logistiku vstupních chemikálií

Zdroj: Vlastní zpracování

Nejnižší náklady na transport chemikálií bude mít provoz vyrábějící v Číně (obr. 100). Tato skutečnost je ovlivněna dvěma hlavními faktory. Prvním je nejnižší cena transportu a druhým je i nejnižší počet LKW potřebných pro manipulaci (Čína umožňuje největší zatížení návěsu, tabulka 63).

Náklady na logistiku produktu



Obr. 101: Destinace a způsoby dopravy s vyznačenými dopravními cestami hodnocenými ve výpočtech

Zdroj: Vlastní zpracování

Přístavy, odkud případně kam jsou posílány kontejnery s NČ, jsou uvedeny v následující tabulce 61.

Tab. 61: Přístavy, odkud/kam jsou dopravovány kontejnery s nanočásticemi

| Město výroby | Stát | Přístav |
|--------------|-----------------|----------|
| Houston | USA - Texas | Houston |
| Londýn | Velká Británie | Londýn |
| Praha | Česká republika | Hamburk* |
| Peking | Čína | Tianjin |

* Pro cestu z Čech do přístavu je počítána doprava kontejneru vlakem z Prahy do Hamburku, kde je náklad přeložen na loď.

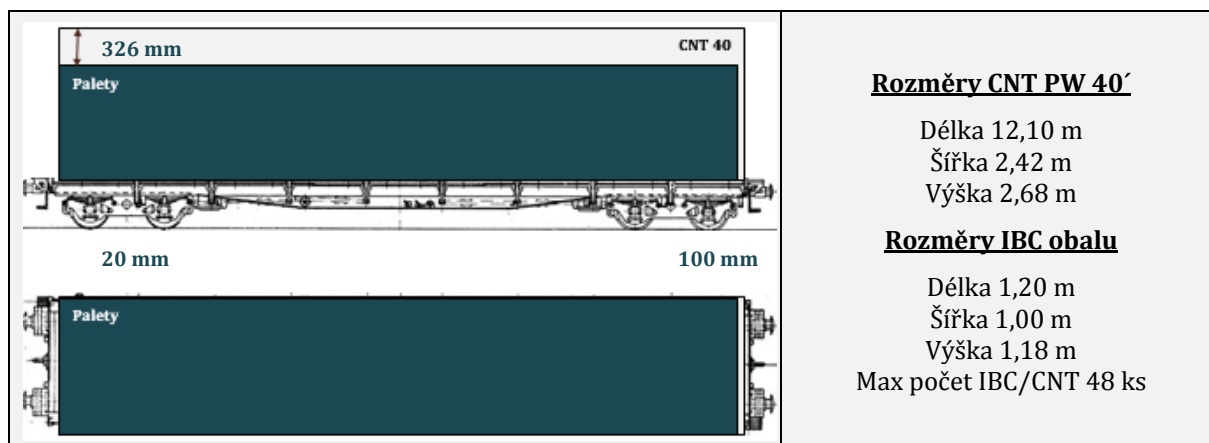
Ceny transportu kontejneru lodí do vybrané destinace se mohou značně lišit. Důvodem těchto cenových výkyvů je volba trasy transportu, případně vytížení rejdáře dle destinace. Tak je možné se setkat s velkými rozdíly ceny i v rámci směru stejné trasy. Příkladem je v tabulce 62 uvedený směr Houston -Tianjin- Houston, kdy ve směru z USA stojí kontejner 881 \$ a z Číny stojí kontejner 1 748 \$. Tyto výkyvy cen jsou zdrojem velké nejistoty v rámci nákladů na logistiku. Z tohoto důvodu je dále zařazena část věnovaná hodnocení rizika.

Tab. 62: Ceny lodních a vlakových transportů ke 12. 11. 2017; Zdroj: Zpracováno dle (ceny lodí: <http://worldfreightrates.com/freight>, ceny vlaku: <https://www.metrans.eu/>)

| Výroba | Destinace | Transport CNT lodí |
|-----------------|-----------------|--------------------|
| Houston USA | Londýn Británie | 1 797 \$ |
| Houston USA | Tianjin Čína | 881 \$ |
| Londýn Británie | Houston USA | 2 197 \$ |
| Londýn Británie | Tianjin Čína | 847 \$ |
| Praha Česko | Hamburk Německo | 677 \$ |
| Hamburk Německo | Houston USA | 2 182 \$ |
| Hamburk Německo | Londýn Británie | 320 \$ |
| Hamburk Německo | Tianjin Čína | 832 \$ |
| Tianjin Čína | Houston USA | 1 748 \$ |
| Tianjin Čína | Londýn Británie | 860 \$ |

Transport po pevnině mimo trasu Praha – Hamburk je plánován pomocí nákladního vozu s kontejnerovým podvozkem, na které se naloží celý kontejner (obr. 98). Neprobíhá tedy žádné přeložení obsahu kontejneru na LKW a nejsou tak zvažovány žádné další náklady (manipulace s kontejnerem je uvažována v ceně za kontejner). Vliv na logistické náklady však mají další faktory. Je to cena tunokilometru a možnost zatížení kontejneru z důvodu legislativních omezení v cílové zemi. Ceny transportu a možné zatížení jsou uvedeny v tabulce 63.

Roztok nanočástic je do kontejneru nakládán v 1 000 litrových IBC kontejnerech, které mají po naplnění hmotnost 1 050 kg (hmotnost roztoku nanočástic je 1 000 kg – vodný roztok, hmotnost obalu je 50 kg). Aretace IBC kontejneru proti posunutí není zohledněna (předpokládá se fixace pomocí fixačních prvků).



Obr. 102: Rozměry kontejneru (CNT) PW 40' a rozměry obalu IBC použitého pro transport NČ, schéma naplnění CNT nezohledňuje hmotnostní limity

Zdroj: Vlastní zpracování

Výpočet logistických nákladů je sestaven dle následujícího klíče:

- 1) Stanovení počtu expedovaných IBC kontejnerů pro vybranou destinaci potřebných pro přepravu objemu NČ dle zvoleného scénáře,

- 2) Výpočet množství kontejnerů potřebných pro přepravu expedovaných IBC dle hmotnostního a objemového omezení daného státu (např. pokud je výroba umístěná v Číně, tak pro lokální trh lze naložit kontejnery na hmotnost 26,25 tuny (27 t bez objemového omezení), kdežto pro americký trh je to pouze 19,95 tuny (20 t bez objemového omezení)),
- 3) Výpočet nákladů na transport (vlak, LKW, loď).

Tab. 63: Ceny transportů a obalů na NČ; HM – hmotnost, CNT – kontejner, IBC – transportní obal; Zdroj: Zpracováno dle [246]

| Stát | Cena transportu | Max HM/CNT | Zdroj | IBC/CNT* | Cena IBC | Zdroj |
|----------|-----------------|------------|-----------------|----------|----------|--------------------|
| USA | 0,040 \$/tkm | 20 000 kg | icontainers.com | 19 ks | 4 277 Kč | thecarycompany.com |
| Británie | 0,050 \$/tkm | 26 000 kg | icontainers.com | 24 ks | 4 851 Kč | tanks-direct.co.uk |
| Česko | 0,050 \$/tkm | 26 600 kg | icontainers.com | 25 ks | 2 057 Kč | tbaplast.cz |
| Čína | 0,050 \$/tkm | 27 000 kg | mcc.com.sg | 25 ks | 2 688 Kč | made-in-china.com |

* počet IBC obalů v CNT je stanoven jednoduchým výpočtem. Nejprve se určí počet IBC obalů naskládaných do CNT podélně, následně příčně. Zvolena je varianta s vyšším počtem IBC obalů uvnitř CNT. Následně se ověří zatížení CNT a ubere se počet IBC obalů dle potřeby.

Premisy výpočtu:

- Tok prázdných obalů IBC není zohledněn a ani není ve výpočtu uvažován odprodej,
- Náklady na zavedení a vyvedení kontejneru nejsou uvažovány (jsou uvažovány v ceně kontejneru),
- Lokální transporty (dodavatel-odběratel) a transporty z přístavu (dodavatel-přístav/přístav-odběratel) jsou 100 km,
- Indikativní ceny transportu kontejneru lodí jsou zaokrouhleny na 100 nahoru a vycházejí z aktuální nabídky (12. 11. 2017) transportů kontejnerů mezi vybranými přístavy (<http://worldfreightrates.com/freight>).

$$N_{LOG} = N_{TLC} + N_{TP} + N_{TLD} + N_{TZ} \quad (49)$$

Kde: N_{LOG} Náklady na logistiku [Kč]
 N_{TLC} Náklady na lokální transporty k zákazníkům [Kč]
 N_{TP} Náklady na transport kontejneru do přístavu [Kč]
 N_{TLD} Náklady na transport kontejneru lodí (cena kontejneru) [Kč]
 N_{TZ} Náklady na transport kontejneru k zákazníkům [Kč]

$$N_{TLC} + N_{TP} + N_{TZ} = C_{TKM} \cdot POČ_T \cdot POČ_{KM} \cdot POČ_{JZD} \quad (50)$$

Kde: N_{TLC} Náklady na lokální transporty k zákazníkům [Kč]
 N_{TP} Náklady na transport kontejneru do přístavu [Kč]
 N_{TZ} Náklady na transport kontejneru k zákazníkům [Kč]
 C_{TKM} Cena tunokilometru [Kč/tkm]

POČ_T Počet přepravených tun/jízdu [t]

POČ_{KM} Počet ujetých kilometrů [km]

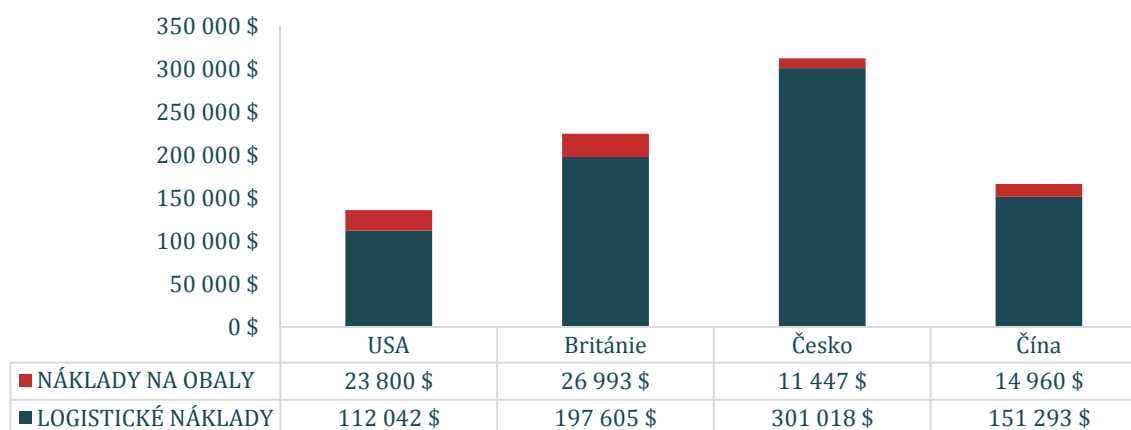
POČ_{JZD} Počet jízd = počet kontejnerů [-]

$$POČ_{JZD} = \frac{OBJ_P}{ZT_{CNT}} \quad (51)$$

Kde: POČ_{JZD} Počet jízd⁵³ = počet kontejnerů [-]

OBJ_P Objem, který je třeba přepravit [kg]

ZT_{CNT} Maximální možné zatížení kontejneru [kg]



Obr. 103: Náklady na logistiku nanočástic a obalový materiál

Zdroj: Zpracováno dle [246]

Z výsledků (obr. 99) je zřejmé, že nejnižší náklady na logistiku má Čína. To se ostatně dalo předpokládat, protože v Číně zůstává velká část produkce na lokálním trhu (je zde trh s největším gravitačním efektem) a není tedy nutné platit lodní transport. Čína též umožňuje i největší zatížení LKW, které snižuje celkový počet expedovaných kontejnerů. Nejvyšší náklady na logistiku nese Česko, což opět potvrzuje očekávání. Způsobuje to absence lokálních odběratelů. Veškerá produkce českého podniku jde na export a musí se transportovat [246].

Nejnižší hodnota nákladů na obalový materiál je tentokrát v Česku. Je to způsobeno nejnižší cenou IBC obalů. To však nemusí být v praxi odpovídající, protože pro analýzu byla využita data volně dostupná na internetu. V případě většího odběru by i v jiných státech mohly být náklady na obalový materiál optimalizovány.

⁵³ Jedná se o zjednodušený model, který nebere do úvahy rozmístění dodavatelů (v situaci, kdy by byly dodavatelé daleko od sebe, neposílal by se sběrný kontejner)

Hodnocení rizika nákladů na logistiku

Ke zhodnocení rizik spojených s vývojem logistických nákladů byla provedena simulace Monte Carlo pro inbound i outbound⁵⁴ procesy. Základní rozdíl v obou procesech je, že inbound logistika dle premis výpočtu předpokládá pouze kamionovou nákladní přepravu založenou na obou cestných přímých jízdách. Outbound procesy předpokládají jednosměrnou kombinovanou přepravu produktu v kontejneru (využívající kamionovou, vlakovou a lodní přepravu).

Náklady na logistiku vstupních chemikálií:

Při hodnocení rizika změny výše nákladů na logistiku chemikálií budou brány v potaz dvě kritéria. První hodnota odpovídá hodnotě potenciálního růstu ceny hodinové sazby za kamionovou lokální přepravu chemikálií (tabulka 64) a druhým kritériem je odhad změny konceptu transportu dle metodiky popsané v kapitole 4.1.2.7.

Tab. 64: Odhad výše rizika růstu ceny hodinové sazby za kamionovou lokální přepravu. Modře jsou uvedeny položky poklesu ceny. Položky uvedené bez zdroje jsou odborným odhadem možného vývoje.

| Položka | Očekávané zdražení/zlevnění | Pravděpodobnost stavu | Růst/pokles |
|---------------|-----------------------------|-----------------------|---------------|
| Odpisy | 3%/0% | 10%/90% | 0%/0% |
| Nafta | 30% [29] /30% | 85%/15% | 26%/5% |
| Údržba | 3%/0% | 10%/90% | 0%/0% |
| Pneumatiky | 5%/0% | 10%/90% | 1%/0% |
| Řidič | 2% [150] /0% | 20%/80% | 2%/0% |
| Pojištění | 2%/0% | 10%/90% | 0%/0% |
| Daně/ostatní | 2%/0% | 10%/90% | 0%/0% |
| Poplatky | 2%/0% | 10%/90% | 0%/0% |
| Celkem | 49%/30% | - | 29%/5% |

V tabulce 65 jsou uvedeny krajní meze rozdělení pravděpodobnosti pro jednotlivé rizikové faktory. Pro zobrazení nejistoty byla zvolena následující rozdělení:

- Trojúhelníkové rozdělení pro položku: růst ceny LKW: dolní mez – 5% současné ceny (nepředpokládá se pokles cen, snížení může vyvolat pouze pokles cen nafty), horní mez + 29% (viz tabulka 64 sloupec růst/pokles)
- Trojúhelníkové rozdělení pro položku změny konceptu dodávek dle tabulky 65
- Trojúhelníkové rozdělení levostranné pro položku vzdálenost LKW transportu, kdy ke střední hodnotě 100 km byly doplněny: dolní mez 80 km a horní mez 250.

⁵⁴ Inbound – logistika vstupních materiálů do výrobního procesu, outbound – logistika produktu k zákazníkovi.

Tab. 65: Krajní meze rozdělení pravděpodobnosti pro rizikový faktor změny konceptu transportu chemikálií (optimistická variant = dolní mez, pesimistická varianta = horní mez); modře jsou uvedeny přiřazené body hodnotících kritérií dle metodického postupu z kapitoly 4.1.2

| Stát | Optimistický scénář | | Realistický scénář | | Pesimistický scénář | |
|------|---------------------|----------|--------------------|----------|---------------------|----------|
| USA | 2,3 b. | 5 230 Kč | 2,9 b. | 6 726 Kč | 3,0 b. | 6 840 Kč |
| UK | 2,3 b. | 5 712 Kč | 2,9 b. | 7 345 Kč | 3,0 b. | 7 470 Kč |
| ČR | 2,3 b. | 4 510 Kč | 2,9 b. | 5 800 Kč | 3,0 b. | 5 899 Kč |
| CH | 2,3 b. | 3 322 Kč | 2,9 b. | 4 272 Kč | 3,0 b. | 4 344 Kč |

Tab. 66: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory transportu chemikálií, NP – nejpravděpodobnější hodnota

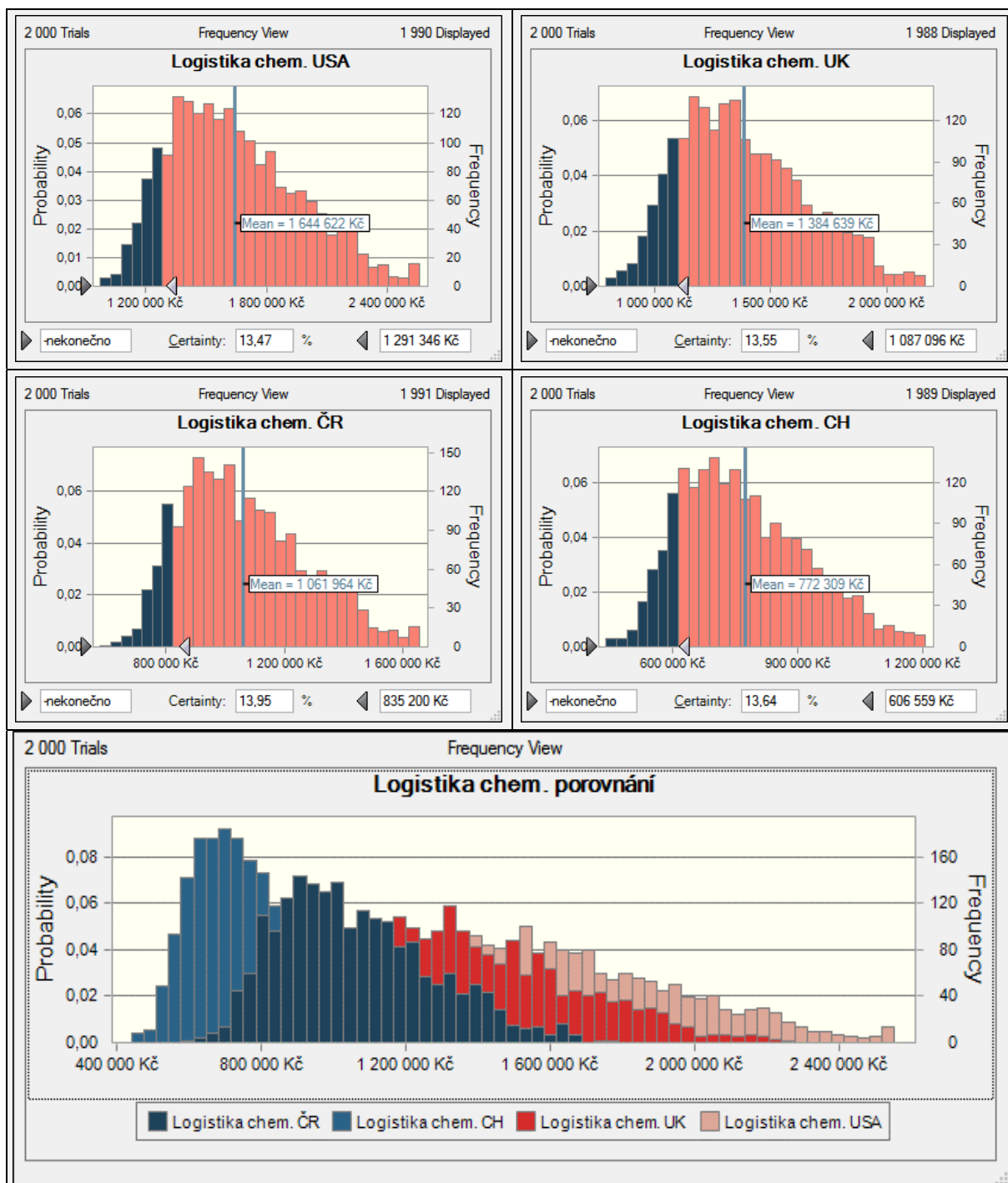
| Položka | Rozdělení pravděpodobnosti | Průběh | Parametry |
|--------------------------------|----------------------------|--|----------------|
| Růst ceny LKW [Kč/LKW] | Trojúhelníkové |  | NP - 5%; + 29% |
| Změna konceptu transportu [Kč] | Trojúhelníkové |  | Viz tabulka 65 |
| Vzdálenost LKW transportu [km] | Trojúhelníkové |  | NP - 20; + 150 |

Tab. 67: Výsledky simulace Monte Carlo hodnot logistických nákladů na transport vstupních chemikálií pro jednotlivé varianty umístění výrobního závodu

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Dolní mez | 981 tKč | 796 tKč | 579 tKč | 440 tKč |
| Horní mez | 2 688 tKč | 2 244 tKč | 1 757 tKč | 1 276 tKč |
| Střední hodnota | 1 644 tKč | 1 384 tKč | 1 061 tKč | 772 tKč |
| NP hodnota | 1 291 tKč | 1 087 tKč | 835 tKč | 606 tKč |
| Pravděpodobnost (náklad ≤ NP) | 13,47% | 13,55% | 13,95% | 13,64% |
| Max navýšení oproti NP | 108,21% | 106,44% | 110,24% | 110,56% |

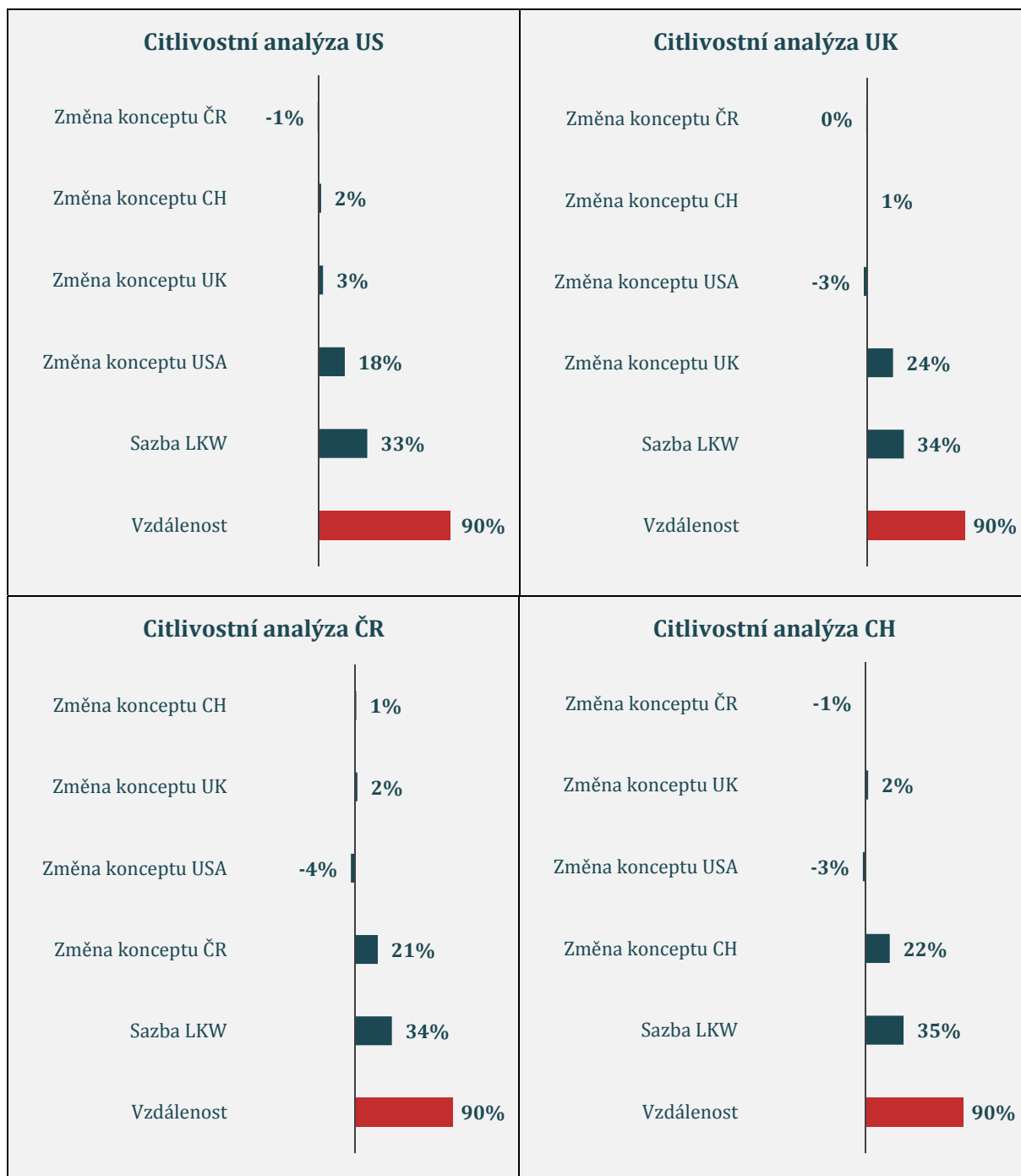
Výsledky simulací scénářů vývoje rizikových faktorů vykazují vysokou míru rizika růstu nákladů na logistiku vstupních chemikálií. Pouze 13,5% prověřených scénářů vykazuje celkové náklady na logistiku nižší než kalkulované výsledky. Průměrný maximální nárůst logistických nákladů je o 108%. Grafické shrnutí výsledků simulace je na obrázku 100.

Citlivostní analýza ukázala (obr. 101), že nejvýznamnější faktor z pohledu rizika je ujetá vzdálenost LKW. To by v praxi kladlo vysoké nároky na prověření věrohodnosti premisy, že transporty budou realizovány do vzdálenosti maximálně 100 km. V takovém případě je účelné zaměřit se na zákazníky s největšími objemy a prověřit jejich dodávková místa (tento parametr může značně ovlivňovat náklady na logistiku a věrohodnost kalkulace nákladů celého životního cyklu).



Obr. 104: Výsledky simulace Monte Carlo pro výpočet logistických nákladů na převoz vstupních chemikálií, a) histogram hodnot pro logistiku scénář USA, b) histogram hodnot pro logistiku scénář Británie, c) histogram hodnot pro logistiku scénář Česko, d) histogram hodnot pro logistiku scénář Čína, e) porovnání výsledů

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. 105: Výsledky citlivostní analýzy – zobrazeny příspěvky rizikových faktorů logistiky k riziku projektu

Zdroj: Vlastní zpracování

Náklady na logistiku produktu:

Hlavním úskalím při hodnocení rizika změny nákladů na logistiku nanoproduktů je fakt, že vlivem globálního toku kontejnerů nejsou ceny za stejnou relaci v opačném směru vždy obdobné. Jelikož tento fakt je obecně známý, ale obtížně predikovatelný, bude pro výpočet tento vliv zjednodušen a bude se opírat pouze o současné tržní ceny, které budou navýšeny o riziko vývoje cen o 10%.

V následující tabulce 68 jsou uvedeny rozdělení pravděpodobnosti pro jednotlivé rizikové faktory. Pro zobrazení nejistoty byla zvolena následující rozdělení:

- Trojúhelníkové rozdělení pro položky: cena lodní dopravy, cena vlakové dopravy, cena LKW dopravy, dolní a horní mez byly stanoveny na $\pm 10\%$ z nejpravděpodobnější hodnoty uvedené v tabulce 62 pro lodní a vlakovou dopravu a v tabulce 63 pro LKW dopravu.
- Trojúhelníkové rozdělení levostranné pro položku vzdálenost LKW transportu, kdy ke střední hodnotě 100 km byly doplněny: dolní mez 80 km a horní mez 250.

Tab. 68: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory transportu nanočástic, NP – nejpravděpodobnější hodnota, M – měřítko, T - tvar

| Položka | Rozdělení pravděpodobnosti | Průběh | Parametry |
|--------------------------------|----------------------------|---|-----------------|
| Cena lodní dopravy [\$/CNT] | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%$ |
| Cena vlakové dopravy [\$/] | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%$ |
| Cena LKW dopravy [\$/tkm] | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%^*$ |
| Vzdálenost LKW transportu [km] | Trojúhelníkové |  | NP - 20; + 150 |

*Globální kamionová přeprava je v rámci této aplikace účtována jako jednosměrná přímá jízda kontejnerového chasis.

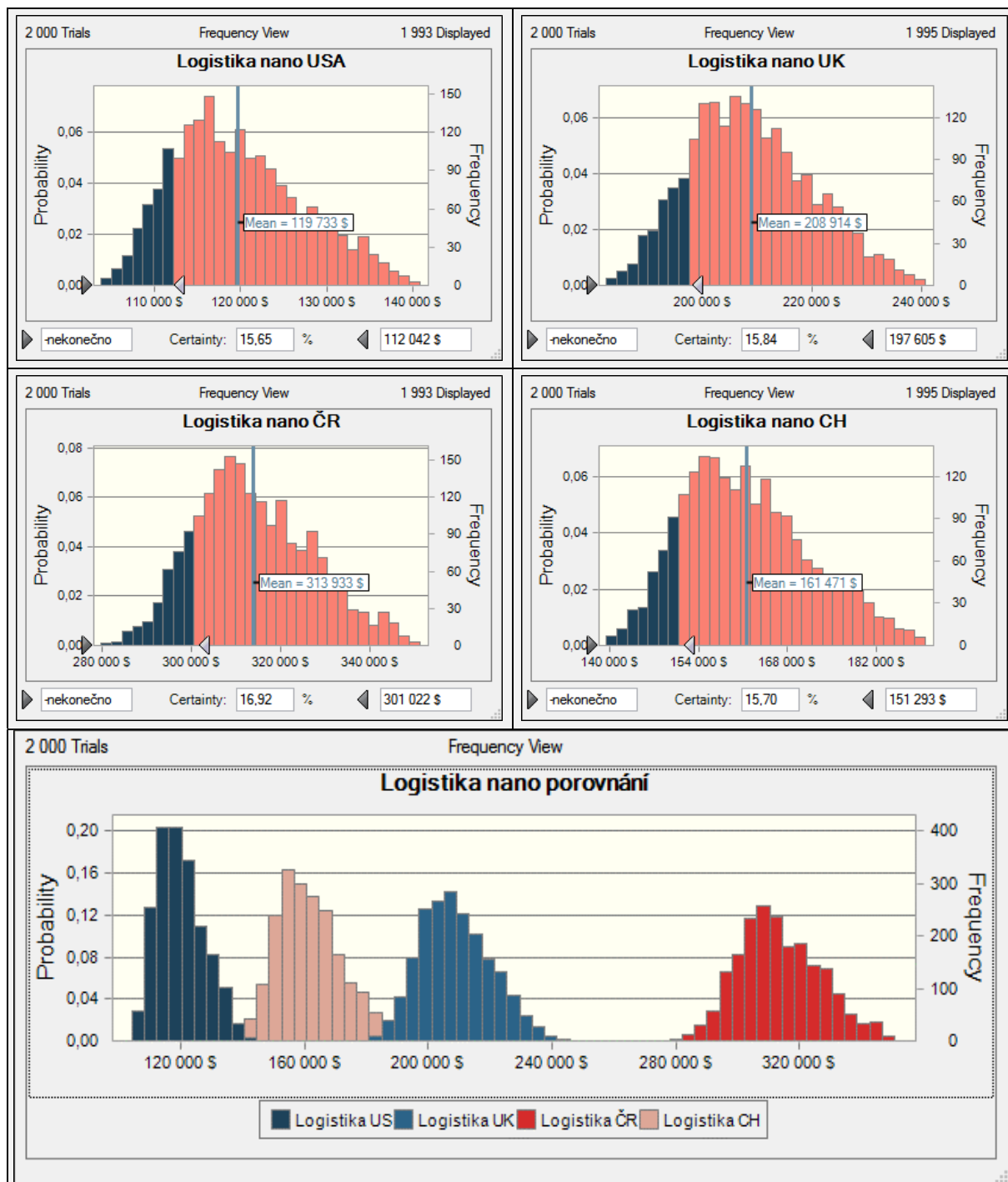
Tab. 69: Výsledky simulace Monte Carlo hodnot logistických nákladů na transport nanoproduktů pro jednotlivé varianty umístění výrobního závodu

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Dolní mez | 103 951 \$ | 182 620 \$ | 279 926 \$ | 139 521 \$ |
| Horní mez | 145 353 \$ | 247 653 \$ | 358 162 \$ | 193 850 \$ |
| Střední hodnota | 119 733 \$ | 208 914 \$ | 313 933 \$ | 161 471 \$ |
| NP hodnota | 112 042 \$ | 197 605 \$ | 301 022 \$ | 151 293 \$ |
| Pravděpodobnost (náklad \leq NP) | 15,65% | 15,84% | 16,92% | 15,70% |
| Max navýšení oproti NP | 29,73% | 25,33% | 18,98% | 28,13% |

Výsledky simulace (tab. 67 a obr. 102) naznačují, že logistické náklady na přepravu nanoproduktů pomocí kombinované přepravy dle vývoje rizikových faktorů jsou podhodnoceny a existuje vysoké riziko navýšení nákladů. Pouze cca 16% prověřených scénářů je spojeno s nižšími případně stejnými náklady na logistiku. Průměrný maximální nárůst logistických nákladů je 25% (nejpravděpodobnější hodnota (NP) je nižší v průměru o 25% oproti maximální hodnotě prověřených scénářů). Výjimku tvoří transporty z České republiky, kde se kvůli vyššímu objemu expedic do zámoří dají předpokládat větší výchyly spojené s rizikem růstu cen transportu a vzdáleností.

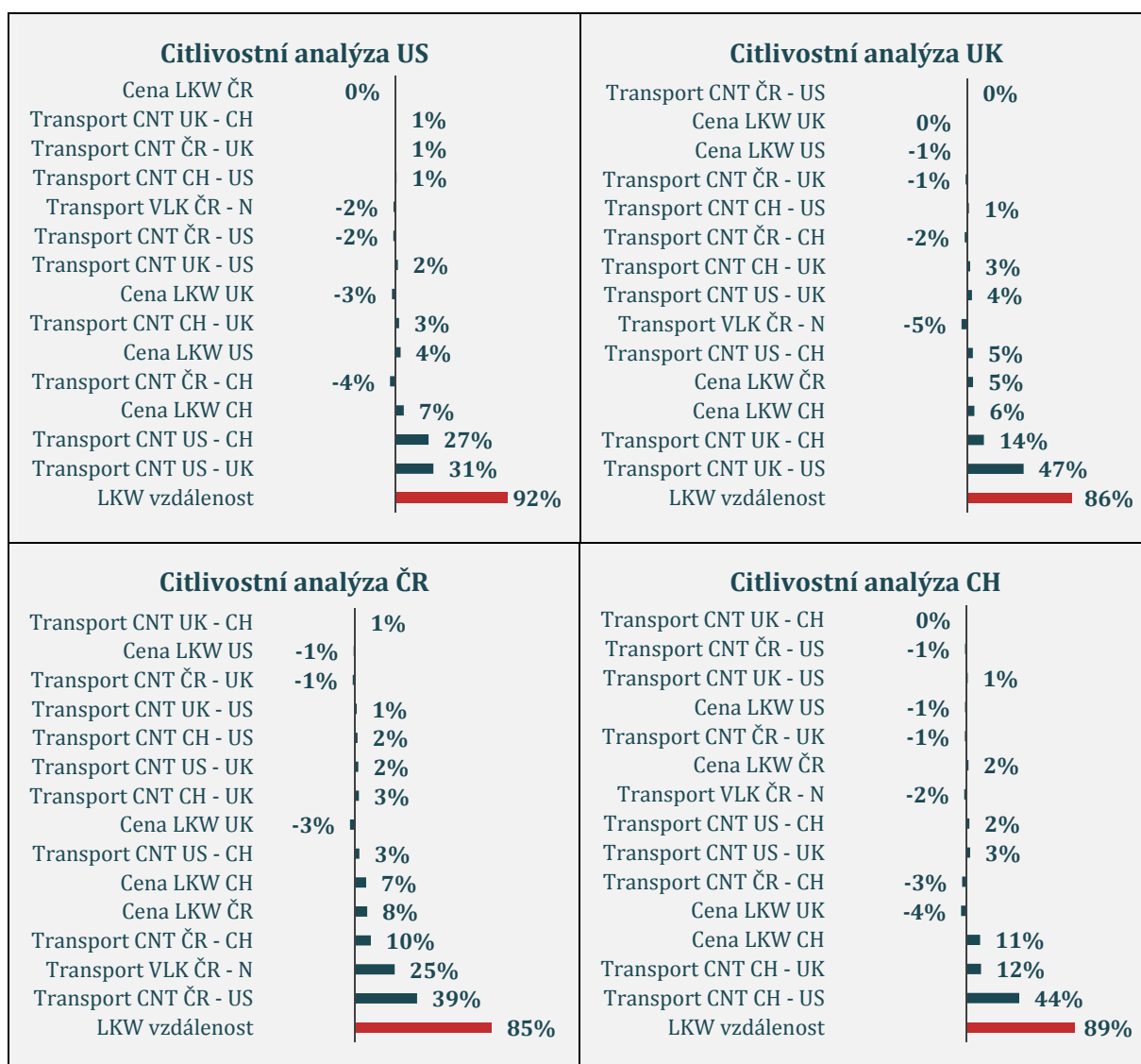
Citlivostní analýza ukázala (obr. 103), že nejvýznamnější faktor z pohledu rizika je ujetá vzdálenost LKW. To by v praxi stejně jako u logistiky vstupních chemikálií kladlo vysoké nároky na prověření věrohodnosti premisy, že transporty budou realizovány do vzdálenosti maximálně 100 km. V takovém

případě je účelné zaměřit se na zákazníky s největšími objemy a prověřit jejich dodávková místa (tento parametr může značně ovlivňovat náklady na logistiku a věrohodnost kalkulace nákladů celého životního cyklu).



Obr. 106: Výsledky simulace Monte Carlo pro výpočet logistických nákladů na transport nanoproduktů,
a) histogram hodnot pro logistiku scénář USA, b) histogram hodnot pro logistiku scénář Británie,
c) histogram hodnot pro logistiku scénář Česko, d) histogram hodnot pro logistiku scénář Čína,
e) porovnání výsledů

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. 107: Výsledky citlivostní analýzy – zobrazeny příspěvky rizikových faktorů logistiky k riziku projektu

Zdroj: Vlastní zpracování

6.2.2.4. Výpočet nákladů na fázi likvidace

V rámci fáze likvidace jsou uvažovány náklady na demontáž a odklizení výrobního zařízení a likvidaci. Demolice haly není uvažována. V případě pronájmu je ukončena smlouva a prostory jsou vyklizeny. Ve variantě výstavby je hala vyklizena a odprodána. Další položkou vznikající ve fázi likvidace je vznik výnosů za recyklaci vratného odpadu.

Demontáž a odklizení výrobního zařízení

Premisy výpočtu:

- Demontáž provádí čtyři dělníci po dobu deseti dní viz tabulka 70,
- Pro výpočet je použita průměrná mzda v daném státě, která je pravděpodobně významně vyšší než běžná mzda dělníka provádějícího demontážní práce. Výše mzdy však nákladově kompenzuje další neznámé příplatky za práci ve výšce apod.,
- K manipulaci je využito jednoho vysokozdvižného vozíku (VZV),

- Sazba za pronájem VZV je ve všech zemích stejná a byla stanovena na 214 Kč/h,
- Přeprava materiálu k recyklaci a likvidaci bude trvat celkem 12 hodin,
- Hodinová sazba za nákladní vozidlo je 750 Kč/h.

Tab. 70: Tabulka výpočtu nákladů na demontáž a likvidaci výrobního zařízení

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Počet dělníků | 4 VD | 4 VD | 4 VD | 4 VD |
| Počet dní | 10 dny | 10 dny | 10 dny | 10 dny |
| Počet hodin | 7,5 h | 7,5 h | 7,5 h | 7,5 h |
| Roční hodinový fond | 1 732,5 h | 1 732,5 h | 1 732,5 h | 1 732,5 h |
| Roční mzda | 1 476 921 Kč/rok | 1 072 197 Kč/rok | 612 502 Kč/rok | 286 620 Kč/rok |
| Hodinová sazba | 852 Kč/h | 619 Kč/h | 354 Kč/h | 165 Kč/h |
| Mzdové náklady na odklizení | 255 744 Kč | 185 662 Kč | 106 061 Kč | 49 631 Kč |
| VZV | 1 ks | 1 ks | 1 ks | 1 ks |
| Počet dní | 10 dny | 10 dny | 10 dny | 10 dny |
| Počet hodin | 7,5 h | 7,5 h | 7,5 h | 7,5 h |
| Roční hodinový fond | 1 732,5 h | 1 732,5 h | 1 732,5 h | 1 732,5 h |
| Pronájem | 370 000 Kč/rok | 370 000 Kč/rok | 370 000 Kč/rok | 370 000 Kč/rok |
| Hodinová sazba | 214 Kč/h | 214 Kč/h | 214 Kč/h | 214 Kč/h |
| Náklady na techniku | 16 017 Kč | 16 017 Kč | 16 017 Kč | 16 017 Kč |
| Počet hodin | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Hodinová sazba | 750 Kč/h | 750 Kč/h | 750 Kč/h | 750 Kč/h |
| Transportní náklady | 9 000 Kč | 9 000 Kč | 9 000 Kč | 9 000 Kč |

Likvidace ostatního odpadu

Premisy výpočtu:

- Odpad je odvážen na skládku, jedná se o směsný odpad vč. stavebního viz tabulka 71,
- Hmotnost odpadu je 10 000 kg.

Tab. 71: Tabulka výpočtu nákladů na likvidaci směšného odpadu

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|-------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Ostatní odpad | Skládka | Skládka | Skládka | Skládka |
| Množství odpadu | 10 000 kg | 10 000 kg | 10 000 kg | 10 000 kg |
| Poplatky | 0,04 \$/kg | 0,04 £/kg | 1,55 Kč/kg | 0,11 \$/kg |
| Směšný odpad | 0,87 Kč/kg | 1,42 Kč/kg | 1,55 Kč/kg | 2,69 Kč/kg |
| Náklady na odpad | 8 664 Kč | 14 189 Kč | 15 500 Kč | 26 884 Kč |

Ceny skládkování směšného odpadu byly převzaty z ceníků dostupných na (platné k 4. 11. 2017)

| | |
|----------|---|
| USA | http://riverbend.wm.com/landfill-rates/index.jsp |
| Británie | https://www.london.ca/residents/Garbage-Recycling/Garbage/Pages/Waste-Disposal-Fees.aspx |
| Česko | http://www.assmann.cz/ceniky#cenik-likvidovanych-odpadu |
| Čína | http://www.scmp.com/news/hong-kong/health-environment/article/2080508/11-cents-dump-1-litre-trash-hong-kong-government |

Recyklace vratného odpadu

Premisy výpočtu:

- Hmotnost elektromotorů (čerpadel) je 1 000 kg viz tabulka 72,
- Hmotnost armatur je 500 kg.

Tab. 72: Tabulka výpočtu nákladů na demontáž a likvidaci výrobního zařízení

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Cena šrotu (čerpadla) | 0,24 \$/lb | 0,22 £/kg | 5,00 Kč/kg | 5 600 CNY/MT |
| Čerpadla | 12,93 Kč/kg | 7,26 Kč/kg | 5,00 Kč/kg | 20,60 Kč/kg |
| Množství odpadu | 1 000 kg | 1 000 kg | 1 000 kg | 1 000 kg |
| Výnos za šrot | 12 931 Kč | 7 260 Kč | 5 000 Kč | 20 598 Kč |
| Kovový odpad | 0,29 \$/lb | 0,08 £/kg | 3,50 Kč/kg | 4 450 CNY/MT |
| Armatury | 15,63 Kč/kg | 2,64 Kč/kg | 3,50 Kč/kg | 16,37 Kč/kg |
| Množství odpadu | 500 kg | 500 kg | 500 kg | 500 kg |
| Výnos za kovový odpad | 7 813 Kč | 1 320 Kč | 1 750 Kč | 8 184 Kč |

Ceny výkupu elektromotorů byly převzaty z ceníků dostupných na (platné k 4. 11. 2017)

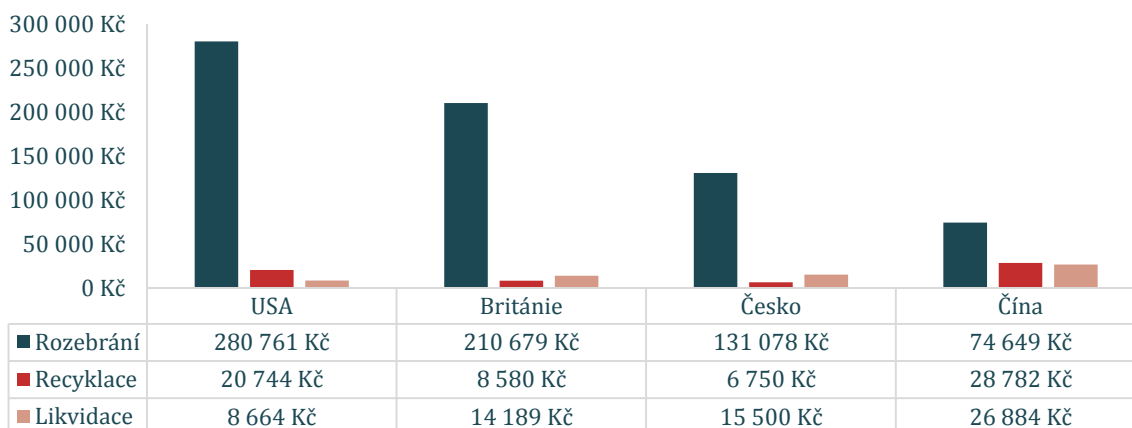
| | |
|----------|---|
| USA | http://www.scrapmonster.com/scrap-metal-prices/united-states |
| Británie | https://www.greengatemetals.co.uk/scrapmetal/Motors.html |
| Česko | http://www.metal-kov.cz/cenik-fyzicke-osoby-kovovy-odpad |
| Čína | http://www.scrapmonster.com/scrap-metal-prices/copper-scrap/scrap-electric-motors/31 |

Ceny výkupu armatur byly převzaty z ceníků dostupných na (platné k 4. 11. 2017)

| | |
|----------|---|
| USA | http://www.scrapmonster.com/scrap-metal-prices/united-states |
| Británie | https://www.greengatemetals.co.uk/scrapmetal/prices/ |
| Česko | http://www.metal-kov.cz/cenik-fyzicke-osoby-kovovy-odpad |
| Čína | http://www.scrapmonster.com/scrap-metal-prices/copper-scrap/scrap-electric-motors/31 |

Celkové náklady fáze likvidace

Náklady na demontáž (rozebrání) a odklizení jsou významně ovlivněny výší průměrných mezd dělníků, kteří se podílejí na demontáži a odklizení výrobního zařízení (obr. 104). Proto není překvapením pořadí ve výši demontážních nákladů jednotlivých států. Zajímavějším zjištěním se může zdát, že Čína má nejvyšší poplatky za skládkování (likvidaci) a nabízí nejvyšší ceny za výkup recyklovaného materiálu. Na základě toho by se dalo usuzovat, že Čína má snahu o zvýšení využívání vratného materiálu. Bohužel již není možné zjistit, zda tato opatření nevedou ke vzniku nepovolených skládek.



Obr. 108: Celkové výnosy a náklady fáze likvidace

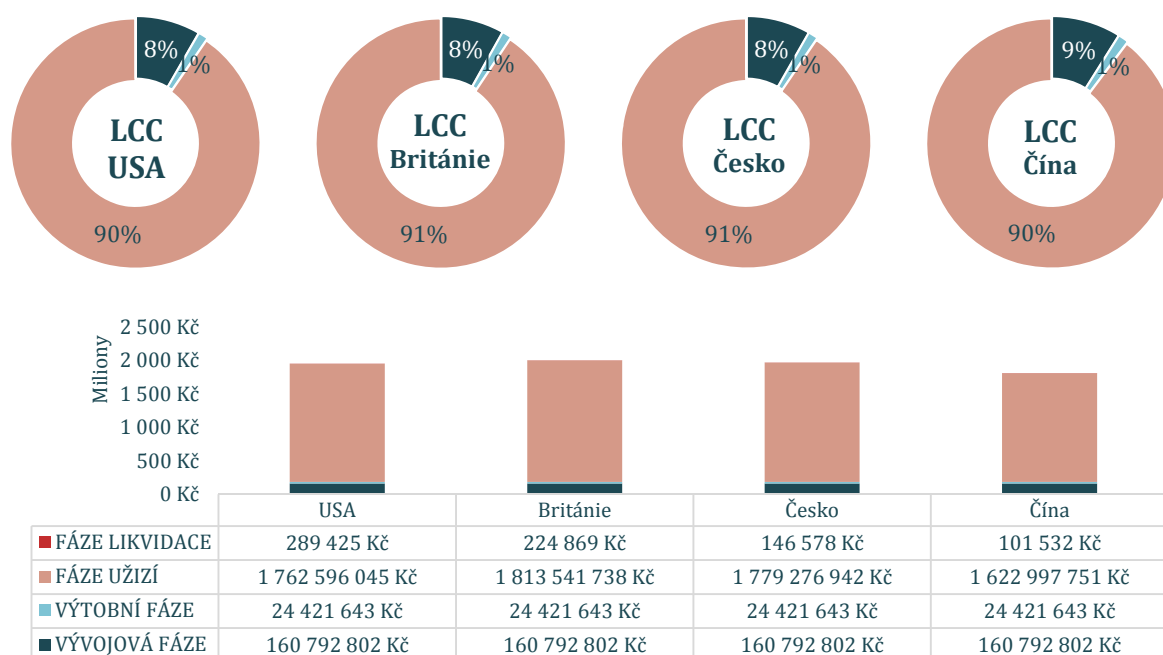
Zdroj: Vlastní zpracování

6.2.3. Hodnocení výsledků kalkulace LCC a WLC

Shrnutí výsledků jednotlivých nákladových položek a jejich hodnocení je uvedeno v této podkapitole.

6.2.3.1. Náklady fází životního cyklu projektu

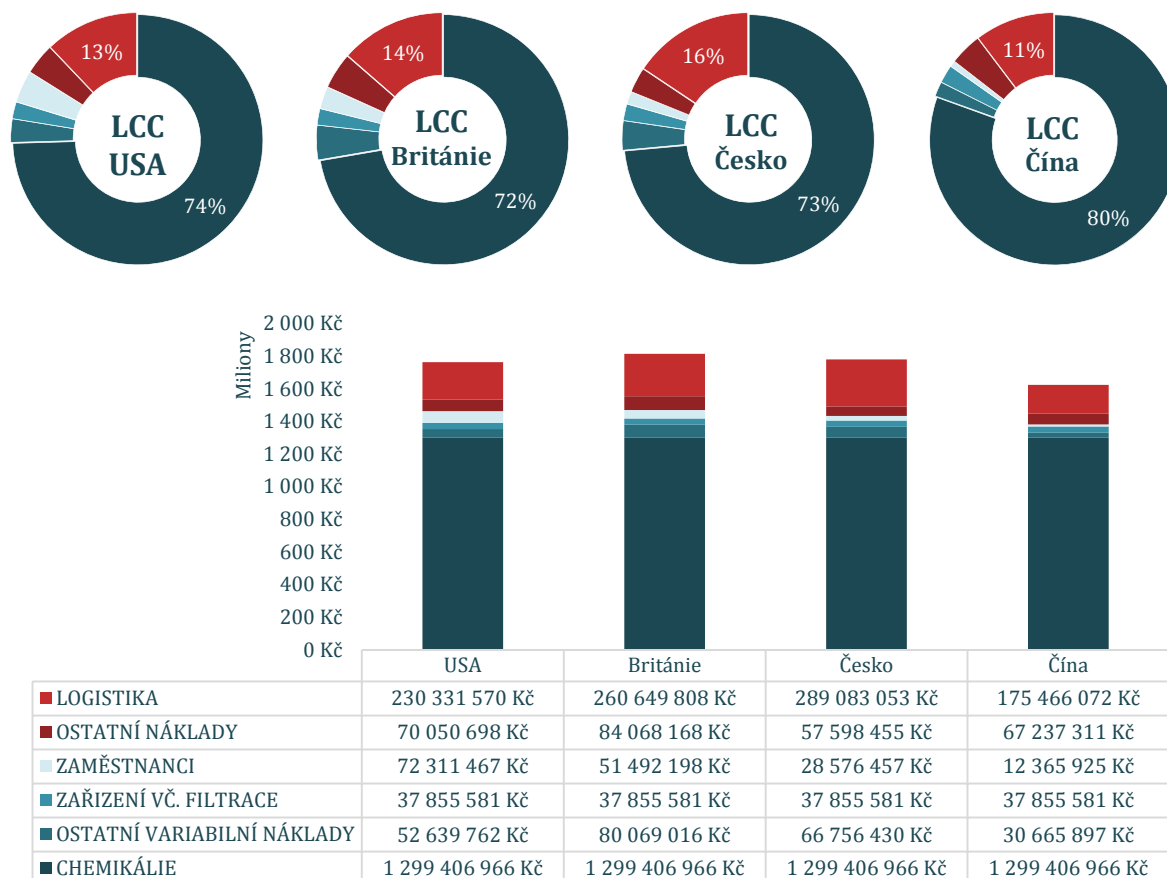
V rámci porovnání nákladů fází životního cyklu projektu lze potvrdit zjištění uvedené v podkapitole 4.1.2., že nejdůležitější fází z pohledu nákladovosti projektu je fáze užití (obr. 105). Dle Andyho Vogela (Vogel, 2015) tvoří provozní a likvidační náklady zhruba 85% celkových nákladů celého projektu. Výsledkem analýzy LLC ukazují průměrné rozdělení nákladů hodnocených scénářů mezi investiční fázi (vývojová a výrobní fáze) a po investiční fázi (fáze užití a likvidace) na 10 % ku 90 % (11 % ku 89 % v případě nezačlenění logistiky do výpočtu) [249].



Obr. 109: Struktura nákladů fází životního cyklu projektu a jejich procentuální významnost

Zdroj: Zpracováno dle [249]

V rámci po investiční fázi jsou nejvýznamnější položkou náklady na fázi užití, které tvoří téměř celých 90 % nákladů celého životního cyklu. Detail struktury těchto nákladů je vidět na následujícím obrázku 106. Z něho je patrné, že nejvýznamnějšími položkami jsou náklady na chemikálie vstupující do produktů a logistika. Dohromady tyto dvě položky tvoří cca 88 % (průměr hodnocených scénářů) výše celkových nákladů na fázi užití.



Obr. 110: Struktura nákladů výrobní fáze za životní cyklus projektu

Zdroj: Vlastní zpracování

6.2.3.2. Výnosy vygenerované během životního cyklu projektu

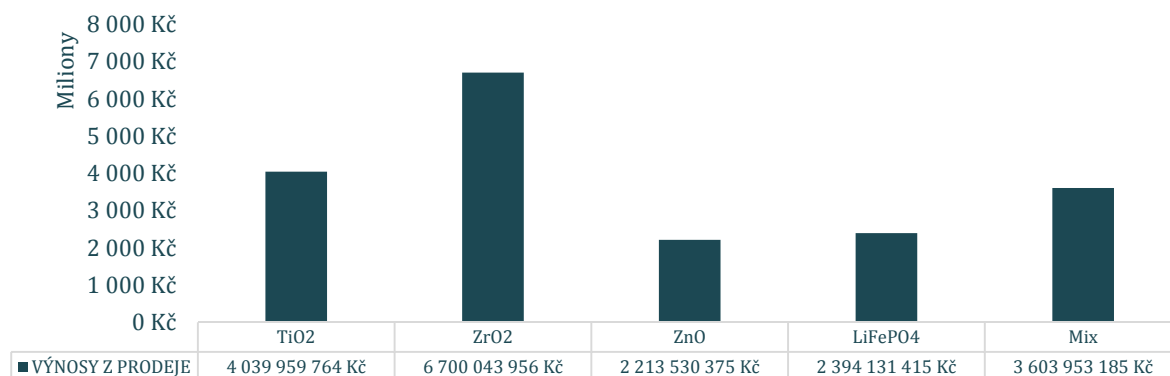
Pro hodnocení výnosů projektu byl vytvořen scénář, který má simulovat výrobní program hodnoceného projektu. Tento scénář (v grafu označený jako Mix) vznikl na základě poptávky po nanočásticích uvedených v úvodu podkapitoly 6.2.1. Z prognózy vzešel poměr objemu produkce pro hodnocené nanočástice (v tabulce 73 označen jako „Struktura produktů“). Tato struktura slouží k rozdělení kapacity výrobního zařízení. V řádku označeném „Požadavek produkce“ je uveden výsledný výrobní program, který bude hodnocen.

Tab. 73: Hodnoty objemů nanočástic vstupujících do modelu WLC (plánovaný výrobní programu)

| Položka | TiO ₂ | ZrO ₂ | ZnO | LiFePO ₄ |
|--------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|
| Světová produkce | 60 000 tun | 40 000 tun | 32 000 tun | 12 500 tun |
| Struktura produktů | 42% | 28% | 22% | 9% |
| Požadavek produkce | 90 826 kg | 60 551 kg | 48 441 kg | 18 922 kg |

$$V_P = PC_{N\check{C}} \cdot VM_{N\check{C}} \quad (52)$$

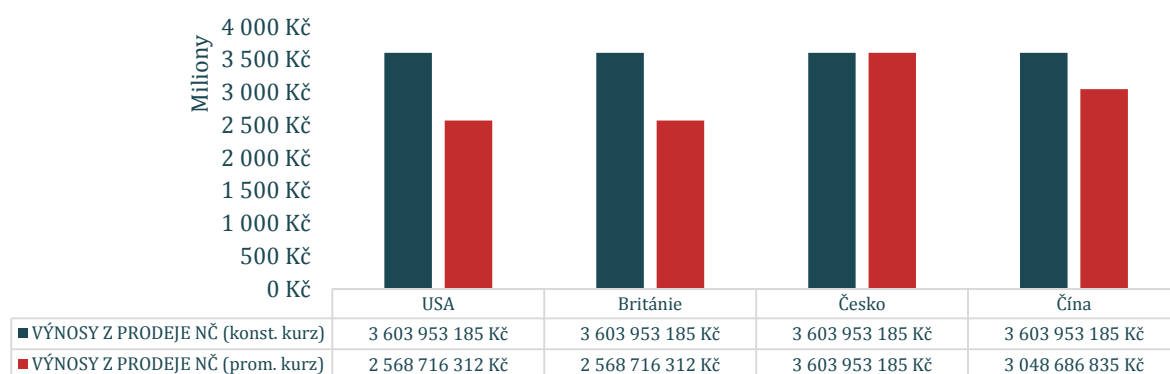
Kde: V_P Výnosy z prodeje nanočástic [Kč]
 $PC_{N\check{C}}$ Jednotková prodejní cena nanočástice [Kč/kg]
 $VM_{N\check{C}}$ Vyrobené/prodané množství nanočástice [kg]



Obr. 111: Porovnání výnosů z produkce vybrané nanočástice; graf zobrazuje teoretickou hodnotu výnosů při 100 % výrobě dané nanočástice; sloupeček mix ukazuje zvolený scénář (TiO₂ – 42 %; ZrO₂ – 28%; ZnO – 22%; LiFePO₄ – 9%)

Zdroj: Zpracováno dle [249]

Navrhovaný scénář (obr. 107 a 108) vývoje produkce nanočástic sice neslibuje maximální možné výnosy, ale popisuje diverzifikované portfolio produktů, které snižuje riziko ztrát projektu způsobených vlivem výpadků odběrů daných nanočástic [249]. Z tohoto důvodu bude v dalším textu uvažován pouze scénářem Mix. Pro úplnost je na následujícím grafu modelován vliv proměnného měnového kurzu. Změny kurzu použité k výpočtu vycházejí z analýzy historických dat, která jsou přeměněna na prognózu pomocí metody nejmenších čtverců, viz kapitola 4.1.2.



Obr. 112: Výnosy z prodeje nanočástic – scénář Mix; porovnána varianta prodeje za stálé ceny (konstantní směnný kurz) a prodej pod vlivem změn kurzu (proměnný směnný kurz); varianta Česko se nemění z důvodu, že koruna byla použita jako základní směnný kurz, ke kterému se přepočítávají kurzovní změny; pro vývoj kurzu byly použity prognózy vytvořené lineární metodou nejmenších čtverců, viz kapitola 4.1.2.

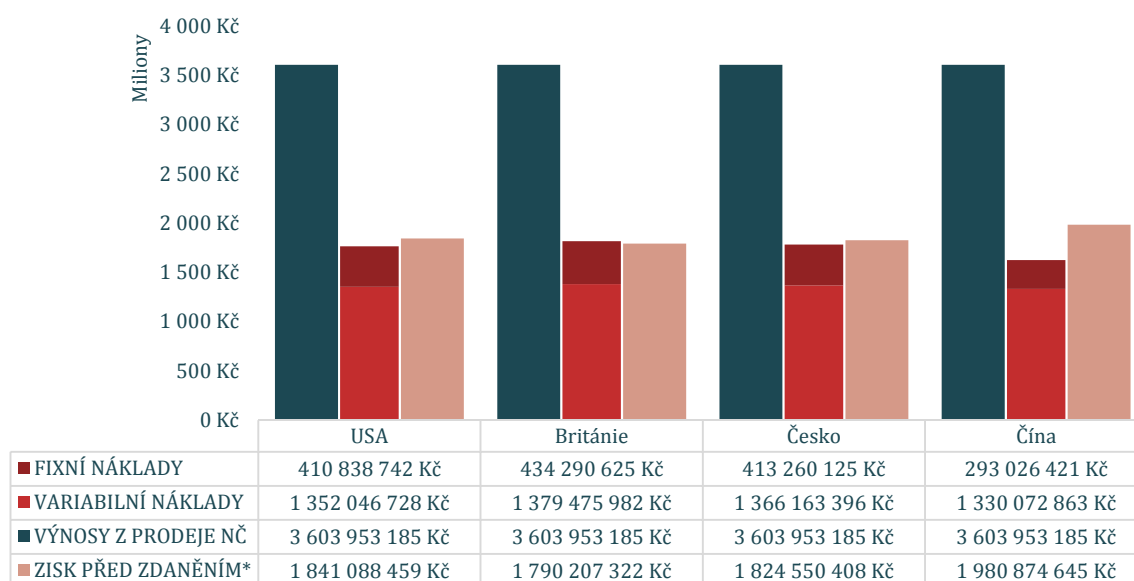
Zdroj: Vlastní zpracování

6.2.3.3. Vyhodnocení ziskovosti projektu během celého životního cyklu

Jsou-li známy výnosy a náklady projektu, lze vypočítat zisk projektu. Zisk vzniká jako rozdíl výnosů projektu a nákladů vzniklých během životního cyklu [239]. Do těchto nákladů se nepočítají daně, protože ty jsou vypočteny až na základě výsledné hodnoty zisku před zdaněním.

$$HZ_{CELK} = V_{CELK} - N_{CELK} \quad (53)$$

Kde: HZ_{CELK} Celkový hrubý zisk projektu = zisk před zdaněním [Kč]
 V_{CELK} Celkové výnosy projektu (součet výnosů z prodeje V_p a ostatních výnosů) [Kč/kg]
 N_{CELK} Vyrobené/prodané množství nanočástice [kg]

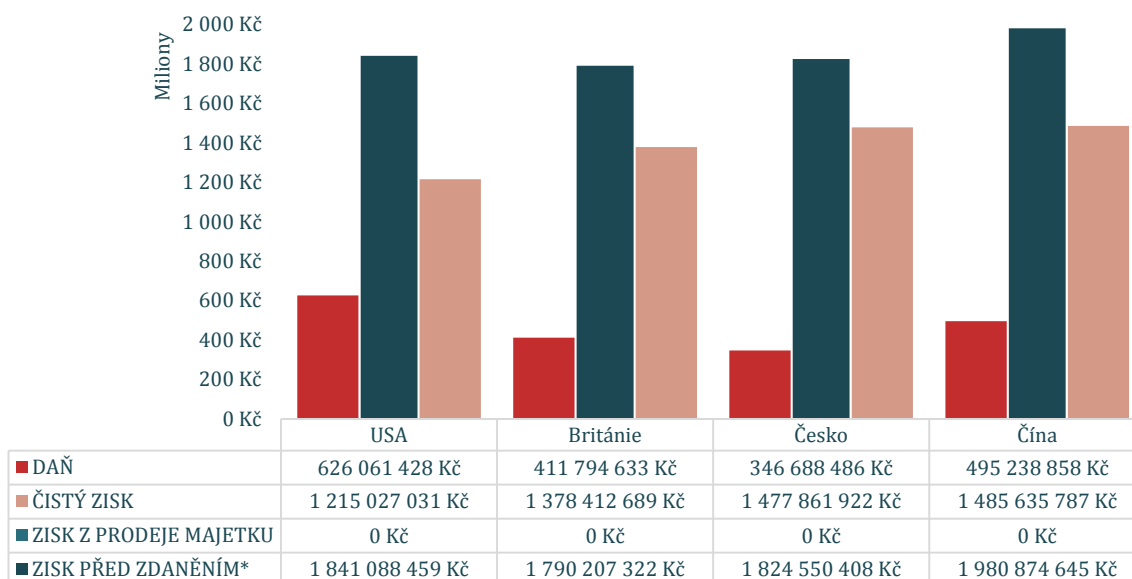


Obr. 113: Provozní výnosy fáze užití + výnosy z recyklace materiálu ve fázi likvidace, provozní náklady a náklady na likvidaci zařízení, zisk před zdaněním (* zisk provozní a likvidační fáze životního cyklu)

Zdroj: Vlastní zpracování

Nejvyššího zisku dosahuje varianta umístění výroby do Číny (obr. 109). To je způsobeno především nízkými náklady na logistiku a levnými provozními náklady. Druhého nejvyššího hrubého zisku dosáhla varianta Česká republika. Nejnižší hrubý zisk poskytuje volba výroby ve Velké Británii a to nejen kvůli vysokým fixním nákladům ale i kvůli vyšším nákladům na vodu, elektřinu a zemní plyn.

K výpočtu čistého zisku (obr. 110) byly využity hodnoty daňové zátěže popsané v kapitole čtyři. Jak je patrné z obrázku, nejnižší daňovou zátěž má Česká republika. Nejlepšího čistého zisku dosahuje varianta Čína, následována Českou republikou a Velkou Británií. Spojené státy se jeví jako nejméně příznivou variantou pro umístění výroby nanočástic. To by se však mohlo změnit, pokud by dodavatel dodával nanočástice pouze pro lokální americký trh. Tím by se snížily náklady na logistiku a mohlo by to znamenat změnu v pořadí států.



Obr. 114: Porovnání daňové zátěže jednotlivých států a hodnoty čistého zisku

Zdroj: Vlastní zpracování

6.2.3.4. Porovnání parametru čisté současné hodnoty

Výsledky vyhodnocení je ještě nutné očistit o efekty způsobené faktorem času. Za tímto účelem je kritérium čistého zisku převedeno na peněžní toky - Cash flow (CF) v jednotlivých letech projektu. CF projektu se vypočte jako součet čistého zisku a nepeněžních nákladů⁵⁵. Výsledné CF je převedeno na čistou současnou hodnotu pomocí odúročení. V projektu je použita úroková míra⁵⁶ 9 % a jsou hodnoceny dvě varianty čisté současné hodnoty (ČSH). Varianta jedna (v grafu 103 označená jako „PI“) zobrazuje pohled investora, který investoval do vývojové a výrobní fáze. Jedná se tedy o kompletní vyhodnocení projektu⁵⁷. Druhá varianta zobrazuje pohled výrobce, který nemusel investovat do vývojové a výrobní fáze. Druhá varianta popisuje situaci financování projektu z grantového zdroje. Tento průběh odpovídá hodnocení projektu SHYMAN a uveden jen pro zajímavost.

Dalším kritériem hodnocení projektu, které je analyzováno, je vnitřní výnosové procento (VVP) viz tabulka 74. Hodnoty VVP vysoce přesahují modelovou hodnotu úrokové míry použitou pro výpočet ČSH. Proto lze považovat ekonomickou smysluplnost výrobního procesu hydrotermální syntézy za potvrzenou i z pohledu nákladů celého životního cyklu.

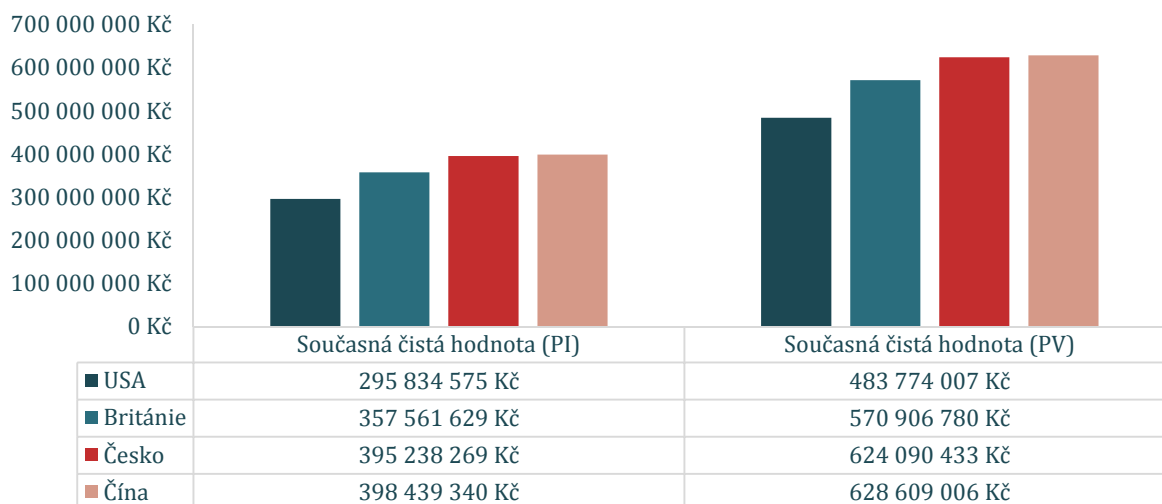
Tab. 74: Hodnoty vnitřního výnosového procenta projektu uvedeného pro obě hodnocené varianty

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|---------|-------|----------|-------|-------|
| VVP PI | 21,2% | 23,9% | 23,9% | 24,1% |
| VVP PV | 45,3% | 51,1% | 54,7% | 55,1% |

⁵⁵ V tomto případě jsou za nepeněžní náklady považovány odpisy projektu.

⁵⁶ Úroková míra byla stanovena jako součet 3 % inflace + 2 % alternativní výnos + 4 % rizika. V knize Finanční analýza investičních projektů je používána úroková míra až 10% (Máče, 2006).

⁵⁷ V modelu je počítáno, že u varianty jedna trvá vývojová a výrobní fáze 4 roky. Teprve v pátém roce dochází k produkci nanočástic. U varianty dva jsou nanočástice produkovány již první rok.

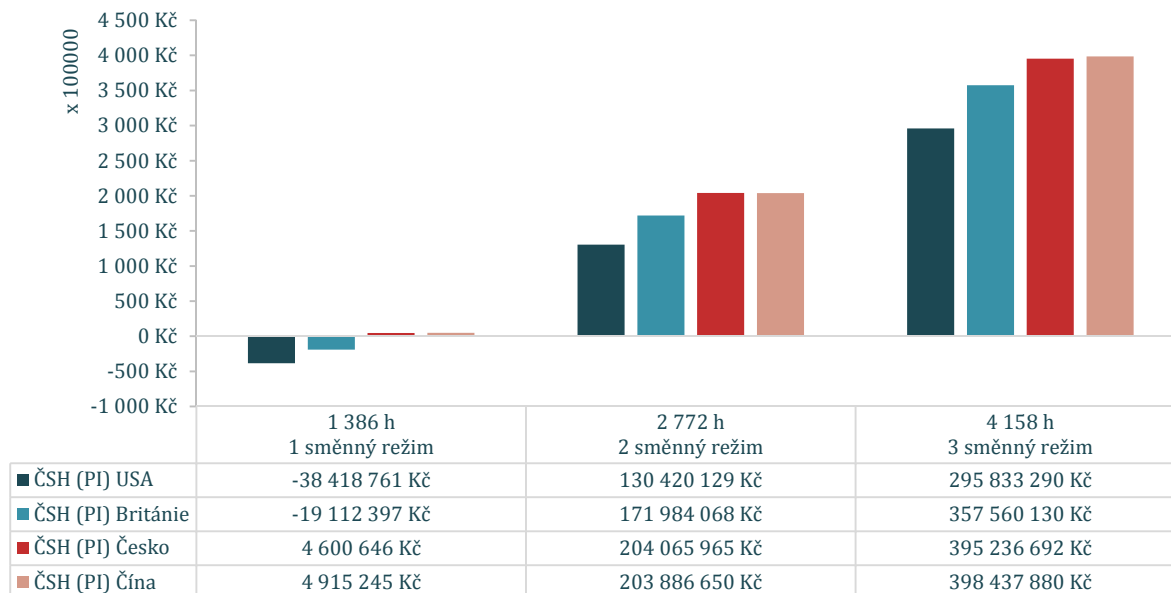


Obr. 115: Čistá současná hodnota projektu obou hodnocených variant stanovená pro vybrané scénáře při úrokové míře 9 %

Zdroj: Vlastní zpracování

Hodnocení rizika vyhodnocení ČSH projektu

Jedním z významných rizik projektu je nevyužití výrobních kapacit zařízení. Přes predikovaný pozitivní rozvoj trhu s nanočásticemi viz kapitola 3.2. je nutné ověřit výhodnost projektu při různém využití kapacity. Z obrázku 112 vyplývá, že projekt generuje kladnou čistou současnou hodnotu při úrokové míře 9 % již při jednosměnném režimu. Výjimku tvoří scénář umístění výroby do USA a Velké Británie. U těchto variant dochází k bodu zvratu v čisté současné hodnotě při výrobní kapacitě pro USA 1 716 h/rok a pro Velkou Británii 1 540 h/rok [249].




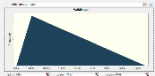
Obr. 116: Čistá současná hodnota z pohledu investora při různém využití výrobních kapacit zařízení

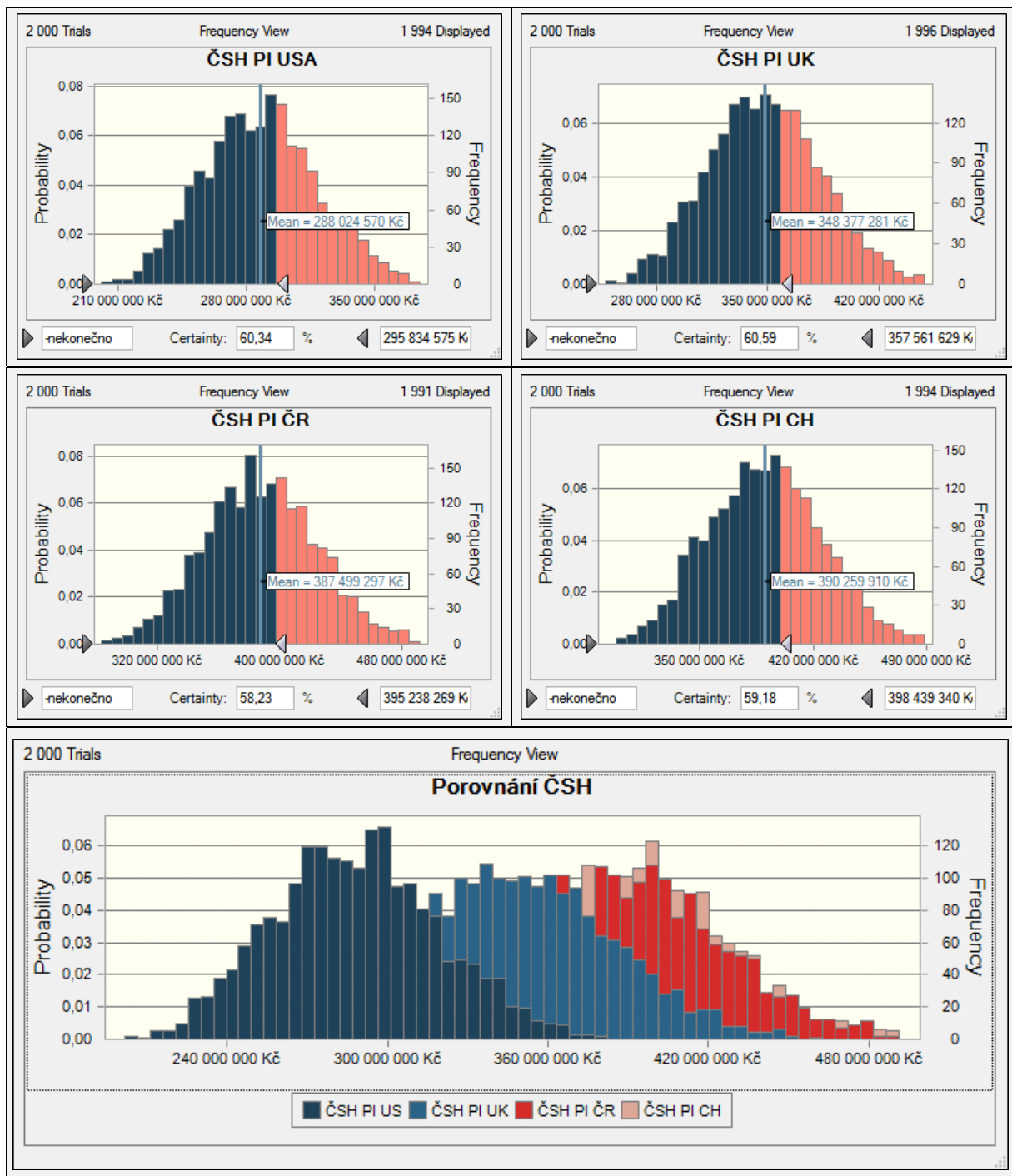
Zdroj: Zpracováno dle [249]

Na závěr hodnocení je představena analýza rizika pomocí metody Monte Carlo. Následující tabulka 75 představuje volbu parametrů pravděpodobnostních charakteristik rizikových faktorů. Nejpravděpodobnější hodnoty viz tabulky: 38; 39; 41; 42; 44 a 45. Pro zobrazení nejistoty byla zvolena následující rozdělení:

- Trojúhelníkové rozdělení pro položky viz tabulka 75, kdy k nejpravděpodobnějším hodnotám z tabulek 38, 39, 41, 42 byly doplněny meze $\pm 10\%$.
- Trojúhelníkové rozdělení pro položku chemikálie, kdy krajní meze jsou stanoveny dle tabulky 48.
- Trojúhelníkové rozdělení levostranné pro položky viz tabulka 75, kdy ke středním hodnotám z tabulek 44 a 45 byly doplněny: dolní mez 0% a horní mez $+10\%$.

Tab. 75: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory výroby nanočástic při zvolené kapacitě, NP – nejpravděpodobnější hodnota

| Položka | Rozdělení pravděpodobnosti | Průběh | Parametry |
|-------------------------|----------------------------|--|--|
| CENA ZEMNÍHO PLYNU | Trojúhelníkové |  | NP $\pm 10\%$ Pro chemikálie a prodejní cenu viz tabulka 48 |
| CENA ELEKTŘINY | | | |
| CENA VODY | | | |
| CENA ÚDRŽBY | | | |
| ODVODY ZAMĚSTNAVATELE | | | |
| MARKETING | | | |
| LABORATORNÍ TESTY | | | |
| SMĚNNÝ KURZ | | | |
| CESTOVNÍ NÁKLADY | | | |
| CHEMIKÁLIE | | | |
| PRODEJNÍ CENA | | | |
| ÚČETNÍ A AUDITNÍ SLUŽBY | Trojúhelníkové |  | NP – 0% ; $+10\%$ |
| KOMUNIKAČNÍ SLUŽBY | | | |
| MZDOVÉ NÁKLADY | | | |
| NÁJEMNÉ ZA HARDWARE | | | |
| FINANČNÍ NÁKLADY | | | |
| POJIŠTĚNÍ | | | |
| PŘÁVNÍ SLUŽBY | | | |
| PRONÁJEM HALY | | | |



Obr. 117: Výsledky simulace Monte Carlo pro výpočet ČSH, a) histogram hodnot pro ČSH scénáře USA, b) histogram hodnot pro ČSH scénáře Británie, c) histogram hodnot pro ČSH scénáře Česko, d) histogram hodnot pro ČSH scénáře Čína, e) porovnání výsledů

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 76: Srovnání výsledků ČSH simulace v závislosti na velikosti analyzovaných parametrů

| Položka | USA | Británie | Česko | Čína |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Dolní mez | 187 561 877 Kč | 247 381 565 Kč | 277 656 584 Kč | 282 288 278 Kč |
| Horní mez | 379 375 883 Kč | 460 780 412 Kč | 503 288 579 Kč | 491 265 501 Kč |
| Střední hodnota | 288 024 570 Kč | 348 377 281 Kč | 387 499 297 Kč | 390 259 910 Kč |
| WLC hodnota | 295 834 575 Kč | 357 561 629 Kč | 395 238 269 Kč | 398 439 340 Kč |
| Pravděpodobnost (zisk ≤ WLC) | 60,34% | 60,59% | 58,23% | 59,18% |
| ČSH (P = 99,5%)* | 217 371 719 Kč | 265 403 572 Kč | 294 769 868 Kč | 308 311 634 Kč |

* 99,5% hodnot je vyšší než uvedená hodnota; WLC hodnota je hodnota spočtená v kalkulaci WLC

Výsledky simulace (tab. 74 a obr. 113) naznačují, že ČSH dle vývoje rizikových faktorů neklesne pod hodnotu nula. Přibližně 40 % hodnocených scénářů bude mít ČSH vyšší, než vyšla během výpočtů.

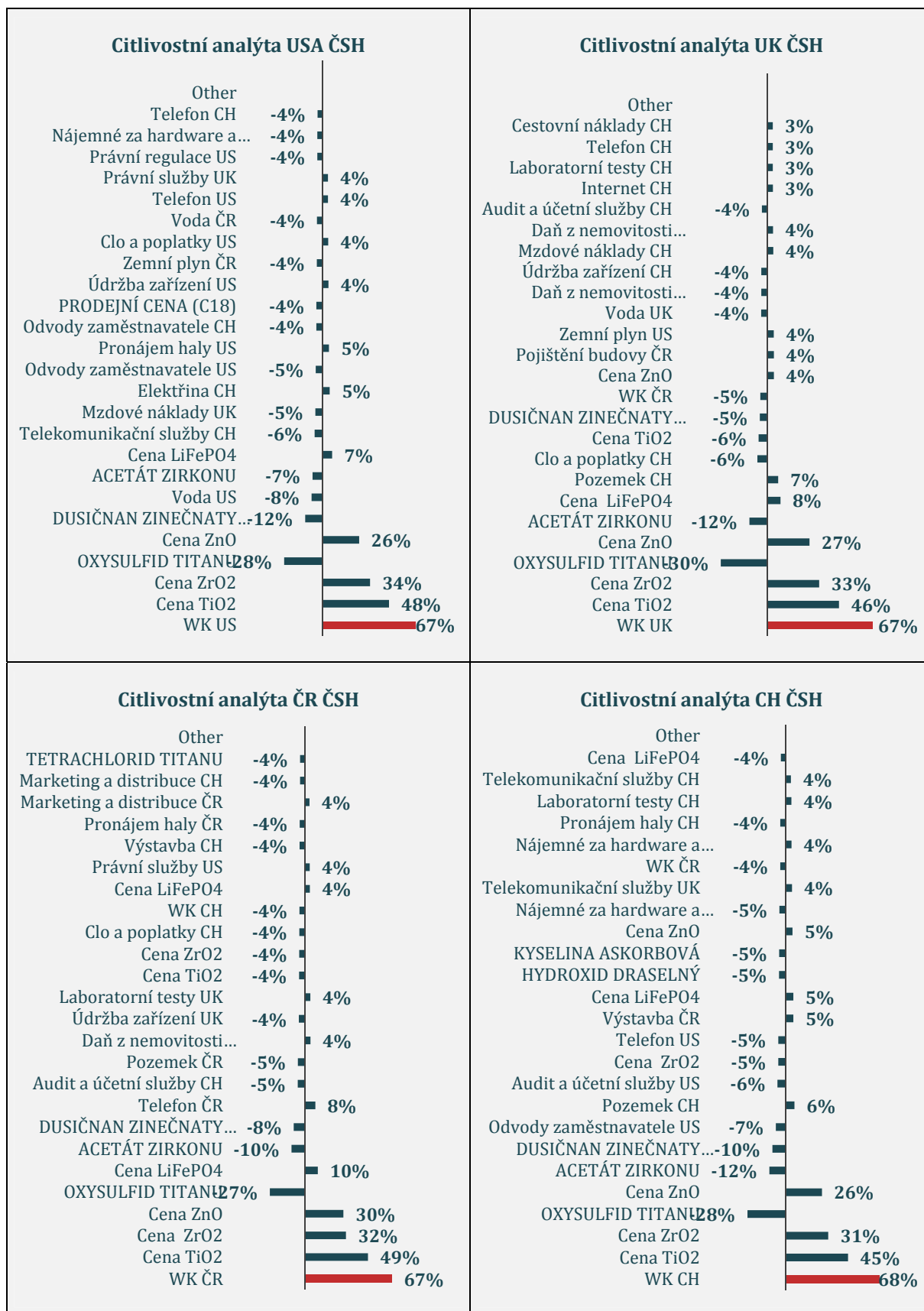
Citlivostní analýza ukázala, že nejvýznamnější faktory z pohledu rizika jsou změna směnného kurzu a prodejní ceny nanoproduktů viz obrázek 118. Tyto výsledky opět korespondují se zjištěními z kalkulace FCM.

6.3. Ekonomické vyhodnocení nákladů - shrnutí

Hlavní náplní páté kapitoly je ekonomické hodnocení procesu výroby nanočástic pomocí technologie hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem. Vyhodnocení zohledňuje jak samotné výrobní faktory, tak i vnější vlivy působící na podnik, jako jsou například daně, ceny nemovitostí a vliv logistiky produktu. Výpočty reflektují čtyři scénáře, které vyházejí z volby umístění výrobního podniku do čtyř destinací (USA, Čína, Velká Británie, Česká republika).

Komplexní vyhodnocení bylo provedeno na bázi kalkulace celkových nákladů životního cyklu, kdy výstupním kritériem byla čistá současná hodnota peněžních toků projektu. Výsledky výpočtů sledovaného kritéria potvrzují ekonomickou výhodnost všech modelovaných scénářů za definovaných vstupních premis. K minimalizaci rizika spojeného s nesprávným vyčíslením vstupů byla použita metoda Monte Carlo a citlivostní analýza odkrývající faktory s největším vlivem na výslednou ekonomiku projektu.

Celkově lze shrnout, že hodnocená technologie hydrotermální syntézy nanočástic je ekonomicky efektivní a z hodnocených scénářů se jeví jako nejvýnosnější umístění výroby do Číny.



Obr. 118: Výsledky citlivostní analýzy – zobrazeny příspěvky rizikových faktorů ovlivňující ČSH projektu k riziku projektu

Zdroj: Vlastní zpracování

7. Závěry

Aby bylo možné dosáhnout cílů disertační práce bylo třeba vyřešit následující úkoly:

Charakteristika vazby velikosti a tvaru nanočástice na výši prodejní ceny. Podkapitola 3.1.2.2. Vlastnosti nanočástic se opírá o rešerši především odborných článků a komplexně shrnuje specifické vlastnosti nanočástic a jejich příčiny. Text detailně popisuje změny vlastností nanočástic ovlivněné principy kvantové mechaniky a růstem povrchové plochy na jednotku hmotnosti. Za představitele, na kterém jsou ilustrovány výsledky rešerše popisující elektrické, optické, fyzikální, chemické a biologické vlastnosti, byly zvoleny nanočástice zlata. Tento text byl do disertační práce začleněn z důvodu vazby kvality nanočástice a výrobních parametrů zvolené technologie na odhadovanou prodejní cenu. Jelikož pro nové nanočástice neexistuje adekvátní substitut a často ani trh (trh teprve vzniká) je velice obtížné odhadnout prodejní cenu, která má zásadní vliv na ekonomičnost projektu.

Ověření absorpční schopnosti trhu s nanočásticemi přijmout produkci nové technologie výroby nanočástic. Dle analyzovaných zdrojů se očekává dynamický růst tržního segmentu zaměřujícího se na nanočástice. Rešerše prokázala, že vysoká očekávání růstu má jak veřejný, tak soukromý sektor. Veřejný sektor byl iniciátorem rozvoje dané oblasti a to především v prvních fázích vývoje, kdy byly zakládány státní nanotechnologické iniciativy investující do primárního výzkumu. V současné době přebírá otěže hybatele rozvoje dané oblasti spíše sektor soukromý. Rozvoj tržního segmentu je dokladován na bázi přímých a nepřímých charakteristik trhu, kdy všechny mají růstový charakter. V oblasti prognóz se rešerše opírala o výzkumné zprávy nezávislých prognostických organizací, které u vybraných nanočástic prognózují až 20 % meziroční růst, který bude spojen s potřebou rozšiřování výrobních kapacit. Dle některých scénářů bude nutné navýšit výrobní kapacity mezi lety 2014 až 2020 o více jak 91%. Z výše uvedeného a z velikosti tržních segmentů lze usuzovat vysokou absorpční schopnost trhu s nanočásticemi přijmout velkokapacitní zařízení, což je základní předpoklad ekonomické efektivity procesu. Ekonomicky ověřovaná varianta (kapitola 6) navíc popisuje technologii schopnou produkovat více druhů nanočástic, což ještě snižuje riziko uplatnění takovéto technologie.

Popis aktuální situace v oblasti ekonomického hodnocení nákladů životního cyklu. Současná situace v oblasti ekonomického hodnocení životního cyklu je v obecné rovině velice dobře popsána. Existuje dostatečné množství literatury a dokonce jsou vydané i normy zaměřené na postup hodnocení životního cyklu. Pokud se však analýza zaměřuje na konkrétní výrobní proces, vznikají specifické otázky, na které již nejsou dostupné odpovědi. Při hodnocení životního cyklu výroby nanomateriálů bylo nezbytné odpovědět na řadu dílčích otázek a bylo nutné navrhnout nástroje pro jejich zodpovězení. Především v kapitole 5 jsou popsány a navrženy postupy pro řešení takovýchto specifických potřeb. Ekonomická analýza popsaná v kapitole 6 může sloužit jako praktický návod pro hodnocení obdobných procesů včetně kalkulace rozšířeného životního cyklu.

Kvantifikace hlavních nákladových skupin a návrh procesu LCC při výrobě nanočástic. Byl sestaven komplexní seznam nejpravděpodobnějších nákladových položek pro každou fázi životního cyklu viz příloha 3. Z dostupných dat byly porovnány čtyři procesy výroby nanočástic (PRECHEZA ČR – sulfátový proces

výroby nano TiO₂, CINKARNA CELJE SLO – sulfátový proces výroby nano TiO₂, SOL-GEL proces výroby nano TiO₂ a SHYMAN ČR - hydrotermální proces výroby nano TiO₂). První dva procesy jsou běžící velkokapacitní výrobní procesy založené na bázi sulfátového procesu (viz kapitola 3 s roční produkcí nano TiO₂ v řádu 50 – 70 tisíc tun). Třetí porovnávaný proces je laboratorní pilotní proces založený na SOL-GEL principu s produkcí 40 t/rok a čtvrtým je hydrotermální syntéza na bázi projektu SHYMAN s roční produkcí 250 tun. Přes značnou rozdílnost porovnávaných výrobních procesů (velkokapacitní zařízení, středně/malokapacitní zařízení) lze za hlavní nákladové položky označit variabilní náklady na vstupy a energie. Personální náklady jsou závislé na zaměření procesu. Byl porovnán parametr potřeby počtu zaměstnanců na produkci 10 000 tun a nejhůře ze sledovaných procesů dopadl SOL-GEL, s potřebou 1 000 lidí na definovanou produkci. U ostatních se počet pohyboval od 110-161 zaměstnanců. Náklady na technologie a služby není možné na základě dostupných dat dostatečně dobře porovnat. Detailní nákladová analýza životního cyklu byla provedena v kapitole 6 pro technologii hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby.

7.1. Zhodnocení vytyčených cílů

Návrh komplexního nákladového modelu pro velkoobjemové technologie výroby nanočástic založeného na syntéze procesního přístupu kalkulace na bázi full-cost modelu a komplexní kalkulace nákladů na životní cyklus LCC.

Návrh nákladového full-cost modelu FCM: Pro hodnocení nákladů na fázi užití velkoobjemových technologií výroby nanočástic byl navrhnout a vytvořen kalkulační nástroj schopný sloužit jako podpora manažerskému rozhodování. Tento vícestupňový model funguje na principu vstupních databází, ze kterých model sestavuje datové a grafické reporty. Nástroj lze využít k plánování výrobních kapacit, optimalizaci využití výrobních prostředků a prověření výrobní strategie (what if analýza). Výstupy z tohoto nástroje jsou využity jako podklad pro další úroveň kalkulace. Tento nástroj komplexně hodnotí nákladové položky procesu výroby nanočástic a jako takový může sloužit jako opora pro ekonomické hodnocení obdobných projektů.

Vytvoření modelu životního cyklu WLC: V návaznosti na full-cost model popisující fázi užití životního cyklu byl vytvořen nákladový model životního cyklu. Ten rozšiřuje hodnocení o fázi vývoje, výroby a likvidace. Náklady na jednotlivé fáze jsou alokovány pomocí analytických metod odhadu nákladů a navržených postupů popsanych v kapitole 5. Do modelu je zaimplementován modul volby zajištění výrobních prostor a modul volby strategie údržby. Volba scénáře zajištění výrobních prostor porovnává variantu pořízení pozemku a vybudování haly a variantu pronájmu haly. Modul pro volbu strategie údržby umožňuje volit z variant údržba po poruše, preventivní periodické údržby a preventivní diagnostické údržby. Model poskytuje podporu pro rozhodnutí o volbě strategie údržby dle kritéria minimálních jednotkových nákladů na údržbu, které jsou stanoveny na základě bodového odhadu Weibullova rozdělení. Model poskytuje metodickou bázi a tvoří základní strukturu přístupu ke komplexnímu hodnocení nákladů životního cyklu výrobního zařízení. Oba modely jsou nahrány na CD přiloženém k disertační práci.

Návrh postupu pro stanovení odhadu transportních nákladů dle volby přepravního konceptu MPTN komplexně hodnotící ovlivňující parametry. V kapitole pět je popsán návrh nástroje, který nabízí postup

a usnadnění odhadu transportních nákladů vstupujících do kalkulace LCC potažmo WLCC nazvaný MPTN. Pomocí tohoto nástroje je možné kvantifikovat jeden z významných vnějších vlivů (přibližně 13% celkových nákladů na fázi užití) působících na ekonomické výsledky výrobního zařízení. Nástroj je nahrán na CD přiloženém k disertační práci.

Návrh postupu stanovení gravitačního efektu trhu na náklady životního cyklu zařízení vyrábějícího nanočástice a kvantifikace jeho vlivu. Model nákladů životního cyklu byl rozšířen o nevýrobní externí vlivy a výnosy projektu. V rámci hodnocení nevýrobních externích vlivů byly porovnány čtyři scénáře umístění výrobního zařízení. Analyzováno je umístění výrobního zařízení do USA, Velké Británie, České republiky a Číny. Na základě těchto scénářů byla ověřena významnost gravitačního efektu. Strategické manažerské rozhodnutí o volbě scénáře umístění výrobního podniku může ovlivnit výsledné transportní náklady vyvolané gravitačním efektem až o 40%. Pokud by bylo hodnocení rozšířeno o související vnější faktory, jako jsou daně, clo, výše mzdových nákladů, náklady na energie a prostory a směnné kurzy, může to ovlivnit výši celkových nákladů na životní cyklus až o 11%.

Návrh postupu pro řízení rizika změny vstupů kalkulace nákladů životního cyklu. Navrženým nástrojem je metoda stanovení krajních mezí rozdělení pravděpodobnosti rizikového faktoru KMRP popsána v kapitole 5, která slouží k odhadu rozdělení náhodné veličiny vstupující do metody Monte Carlo. Tato metoda a na CD přiložený nástroj pomáhá odhadnout krajní meze rozdělení pravděpodobnosti pseudonáhodné veličiny a usnadňuje tak odhad vývoje rizikového faktoru vstupních hodnot kalkulace LCC.

Vytčené cíle se podařilo splnit.

7.2. Zhodnocení hypotéz

Hypotéza 1: Hydrotermální syntéza s kontinuálním procesem výroby nanočástic (HSKPV) generuje zisk před dosažením maximální výrobní kapacity zařízení při prodeji nanočástic za současné prodejní ceny (HSKPV je konkurenceschopná vůči alternativním výrobním technologiím).

Platnost hypotézy je potvrzena pomocí výsledků sestavené nákladové analýzy. Analýza byla provedena s pomocí empirických dat získaných z projektu SHYMAN, vstupů získaných konzultacemi s experty na danou problematiku a rešerší informačních zdrojů. Výsledky potvrzují předpoklad ziskovosti výrobního procesu generovaného při maximální výrobní kapacitě a při prodeji za současné prodejní ceny. K rozšíření platnosti hypotézy bylo ověřeno kritérium bodu zvratu ziskovosti výrobního procesu, které udává, že proces začíná být při současných tržních cenách ziskový při cca 20 % využití výrobní kapacity.

K prověření závislosti zisk na prodejní ceně nanočástic, bylo ověřeno kritérium break even price, kdy v průměru může prodejní cena při maximálním využití výrobní kapacity poklesnout o 40 % a zisk na kilogram nanočástic bude stále kladný. Rizika platnosti hypotézy byla ověřena pomocí metody Monte Carlo, kdy při prověřených dvou tisících scénářích nedošlo ke změně zisku ve ztrátu.

Hypotéza 2: Náklady rozšířeného životního cyklu výroby nanočástic na bázi hydrotermální syntézy s kontinuálním procesem výroby (HSKPV) mají vyšší čistou současnou hodnotu než nula a jsou proto pro investora přijatelné.

Výsledky výpočtů provedených na bázi stálých cen v modelu nákladů celého životního cyklu potvrdily platnost hypotézy pro všechny prověřované scénáře. Pořadí scénářů s nejvyšší čistou současnou hodnotou dopadlo dle všeobecných očekávání. Nejvyšší čistou současnou hodnotu má scénář umístění výrobního zařízení v Číně při volbě pronájmu výrobní haly. Pro umístění výroby v Číně hovoří především nízké provozní náklady a nízké náklady na logistiku kompenzující vyšší daňovou zátěž. Na opačném konci pořadí se umístily Spojené státy americké s vysokými provozními náklady a vysokou daňovou zátěží způsobenou progresivním zdaněním. Obě varianty se ve výsledném porovnání liší o více jak sto milionů korun. Přesto se investorům vyplatí realizovat všechny scénáře.

7.3. Přínosy dizertační práce

Za hlavní přínos dizertační práce považuji zahrnutí vlivu strategického rozhodnutí o umístění výrobního podniku do kalkulace nákladů celého životního cyklu. Tento rozměr kalkulace se standardně do hodnocení nezahrnuje, ale jak výsledky ukázaly, může mít významný vliv na celkový ekonomický výsledek projektu. Z tohoto důvodu popsaný postup může sloužit jako podklad pro obdobná hodnocení výrobních procesů z pohledu celého životního cyklu. Navržená a použitá metodika výpočtu nákladových položek lze použít i pro obdobné projekty⁵⁸.

Vytvořený full-cost model též považuji za přínos dizertační práce, jelikož se jedná o funkční manažerský nástroj využitelný pro hodnocení procesu výroby nanočástic. Nástroj byl navrhnut s ohledem na maximální uživatelskou přívětivost, univerzálnost a maximální možnou praktičnost. Své uplatnění našel i v projektu SHYMAN, kde byl jedním z odevzdaných výstupů.

V rámci řešení problematiky kalkulace životního cyklu a následného hodnocení rizika spojeného se změnami vstupů do kalkulací byly navrženy dva metodické postupy, které reagují na praktické problémy vznikající při řešení obdobných projektů. Prvním navrženým metodickým postupem je metodika predikce transportních nákladů kamionové dopravy. Navržený postup odhadu nákladů zohledňuje vlivy transportních konceptů na celkové náklady na přepravu. Druhý postup se zaměřuje na řízení rizika pro odhad vstupních nákladů kalkulace životního cyklu. Jedná se o postup zohledňující kvalitativní změny hodnotících kritérií, pomocí kterého lze odhadnout meze rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny rizikového faktoru pro metodu Monte Carlo.

Velká část práce je založena na rešerši velkého množství informačních zdrojů, kdy jejich obsah je kompilován do souhrnného textu. Myslím si, že i samotný text představený v kapitolách 3 a 4 je přínosný a může sloužit jako zajímavý přehled dané problematiky.

⁵⁸ Investiční projekty spojené s vytvořením výrobních kapacit dodávající produkty na globální trh, u kterých logistika produktu a údržba výrobních zařízení tvoří významnou nákladovou položku v rámci životního cyklu.

7.4. Návrhy pro další výzkum

Potenciál dalšího rozvoje daného tématu spatřuji především v rozšíření hranic zkoumaného problému. V úvodu práce byla oblast zkoumaného systému omezena na hranicích technologie výroby nanočástic. Pro komplexní zhodnocení životního cyklu nanomateriálů by bylo vhodné nasměrovat výzkum za tyto hranice a věnovat se hodnocení nákladům na životní cyklus materiálů obohacených o nanočásticová aditiva a následně sledování životního cyklu samotných nanoproductů.

Další příležitost rozvoje daného tématu vidím ve zpracování obdobných analýz pro alternativní metody výroby, které by umožnily opravdu komplexní komparaci ekonomických výsledků.

Použité symboly a zkratky

| | |
|----------------|--|
| a | Vzdálenost nejbližších sousedních atomů ve struktuře |
| A | Zdanitelný příjem navýšený o čistý investiční příjem [E] |
| ABC | Activity base costing |
| AHP | Altair hydrochloridový proces |
| BA | Breakdown Approach |
| BDE | Bez doby expirace |
| BEP | Break even point/price |
| BPNN | Propagation Neural-Network |
| CBM | Case-Based Methodology |
| CBS | Cost Breakdown Structure |
| CER | Cost Estimating Relationships |
| CF | Cash flow – peněžní toky projektu (zisk + nepeněžní náklady (odpisy)) [Kč] |
| CNT | Kontejner |
| C_{TKM} | Cena tunokilometru [Kč/tkm] |
| C_z | Cena zařízení [€] |
| $\check{C}N_t$ | Čisté náklady v roce t [Kč] |
| ČSH | Čistá současná hodnota [Kč] |
| DAŇ | Odvod za zaměstnance [€] |
| DDE | Dlouhá doba expirace |
| DO | Doba odepisování [r] |
| DOD | Dodavatel |
| DO_z | Doba odepisování zařízení [r] |
| DPT | Diskontování peněžních toků |
| DSS | Decision Support Systems |
| DV_z | Doba výpadku zařízení [h] |

| | |
|---------------------|---|
| f | Koeficient zaplnění prostoru atomy |
| F | Základní poměr = 3/400 [-] |
| F(Sd) | Pravděpodobnost poruchy pro zvolenou hodnotu diagnostického signálu Sd [-] |
| F(t _{pu}) | Pravděpodobnost poruchy v intervalu periodické údržby t _(pu) [-] |
| FBCE | Feature-Based Cost Estimation |
| FCM | Full-cost model |
| FS | Syntéza plamenem |
| FSP | Pyrolýza plamenem |
| GDS | Globální distribuční síť |
| h | Planckova konstanta |
| HK | Hodnota kritéria [- / body] |
| HNS | Hodinová nákladová sazba [Kč/h] |
| HP _{NČ} | Hodinová produkce nanočástic [kg/h] |
| HP _{NČi} | Hodinová produkce nanočástic [kg/h] |
| HR | Human resources |
| HTS | Hydrotermální syntéza |
| HZ _{CELK} | Celkový hrubý zisk projektu = zisk před zdaněním [Kč] |
| CHP | Chloridový proces |
| i | Imaginární jednotka (rozšiřuje obor reálných čísel na komplexní) |
| i | Druh nanočástice [-] |
| INV | Investice vložené do projektu [Kč] |
| IRR | Internal rate of return |
| ISC | Index spotřebitelských cen |
| J _{CCH} | Jednotková cena za kilogram chemikálie [€/kg] |
| J _{NČi} | Jednotková cena nanoočástice [Kč/h] |
| J _{CVN} | Jednotková cena za kWh/kg elektřiny/zemního plynu/vody [€/kg] |
| Kap | Kapacita entity [h] |
| KAP _Z | Kapacita zařízení [h] |
| KAP _{ZŘ} | Výrobní kapacita zařízení [h] |
| k _B | Boltzmannova konstanta |
| KDE | Krátká doba expirace |
| k _S | Koeficient nákladnosti km v rámci hodnocených zemích [-] |
| k _{VP} | Koeficienty vracení palet [-] |
| LC | Fife cycle |
| LCA | Life cycle assessment |

| | |
|--------------------|--|
| LCC | Life cycle costing |
| LCE | Life cycle engineering |
| LCI | Life cycle inventory |
| LCIA | Life cycle impact assessment |
| LKW | Nákladní vůz |
| M | Molární atomová hmotnosti |
| M | Měřítka |
| MD | Malé díly |
| MD _{ÚSK1} | Mezní daňová úleva skupiny 1 [£] |
| M _{ki} | Míra vlivu hodnotícího kritéria [%] |
| MM | Mechanické mletí |
| MOTTF | Střední doba provozu do poruchy (Mean Operating Time to Failure) [h] |
| MZDA | Mzda zaměstnance [€] |
| N | Zdanitelný příjem [Kč] |
| n | Životnost projektu [roky] |
| n | Počet druhů vyráběných nanočástic [-] |
| n | Počet let diskontování |
| N _{AKON} | Náklady na analýzu koncepce [Kč] |
| N _{CELK} | Celkové náklady na životní cyklus [Kč] |
| N _{CELK} | Vyrobené/prodané množství nanočástice [kg] |
| NČ | Nanočástice |
| N _{DK} | Náklady na dokumentaci [Kč] |
| N _{EINS} | Náklady na etapu instalace [Kč] |
| N _{EKON} | Náklady na etapu koncepce [Kč] |
| N _{ENVH} | Náklady na etapu návrhu a vývoje [Kč] |
| N _{EV} | Náklady na etapu výroby [Kč] |
| N _F | Fixní náklady na kg produktu [€/kg] |
| N _{FL} | Náklady fáze likvidace [Kč] |
| N _{FU} | Náklady fáze užití [Kč] |
| N _{CH} | Náklady na chemikálie na 1 kg nanočástic [€/kg] |
| N _{IN} | Náklady na inženýrský návrh [Kč] |
| N _{INST} | Náklady na montáž a instalaci [Kč] |
| N _{JNV} | Jednorázové náklady etapy výroby [Kč] |
| N _{LOG} | Náklady na logistiku [Kč] |
| N _{LZ} | Náklady na lidské zdroje vztahované na 1 kg nanočástic [€/kg] |

| | |
|--------------------|---|
| N _{MPrek} | Náklady na management projektu etapy koncepce [Kč] |
| N _{MPren} | Náklady na management projektu etapy návrhu [Kč] |
| NNI | National Nanotechnology Initiative |
| N _{OB} SL | Náklady na obsluhu [Kč] |
| N _{OF} | Ostatní fixní náklady vztažené na 1 kg nanočástic [€/kg] |
| N _{ONV} | Opakované náklady etapy výroby [Kč] |
| N _{OS} | Náklady na odstavení systému [Kč] |
| N _{OSTen} | Ostatní náklady etapy návrhu [Kč] |
| N _{OSTfp} | Ostatní provozní náklady [Kč] |
| N _{OSTfu} | Ostatní náklady fáze užití [Kč] |
| N _{OSTin} | Ostatní náklady na instalaci [Kč] |
| NP | Nejpravděpodobnější hodnota |
| N _{PMAT} | Náklady na provozní materiál [Kč] |
| N _{POŘ} | Náklady na pořízení [Kč] |
| N _{PROV} | Náklady na provoz [Kč] |
| N _{PTR} | Náklady na průzkum trhu [Kč] |
| N _{pu} | Náklady na preventivní údržbu [Kč] |
| NPV | Net present value |
| N _R | Režijní náklady [Kč] |
| N _{RF} | Roční fixní náklady [€] |
| N _{RLS} | Náklady na recyklaci a likvidaci [Kč] |
| N _{ROS} | Náklady na rozebrání a odklizení systému [Kč] |
| N _{SPECP} | Náklady na specifické požadavky [Kč] |
| N _t | Diskontovaný náklady [Kč] |
| N _{TLC} | Náklady na lokální transporty k zákazníkům [Kč] |
| N _{TLD} | Náklady na transport kontejneru lodí (cena kontejneru) [Kč] |
| N _{TP} | Náklady na transport kontejneru do přístavu [Kč] |
| N _{TRAN} | Náklady na transport [Kč] |
| N _{TZ} | Náklady na transport kontejneru k zákazníkům [Kč] |
| N _{UDRŽ} | Náklady na údržbu (po poruše/preventivní) [Kč] |
| N _{up} | Náklady na údržbu po poruše [Kč] |
| N _V | Variabilní náklady na kg produktu [€/kg] |
| N _{VF} | Náklady vývojové fáze [Kč] |
| N _{VRF} | Náklady výrobní fáze [Kč] |
| N _{VS} | Náklady na vývoj software [Kč] |

| | |
|----------------------------------|---|
| N _{VYB} | Náklady na vybavení [Kč] |
| N _{VZ} | Náklady na vybudování [Kč] |
| N _Z | Náklady na výrobní zařízení vztažené na 1 kg nanočástic [€/kg] |
| N _{ZK} | Náklady na zkoušky [Kč] |
| OBA | Operation-Based Approach |
| OB _{JP} | Objem, který je třeba přepravit [kg] |
| OD | Omezená dostupnost |
| OECD | Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj |
| P _{BEP_{Price}} | Prodejní cena produktu při dosažení bodu zvratu [€/kg] |
| PC | Prodejní cena produktu [€/kg] |
| PC _{NC} | Jednotková prodejní cena nanočástice [Kč/kg] |
| PD | Počet pracovních dní za rok [dny] |
| P _{Di} | Cena produktu (díl A; B; C) [Kč] |
| PH | Počet pracovních hodin za směnu [h] |
| P _{ii} | Pravděpodobnost stavu vyvolávajícího změnu rizikový faktor [%] |
| p _{km} | Cena za kilometr |
| POČ _{JZD} | Počet jízd = počet kontejnerů [-] |
| POČ _{JZD} | Počet jízd[1] = počet kontejnerů [-] |
| POČ _{KM} | Počet ujetých kilometrů [km] |
| POČ _T | Počet přepravených tun/jízdu [t] |
| POJ | Pojištění [€] |
| PS | Počet směn za den (pozn. v modelu je uvažován max. 15 směnný režim) [směna] |
| PS | Potenciál slevy |
| Q | Množství produktu [kg] |
| Q _{BEP_{Piont}} | Množství vyrobeného produktu při dosažení bodu zvratu [kg] |
| r | Polohový vektor |
| r | Diskontní sazba [%] |
| RDS | Rozsáhlá distribuční síť |
| RICS | Royal Institution of Chartered Surveyors |
| SAT | Státní daňový úřad |
| S _d | Stav předcházení poruchám – hodnota diagnostického signálu [-] |
| SD | Střední díly |
| SDE | Střední doba expirace |
| SP | Sulfátový proces |
| SP _{AS} | Ujetá vzdálenost [km] |

| | |
|------------------------------------|--|
| SP _{CH} | Hodinová spotřeba chemikálie [kg/h] |
| SP _{VN} | Hodinová spotřeba elektřiny/zemního plynu/vody [kWh; kg/h] |
| SRDS | Střední rozsah distribuční sítě |
| t | Čas |
| T | Teplota |
| t | Rok hodnocení projektu [-] |
| T | Tvar |
| TBCM | Tolerance-Based Cost Models |
| t _c | Doba cesty [h] |
| t _{CELK} | Celková doba transportu [h] |
| t _N | Doba nakládky návěsu [h] |
| TN _{IN} | Transportní náklady se zohledněním inflace |
| TN _{LZ} | Transportní náklady lokální zakázky [Kč] |
| TN _{LZ/MZ} | Transportní náklady lokální/mezinárodní zakázky |
| TN _{MZ} | Transportní náklady mezinárodní zakázky |
| t _{pu} | Doba preventivní údržby [-] |
| t _v | Doba vykládky návěsu [h] |
| u | střední kvadratická výchylka vibrujících atomů |
| U | Horní hranice (1,5 miliónu liber) [£] |
| ud | Jednotkové náklady na diagnostiku [Kč] |
| udu(Sd) | Jednotkové náklady na preventivní diagnostickou údržbu [Kč] |
| u _{up} (MOTTF) | Jednotkové náklady na údržbu po poruše [Kč] |
| u _{up} (t _{pu}) | Jednotkové náklady na preventivní periodickou údržbu [Kč] |
| v _{AVR} | Průměrná rychlost [km/h] |
| V _{CELK} | Celkové výnosy projetu (součet výnosů z prodeje V _p a ostatních výnosů) [Kč/kg] |
| VD | Výrobní dělník |
| VD | Velké díly |
| VLHK | Vliv hodnotícího kritéria na definované premisy [- / body] |
| VLK | Vlak |
| VM _{NČ} | Vyrobené/prodané množství nanočástice [kg] |
| VN | Variabilní náklady na 1 kg nanočástic [€/kg] |
| V _P | Výnosy z prodeje nanočástic [Kč] |
| VPD | Procento čistého pracovního času – využití pracovní doby [%] |
| VVP | Vnitřní výnosové procento |
| VVP | Vnitřní míra výnosnosti [Kč] |

| | |
|-------------------|--|
| VÝR | Výrobce |
| VZV | Vysokozdvihový vozík |
| WK | Směnný kurz |
| WLC | Whole life cycle |
| X_{kid} | Váha hodnotícího kritéria [- / body] |
| ZT_{CNT} | Maximální možné zatížení kontejneru [kg] |
| Z_{up} | Jednotkové náklady na preventivní diagnostickou údržbu [Kč] |
| Z_{up} | Vyvolané ztráty [Kč] |
| α | Parametr tvaru Weibullova rozdělení [-] |
| β | Parametr měřítka Weibullova rozdělení [-] |
| Γ | Funkce GAMMA [-] |
| θ_D | Debyeova charakteristická teplota |
| σ | Elektrická vodivost |
| \vec{I} | Elektrický proud |
| \vec{E} | Intenzita elektrického pole |
| \hat{H} | Časově závislý Hamiltonův operátor (operátor celkové energie) |
| Ψ | Vlnová funkce |
| \hbar | Redukovaná Planckova konstanta |
| $\bar{E}(t_{pu})$ | Střední doba provozu do provedení preventivní periodické údržby v čase (tpu) [h] |
| $\bar{E}(S_d)$ | Střední doba provozu do provedení preventivní diagnostické údržby v čase a pro hodnotu diagnostického signálu (Sd) [h] |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 1: Schéma strategie získávání vstupních dat pro disertační práci..... | 20 |
| Obr. 2: Rozměrová škála nano a makro světa | 30 |
| Obr. 3: Ukázky nanoobjektů..... | 32 |
| Obr. 4: Pásové struktury krystalu pevné látky | 34 |
| Obr. 5: Hustoty energetických stavů elektronů (DOS - density of states), EF – Fermiho energie)..... | 34 |
| Obr. 6: Závislost plošného elektrického odporu na tloušťce tenké kovové vrstvy a způsobu přípravy..... | 35 |
| Obr. 7: Barevná škála zlatých nanočástic v závislosti na velikosti..... | 36 |
| Obr. 8: a) Princip plasmonové resonance, b) Absorpční spektra sfér. a cyl. nanočástic zlata..... | 36 |
| Obr. 9: Závislost poměru povrchových a vnitřních atomů na průměru klastru | 37 |
| Obr. 10: Závislost teploty tání nanočástic zlata na poloměru klastru | 39 |
| Obr. 11: a) Inhibiční účinky nanozlata na bakterie E. Coli | 40 |
| Obr. 12: Hlavní oblasti aplikací nanočástic | 41 |
| Obr. 13: Příklady nanostruktur vyvinutých pro aplikace v oblasti energetických systémů | 45 |
| Obr. 14: Tištěný obvod, destilační kolona..... | 46 |
| Obr. 15: a) Deoxyribonukleová kyselina (DNA), b) Schránky měkkýše Abalona..... | 47 |
| Obr. 16: Lycurgovy poháry a) odražený zdroj světla, b) vnitřní zdroj světla | 48 |
| Obr. 17: a) Nůž z damaškové oceli, b) detail na čepel | 49 |
| Obr. 18: Odhad opt. a pes. vývoje globálního trhu s nanomateriály v letech 2010-2021..... | 52 |
| Obr. 19: Odhad opt. a pes. vývoje globálního trhu s nanomateriály v letech pro rok 2020 | 54 |
| Obr. 20: Odhad nárůstu trhu s nanomateriály a nanoprodukty v letech 2004-2014..... | 54 |
| Obr. 21: Příjmy z nanoproduktů dle regionů | 55 |
| Obr. 22: Odhad růstu globálního trhu s oxidem titaničitým v letech 2014-2024 | 56 |
| Obr. 23: Odhad nárůstu trhu s nanomateriály a nanoprodukty v letech 2015-2019..... | 56 |
| Obr. 24: Počet podniků činných v oblasti nanotechnologií v roce 2014..... | 57 |
| Obr. 25: Počet podniků činných v oblasti nanotechnologií registrovaných v uvedených databázích | 58 |
| Obr. 26: Druhy vědecko-technických pracovišť registrovaných v uvedených databázích..... | 58 |
| Obr. 27: Počet citací za rok, zdroj: Web of Science | 59 |
| Obr. 28: Kumulovaný počet registrovaných patentů od roku 2001 do 2016, rozděleno dle regionu | 60 |
| Obr. 29: Počet registrovaných patentů za rok, rozděleno dle regionu | 60 |
| Obr. 30: Nanomateriály registrované v databázi NanoWerk..... | 61 |
| Obr. 31: Počet registrovaných produktů v uvedených databázích, rozděleno dle regionu..... | 61 |
| Obr. 32: Hlavní oblasti aplikací produktů registrovaných v uvedených databázích | 62 |
| Obr. 33: Výdaje na výzkum a vývoj v oblasti nanotechnologií ve vládních a vysokoškolských sektorech.... | 62 |
| Obr. 34: Výdaje na výzkum a vývoj v oblasti nanotechnologií v podnikatelském sektoru | 63 |
| Obr. 35: Výdaje v České republice na vědu na výzkum v oblasti nanotechnologie | 63 |
| Obr. 36: Vývoj vládních výdajů a venture kapitálu v USA na přelomu tisíciletí..... | 65 |
| Obr. 37: Vývoj venture kapitálu mezi roky 2008 a 2010 rozděleno dle regionu | 65 |
| Obr. 38: Rozdělení technologií dle kritéria strategie výroby | 67 |

| | |
|--|-----|
| Obr. 39: a) Příklad prášku nanočástic zlata, b) Příklad roztoku nanočástic zlata | 69 |
| Obr. 40: a) Nanoautomobil s rozměry 4x2 nm vytvořený vědci ze společnosti Empa | 69 |
| Obr. 41: Krystalická struktura TiO ₂ (forma rutil, anatas, brookit) | 71 |
| Obr. 42: Schéma a hlavní charakteristiky procesu mechanického mletí nanočástic TiO ₂ | 72 |
| Obr. 43: Schéma a hlavní charakteristiky sulfátového procesu výroby nanočástic TiO ₂ | 73 |
| Obr. 44: Schéma a hlavní charakteristiky chloridového procesu výroby nanočástic TiO ₂ | 74 |
| Obr. 45: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO ₂ syntézou plamenem..... | 74 |
| Obr. 46: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO ₂ pyrolýzou plamenem..... | 75 |
| Obr. 47: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO ₂ altair hydrochlor. metodou | 76 |
| Obr. 48: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO ₂ metodou SOL-GEL..... | 77 |
| Obr. 49: Schéma a hlavní charakteristiky procesu výroby nanočástic TiO ₂ metodou hydrot. syntézy..... | 78 |
| Obr. 50: Životní cyklus výrobku | 81 |
| Obr. 51: Schématické znázornění celkových vlastnických nákladů na projekt (LCC ledovec) | 82 |
| Obr. 52: Struktura nákladů v rámci životního cyklu stavebních objektů | 83 |
| Obr. 53: Vliv fáze životního cyklu na možnost ovlivnění nákladů životního cyklu | 83 |
| Obr. 54: Vývojové fáze kalkulace nákladů životního cyklu | 85 |
| Obr. 55: Vazby kalkulační metody LCC a WLC | 86 |
| Obr. 56: Vývojové fáze kalkulace nákladů životního cyklu | 87 |
| Obr. 57: Nákladová struktura CBS s vybranou nákladovou položkou | 88 |
| Obr. 58: Vývojové fáze kalkulace nákladů životního cyklu | 91 |
| Obr. 59: Strategie údržby | 95 |
| Obr. 60: Preventivní diagnostická údržba – vývoj systému v čase..... | 96 |
| Obr. 61: Šest hlavních činností kalkulace nákladů životního cyklu..... | 98 |
| Obr. 62: Vývoj inflace v jednotlivých hodnocených státech..... | 99 |
| Obr. 63: Vývoj směnného kurzu vůči dolaru jednotlivých měn | 107 |
| Obr. 64: Postup metody Monte Carlo..... | 110 |
| Obr. 65: Rozšíření obecného procesu LCC o specifické nástroje odhadu nákladů a řízení rizika | 112 |
| Obr. 66: Struktura nákladů..... | 114 |
| Obr. 67: Výsledky citlivostní analýzy vlivu změny hodnocených položek na celkový..... | 116 |
| Obr. 68: Vazby kalkulačních metod Full-cost modelu, LCC a WLC | 117 |
| Obr. 69: Vazby prvků ve Full-cost modelu a návaznost na kalkulaci celého životního cyklu..... | 119 |
| Obr. 70: Proces kalkulace ABC..... | 121 |
| Obr. 71: Schéma vazeb vlivu vnějšího okolí na model WLC | 123 |
| Obr. 72: a) Schéma přímé jízdy, b) Schéma Milk runu, c) Schéma sběrné služby..... | 126 |
| Obr. 73: Schéma metodického postupu při odhadu nákladů na kamionovou přepravu | 133 |
| Obr. 74: Oblasti vzniku hodnoceného rizika..... | 134 |
| Obr. 75: Metodický postup stanovení významnosti hodnotícího kritéria a modelový příklad | 136 |
| Obr. 76: Metodický postup stanovení krajních mezí rozdělení pravd. změny pořizovací ceny | 137 |
| Obr. 77: Struktura full-cost modelu (FCM)..... | 143 |
| Obr. 78: Ukázka výsledkového listu FCM..... | 145 |

| | |
|--|-----|
| Obr. 79: Vstupní náklady na prekurzory pro výrobu nanočástic TiO ₂ | 147 |
| Obr. 80: Struktura nákladů na vstupní chemikálie pro vybrané nanočástice..... | 148 |
| Obr. 81: Struktura ostatních variabilních nákladů pro vybrané nanočástice..... | 149 |
| Obr. 82: Závislost vybraných variabilních nákladů a teplotních parametrů výrobního procesu | 149 |
| Obr. 83: Náklady na součásti výrobního zařízení..... | 150 |
| Obr. 84: Náklady na lidské zdroje při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice | 151 |
| Obr. 85: Ostatní fixní náklady při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice | 153 |
| Obr. 86: Struktura a hodnoty celkových nákladů..... | 153 |
| Obr. 87: Výnosy, náklady a zisk na 1 kilogram nanočástic pro zvolenou kapacitu | 154 |
| Obr. 88: Bod zvratu (BEP) výroby nanočástice TiO ₂ při zvolené kapacitě..... | 154 |
| Obr. 89: Porovnání prodejní ceny | 155 |
| Obr. 90: Výsledky simulace Monte Carlo ziskových hodnot výrobního procesu nanočástic..... | 158 |
| Obr. 91: Výsledky citlivostní analýzy..... | 159 |
| Obr. 92: Porovnání ročních tržeb vybraných nanotechnologií při naplnění roční výrobní kapacity | 160 |
| Obr. 93: Velikost světového trhu s nanočásticemi dle jednotlivých teritorií – gravitační efekt trhu..... | 161 |
| Obr. 94: Porovnání ročních nákladů na prostory bez zohlednění poplatků a pojištění..... | 163 |
| Obr. 95: Porovnání celkových nákladů na prostory včetně poplatků | 164 |
| Obr. 96: Porovnání jednotkových nákladů na údržbu pro tři hodnocené systémy údržby | 168 |
| Obr. 97: Doba do údržby pro jednotlivé systémy údržby..... | 169 |
| Obr. 98: Náklady na údržbu zohledňující dobu do údržby dle volby systému údržby..... | 169 |
| Obr. 99: Schéma logistického materiálového toku | 170 |
| Obr. 100: Náklady na logistiku vstupních chemikálií..... | 171 |
| Obr. 101: Destinace a způsoby dopravy s vyznačenými dopravními cestami hodnocenými ve výpočtech..... | 172 |
| Obr. 102: Rozměry kontejneru (CNT) PW 40' a rozměry obalu IBC..... | 173 |
| Obr. 103: Náklady na logistiku nanočástic a obalový materiál | 175 |
| Obr. 104: Výsledky simulace Monte Carlo pro výpočet logistických nákladů | 178 |
| Obr. 105: Výsledky citlivostní analýzy | 179 |
| Obr. 106: Výsledky simulace Monte Carlo pro výpočet log. nákladů na transport nanoprod..... | 181 |
| Obr. 107: Výsledky citlivostní analýzy | 182 |
| Obr. 108: Celkové výnosy a náklady fáze likvidace | 185 |
| Obr. 109: Struktura nákladů fází životního cyklu projektu a jejich procentuální významnost..... | 185 |
| Obr. 110: Struktura nákladů výrobní fáze za životní cyklus projektu | 186 |
| Obr. 111: Porovnání výnosů z produkce vybrané nanočástice | 187 |
| Obr. 112: Výnosy z prodeje nanočástic..... | 187 |
| Obr. 113: Provozní výnosy fáze užití + výnosy z recyklace materiálu ve fázi likvidace..... | 188 |
| Obr. 114: Porovnání daňové zátěže jednotlivých států a hodnoty čistého zisku | 189 |
| Obr. 115: Čistá současná hodnota projektu obou hodnocených variant stanovená pro vybrané scénáře..... | 190 |
| Obr. 116: Čistá současná hodnota z pohledu investora při různém využití výrobních kapacit zařízení..... | 190 |
| Obr. 117: Výsledky simulace Monte Carlo pro výpočet ČSH | 192 |
| Obr. 118: Výsledky citlivostní analýzy | 194 |

Seznam tabulek

| | |
|---|-----|
| Tab. 1: Prostudované zdroje rozdělené dle typu využití při zpracování disertační práce | 20 |
| Tab. 2: Příklad klastrů nanozlata..... | 37 |
| Tab. 3: Koordinace povrchových a vnitřních atom..... | 38 |
| Tab. 4: Přehled analyzovaných databází a odkazy na zdroj | 57 |
| Tab. 5: Kvalitativní porovnání vybraných parametrů výroby nanočástic..... | 79 |
| Tab. 6: Technologie vybrané pro komparaci - číselné hodnoty | 80 |
| Tab. 7: Výpočet federální daně z příjmu fyzických osob v USA..... | 101 |
| Tab. 8: Výpočet federální daně z příjmu právnických osob v USA..... | 101 |
| Tab. 9: Výpočet daně z příjmu fyzických osob ve Velké Británii | 102 |
| Tab. 10: Výpočet daně z příjmu právnických osob ve Velké Británii | 102 |
| Tab. 11: Výpočet sazby daně z pozemků..... | 103 |
| Tab. 12: Výpočet sazby daně ze staveb | 104 |
| Tab. 13: Výpočet daně z příjmu fyzických osob v Číně | 105 |
| Tab. 14: Porovnání daní z příjmu právnických osob | 106 |
| Tab. 15: Výše celních poplatků pro vybrané státy | 106 |
| Tab. 16: Přehled výše nákladů sledovaných výrobních procesů..... | 115 |
| Tab. 17: Tabulka vlivu faktorů vnějšího okolí založená na hodnotách z kapitoly 6 | 125 |
| Tab. 18: Hlavní vstupní premisy výpočtů | 128 |
| Tab. 19: Průměrná mzda v jednotlivých státech a poměr k průměrné mzdě v České republice | 128 |
| Tab. 20: Přehled hlavních položek ovlivňující cenu kalkulační jednotice | 128 |
| Tab. 21: Hlavní vstupní premisy výpočtu lokální přepravy..... | 129 |
| Tab. 22: Výsledné hodnoty pro vybraná vzdálenostní pásma lokální přepravy v jednotlivých státech..... | 129 |
| Tab. 23: Hlavní vstupní premisy výpočtu mezinárodní přepravy]..... | 130 |
| Tab. 24: Výsledné hodnoty pro vybraná vzdálenostní pásma mezinárodní přepravy | 130 |
| Tab. 25: Konzervativní návrh koeficientů vlivu transportních konceptů na cenu kamionové přepravy.... | 131 |
| Tab. 26: Maximální možné zatížení návěsu ve sledovaných státech | 131 |
| Tab. 27: Kategorie dílu pro zjednodušený odhad počtu kusů v LKW..... | 131 |
| Tab. 28: Shrnutí volby využití inflace při odhadu nákladů na kamionovou přepravu | 132 |
| Tab. 29: Klíč pro volbu transportního konceptu..... | 132 |
| Tab. 30: Hodnotící kritéria pro riziko změny ceny nanočástic..... | 134 |
| Tab. 31: Hodnotící kritéria pro riziko změny transportního konceptu dodávek chemikálií | 135 |
| Tab. 32: Vstupní premisy pro ověření váhy vlivu hodnotících kritérií..... | 135 |
| Tab. 33: Hodnoty pravděpodobnosti stavu vyvolávajícího změnu rizikového faktoru | 137 |
| Tab. 34: Parametry modelového příkladu určení krajních mezí tetrachloridu titanu | 138 |
| Tab. 35: Celkový přehled hodnotících kritérií pro riziko změny pořizovací ceny materiálu | 139 |
| Tab. 36: Celkový přehled hodnotících kritérií pro riziko změny pořizovací ceny materiálu | 140 |
| Tab. 37: Celkový přehled hodnotících kritérií pro riziko změny transportního konceptu..... | 141 |
| Tab. 38: Vstupní data použitá ve výpočtech FCM, LCC, WLC..... | 146 |

| | |
|---|-----|
| Tab. 39: Vstupní data použitá ve výpočtech kapacity | 146 |
| Tab. 40: Rozdílné náklady prekurzorů pro výrobu nanočástic TiO ₂ | 146 |
| Tab. 41: Struktura nákladů na vstupní chemikálie pro vybrané nanočástice | 147 |
| Tab. 42: Struktura ostatních variabilních nákladů pro vybrané nanočástice..... | 148 |
| Tab. 43: Náklady na součásti výrobního zařízení při zvolené kapacitě..... | 150 |
| Tab. 44: Náklady na lidské zdroje při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice | 151 |
| Tab. 45: Ostatní fixní náklady při zvolené kapacitě uvedené pro vybrané nanočástice | 152 |
| Tab. 46: Bod dosažení bodu zvratu (BEP), maximální produkce, % při dosažení produkce..... | 155 |
| Tab. 47: Rozdělení pravd. pro rizikové faktory výroby nanočástic při zvolené kapacitě..... | 156 |
| Tab. 48: Krajní meze rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory..... | 157 |
| Tab. 49: Výsledky simulace Monte Carlo ziskových hodnot výrobního procesu nanočástic..... | 157 |
| Tab. 50: Porovnání příspěvků na úhradu jednotlivých technologií výroby pro nanočástice TiO ₂ | 160 |
| Tab. 51: Velikost světového trhu s vybranými nanočásticemi | 161 |
| Tab. 52: Rozdělení světového trhu s vybranými nanočásticemi dle jednotlivých analyzovaných států..... | 161 |
| Tab. 53: Hodnoty vstupů a konstantního směnného kurzu použité k výpočtu | 162 |
| Tab. 54: Porovnání cen/m ² pro pořízení pozemku, výstavu haly a pronájem haly | 163 |
| Tab. 55: Vstupy pro analýzu nákladů na údržbu | 165 |
| Tab. 56: Vypočtené hodnoty jednotkových nákladů údržby po poruše..... | 166 |
| Tab. 57: Vypočtené hodnoty jednotkových nákladů preventivní periodické údržby | 167 |
| Tab. 58: Vypočtené hodnoty jednotkových nákladů preventivní diagnostické údržby..... | 168 |
| Tab. 59: Vstupní cena LKW stanovená pro obousměrnou přímou jízdu | 171 |
| Tab. 60: Potřebné počty přímých jízd LKW pro vstupní chemikálie | 171 |
| Tab. 61: Přístavy, odkud/kam jsou dopravovány kontejnery s nanočásticemi..... | 172 |
| Tab. 62: Ceny lodních a vlakových transportů ke 12. 11. 2017 | 173 |
| Tab. 63: Ceny transportů a obalů na NČ | 174 |
| Tab. 64: Odhad výše rizika růstu ceny hodinové sazby za kamionovou lokální přepravu..... | 176 |
| Tab. 65: Krajní meze rozdělení pravděpodobnosti pro rizikový faktor změny konceptu | 177 |
| Tab. 66: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory transportu chemikálií..... | 177 |
| Tab. 67: Výsledky simulace Monte Carlo hodnot logistických nákladů na transport | 177 |
| Tab. 68: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory transportu nanočástic..... | 180 |
| Tab. 69: Výsledky simulace Monte Carlo hodnot logistických nákladů na transport | 180 |
| Tab. 70: Tabulka výpočtu nákladů na demontáž a likvidaci výrobního zařízení | 183 |
| Tab. 71: Tabulka výpočtu nákladů na likvidaci směsného odpadu..... | 183 |
| Tab. 72: Tabulka výpočtu nákladů na demontáž a likvidaci výrobního zařízení | 184 |
| Tab. 73: Hodnoty objemů nanočástic vstupujících do modelu WLC..... | 186 |
| Tab. 74: Hodnoty vnitřního výnosového procenta projektu uvedeného pro obě hodnocené varianty..... | 189 |
| Tab. 75: Rozdělení pravděpodobnosti pro rizikové faktory výroby nanočástic | 191 |
| Tab. 76: Srovnání výsledků ČSH simulace v závislosti na velikosti analyzovaných parametrů | 193 |

Použité informační zdroje

- [1] A Black & Veatch. (2013). 50 largest cities water/wastewater rate survey. Retrieved from https://www.saws.org/who_we_are/community/RAC/docs/2014/50-largest-cities-brochure-water-wastewater-rate-survey.pdf
- [2] Ahlberg, L. (2014, December 23). Getting into your head: Gelatin nanoparticles could deliver drugs to the brain. Retrieved from <https://news.illinois.edu/view/6367/204449>
- [3] Aleš Z. a kol. (2016). Stanovení parametrů Weibullova rozdělení hustoty pravděpodobnosti poruch v MS. Česká společnost pro jakost
- [4] Aleš Z. a kol. (2016). Využití charakteristik bezporuchovosti k optimalizaci preventivní údržby s podporou Excelu. Česká společnost pro jakost
- [5] Allen, R. L. (2011). Venture Capital Investment in Nanotechnology. Retrieved from http://www.jonesday.com/practiceperspectives/nanotechnology/venture_capital.html
- [6] Andrews, R. (2003). An overview of acquisition logistics. Fort Belvoir, VA: Defense Acquisition University. Accessed April 2, 2007, <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=32720>
- [7] Anglianwater.co.uk. (2017). Standard rates | Tariffs and charges | Billing and payments | Your account | Your home. Retrieved from <http://www.anglianwater.co.uk/household/your-account/bills-and-payments/tariffs/standard-rates/>
- [8] ATC. (2012). Lockheed Martin Advanced Technology Center Develops Revolutionary Nanotechnology Copper Solder. Retrieved from <http://www.understandingnano.com/copper-nanoparticle-solder.html>
- [9] ATM: (2015, September). Nadměrná přeprava. Retrieved March, 2019, from http://www.atmcz.cz/files/tinymce/Nadmerna-preprava_09_2015.pdf
- [10] Bahnajady M.A., Eskandarloo, H., Modirshahla, N., Shokri, M. (2011). Investigation of the effect of sol-gel synthesis variables on structural and photocatalytic properties of TiO₂ NPs. Desalination 278. 10–17 s.
- [11] Bell, L. (2014). The future of nanoscale research and development. Retrieved from <http://www.nisenet.org/blog/post/future-nanoscale-research-and-development>
- [12] Benson, H., Mohammed, Y., Grice, J., & Roberts, M. (2016). Formulation Effects on Topical Nanoparticle Penetration. *Nanoscience in Dermatology*, 115-126. doi:10.1016/b978-0-12-802926-8.00009-4
- [13] Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems engineering and analysis*. Boston: Prentice Hall.
- [14] BLS.gov. (2018). Recent Price Trends in the Chemicals Industry. Retrieved March 15, 2019, from <https://www.bls.gov/mxp/chemical.pdf>. 1 s.

- [15] Boussabaine, H. A., & Kirkham, R. (2004). Whole life-cycle costing: risk and risk responses. Oxford: Blackwell. 4-6 s.
- [16] BP.com. (2017). BP Statistical Review of World Energy June 2017. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-natural-gas.pdf>. 33 s.
- [17] Cavalieri, S., Maccarrone, P., and Pinto, R., (2004). Parametric Vs Neural Network Models for the Estimation of Production Costs: A Case Study in the Automotive Industry. *Int. J. Prod. Econ.*, 91(2). 165–177 s.
- [18] Ceník likvidovaných odpadu. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <http://www.assmann.cz/ceniky#cenik-likvidovanych-odpadu>
- [19] City of London. (2017, September 27). Council tax. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.cityoflondon.gov.uk/services/council-tax/Pages/default.aspx>
- [20] CNRS, & CEA. (2010, January 29). Organic transistor paves way for new generations of neuro-inspired computers. Retrieved from <https://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100125122101.htm>
- [21] Cokins, G. (2001). Activity-based cost management: an executives guide. New York: John Wiley & Sons. 15 s.
- [22] Consumer Products Inventory. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from <http://www.nanotechproject.org/cpi>
- [23] Cytimmune. (2017). We break through tumor defenses to enable cancer cures. Retrieved from <http://www.cytimmune.com/>
- [24] Czechinvest. (2017). Water/sewerage charges in 2017. Retrieved from <https://www.czechinvest.org/getattachment/Unternehmen-in-der-Tschechischen-Republik/Konkurrenzfahige-Infrastruktur/FS-20-Utilities.pdf>.
- [25] DHL. Retrieved February 25, 2019, from https://www.dhl.cz/cs/express/preprava/zasilatelske_poradenstvi/priplatky.html
- [26] Dong, H., Gao, Y., Sinko, P., Wu, Z., Xu, J., Jia, L (2016) The nanotechnology race between China and the United States. *Nano Today*. 2, 3 s. ISSN 1748-0132
- [27] DukeUni. (2013). Light and nanoprobe detect early signs of infection. Retrieved from <https://phys.org/news/2013-06-nanoprobe-early-infection.html>
- [28] EIA.gov. (2017). United States Natural Gas Industrial Price. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/n3035us3A.htm>
- [29] EIA.gov. (2019). Retail Prices for Gasoline. Retrieved April 20, 2019, from https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=EMM_EPM0_PTE_NUS_DPG&f=W

- [30] Energy.gov. (2001, January). Pump life cycle costs: A Guide to LCC analysis for pumping systems. Retrieved from https://energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f16/pumplcc_1001.pdf. 15 s.
- [31] European commission. (2006). The appropriateness of existing methodologies to assess ... Retrieved from http://ec.europa.eu/health/ph_risk/documents/synth_report.pdf
- [32] EUROSTAT. (2017, November). Natural gas price statistics. Retrieved February 10, 2018, from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Natural_gas_price_statistics
- [33] Evers, P. (2015, September). Nanotechnology in Medical Applications: The Global Market. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/healthcare/nanotechnology-medical-applications-market-hlc069c.html>
- [34] Farr, J. V. (2011). Systems life cycle costing: economics analysis, estimation, and management. Boca Raton: Taylor & Francis.
- [35] Filipponi, L., & Sutherland, D. (2013). Nanotechnologies: principles, applications, implications and hands-on activities: a compendium for educators. Luxemburg: Publications Office of the European Union.
- [36] Finlord.cz. (2016, December 09). PROVOZNÍ MARŽE: POROVNÁNÍ PODLE ODVĚTVÍ. Retrieved February 5, 2019, from <https://finlord.cz/2016/12/provozni-marze-porovnani-podle-odvetvi/>
- [37] Fontanazza, M. (2007). Venture capitalists can't embrace nanotechnology - Yet. Medical Device & Diagnostic Industry.
- [38] Foresight Institute. (2018). Nanotechnology. Retrieved from <http://foresight.org/nano/>
- [39] Fotr, J., Švecová, L., Souček, I., & Pešák, L. (2007). Simulace Monte Carlo v analýze rizika investičních projektů. *Acta Oeconomica Pragensia*, 2007(2), s. 32-43. doi:10.18267/j.aop.47. 35 s.
- [40] Freitas, R. (2000). Nanorobots the size of bacteria might one day roam people. Retrieved from <https://foresight.org/Nanomedicine/SayAh/index.php>
- [41] Fraunhofer Institute. (2010). Nanopores make sterile filtration more reliable - Research News 07-2010-Topic 4. Retrieved from <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/07/sterile-filtration-nanopores.html>
- [42] Freight Calculator. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from <http://worldfreightrates.com/freight>
- [43] Gijare, A. (2014, September). Nanotechnology in Printing: Global Markets. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-printing-report-nan059a.html>
- [44] Gimeno-Fabra, M., Hild, F., Dunne, P. W., Walton, K., Grant, D. M., Irvine, D. J., & Lester, E. H. (2015). Continuous synthesis of dispersant-coated hydroxyapatite plates. *CrystEngComm*, 17(32), 6175-6182. doi:10.1039/c5ce00628g

- [45] Global petrol price, (2019). Retrieved January 12, 2019, from <https://www.globalpetrolprices.com/>
- [46] Global Research and Consulting. (2013). Asia Pacific Industrial & Logistics. Retrieved from http://www.cbre.eu/portal/pls/portal/res_rep.show_report?report_id=2898
- [47] Gola, P. (2006, March 02). Daňová soustava Číny. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.mzdovapraxe.cz/archiv/dokument/doc-d388v364-danova-soustava-ciny/>
- [48] Gola, P. (2014, September 24). Mzdy a zdanění práce v USA. Retrieved February 10, 2018, from <https://finexpert.e15.cz/mzdy-a-zdaneni-prace-v-usa>
- [49] Gos report. (2015, May). Global Nanosilver Industry 2015 Market Research Report. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.gosreports.com/global-nanosilver-industry-2015-market-research-report/>
- [50] Gouma, I. (2013). National Science Foundation - Where Discoveries Begin. Retrieved from https://www.nsf.gov/discoveries/disc_summ.jsp?cntn_id=129566
- [51] GOV.UK. (2013, May 30). International industrial energy prices. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/international-industrial-energy-prices>
- [52] GOV.UK. (2017, November 04). Trade Tariff: look up commodity codes, duty and VAT rates. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.trade-tariff.service.gov.uk/trade-tariff/commodities/2811299000>
- [53] Grand view research. (2017, November). Titanium Dioxide (TiO₂) Market Analysis By Application (Paints & Coatings, Plastics, Paper & Pulp, Cosmetics), By Region (North America, Europe, Asia Pacific, CSA, MEA), And Segment Forecasts, 2014 - 2025. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/titanium-dioxide-industry>
- [54] Grosová S.: Marketing: principy, postupy, metody. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2002. ISBN 80-7080-505-6. 111 s.
- [55] Grubb, G. F., & Bakshi, B. R. (2010). Life Cycle of Titanium Dioxide Nanoparticle Production. *Journal of Industrial Ecology*, 15(1), 81-95. doi:10.1111/j.1530-9290.2010.00292.x
- [56] Gupta S. M., Tripathi, M. (2012). A review on the synthesis of TiO₂ nanoparticles by solution route. *Central European Journal of Chemistry*. 10(2), 279-294 s.
- [57] Hansen, S. F., Heggelund, L. R., Revilla Besora, P., Mackevica, A., Boldrin, A., & Baun, A. (2016). Nanoproducts – what is actually available to European consumers? *Environmental Science: Nano*, 3(1), 169-180 s. DOI: 10.1039/C5EN00182J
- [58] Haruta-masatake.ues. (2017). Structures and properties of gold clusters. Retrieved February 14, 2018, from <http://www.haruta-masatake.ues.tmu.ac.jp/en/research.html>
- [59] Helmer, D. H., & Kol. (2016). Worldwide Capital and Fixed Assets Guide 2016. Retrieved February 10, 2018, from [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Worldwide_Capital_and_Fixed_Assets_Guide_2016/\\$FILE/Worldwide%20Capital%20and%20Fixed%20Assets%20Guide%202016.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Worldwide_Capital_and_Fixed_Assets_Guide_2016/$FILE/Worldwide%20Capital%20and%20Fixed%20Assets%20Guide%202016.pdf)

- [60] Heralová, R. (2011). Kalkulace nákladů životního cyklu jako inovativní rozhodovací nástroj ve fázi navrhování staveb. 46-49 s.
- [61] Herr, D. J. (2017). Whats so Unusual About Nanomaterial Melting Points? Retrieved February 13, 2018, from <https://www.carolina.com/teacher-resources/Interactive/what%27s-so-unusual-about-nanomaterial-melting-points%3F/tr23010.tr>
- [62] Hexa research. (2017, November). Titanium Dioxide (TiO₂) Market Size and Forecast, By Manufacturing Process (Chloride Route, Sulfate Process), By product (Anatase, Rutile), By Application (Paints & Coatings, Plastics, Paper, Ink, Specialties) And Trend Analysis, 2014 - 2024. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.hexaresearch.com/research-report/titanium-dioxide-industry>
- [63] Hine, J. (2016). Freight transport research in Africa & Asia. Retrieved from http://www.its.leeds.ac.uk/fileadmin/documents/seminars/LEEDS_FREIGHT_LECTURE_John_Hine.pptx
- [64] Hošek, J. (2010). Úvod do nanotechnologie. V Praze: České vysoké učení technické.
- [65] HoustonUni. (2016, March 17). New technique for rapidly killing bacteria using tiny gold disks and light. Retrieved from <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/03/160317151138.htm>
- [66] Howells, Ch. (2010). Good investment opportunities in nanotechnology sector in Singapoure. Available at <http://www.channelnewsasia.com/stories/singaporebusinessnews/view/1032211/1/.html>.
- [67] Howmuch.net. (2017). Commercial Property Insurance Cost. Retrieved February 10, 2018, from <https://howmuch.net/costs/commercial-property-insurance>
- [68] Hundal, M. S., (1993). Design to Cost," Concurrent Engineering: Contemporary Issues and Modern Design Tools, H. R. Parsaei and W. G. Sullivan, eds., Chapman and Hall, London. 330–351 s,
- [69] Charles H. Moellenberg, Jr., and Robin L. Juni. (Mar. 5, 2009). "A Practical Guide to Reduce Product Liability Risk for Nanotechnology," *Toxics Law Reporter*, Vol. 24, No. 10
- [70] China daily, A. (2009, November 20). China raises price of electricity for non-residential use . Retrieved February 10, 2018, from <http://www.ebeijing.gov.cn/BeijingInformation/BeijingNewsUpdate/t1094426.htm>
- [71] Chinnock, C. (2014, October 14). Transparent Conductor Markets Report Released. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.insightmedia.info/transparent-conductor-markets-report-released/>
- [72] IContainers. (2016, August 25). How To Deal With Road Weight Limits When Shipping Containers. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.icontainers.com/us/2016/05/12/how-to-deal-with-road-weight-limits-when-shipping-containers/>
- [73] Inman, M. (2006). Legendary Swords' Sharpness, Strength From Nanotubes, Study Says. Retrieved from <https://news.nationalgeographic.com/news/2006/11/061116-nanotech-swords.html>
- [74] Inmat. (2017). InMat.com. Retrieved from <http://www.inmat.com/>

- [75] Jakobsohn, K., Motiei, M., Sinvani, M., Popovtzer, R. (2012). Towards real-time detection of tumor margins using photothermal imaging of immune-targeted gold nanoparticles. *International journal of nanomedicine*. 7. 4707-13. 10.2147/IJN.S34157.
- [76] Joneslanglasallesites.com. (2014). China Property Investment Guide. Retrieved from http://www.joneslanglasallesites.com/investmentguide/uploads/attachments/APPIG-China-v4_r0rlb1gj.pdf. 5-7 s.
- [77] Juul, S., Iacovelli, F., Falconi, M., Kragh, S. L., Christensen, B., Frøhlich, R., . . . Knudsen, B. R. (2013). Temperature-Controlled Encapsulation and Release of an Active Enzyme in the Cavity of a Self-Assembled DNA Nanocage. *ACS Nano*, 7(11). 9724-9734 s. doi:10.1021/nn4030543
- [78] Kammler, H. K., Mädler, L., & Pratsinis, S. E. (2001). Flame Synthesis of Nanoparticles. *Chemie Ingenieur Technik*, 73(6), 708-708. doi:10.1002/1522-2640(200106)73:6<708::aid-cite7082222>3.0.co;2-g
- [79] Kawahara, Y., Hodges, S., Cook, B. S., Zhang, C., & Abowd, G. D. (2013). Instant inkjet circuits. *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing - UbiComp 13*. doi:10.1145/2493432.2493486
- [80] Kawauchi, Y., & Rausand, M. (1999, June). Life Cycle Cost (LCC) analysis in oil and chemical process industries. 7, 10 s.
- [81] Kingsman, B. G., and De Souza, A. A., (1997). A Knowledge-Based Decision Support System for Cost Estimation and Pricing Decisions in Versatile Manufacturing Companies. *Int. J. Prod. Econ.*, 53. 119–139 s.
- [82] Kirkham, R. J., Brandon, P. S., & Ferry, D. J. (2015). *Ferry and Brandons cost planning of buildings*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley-Blackwell. 75-90 s.
- [83] Kirkham, R.J., Alisa, M., Silva, A P.d., Grindley, T. and Brøndsted, J. (2004), "Rethinking whole life cycle cost based design decision-making", in Khosrowshahi, F. (Ed.), *Proceedings 20th Annual ARCOM Conference, Association of Researchers in Construction Management, Edinburgh, Vol. 1, 1-3 September*, 91-103 s.
- [84] Konečný, L. (2015, September 19). *Analýza: České nanotechnologie 1993-2013 - Lukas Konecny*. Retrieved February 14, 2018, from <http://www.lukaskonecny.cz/analyza-ceske-nanotechnologie-1993-2013/> 12 s.
- [85] Korecký, M., & Trkovský, V. (2011). *Management rizik projektů: se zaměřením na projekty v průmyslových podnicích*. Praha: Grada.
- [86] Kotler, P. (1983). *Principles of marketing*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 273 s.
- [87] *Kovový odpad*. (2017, November 04). *Ceník fyzické osoby - Kovový odpad*. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.metal-kov.cz/cenik-fyzicke-osoby-kovovy-odpad>
- [88] KPMG. (2017). *Employer social security tax rates*. Retrieved February 10, 2018, from <https://home.kpmg.com/xx/en/home/services/tax/tax-tools-and-resources/tax-rates-online/social-security-employer-tax-rates-table.html>
- [89] Kratochvíl, B., Švorčík, V., & Vojtěch, D. (2005). *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická.

- [90] Kuba, F., Beránková, E., Soukup, P. (2012). Facility management v kostce pro profesionály i laiky. nakladatelství FORM Solution. 252 s. ISBN 978-80905257-0-2
- [91] Kumar, A. (2015, September). Nanotechnology in Environmental Applications: The Global Market. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-environmental-applications-market-nan039c.html>
- [92] Kumar, A. (2017, March). Food Traceability: Technologies and Global Markets. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/food-and-beverage/food-traceability-technologies-markets-report-fod045b.html>
- [93] Kurias, P., Kroemke, O., Huang, D., & Speranzini, F. (2018, November 12). Industry Top Trends 2019. 1-8. <https://www.maalot.co.il/Publications/SCT20181115135635.pdf>. 3 s.
- [94] Kvítek, O., Luytakov, O., Slepíčka, P., & Svorčík, V. (2016, August 15). Nanostruktury zlata: příprava, vlastnosti a vybrané aplikace. *Chemické listy*
- [95] Landcentury.com. (2017). Average Commercial Land Prices Across the US. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.landcentury.com/articles-news/average-commercial-land-prices-across-the-us/>
- [96] Landfill rates. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <http://riverbend.wm.com/landfill-rates/index.jsp>
- [97] Lavine, M. S. (2014). Laser shock imprinting for patterning metals. *Science*, 346(6215), 1338-1339. doi:10.1126/science.346.6215.1338-g
- [98] Legát V. a kol. (2014). Udržovatelnost, zajištěnost a politika údržby. *Česká společnost pro jakost*. 6 s.
- [99] Leitner, J. (2011). Teplota tání nanočástic. *Chemické Listy*, 105th ser. 174-185 s.
- [100] Lepičová, L. (2009, March 30). Full-cost - Úvod do problematiky. Retrieved from https://www.fp7.cz/files/istec_news/1-Lepicova-Fullcost-uvod-do-problematiky.pdf. 6-7 s.
- [101] Lester, E., Blood, P., Denyer, J. D., Giddings, D.; Azzopardi, B. Poliakoff, M. (2006). Reaction engineering: The supercritical water hydrothermal synthesis of nano-particles. *J Supercrit Fluids*. 37. 209-214 s.
- [102] LONDON.GOV. (2016). The value of land and housing in London. Retrieved from <https://www.london.gov.uk/sites/default/files/chapter4-economic-evidence-base-2016.pdf>
- [103] Loryuenyong V., Angamnuaysiri K., Sukcharoenpong J., Suwannasri A. (2012). A Sol-gel derived mesoporous titania nanoparticles: Effects of calcination temperature and alcoholic solvent on the photocatalytic behaviour. *Ceramics International* 38: 2233-2237
- [104] Luger, T. (2016, July 13). OLED Technology in Lighting Applications. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/oled-technology-in-lighting-applications-by-assodel>

- [105] Lux research. (2004, October 01). Sizing Nanotechnology's Value Chain. Retrieved February 10, 2018, from <https://members.luxresearchinc.com/research/report/1477>
- [106] Lux research. (2013, December). Nanotechnology Update: Corporations Up Their Spending as Revenues for Nano-enabled Products Increase. Retrieved from <https://members.luxresearchinc.com/research/report/13748>
- [107] Macias, W. (2012). A phase 3 study to determine the efficacy and safety of recombinant human activated protein C in severe sepsis. [Http://isrctn.org/](http://isrctn.org/). doi:10.1186/isrctn74215569
- [108] Máče, M. (2006). Finanční analýza investičních projektů: Praktické příklady a použití. Praha: Grada.
- [109] Maguire, J., Fang, X., & Wilson, E. (2013). Comparison of Advanced Residential Water Heating Technologies in the United States. doi:10.2172/1081391
- [110] Maynard, A. D., & Pui, D. Y. (2006, November 08). Nanotechnology and occupational health: New technologies - new challenges. Retrieved February 10, 2018, from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11051-006-9164-8>
- [111] McElroy, J. (2011, January 31). Steel nanotechnology can reduce the weight of our cars. Retrieved from <https://www.autoblog.com/2011/01/31/steel-nanotechnology-can-reduce-the-weight-of-our-cars/>
- [112] McWilliams, A. (2013, February). Nanotechnology in Energy Applications. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-energy-applications-nan044b.html>
- [113] McWilliams, A. (2014, January). Critical Materials in Global Nanotechnology Markets. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/advanced-materials/critical-materials-nanotechnology-avm103a.html>
- [114] McWilliams, A. (2014, November). Nanotechnology: A Realistic Market Assessment. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-assessment-report-nan031f.html>
- [115] McWilliams, A. (2016, November). The Maturing Nanotechnology Market: Products and Applications. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanotechnology-market-products-applications-report-nan031g.html>
- [116] McWilliams, A. (2017, January). Global Markets for Nanocomposites, Nanoparticles, Nanoclays, and Nanotubes. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/nanocomposites-nanoparticles-nanotubes-market-report-nan021g.html>
- [117] Mertens, R. (2017, May 04). Yole Developpement predicts a \$1.5 billion OLED lighting market in 2021. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.oled-info.com/yole-developpement-predicts-15-billion-oled-lighting-market-2021>
- [118] Měšec.cz. (2017). Sazby daně z pozemků. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.mesec.cz/danovy-portal/dan-z-nemovitych-veci/sazby-dane-z-pozemku/>
- [119] Měšec.cz. (2017). Sazby daně ze staveb. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.mesec.cz/danovy-portal/dan-z-nemovitych-veci/sazby-dane-ze-staveb/>

- [120] Mikovcová, H. (2008). Kalkulace ABC Activity Based Costing. Retrieved from <https://www.vse.cz/polek/download.php?jnl=aop&pdf=127.pdf>. Acta Oeconomica Pragensia
- [121] Ministerstvo financí (2014, August 05). Daňový systém České republiky. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/danovy-system-ceske-republiky-3429.html>
- [122] Ministerstvo pro místní rozvoj. (2014). Metodické doporučení pro projekty vytvářející příjmy 2014-2020. 18-19. Retrieved from http://www.strukturalni-fondy.cz/getmedia/bb6d5c73-9345-42e1-920c-5566626c1087/MD-projekty-generujici-prijmy_v1.pdf
- [123] Ministerstvo zahraničních věcí (2017, June 02). Čína: Základní charakteristika teritoria, ekonomický přehled. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.businessinfo.cz/cs/clanky/cina-zakladni-charakteristika-teritoria-ekonomicky-19051.html>
- [124] MIT. (2013, November 3). New Implantable Sensor Paves Way to Long-Term Monitoring. States News Service. Retrieved from http://www.highbeam.com/doc/1G1-347940086.html?refid=easy_hf
- [125] MM.REALITY. (2017). Ceny pozemků Praha. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.mmreality.cz/en/properties/for-sale/industrial-land/hlavni-mesto-praha/?sort=sLowestPrice>
- [126] Množstevní slevy. (2018). Retrieved from https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=3057
- [127] Morigi, V., Tocchio, A., Pellegrini, C. B., Sakamoto, J. H., Arnone, M., & Tasciotti, E. (2012). Nanotechnology in Medicine: From Inception to Market Domination. *Journal of Drug Delivery*, 2012. 1-7 s. doi:10.1155/2012/389485
- [128] MORUMO. (2016, July 28). Mass industrial electricity price may continue to decline in China. Retrieved February 10, 2018, from https://www.pv-magazine.com/2016/07/28/mass-industrial-electricity-price-may-continue-to-decline-in-china_100025589/
- [129] Mueller R., Jossen R., Pratsinis S. E., Watson M.A., Kamal M. (2004). Zirconia nanoparticles made in spray flames at high production rates, *Journal of the American Ceramic Society*. 87 (2). 197-202 s.
- [130] Mueller R., Madler L., Pratsinis, S.E. (2003). Nanoparticle synthesis at high production rates by flame spray pyrolysis. *Chemical Engineering Science* 58: 1969 – 1976
- [131] Nano Database. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from <http://nanodb.dk/en/search-database>
- [132] Nano-net.gr. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from <http://www.nano-net.gr/index.php>
- [133] Nanoparticle Vaccine Offers Better Protection. (2013, September 25). States News Service. Retrieved April 29, 2018, from http://www.highbeam.com/doc/1G1-343913245.html?refid=easy_hf
- [134] Nanotechnology Company & Research Labs Directory. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from https://www.nanowerk.com/nanotechnology/research/nanotechnology_links.php

- [135] Nanotechnology Project. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from <http://nanotechproject.org/inventories/silver/>
- [136] Nasr, E. A., & Kamrani, A. K. (2007). *Computer-based design and manufacturing: an information-based approach*. New York: Springer.
- [137] National research council. (2006). Read "A Matter of Size: A Matter of Size: Triennial Review of the National Nanotechnology Initiative (2006)". Retrieved February 10, 2018, from <https://www.nap.edu/read/11752/chapter/4>
- [138] Nawabi, W. (2012). Sledování a východiska nákladů po dobu životnosti železniční dopravní cesty. 17. Ipmference železniční dopravní cesty. Retrieved March 29, 2012.
- [139] Neumann, O., Urban, A. S., Day, J., Lal, S., Nordlander, P., & Halas, N. J. (2012). Solar Vapor Generation Enabled by Nanoparticles. *ACS Nano*, 7(1), 42-49. doi:10.1021/nn304948h
- [140] Newman, M. E. (2018, January 08). Combining Nanotubes and Antibodies for Breast Cancer 'Search and Destroy' Missions. Retrieved from <https://www.nist.gov/news-events/news/2009/12/combining-nanotubes-and-antibodies-breast-cancer-search-and-destroy>
- [141] Niazi, A., Dai, J. S., Balabani, S., & Seneviratne, L. (2006). Product Cost Estimation: Technique Classification and Methodology Review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 128(2), 564-570 s. doi:10.1115/1.2137750
- [142] NNI. (2004). The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan, December 2004. Retrieved from <https://www.nano.gov/node/242>
- [143] Novinky.cz. (2010, May 27). Na výplatní pásky se vrátily odměny, vzrostla i jejich průměrná výše. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.novinky.cz/kariera/201274-na-vyplatni-pasky-se-vratily-odmeny-vzrostla-i-jejich-prumerna-vyse.html>
- [144] NTech research. (2017, December 12). OLED Materials Markets 2015-2022: Momentum and Opportunities. Retrieved February 10, 2018, from http://ntechresearch.com/market_reports/oled-materials-markets-2015-2022-momentum-and-opportunities
- [145] Nurmi, J. T., Tratnyek, P. G., Sarathy, V., Baer, D. R., Amonette, J. E., Pecher, K., . . . Driessen, M. D. (2005). Characterization and Properties of Metallic Iron Nanoparticles: Spectroscopy, Electrochemistry, and Kinetics. *Environmental Science & Technology*, 39(5), 1221-1230. doi:10.1021/es049190u
- [146] OECD (2017), Exchange rates (indicator). doi: 10.1787/037ed317-en (Accessed on 09 November 2017)
- [147] OECD (2017), Inflation forecast (indicator). doi: 10.1787/598f4aa4-en (Accessed on 09 November 2017)
- [148] OECD (2017), Price level indices (indicator). doi: 10.1787/c0266784-en (Accessed on 09 November 2017)
- [149] OECD. (2005). *Small sizes that matter: opportunities and risks of nanotechnologies*. Paris: Allianz.

- [150] OECD. (2017). OECD Employment Outlook 2017. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [151] OECD. (2017, May). Key Nanotechnology Indicators, <http://oe.cd/kni>; and OECD, Main Science and Technology Indicators Database, www.oecd.org/sti/msti.htm
- [152] OECD. (2017, October 10). Employer social security contribution rates. Retrieved February 10, 2018, from https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=TABLE_III2
- [153] OSCEG. (2014, March). Operating and support cost-estimating guide. Retrieved from https://www.cape.osd.mil/files/OS_Guide_v9_March_2014.pdf
- [154] Osterwalder, N., Capello, C., Hungerbühler, K., & Stark, W. J. (2006). Energy Consumption During Nanoparticle Production: How Economic is Dry Synthesis? *Journal of Nanoparticle Research*, 8(1), 1-9. doi:10.1007/s11051-005-8384-7
- [155] Ouellette, L. L. (2015, November). Economic research working paper No. 29. Retrieved from http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_econstat_wp_29.pdf
- [156] Page, J. S. (1996). Conceptual cost estimating manual. Place of publication not identified: Gulf Pub Co.
- [157] Palmberg, C., Dernis, H., & Miguet, C. (2009). *Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics*. Paris: OECD. 45 s.
- [158] Pang, Q., Z., Cai, Y., Nguyen, D. P., Regnault, N., Wang, N., . . . W. (2005). CdSe Nanotetrapods: Controllable Synthesis, Structure Analysis, and Electronic and Optical Properties. *Chemistry of Materials*, 17(21), 5263-5267. doi:10.1021/cm050774k
- [159] Perez-Arantegui, P., Molera, J. (2001). *Journal Am.Ceram.Soc.*, 84
- [160] Pini, M., Rosa, R., Neri, P., Bondioli, F., & Ferrari, A. M. (2015). Environmental assessment of a bottom-up hydrolytic synthesis of TiO₂ nanoparticles. *Green Chemistry*, 17(1), 518-531. doi:10.1039/c4gc00919c. 11-12 s.
- [161] Podnikam.sk. (2016, February 17). Dane v USA. Retrieved February 10, 2018, from <https://podnikam.webnoviny.sk/dane-v-usa/>
- [162] Pospíšilová, B. (2015). Modelování a simulace rizik investičních záměrů. Brno. Retrieved from https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=111229. 14-17 s.
- [163] Practical Law. (2016, March 01). Transfer tax on the sale of real estate. Retrieved February 10, 2018, from <https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/7-508-0012?transitionType=Default&contextData=%28sc.Default%29&firstPage=true&bhcp=1>
- [164] Praguerealestate. (2017, August 21). Pronájem hal Praha. Retrieved from <https://www.praguerealestate.cz/warehouse-logistics-space-for-rent-5-000m2-situated-in-a-1026480.html>

- [165] Prajer M. (2011). Projektové řízení investice v KOVOS ST s.r.o. Diplomová práce. 15-23 s.
- [166] Tichá, M., Žilka, M., Stiebrová, B., Prajer, M., & Freiberg, F. (2018). Environmentální a ekonomické hodnocení nanomateriálů. *Entecho*. doi:10.3260/entecho.2017.12.001, s. 20-25
- [167] Prnka, T., & Šperlink, K. (2004). *Nanotechnologie*. Ostrava: Repronis.
- [168] Procházka, J. (2009). Studium vlastností nanočástic oxidu. *Disertační práce*. 7, 11, 12 s.
- [169] Procházka, V. (2012). *Fyzika pevných látek: Studijní modul*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- [170] Pulit-Prociak, J., Banach, M. (2017, April 07). Silver nanoparticles – a material of the future...? Retrieved February 10, 2018, from <https://www.degruyter.com/view/j/chem.2016.14.issue-1/chem-2016-0005/chem-2016-0005.xml>. 78 s.
- [171] Rehman, S., and Guenov, M. D., (1998). A Methodology for Modeling Manufacturing Costs at Conceptual Design. *Comput. Ind. Eng.*, 35(3–4). 623–626 s.
- [172] Reichl, J. (2018). Encyklopedie fyziky. Retrieved from <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/773-elektricke-vlastnosti-pevnych-latek>
- [173] ReportBuyer. (2015, November 12). Global and China Lithium Iron Phosphate (LiFePO4) Material and Battery Industry Report, 2015-2018. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-and-china-lithium-iron-phosphate-lifepo4-material-and-battery-industry-report-2015-2018-300178211.html>
- [174] Research and Markets. (2015, April 01). Global and China Nano Composite Zirconia Industry Report 2015. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-and-china-nano-composite-zirconia-industry-report-2015-498347611.html>
- [175] RiceUni. (2013). 'White graphene' halts rust in high temps. Retrieved from <https://phys.org/news/2013-10-white-graphene-halts-rust-high.html>
- [176] Richey, K., Echard, J., & Cha, C. (2009). *GAO cost estimating and assessment guide: best practices for developing and managing capital program costs*. Washington, DC: U.S. Govt. Accountability Office.
- [177] RMIT University. (2012). Metal nanoparticles may improve cancer treatment. Retrieved from <https://phys.org/news/2012-11-metal-nanoparticles-cancer-treatment.html>
- [178] Roco, M. C. (2011). The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 Years. *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*, 1-28. 428-431 s. doi:10.1007/978-94-007-1168-6_1
- [179] Roco, M. C., Mirkin, C. A., & Hersam, M. C. (2010). Nanotechnology research directions for societal needs in 2020: retrospective and outlook. Place of publication not identified: WTEC.

- [180] Roskill. (2014, September 26). Zircon markets signal steady recovery by end of 2014. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.zirconet.com/news/11170/Zircon-markets-signal-steady-recovery-by-end-of-2014/>
- [181] Rousek, L. (2011, January 30). Čína poprvé zavádí daň z nemovitostí, aby zbrzdila inflaci. Retrieved February 10, 2018, from <https://byznys.ihned.cz/c1-49649380-cina-poprve-zavadi-dan-z-nemovitosti-aby-zbrzdila-inflaci>
- [182] Řezanka, P. (2017). Nanočástice - Nanočástice I. Retrieved February 14, 2018, from <http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>
- [183] Sahu, S. S. (2016, September). Nano Zinc Oxide Market by Application (Paints & Coatings, Cosmetics, and Others) - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-zinc-oxide-market>
- [184] Scrap Metal Prices in United States - Current Scrap Prices in USA Scrap Yards and Ports. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <http://www.scrapmonster.com/scrap-metal-prices/united-states>
- [185] Scrap Metal Prices. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <http://www.scrapmonster.com/scrap-metal-prices/copper-scrap/scrap-electric-motors/31>
- [186] Scrap Metal Prices. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <https://www.greengatemetals.co.uk/scrapmetal/prices/>
- [187] Scrap Motors in Manchester. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <https://www.greengatemetals.co.uk/scrapmetal/Motors.html>
- [188] Severová , M. (2014, July 09). Daňový systém Velké Británie. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.fpr-zcu.cz/clanek/danovy-system-velke-britanie>
- [189] Severová , M. (2014, July 29). Daň z příjmů právnických osob ve Velké Británii. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.fek-zcu.cz/clanek/dan-z-prijmu-pravnickych-osob-ve-velke-britanii>
- [190] Shenzhen, I. (2017). References for company's operation expenses. Retrieved from <http://en.szinvest.gov.cn/assistance/business/cost/>
- [191] Schmid, G., Corain, B. (2003). Nanoparticulated Gold: Syntheses, Structures, Electronics, and Reactivities. *European Journal of Inorganic Chemistry*. 2003. 3081 - 3098. 10.1002/ejic.200300187.
- [192] Skřehot, P., & Rupová, M. (2012, January 31). Nanobezpečnost - fenomén nových technologií. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanobezpečnost-fenomen-novych-technologii.4s>
- [193] Sommer-elso, (2019). Retrieved February 10, 2019, from <https://www.sommer-elso.com/preisliste.php>
- [194] Spain, E. (2013). Northwestern Now. Retrieved from <https://news.northwestern.edu/stories/2013/07/desktop-printing-at-the-nano-level/>

- [195] StandforUni. (2012, November 11). Stanford's touch-sensitive plastic skin heals itself. Retrieved from <https://news.stanford.edu/pr/2012/pr-healing-plastic-skin-111112.html>
- [196] Stark W. J., Pratsinis S. E. (2002). Aerosol flame reactors for manufacture of nanoparticles. *Powder Technology* 126. 103–108 s.
- [197] State of the Market Report. (2015, December 29). Nanotechnology Update: U.S. Leads in Government Spending Amidst Increased Spending Across Asia. Retrieved February 10, 2018, from <https://members.luxresearchinc.com/research/report/18703>
- [198] Statnano. (n.d.). Retrieved February 10, 2018, from <http://statnano.com/>
- [199] Statnano.com. (2014, December 14). Titanium Dioxide Products Available in Market. Retrieved February 10, 2018, from <http://statnano.com/news/48019>
- [200] Stiebrová, B., Žilka, M., Freiberg, F., Hošek, J., & Tichá, M. (2014). Comparative study of nanoparticle production technologies focused on environmental aspect. *Nanocon*. 2 s.
- [201] Šajner, V. (2003). Náklady na životní cyklus zařízení – jejich monitoring a zahrnování do ekonomických výpočtů
- [202] Teoh, W. Y., Amal, R., Madler, L. (2010). Flame spray pyrolysis: An enabling technology for nanoparticles design and fabrication. *Nanoscale* 2. 1324–1347 s.
- [203] Thayer, A. M. (2001). Nanotechnology firms are attracting investors with the promise of a few near-term products. Retrieved February 10, 2018, from <http://pubs.acs.org/cen/topstory/7948/7948bus1.html>
- [204] The Geography of Tragraphy of Transport. (2018, February 25). Maritime Transportation Rates for a 40 Foot Container between Selected Ports, 2010. Retrieved from https://transportgeography.org/?page_id=5582
- [205] Tradingeconomics. (2017). China Average Yearly Wages in Manufacturing 1978-2018 | Data | Chart. Retrieved from <https://tradingeconomics.com/china/wages-in-manufacturing>
- [206] Transparency market research. (2016, March 15). Nanosilver Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2014 - 2020. Retrieved February 10, 2018, from <http://www.transparencymarketresearch.com/global-nanosilver-market.html>
- [207] Turner & Townsend. (2016). International construction market survey 2016. Retrieved from <http://www.turnerandtowntsend.com/media/1518/international-construction-market-survey-2016.pdf>. 30-31, 72-73, 78-79 s.
- [208] Twait, A., & kol. (2016). 50-state property tax comparison study. Saint Paul, MN: Minnesota Center for Fiscal Excellence.
- [209] UC San Diego. (2014). Nanosponges Soak Up Toxins Released by Bacterial Infections and Venom. Retrieved from http://jacobsschool.ucsd.edu/news/news_releases/release.sfe?id=1350

- [210] UNSW. (2015). Nanotech weapon against chronic bacterial infections ... Retrieved from <https://www.bing.com/cr?IG=4474B440136343FCB9F7505C7834BDF8&CID=2BF39D9CD33260990FF9967CD29D6186&rd=1&h=76ajijZHR-jvgNONB8YHEga9o5mjMASG2rqL9dKqK1w&v=1&r=https://newsroom.unsw.edu.au/news/science-tech/nanotech-weapon-against-chronic-bacterial-infections&p=DevEx.LB.1,5066.1>
- [211] UOM. (2013, September 30). Liquid Biopsy Could Improve Cancer Diagnosis and Treatment. States News Service. Retrieved April 29, 2018, from http://www.highbeam.com/doc/1G1-344357265.html?refid=easy_hf
- [212] Vance, M. E., Kuiken, T., Vejerano, E. P., McGinnis, S. P., Jr., M. F., Rejeski, D., & Hull, M. S. (2015, August 21). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.beilstein-journals.org/bjnano/articles/6/181>
- [213] Various Analysts. (2014, December). 2014 Nanotechnology Research Review. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.bccresearch.com/market-research/nanotechnology/2014-nanotechnology-research-review-report-nan047f.html>
- [214] Verhulst D., Sabacky B.J., Spitler T.M. Prochazka, J. (2006). A new process for the production of nano-sized TiO₂ and other ceramic oxides by spray hydrolysis. <http://www.b2i.cc/document/546/a2003-02-25verhulst.pdf>. 8 s.
- [215] Viehmann, S. (2013, August 07). Was die Autohersteller an einem Wagen verdienen. Retrieved March 05, 2018, from https://www.focus.de/auto/news/autoabsatz/tid-32779/profit-koeniger-autohersteller-was-die-autobauer-an-einem-wagen-verdienen_aid_1064782.html
- [216] Vogel, A. (2015, August 10). How design process influences healthcare life cycle costs. Retrieved from <http://array-architects.com/how-design-process-influences-healthcare-life-cycle-costs/>
- [217] Vůjtek, M. (2017). Základy nanotechnologií - přednášky. Retrieved from <https://fyzika.upol.cz/cs/predmety-kef-slo/zaklady-nanotechnologii>. 6 s.
- [218] Walter-leasing, (2019). Retrieved January 10, 2019, from https://www.walter-leasing.com/cz/cs?gclid=EAIaIQobChMI4dGs_mn4QIVleN3Ch1gaw1HEAAYASAAEgIBsFD_BwE
- [219] Waste disposal fees. (2017, March 20). Retrieved February 10, 2018, from <http://www.scmp.com/news/hong-kong/health-environment/article/2080508/11-cents-dump-1-litre-trash-hong-kong-government>
- [220] Waste disposal fees. (2017, November 04). Retrieved February 10, 2018, from <https://www.london.ca/residents/Garbage-Recycling/Garbage/Pages/Waste-Disposal-Fees.aspx>
- [221] Wegner, K., Schimmöller, B., Thiebaut, B., Fernandez, C., & Rao, T. N. (2011). Pilot Plants for Industrial Nanoparticle Production by Flame Spray Pyrolysis. *KONA Powder and Particle Journal*, 29(0). doi:10.14356/kona.2011025. 251-265 s.
- [222] Weight limitation. (2016, February 24). Retrieved February 10, 2018, from <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache%3ABFKJzy96JW0J%3Ahttps%3A%2F%2Fwww.mcc.com.sg%2F-%2Fmedia%2Fmcc%2Fdocuments%2Fvn%2Fweight-limitation--may-18-2016.xlsx%3Fla%3Den%2B&cd=9&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=firefox-b>
- [223] Went, R.P.F., & Cabrera, E. (2003). Pumps, electromechanical devices and systems applied to urban water management. Lisse: A.A. Balkema. 499-509 s.

- [224] Wildenberg, W. (2006, January). Nanoroadmap project. Retrieved from <https://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report74.pdf>. 16-20 s.
- [225] Williams, M. (2012, August 23). Nanoparticles reboot blood flow in brain. Retrieved from <https://www.sciencedaily.com/releases/2012/08/120823161919.htm>
- [226] Worldbank. (2017). Customs and other import duties (% of tax revenue). Retrieved February 10, 2018, from <https://data.worldbank.org/indicator/GC.TAX.IMPT.ZS?end=2015&locations=CN-GB-US&start=2000&view=chart>
- [227] WPI. (2016). WPI Researchers Build "Liquid Biopsy" Chip that Detects Metastatic Cancer Cells in a Drop of Blood. Retrieved from <https://www.wpi.edu/news/wpi-researchers-build-liquid-biopsy-chip-detects-metastatic-cancer-cells-drop-blood>
- [228] Xue, A. (2011). Nanotechnology Funding: Corporations Grab the Reins. 29 s.
- [229] Yongjing, Q. (2018, October 10). China to lower industrial land prices to boost investment. Retrieved February 10, 2018, from <http://english.cctv.com/20090515/102422.shtml>
- [230] Zaman, M., Ahmad, E., Qadeer, A., Rabbani, G., & Khan, R. H. (2014, February 12). Nanoparticles in relation to peptide and protein aggregation. Retrieved February 10, 2018, from <https://www.dovepress.com/nanoparticles-in-relation-to-peptide-and-protein-aggregation-peer-reviewed-fulltext-article-IJN>
- [231] Zhang, F. (2015). "Wet" Chemical Synthesis and Manipulation of Upconversion Nanoparticles. 21-71. 10.1007/978-3-662-45597-5_2.
- [232] Zhang, Q., Mochalin, V. N., Neitzel, I., Knoke, I. Y., Han, J., Klug, C. A., . . . Gogotsi, Y. (2011). Fluorescent PLLA-nanodiamond composites for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 32(1), 87-94. doi:10.1016/j.biomaterials.2010.08.090
- [233] Zhou, Y., Kong, Y., Kundu, S., Cirillo, J. D., & Liang, H. (2012, May 06). Antibacterial activities of gold and silver nanoparticles against *Escherichia coli* and *Bacillus Calmette-Guérin*. Retrieved February 14, 2018, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22559747>
- [234] Zralý, M. (2008). Řízení nákladů - Sbírká úloh. Praha: Vydavatelství ČVUT. 28, 31 s.
- [235] Technická norma ISO/TS 27687
- [236] Technická norma ISO 15 686
- [237] Technická norma ČSN EN 60300-3-3
- [238] Technická norma ČSN EN 60300-3-14

Seznam vlastních publikací

- [239] Findová, Š., & Prajer, M. (2013). Latentní ztráty ve vnitropodnikovém řízení. Mezinárodní Masarykova konference pro doktorandy a mladé vědecké pracovníky. Hradec Králové: Magnanimitas. 4. vyd. 2013. ISBN 978-80-87952-00-9, s. 1598-1606
- [240] Freiberg, F., Tichá, M., Žilka, M., Stieberova, B., Vlachý, J., & Prajer, M. (2016). SHYMAN Deliverable D6.5 Report - Full cost model of the hydrothermal synthesis process Manual for the SHYMAN Full Cost Model. Call topic: NMP.2011.1.4-1; Grant agreement nr: 280983, s. 1-30
- [241] Freiberg, F., Tichá, M., Žilka, M., Stieberová, B., Vlachý, J., Prajer, M., Joossens, E. (2016). SHYMAN Deliverable D6.4 Report - Identification of potentially high environmental and economic impacts of the hydrothermal synthesis process. Call topic: NMP.2011.1.4-1; Grant agreement nr: 280983, s. 1-212
- [242] Prajer, M. (2012). Model for evaluation of investments. Studentská tvůrčí činnost 2012. Praha: ČVUT v Praze, fakulta strojní. ISBN 978-80-01-05032-3, s. 1-34
- [243] Prajer, M. (2013). LCC analysis of hydrothermal synthesis of nanomaterials. Studentská tvůrčí činnost 2013. Praha: ČVUT v Praze fakulta strojní. ISBN 978-80-01-05232-7, s. 1-6
- [244] Prajer, M. (2014). Model hodnocení výrobní fáze životního cyklu produktu v podniku. Studentská tvůrčí činnost 2014. Praha: ČVUT v Praze fakulta strojní. ISBN 978-80-01-05484-0, s. 1-6
- [245] Prajer, M. (2017). Perspektivy trhu se stříbrnými nanočásticemi a jejich charakteristika. Konference Albina Bráfa. Praha: MÚVS ČVUT v Praze. ISBN 978-80-01-06156-5, s. 168-173
- [246] Prajer, M. (2018). Gravitační efekt mezinárodního obchodu v kontextu logistických nákladů. Konference inteligentní výroba v digitální ekonomice 2018. Brno, ISBN 978-80-261-0802-3, s. 101-108
- [247] Prajer, M. (2019). Methodology for predicting the transport costs of a product during the life cycle of a production device. Studentská tvůrčí činnost 2019. Praha: ČVUT v Praze, fakulta strojní. ISBN 978-80-01-06564-8, s. 1-5
- [248] Prajer, M. (2019). Metoda řízení rizika pro odhad vstupních nákladů kalkulace life cycle costing. Konference Albina Bráfa. Praha: MÚVS ČVUT v Praze. ISBN 978-80-01-06584-6, s. 91-96
- [249] Prajer, M., Freiberg, F. (2018). Ekonomické hodnocení životního cyklu zařízení pro výrobu nanočástic na bázi hydrotermální syntézy. Konference inteligentní výroba v digitální ekonomice 2018. Brno, ISBN 978-80-261-0802-3, s. 109-117
- [166] Tichá, M., Žilka, M., Stiebrová, B., Prajer, M., & Freiberg, F. (2018). Environmentální a ekonomické hodnocení nanomateriálů. Entecho. doi:10.3260/entecho.2017.12.001, s. 20-25

Účast na konferenci

Prajer, M. (2012). Model for evaluation of investments. Konference Krakov. Krakov.

Příloha 1. Vstupní data výpočtů pro stát USA a Velká Británie (ISC – index spotřebitelských cen; WK – směnný kurz)

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Zdroj |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| USA | | | | | | | | | | | | | |
| Elektřina | 3,15 pence/kWh | 3,35 pence/kWh | 3,20 pence/kWh | 3,73 pence/kWh | 4,37 pence/kWh | 4,40 pence/kWh | 4,25 pence/kWh | 4,21 pence/kWh | 4,38 pence/kWh | 4,31 pence/kWh | 4,52 pence/kWh | 5,00 pence/kWh | [51] |
| Zemní plyn | 8,78 \$/BTU | 6,76 \$/BTU | 6,95 \$/BTU | 8,85 \$/BTU | 3,89 \$/BTU | 4,39 \$/BTU | 4,01 \$/BTU | 2,76 \$/BTU | 3,71 \$/BTU | 4,35 \$/BTU | 2,60 \$/BTU | 2,46 \$/BTU | [16] |
| Voda | 921 \$/100tG | 940 \$/100tG | 902 \$/100tG | 884 \$/100tG | 921 \$/100tG | 921 \$/100tG | 893 \$/100tG | 931 \$/100tG | 959 \$/100tG | 968 \$/100tG | 1 062 \$/100tG | 1 062 \$/100tG | [1] |
| Průměrná mzda | 54 432 \$/y | 55 243 \$/y | 56 439 \$/y | 56 233 \$/y | 56 610 \$/y | 57 013 \$/y | 57 176 \$/y | 57 653 \$/y | 57 369 \$/y | 58 219 \$/y | 59 961 \$/y | 60 154 \$/y | [150] |
| Odměny | 2 751 \$/y | 2 792 \$/y | 2 852 \$/y | 2 842 \$/y | 2 861 \$/y | 2 881 \$/y | 2 890 \$/y | 2 914 \$/y | 2 899 \$/y | 2 942 \$/y | 3 030 \$/y | 3 040 \$/y | [143] |
| Pozemek | 19 \$/m2 | 19 \$/m2 | 18 \$/m2 | 18 \$/m2 | 19 \$/m2 | 19 \$/m2 | 18 \$/m2 | 19 \$/m2 | 20 \$/m2 | 20 \$/m2 | 22 \$/m2 | 22 \$/m2 | [95] |
| Výstavba | 619 \$/m2 | 632 \$/m2 | 607 \$/m2 | 594 \$/m2 | 619 \$/m2 | 619 \$/m2 | 600 \$/m2 | 626 \$/m2 | 644 \$/m2 | 651 \$/m2 | 714 \$/m2 | 714 \$/m2 | [207] |
| Pronájem haly | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,68 \$/s.f. | 5,87 \$/s.f. | 7,34 \$/s.f. | 6,85 \$/s.f. | [207] |
| Inflace | 3,39% | 3,23% | 2,85% | 3,84% | -0,29% | 1,64% | 3,15% | 2,07% | 1,46% | 1,62% | 0,15% | 1,26% | [147] |
| Odvody zaměstnavatele | - | - | - | - | 7,65% | 7,65% | 7,65% | 7,65% | 7,65% | 7,65% | 7,65% | 7,65% | [152] |
| Clo a poplatky | 1,82% | 1,71% | 1,76% | 1,93% | 2,02% | 2,22% | 2,14% | 2,11% | 2,01% | 1,95% | 1,85% | 1,80% | [226] |
| ISC | 98 | 100 | 96 | 94 | 98 | 98 | 95 | 99 | 102 | 103 | 113 | 113 | [148] |
| WK | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | 1,00 \$ | [146] |
| UK | | | | | | | | | | | | | |
| Elektřina | 4,77 pence/kWh | 6,35 pence/kWh | 6,49 pence/kWh | 7,97 pence/kWh | 8,61 pence/kWh | 7,84 pence/kWh | 8,08 pence/kWh | 8,47 pence/kWh | 8,89 pence/kWh | 9,38 pence/kWh | 9,50 pence/kWh | 9,28 pence/kWh | [51] |
| Zemní plyn | 7,38 \$/BTU | 7,87 \$/BTU | 6,01 \$/BTU | 10,79 \$/BTU | 4,85 \$/BTU | 6,56 \$/BTU | 9,04 \$/BTU | 9,46 \$/BTU | 10,64 \$/BTU | 8,25 \$/BTU | 6,53 \$/BTU | 4,69 \$/BTU | [16] |
| Voda | 3,63 £/m3 | 3,68 £/m3 | 3,91 £/m3 | 3,48 £/m3 | 3,11 £/m3 | 3,05 £/m3 | 3,11 £/m3 | 3,14 £/m3 | 3,17 £/m3 | 3,37 £/m3 | 3,42 £/m3 | 3,05 £/m3 | [7] |
| Průměrná mzda | 41 471 \$/y | 42 775 \$/y | 43 959 \$/y | 42 836 \$/y | 43 561 \$/y | 43 447 \$/y | 42 469 \$/y | 42 330 \$/y | 42 058 \$/y | 41 878 \$/y | 42 304 \$/y | 42 835 \$/y | [150] |
| Odměny | 2 096 \$/y | 2 162 \$/y | 2 222 \$/y | 2 165 \$/y | 2 201 \$/y | 2 196 \$/y | 2 146 \$/y | 2 139 \$/y | 2 126 \$/y | 2 116 \$/y | 2 138 \$/y | 2 165 \$/y | [143] |
| Pozemek | 265 £/m2 | 269 £/m2 | 286 £/m2 | 254 £/m2 | 227 £/m2 | 223 £/m2 | 227 £/m2 | 229 £/m2 | 231 £/m2 | 246 £/m2 | 250 £/m2 | 223 £/m2 | [102] |
| Výstavba | 874 £/m2 | 888 £/m2 | 943 £/m2 | 839 £/m2 | 749 £/m2 | 735 £/m2 | 749 £/m2 | 756 £/m2 | 763 £/m2 | 811 £/m2 | 825 £/m2 | 735 £/m2 | [207] |
| Pronájem haly | 89 £/m2 | 91 £/m2 | 97 £/m2 | 86 £/m2 | 77 £/m2 | 75 £/m2 | 77 £/m2 | 77 £/m2 | 78 £/m2 | 83 £/m2 | 84 £/m2 | 75 £/m2 | [102] |
| Inflace | 2,04% | 2,32% | 2,34% | 3,61% | 2,18% | 3,31% | 4,48% | 2,84% | 2,57% | 1,46% | 0,07% | 0,68% | [147] |
| Odvody zaměstnavatele | - | - | - | - | 12,80% | 12,80% | 13,80% | 13,80% | 13,80% | 13,80% | 13,80% | 13,80% | [152] |
| Clo a poplatky | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 5,30% | 5,30% | [52] |
| ISC | 126 | 128 | 136 | 121 | 108 | 106 | 108 | 109 | 110 | 117 | 119 | 106 | [148] |
| WK | 0,55 £ | 0,54 £ | 0,50 £ | 0,54 £ | 0,64 £ | 0,65 £ | 0,62 £ | 0,63 £ | 0,64 £ | 0,61 £ | 0,65 £ | 0,74 £ | [146] |

Příloha 2. Vstupní data výpočtů pro stát Česká republika a Čína (ISC – index spotřebitelských cen; WK – směnný kurz)

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | Zdroj |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|
| ČR | | | | | | | | | | | | | |
| Elektřina | 4,43 pence/kWh | 5,10 pence/kWh | 5,76 pence/kWh | 8,25 pence/kWh | 9,47 pence/kWh | 9,32 pence/kWh | 9,97 pence/kWh | 9,14 pence/kWh | 9,53 pence/kWh | 7,46 pence/kWh | 6,39 pence/kWh | 6,58 pence/kWh | [51] |
| Zemní plyn | 5,83 \$/BTU | 7,87 \$/BTU | 7,99 \$/BTU | 11,60 \$/BTU | 8,53 \$/BTU | 8,03 \$/BTU | 10,49 \$/BTU | 10,93 \$/BTU | 10,73 \$/BTU | 9,11 \$/BTU | 6,72 \$/BTU | 4,93 \$/BTU | [32] |
| Voda | 83,76 Kč/m3 | 90,86 Kč/m3 | 96,54 Kč/m3 | 109,31 Kč/m3 | 99,38 Kč/m3 | 99,38 Kč/m3 | 102,22 Kč/m3 | 95,12 Kč/m3 | 93,70 Kč/m3 | 89,44 Kč/m3 | 83,76 Kč/m3 | 85,18 Kč/m3 | [24] |
| Průměrná mzda | 20 105 \$/y | 20 939 \$/y | 21 584 \$/y | 21 535 \$/y | 21 496 \$/y | 21 996 \$/y | 22 314 \$/y | 22 266 \$/y | 22 028 \$/y | 22 495 \$/y | 23 003 \$/y | 23 772 \$/y | [150] |
| Odměny | 1 016 \$/y | 1 058 \$/y | 1 091 \$/y | 1 088 \$/y | 1 086 \$/y | 1 112 \$/y | 1 128 \$/y | 1 125 \$/y | 1 113 \$/y | 1 137 \$/y | 1 163 \$/y | 1 201 \$/y | [143] |
| Pozemek | 1 849 Kč/m2 | 2 006 Kč/m2 | 2 131 Kč/m2 | 2 413 Kč/m2 | 2 194 Kč/m2 | 2 194 Kč/m2 | 2 256 Kč/m2 | 2 100 Kč/m2 | 2 068 Kč/m2 | 1 974 Kč/m2 | 1 849 Kč/m2 | 1 880 Kč/m2 | [124] |
| Výstavba | 14 259 Kč/m2 | 15 467 Kč/m2 | 16 434 Kč/m2 | 18 609 Kč/m2 | 16 917 Kč/m2 | 16 917 Kč/m2 | 17 401 Kč/m2 | 16 192 Kč/m2 | 15 951 Kč/m2 | 15 226 Kč/m2 | 14 259 Kč/m2 | 14 501 Kč/m2 | [207] |
| Pronájem haly | 4,0 €/m2 | 4,3 €/m2 | 4,6 €/m2 | 5,2 €/m2 | 4,7 €/m2 | 4,7 €/m2 | 4,8 €/m2 | 4,5 €/m2 | 4,4 €/m2 | 4,2 €/m2 | 4,0 €/m2 | 4,0 €/m2 | [164] |
| Inflace | 1,86% | 2,54% | 2,85% | 6,37% | 1,02% | 1,47% | 1,92% | 3,29% | 1,44% | 0,34% | 0,31% | 0,68% | [147] |
| ISC | 59 | 64 | 68 | 77 | 70 | 70 | 72 | 67 | 66 | 63 | 59 | 60 | [148] |
| Odvody zaměstnavatele | - | - | - | - | 35,00% | 34,00% | 34,00% | 34,00% | 34,00% | 34,00% | 34,00% | 34,00% | [152] |
| WK Kč | 23,96 Kč | 22,60 Kč | 20,29 Kč | 17,07 Kč | 19,06 Kč | 19,10 Kč | 17,70 Kč | 19,58 Kč | 19,57 Kč | 20,76 Kč | 24,60 Kč | 24,44 Kč | [146] |
| CH | | | | | | | | | | | | | |
| Elektřina | - | - | - | - | 0,50 CNY/kWh | 0,57 CNY/kWh | 0,64 CNY/kWh | 0,71 CNY/kWh | 0,77 CNY/kWh | 0,84 CNY/kWh | 0,91 CNY/kWh | 0,98 CNY/kWh | [70] |
| Zemní plyn | 6,05 \$/BTU | 7,14 \$/BTU | 7,73 \$/BTU | 12,55 \$/BTU | 9,06 \$/BTU | 10,91 \$/BTU | 14,73 \$/BTU | 16,75 \$/BTU | 16,17 \$/BTU | 16,33 \$/BTU | 10,31 \$/BTU | 6,94 \$/BTU | [16] |
| Voda | 2,30 CNY/m3 | 2,44 CNY/m3 | 2,57 CNY/m3 | 2,91 CNY/m3 | 3,05 CNY/m3 | 3,25 CNY/m3 | 3,52 CNY/m3 | 3,72 CNY/m3 | 3,92 CNY/m3 | 3,99 CNY/m3 | 4,26 CNY/m3 | 4,06 CNY/m3 | [190] |
| Průměrná mzda | - | - | 20 884 CNY/y | 24 192 CNY/y | 26 599 CNY/y | 30 700 CNY/y | 36 665 CNY/y | 41 650 CNY/y | 46 431 CNY/y | 51 369 CNY/y | 59 470 CNY/y | 68 351 CNY/y | [205] |
| Odměny | - | - | 1 055 CNY/y | 1 223 CNY/y | 1 344 CNY/y | 1 551 CNY/y | 1 853 CNY/y | 2 105 CNY/y | 2 347 CNY/y | 2 596 CNY/y | 3 005 CNY/y | 3 454 CNY/y | [143] |
| Pozemek | 409 CNY/m2 | 433 CNY/m2 | 457 CNY/m2 | 517 CNY/m2 | 541 CNY/m2 | 577 CNY/m2 | 625 CNY/m2 | 661 CNY/m2 | 697 CNY/m2 | 709 CNY/m2 | 757 CNY/m2 | 721 CNY/m2 | [229] |
| Výstavba | 1 303 CNY/m2 | 1 380 CNY/m2 | 1 457 CNY/m2 | 1 648 CNY/m2 | 1 725 CNY/m2 | 1 840 CNY/m2 | 1 993 CNY/m2 | 2 108 CNY/m2 | 2 223 CNY/m2 | 2 262 CNY/m2 | 2 415 CNY/m2 | 2 300 CNY/m2 | [207] |
| Pronájem haly | 22 CNY/m2 | 24 CNY/m2 | 25 CNY/m2 | 28 CNY/m2 | 29 CNY/m2 | 31 CNY/m2 | 34 CNY/m2 | 36 CNY/m2 | 38 CNY/m2 | 39 CNY/m2 | 41 CNY/m2 | 39 CNY/m2 | [46] |
| Inflace | 1,82% | 1,47% | 4,77% | 5,90% | -0,68% | 3,33% | 5,42% | 2,65% | 2,63% | 1,99% | 1,44% | 2,01% | [147] |
| Odvody zaměstnavatele | - | - | - | - | 43,50% | 44,00% | 44,00% | 44,00% | 34,80% | 35,00% | 35,00% | 35,00% | [152] |
| Clo a poplatky | 6,73% | 5,82% | 5,50% | 5,55% | 4,20% | 4,88% | 5,14% | 5,11% | 4,55% | 4,64% | 4,30% | 4,16% | [226] |
| ISC | 34 | 36 | 38 | 43 | 45 | 48 | 52 | 55 | 58 | 59 | 63 | 60 | [148] |
| WK | 8,19 CNY | 7,97 CNY | 7,61 CNY | 6,95 CNY | 6,83 CNY | 6,77 CNY | 6,46 CNY | 6,31 CNY | 6,20 CNY | 6,14 CNY | 6,23 CNY | 6,64 CNY | [146] |

Příloha 3. Nejčastější nákladové položky životního cyklu, sloupec Komb. členění uvádí nejpravděpodobnější zařazená nákladové položky dle kombinovaného členění (kombinované členění nákladů – kombinace kalkulačního a kapacitního členění nákladů; P – přímé; N – nepřímé; F – fixní; V – variabilní); Pozn.: Zařazení nákladů je pouze orientační a v praxi se může lišit.

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|---|------------------------------------|---------------|
| Etapa koncepce | | |
| Průzkum trhu | Vývojové náklady | PF |
| Mzdové náklady vedení projektu | Vývojové náklady | PF |
| Náklady na analýzu koncepce | Vývojové náklady | PF |
| Náklady na návrh produktu | Vývojové náklady | PF |
| Etapa vývoje | | |
| Náklady na řízení programu | Vývojové náklady | PF |
| Náklady na výzkum | Vývojové náklady | PF |
| Konstrukční náklady | Vývojové náklady | PF |
| Náklady na testy | Vývojové náklady | PF |
| Náklady na technická data | Vývojové náklady | PF |
| Mzdové náklady vedení projektu | Vývojové náklady | PF |
| Technické práce na návrhu | Vývojové náklady | PF |
| Návrh dokumentace | Vývojové náklady | PF |
| Zhotovení prototypu | Vývojové náklady | PF |
| Vývoj software | Vývojové náklady | PF |
| Zkoušky | Vývojové náklady | PF |
| Konstrukční práce | Vývojové náklady | PF |
| Volba prodejce | Vývojové náklady | PF |
| Validace | Vývojové náklady | PF |
| Management jakosti | Vývojové náklady | PF |
| Etapa výroby a instalace | | |
| Investiční náklady | Pořizovací náklady | PF |
| Náklady na prostor | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Provozní náklady budovy (topení, energie, plyn, ostraha, úklid) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Oprava a údržba budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostraha budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Úklid budovy a likvidaci odpadu | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pojištění budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Daň z nemovitosti (pozemku) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Daň z nemovitosti (budovy) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pronájem a provoz budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Výrobní zařízení, hardware a software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy zařízení | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|--|------------------------------------|---------------|
| Etapa výroby a instalace | | |
| Údržba zařízení | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy hardware | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Nájemné za hardware a software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Údržba hardware | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Údržba (upgrade) software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Drobné vybavení hardware a software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Režijní materiál pro hardware | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady na lidské zdroje mzdové náklady | Pořizovací náklady | NF |
| Osobní náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odměny tech. pracovníci | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odměny management | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Školení | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Osobní pracovní vybavení pracovníka | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady na dopravní prostředky | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Nájemné (operativní leasing) dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Oprava a údržba dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pohonné hmoty | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pojištění dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní náklady spojené s vlastnictvím dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Výfaje na služby nezbytné pro fungování podniku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Telekomunikační služby a internet | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady na financování podniku a finanční služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady kapitálu (provozní, investiční úvery) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní finanční náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Audit a účetní služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Právní služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|---|------------------------------------|---------------|
| Etapa výroby a instalace | | |
| Právní regulace | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Cestovní náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Laboratorní testy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Marketing a distribuce | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Vodné a stočné | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Provozní výrobní náklady | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Elektřina | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Zemní plyn | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Náklady na výrobní vstupy | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Materiál, chemikálie, provozní kapaliny apod. | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Náklady na logistiku | Transportní náklady | PV |
| Transport materiálu od dodavatele | Transportní náklady | PV |
| Transport k odběrateli | Transportní náklady | PV |
| Clo | Transportní náklady | PV |
| Náklady na údržbu | Pořizovací náklady | NF |
| Jednorázové | Pořizovací náklady | NF |
| Průmyslové inženýrství | Pořizovací náklady | NF |
| Procesní analýza | Pořizovací náklady | NF |
| Konstrukce vybavení | Pořizovací náklady | NF |
| Vybavení pracovními nástroji | Pořizovací náklady | NF |
| Podpůrné zařízení | Pořizovací náklady | NF |
| Náhradní díly | Pořizovací náklady | NF |
| Zkušební zařízení | Pořizovací náklady | NF |
| Počáteční zácvik | Pořizovací náklady | NF |
| Dokumentace | Pořizovací náklady | NF |
| Software | Pořizovací náklady | NF |
| Schvalovací zkoušky | Pořizovací náklady | NF |
| Opakované | Pořizovací náklady | NF |
| Management výroby | Pořizovací náklady | NF |
| Údržba | Pořizovací náklady | NF |
| Zhotovení | Pořizovací náklady | NF |
| Řízení a kontrola jakosti | Pořizovací náklady | NF |
| Instalace | Pořizovací náklady | NF |
| Montáž | Pořizovací náklady | NF |
| Výstupní kontrola | Pořizovací náklady | NF |
| Balení | Pořizovací náklady | NF |
| Skladování | Pořizovací náklady | NF |
| Expedice a přeprava | Pořizovací náklady | NF |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|---|------------------------------------|---------------|
| Etapa výroby a instalace | | |
| Zaškolení | Pořizovací náklady | NF |
| Průběžná školení | Pořizovací náklady | NF |
| Etapa provozu a údržby | | |
| Investiční náklady | Pořizovací náklady | NF |
| Náklady na prostor | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Provozní náklady budovy (topení, energie, plyn, ostraha, úklid) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Oprava a údržba budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostraha budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Úklid budovy a likvidaci odpadu | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pojištění budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Daň z nemovitosti (pozemku) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Daň z nemovitosti (budovy) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pronájem a provoz budovy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Výrobní zařízení, hardware a software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy zařízení | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Údržba zařízení | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy hardware | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Nájemné za hardware a software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Údržba hardware | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Údržba (upgrade) software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Drobné vybavení hardware a software | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Režijní materiál pro hardware | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady na lidské zdroje mzdové náklady | Pořizovací náklady | NF |
| Osobní náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odměny tech. pracovníci | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odměny management | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Školení | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|--|------------------------------------|---------------|
| Etapa provozu a údržby | | |
| Osobní pracovní vybavení pracovníka | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady na dopravní prostředky | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Odpisy dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Nájemné (operativní leasing) dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Oprava a údržba dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pohonné hmoty | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Pojištění dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní náklady spojené s vlastnictvím dopravního prostředku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Výfaje na služby nezbytné pro fungování podniku | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Telekomunikační služby a internet | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady na financování podniku a finanční služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Náklady kapitálu (provozní, investiční úvery) | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní finanční náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Audit a účetní služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Právní služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Právní regulace | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Cestovní náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Laboratorní testy | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Marketing a distribuce | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní služby | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Ostatní náklady | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Vodné a stočné | Náklady na zdroje a jejich užívání | NF |
| Provozní výrobní náklady | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Elektřina | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Zemní plyn | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Náklady na výrobní vstupy | Přímé nákladů procesu výroby | PV |
| Materiál, chemikálie, provozní kapaliny apod. | Přímé nákladů procesu výroby | PV |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|--------------------------------------|----------------------|---------------|
| Etapa provozu a údržby | | |
| Náklady na logistiku | Transportní náklady | PV |
| Transport materiálu od dodavatele | Transportní náklady | PV |
| Transport k odběrateli | Transportní náklady | PV |
| Clo | Transportní náklady | PV |
| Náklady na údržbu | Náklady spolehlivost | - |
| Náklady na externě prováděnou údržbu | Náklady spolehlivost | PF |
| Náklady na interně prováděnou údržbu | Náklady spolehlivost | - |
| Náklady na prostory | Náklady spolehlivost | PF |
| Náklady na HW | Náklady spolehlivost | PF |
| Náklady na SW | Náklady spolehlivost | PF |
| Náklady na údržbu po poruše | Náklady spolehlivost | - |
| Úsržba po poruše na místě | Náklady spolehlivost | - |
| Jednorázové | Náklady spolehlivost | - |
| Zkušebního zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Nástroje | Náklady spolehlivost | PF |
| Náhradní díly | Náklady spolehlivost | NF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Vybavení | Náklady spolehlivost | PF |
| Školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Opakované | Náklady spolehlivost | PF |
| Pracovníci | Náklady spolehlivost | PF |
| Průběžná školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Úsržba po poruše v dílně | Náklady spolehlivost | PF |
| Jednorázové | Náklady spolehlivost | PF |
| Zkušebního zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Nástroje | Náklady spolehlivost | PF |
| Náhradní díly | Náklady spolehlivost | PF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Vybavení | Náklady spolehlivost | PF |
| Školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Opakované | Náklady spolehlivost | PF |
| Pracovníci | Náklady spolehlivost | PF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Průběžná školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Ztráta výroby a odpovědnosti | Náklady spolehlivost | NF |
| Náklady na sankce a záruky | Náklady spolehlivost | NF |
| Náklady na preventivní údržbu | Náklady spolehlivost | - |
| Úsržba po poruše na místě | Náklady spolehlivost | - |
| Jednorázové | Náklady spolehlivost | PF |
| Zkušebního zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Nástroje | Náklady spolehlivost | PF |
| Vybavení | Náklady spolehlivost | PF |
| Školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Opakované | Náklady spolehlivost | - |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|---------------------------------|----------------------|---------------|
| Etapu provozu a údržby | | |
| Pracovníci | Náklady spolehlivost | PF |
| Náhradní díly | Náklady spolehlivost | NF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Průběžná školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Úsržba po poruše v dílně | Náklady spolehlivost | - |
| Jednorázové | Náklady spolehlivost | PF |
| Zkušebního zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Nástroje | Náklady spolehlivost | PF |
| Vybavení | Náklady spolehlivost | PF |
| Školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Opakované | Náklady spolehlivost | - |
| Pracovníci | Náklady spolehlivost | PF |
| Náhradní díly | Náklady spolehlivost | NF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Průběžná školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Ztráta výroby a odpovědnosti | Náklady spolehlivost | NF |
| Náklady na sankce a záruky | Náklady spolehlivost | NF |
| Náklady na diagnostickou údržbu | Náklady spolehlivost | - |
| Úsržba po poruše na místě | Náklady spolehlivost | - |
| Jednorázové | Náklady spolehlivost | PF |
| Zkušebního zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Diagnostického zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Nástroje | Náklady spolehlivost | PF |
| Vybavení | Náklady spolehlivost | PF |
| Školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Opakované | Náklady spolehlivost | - |
| Pracovníci | Náklady spolehlivost | PF |
| Náhradní díly | Náklady spolehlivost | NF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Průběžná školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Úsržba po poruše v dílně | Náklady spolehlivost | PF |
| Jednorázové | Náklady spolehlivost | PF |
| Zkušebního zařízení | Náklady spolehlivost | PF |
| Nástroje | Náklady spolehlivost | PF |
| Vybavení | Náklady spolehlivost | PF |
| Školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Opakované | Náklady spolehlivost | - |
| Pracovníci | Náklady spolehlivost | PF |
| Náhradní díly | Náklady spolehlivost | NF |
| Spotřební materiál | Náklady spolehlivost | PF |
| Průběžná školení | Náklady spolehlivost | PF |
| Dokumentace | Náklady spolehlivost | PF |
| Ztráta výroby a odpovědnosti | Náklady spolehlivost | NF |

| Nákladová položka | Druh | Komb. členění |
|--|----------------------|---------------|
| Etapa provozu a údržby | | |
| Náklady na sankce a záruky | Náklady spolehlivost | NF |
| Investiční náklady na údržbu | Náklady spolehlivost | NF |
| Náklady prostožů | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady neefektivní výroby kvůli snížené produktivitě zařízení | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady na neshodné výrobky | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady na záruční opravy produktů | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady z odpovědnosti za škody | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady způsobené ztrátou příjmů | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady na zajištění alternativní služby | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady ze ztráty image | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady ze ztráty reputace a prestiže | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady na penále z prodlení | Vyvolané náklady | NF |
| Náklady vázanosti kapitálu | Vyvolané náklady | NF |
| Nadbytečné stroje | Vyvolané náklady | NF |
| Náhradní díly | Vyvolané náklady | NF |
| Rozpracovaná výroba | Vyvolané náklady | NF |
| Hotové výrobky | Vyvolané náklady | NF |
| Etapa vypořádání | | |
| Náklady na likvidaci | Náklady na likvidaci | N/PF |
| Odstavení systému | Náklady na likvidaci | N/PF |
| Ukončení provozu | Náklady na likvidaci | N/PF |
| Rozebrání a odklizení | Náklady na likvidaci | N/PF |
| Recyklace | Náklady na likvidaci | N/PF |
| Likvidace | Náklady na likvidaci | N/PF |

Příloha 4. Komplexní model stanovení nákladů na životní cyklus výroby nanomateriálů.

Model je přiložen na CD.

Obsah CD:

- 1) FCM model + stručný návod na využívání.
- 2) WLC model
- 3) Nástroj MPTN
- 4) Nástroj KMRP