

**Univerzita Pardubice**  
Fakulta ekonomicko-správní  
Ústav podnikové ekonomiky a managementu

**Informační management staveb (BIM)  
v podmínkách ČR**

Diplomová práce

**Bc. Jakub Karlíček**  
2020

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Karlíček**  
Osobní číslo: **E18534**  
Studijní program: **N6208 Ekonomika a management**  
Studijní obor: **Ekonomika a management podniku**  
Téma práce: **Informační management staveb (BIM) v podmínkách ČR**  
Zadávací katedra: **Ústav matematiky a kvantitativních metod**

### Zásady pro vypracování

Cíl práce: záměrem práce je ověřit platnost teoretických předpokladů pro implementaci BIM, kvantifikovat vliv zaváděných procesních inovací na průběh nákladů v životním cyklu stavební investice a určit výši možných úspor v nákladech na vybraných pilotních projektech, realizovaných v České republice.

Osnova práce:

- Teoretická část.
- Průběh nákladů v životním cyklu.
- Analýza dat z pilotních projektů.
- Vyhodnocení.

Rozsah pracovní zprávy: **50**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

GERBERT, Philipp, Santiago CASTAGINO, Christoph ROTHBALLER, Andreas RENZ a Rainer FILITZ. The Boston Consulting Group, Inc. Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling. 1. vyd. Mnichov, 2016.  
MÁČE, Miroslav. Finanční analýza investičních projektů: praktické příklady a použití. Praha: Grada, 2006. Finanční řízení. ISBN 80-247-1557-0.  
MISHAN, E. J. a Euston QUAH. Cost-benefit analysis. 5th ed. New York: Routledge, 2007. ISBN 978-0415349918.  
SYNEK, Miloslav. Manažerská ekonomika. 4., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2007. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-1992-4.  
TOMANOVÁ, Štěpánka, Jaroslav NECHYBA, Barbora POSPÍŠILOVÁ, Petr MATĚJKA a Roman VORÁČ. Příručka BIM pro investory. 1. Praha: Odborná rada pro BIM, 2018. ISBN 978-80-907251-0-2.  
TROTT, Paul. Innovation management and new product development. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Financial Times Prentice Hall, 2005. ISBN 0-273-68643-7.  
TRUNEČEK, Jan. Znalostní podnik ve znalostní společnosti. Praha: Professional Publishing, 2003. ISBN 80-86419-35-5.

Vedoucí diplomové práce:   
**Mgr. Jana Heckenbergerová, Ph.D.**  
Ústav matematiky a kvantitativních metod

Datum zadání diplomové práce: **2. září 2019**  
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2020**

---

**doc. Ing. Romana Provazníková, Ph.D.**  
děkanka

L.S.

---

**doc. Ing. Marcela Kožená, Ph.D.**  
vedoucí ústavu

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 18. dubna 2020

Bc. Jakub Karlíček

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí práce Mgr. Janě Heckenbergerové, Ph.D. za její odbornou pomoc a podnětné rady, které mi pomohly při zpracování práce, jakož i dalším pedagogům Univerzity Pardubice za podněty, které jsem při práci na tématu využil. Samostatné poděkování si pak zaslouží ti, kdo mi umožnili přístup k potřebným datům a informacím, a také moje rodina za toleranci a pochopení.

## **ANOTACE**

Tato diplomová práce na téma „Informační management staveb (BIM) v podmínkách ČR“ popisuje, jaké úspory v životním cyklu investičního projektu přináší zavedení digitalizace stavebnictví v České republice. Aplikuje teoretické předpoklady na vybrané pilotní projekty, a vyčísluje možné úspory nákladů ve fázích přípravy, realizace, provozu a obnovy stavby.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

BIM, efektivita, inovace, investice, náklady, Stavebnictví 4.0, úspora nákladů, životní cyklus

## **TITLE**

Building Information Management (BIM) in the Czech Republic

## **ANNOTATION**

This thesis on the topic "Building Information Management (BIM) in the Czech Republic" describes what savings in the life cycle of an investment project are brought by the introduction of digitalisation of the construction industry in the Czech Republic. It applies theoretical assumptions to selected pilot projects, and quantifies possible cost savings in the phases of design, realization, operation and refurbishment of the construction.

## **KEYWORDS**

BIM, efficiency, innovation, investment, costs, Construction 4.0, cost savings, life cycle

# OBSAH

<b>Úvod .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Teoretická část .....</b>	<b>13</b>
1.1 Stavebnictví a jeho specifika .....	13
1.1.1 Role účastníků investičního projektu.....	15
1.1.2 Projektová dokumentace.....	17
1.1.3 Kontrakty a legislativní požadavky .....	19
1.1.4 Typy staveb.....	20
1.2 Digitalizace stavebnictví – Stavebnictví 4.0.....	20
1.2.1 BIM.....	20
1.2.2 Přínosy BIM.....	23
1.2.3 Zavádění BIM v České republice .....	25
1.3 Životní cyklus investičního projektu .....	26
<b>2 Přínosy a náklady investičního projektu .....</b>	<b>29</b>
2.1 Efektivnost veřejných investic.....	30
2.1.1 Ukazatele pro hodnocení efektivnosti veřejných investic .....	30
2.1.2 Výpočet ekonomického přínosu .....	31
2.1.3 Hodnocení metodou Best Value .....	32
2.2 Náklady v životním cyklu investičního projektu.....	32
2.2.1 Typický průběh nákladů a jejich kalkulace .....	34
2.2.2 Předpokládaný průběh nákladů při zavedení BIM .....	39
2.2.3 Studie Boston Consulting Group .....	40
2.2.4 Studie University College London/University of Leeds.....	44
2.3 Souvislosti nákladů a rizik.....	47
<b>3 Analýza dat z pilotních projektů .....</b>	<b>48</b>
3.1 Data pilotních projektů .....	48
3.2 Metodika a zpracování vstupních dat pro analýzu.....	51
3.2.1 Transformace vstupních dat.....	51
3.2.2 Srovnání dat pilotních projektů.....	52
3.3 Hodnocení vlivu BIM na náklady životního cyklu.....	55
3.3.1 Nárůst úsilí a nákladů .....	55
3.3.2 Výpočet teoretického dopadu BIM na náklady životního cyklu LLC.....	56
3.3.3 Teoretický dopad na projekt TKB .....	56
3.3.4 Teoretický dopad na projekt TE .....	58

3.4	Sumarizace výstupů z hodnocení.....	61
<b>4</b>	<b>Vyhodnocení.....</b>	<b>63</b>
4.1	Změna rozložení nákladů v časové ose.....	63
4.2	Snížení nákladů životního cyklu.....	64
<b>Závěr</b>	<b>.....</b>	<b>66</b>
<b>Použitá literatura</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>.....</b>	<b>72</b>



## SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Komplikované staveniště velké dopravní stavby v městském intravilánu .....	14
Obrázek 2: Stavební práce v České republice podle zadavatelů, data z let 2006-2018 .....	15
Obrázek 3: Struktura akumulace informací v multidimenzionálním datovém modelu .....	21
Obrázek 4: Akumulace grafických informací v BIM modelu.....	22
Obrázek 5: Snížení ztrát informací a znalostí v průběhu investičního projektu .....	25
Obrázek 6: Struktura nákladů životního cyklu podle ISO 15686-5 .....	35
Obrázek 7: Průběh nákladů LCC investičního projektu.....	36
Obrázek 8: Rozložení nákladů části životního cyklu dálničních tunelů v různých zemích ...	36
Obrázek 9: Předpokládaný průběh nákladů LCC po zavedení BIM .....	39
Obrázek 10: Srovnání průběhů nákladů životního cyklu LLC obou projektů .....	53
Obrázek 11: Srovnání průběhů nákladů životního cyklu LLC obou projektů (pouze fáze provozu a obnovy) .....	54
Obrázek 12: Srovnání průběhu nákladů životního cyklu LLC projektu TKB .....	57
Obrázek 13: Srovnání průběhu nákladů životního cyklu LLC projektu TKB (pouze fáze provozu a obnovy) .....	58
Obrázek 14: Srovnání průběhu nákladů životního cyklu LLC projektu TE .....	59
Obrázek 15: Srovnání průběhu nákladů životního cyklu LLC projektu TE (pouze fáze provozu a obnovy) .....	60
Obrázek 16: Podíl nákladů na jednotlivé fáze životního cyklu LLC projektu TKB.....	61
Obrázek 17: Podíl nákladů na jednotlivé fáze životního cyklu LLC projektu TE.....	61
Obrázek 18: Srovnání celkových nákladů životního cyklu LLC obou projektů.....	62
Tabulka 1: Zatřídění staveb v oboru dle CZ-CC .....	20
Tabulka 2: Pravděpodobnost zpoždění a zvýšení nákladů .....	47
Tabulka 3: Procento stavebních projektů překračujících plánované rozpočty .....	47
Tabulka 4: Struktura nákladů analyzovaných pilotních projektů .....	50
Tabulka 5: Přehled nákladů životního cyklu LLC projektu Tunelový komplex Blanka.....	52
Tabulka 6: Přehled nákladů životního cyklu LLC projektu Tunel Ejpovice.....	53
Tabulka 7: Předpokládaný vliv BIM na náklady životního cyklu LLC .....	55
Tabulka 8: Změna rozložení nákladů životního cyklu LLC projektu TKB.....	57
Tabulka 9: Změna rozložení nákladů životního cyklu LLC projektu TE.....	60
Tabulka 10: Přepočtení ročního ekvivalentu nákladů životního cyklu v tisících CZK .....	64

## SEZNAM ZKRATEK

apod.	a podobně
atd.	a tak dále
BCG	The Boston Consulting Group
BCR	Benefit-Cost Ratio, rentabilita nákladů
BIM	Building Information Management, informační management staveb
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CAD/CAM	Computer Aided Design/Manufacturing, nástroj pro návrh
CAFM	Computer Aided Facility Management, nástroj pro správu objektů
CZ-CC	Klasifikace stavebních děl
CZ-NACE	Klasifikace ekonomických činností
CZK	Česká koruna
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČSÚ	Český statistický úřad
ČVUT	České vysoké učení technické
DPS	dokumentace pro provedení stavby
DSP	dokumentace pro stavební povolení
DSPS	dokumentace skutečného provedení stavby
DÚR	dokumentace pro územní rozhodnutí
DZKP	dokumentace zkušebního provozu
DZS	dokumentace pro zadání stavby
EIA	Environmental Impact Assessment, hodnocení vlivů na životní prostředí
FIDIC	Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils
GIS	geografický informační systém
GLIDE	Graphical Language for Interactive Design

GPS	Global Positioning System, družicový systém lokalizace
IRR	Internal Rate of Return, vnitřní výnosové procento
ISO	International Organization for Standardization, označení normy
LCC	Life Cycle Cost, náklady životního cyklu stavby
LOD/I/G	Level of Detail/Interest/Geometry, úroveň podrobnosti digitálního modelu
NKÚ	Národní kontrolní úřad
NPV	Net Present Value, čistá současná hodnota
ÖNORM	označení rakouské technické normy
PD	provozní dokumentace
př. n. l.	před naším letopočtem
RDS	realizační dokumentace stavby
resp.	respektive
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Sb.	sbírka zákonů
SD	správní dokumentace
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
TE	Tunel Ejpovice
TKB	Tunelový komplex Blanka
TKP/TP	technicko-kvalitativní podmínky
tzv.	takzvaně
UCL	University College London
UNIKA	sazebník pro navrhování cen projektových prací
UoL	University of Leeds
WLC	Whole Life Cost, celkové náklady životního cyklu

## ÚVOD

Stejně jako v jiných oblastech průmyslu, i ve stavebnictví jsou v současnosti zaváděny inovační postupy, od nichž se očekává především vyšší efektivita a automatizace procesů. V konečném důsledku mají vést k předpokládaným úsporám. U stavební investice to znamená změnu průběhu nákladů v delším časovém období, často až desítek let. To je velice dlouhá doba, nezřídka přesahující aktivní délku lidského života. Stavebnictví je obor, který se do jisté míry vymyká obecným představám o průmyslu; nakonec, stavební postupy a zákonitosti jsou neměnné po tisíce let. Inovace jen zřídka bývají skokové, přesahující více řádů.

Při zavádění inovací se argumentuje značnými úsporami ve fázích realizace a provozu, díky využití jednotného strukturovaného systému grafických a negrafických informací k popisu všech dimenzí projektu a stavby v průběhu životního cyklu. Tento postup známý jako **Informační management staveb BIM**, se označuje jako **Stavebnictví 4.0**. Tato metodika, podrobně popsána dále v textu práce, přináší skokovou inovaci v přístupu k informacím a řízení všech aspektů projektu. Nejedná se pouze o běžnou procesní změnu, jakou byl kdysi přechod od kreslicích prken k CAD/CAM systémům. Dochází ke změně paradigmatu, kdy je nutno změnit myšlení všech účastníků přípravy, výstavby i provozu. Nový přístup přináší řadu změn, ale především má za cíl efektivněji využívat stávající možnosti, postupy a technologie. Stavba zůstává stejná. Proto nová metoda představuje významný nákladový činitel především ve fázi investiční a projektové přípravy.

**Cílem práce** je ověřit platnost teoretických předpokladů, kvantifikovat možný vliv zaváděných procesních inovací na průběh nákladů životního cyklu projektu a určit výši možných úspor v nákladech na vybraných pilotních projektech, realizovaných v České republice.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Práce je zaměřena na zavádění inovační metody řízení přípravy, realizace, provozu a údržby stavebních projektů. V této kapitole je definován obor a vymezena část, na kterou se práce zaměřuje. Následně je vysvětlen princip inovační metody BIM a její odlišnosti od standardního přístupu, zákonitosti investičních projektů a problematika životního cyklu investice. Pokud je v textu práce zmiňována *investice*, je tak označován **investiční projekt** v podobě stavby s odpovídajícím technologickým vybavením; nikoli investice ve smyslu finančního nebo hmotného uložení a zhodnocení prostředků.

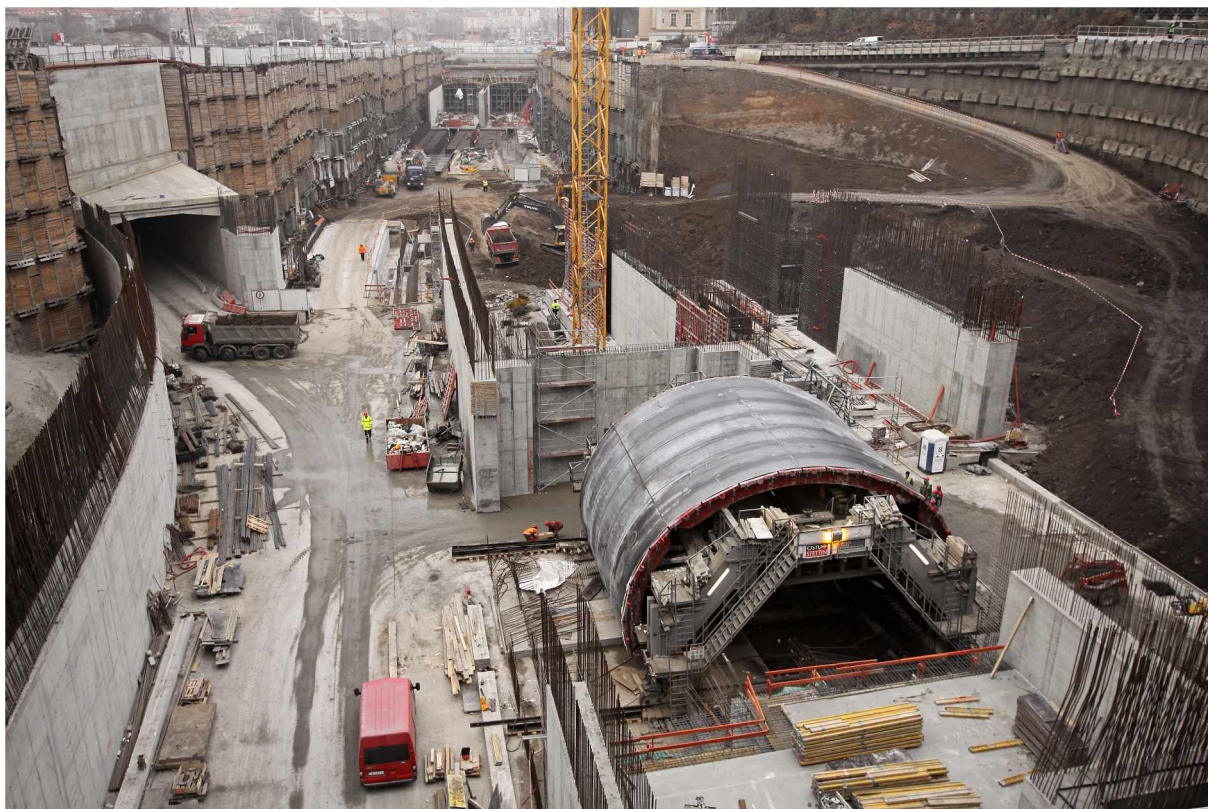
## 1.1 Stavebnictví a jeho specifika

Stavebnictví jako odvětví národního hospodářství se vyznačuje aspekty, které nelze nalézt v jiných oborech [29]. Doba od vzniku záměru po dokončení realizace představuje vždy několikaletý proces. Životnost staveb se počítá minimálně na desetiletí, pokud se nejedná o stavby dočasné.

Realizace stavebních investičních projektů se uskutečňuje na základě složitých unikátních kontraktů. Průběh investičního procesu se liší podle toho, zda se jedná o investici státní, soukromou nebo o kombinaci obojího. Zejména se liší způsobem zadávání zakázek (výběrová řízení, smluvní standardy). Podle typu a účelu stavby se liší požadavky na její provedení. Investiční projekty ve stavebnictví jsou značně náročné na kapitál a tento kapitál má pomalý obrat. Poptávka v oboru je vysoce citlivá na stav národního hospodářství.

Často je stavebnictví vnímáno jako běžná součást průmyslu, což pak vede k chybnému vyhodnocení například při zavádění skokových změn a inovací. Pravidla a postupy, uplatňované ve stavebnictví se samozřejmě v průběhu času vyvíjejí, změny jsou ale spíše inkrementální a jejich prosazení do obecné praxe je velmi zdoluhavé z důvodu existence norem a jiných předpisů, které jsou určeny jako závazné. Například beton jako stavební materiál je vnímán jako výtěžek 20. století, ovšem jeho první použití je doloženo již ve starověkém Římě okolo roku 200 př. n. l. Co se během posledních 100 let zásadně změnilo, je škála receptur a tím pádem možnosti využití.

Většina postupů používaných na staveništích je tradiční a vyžaduje nasazení složitých technologií a mechanizace, aplikaci náročných technických postupů a věcnou a časovou koordinaci při velkých objemech hmot (viz Obrázek 1).



**Obrázek 1:** Komplikované staveniště velké dopravní stavby v městském intravilánu

*Zdroj: Archiv autora*

Také narozdíl od průmyslu, stavebnictví nemůže zvyšovat produktivitu stejně rychle, jak rostou finanční prostředky [19], což je limitující při prosazování ekonomicky racionálních inovací. Ačkoliv běžně hovoříme o většině činností jako o *stavební výrobě*, z pohledu investora vždy platí:

- a) S výjimkou developerských projektů, se stavby nevyrábějí do zásoby. Stavba má velkou hmotnost a rozměry, je nepřemístitelná a pevně spojená s pozemkem. Pomyslným místem výroby je staveniště, které má dočasný charakter.
- b) Na stavbu působí klimatické a další obtížně předvídatelné vlivy, a to v celém jejím životním cyklu.
- c) Proces vzniku stavby je téměř vždy individuální, jedná se o kusovou výrobu.
- d) S technologickým vývojem rostou požadavky na manuální schopnosti a odbornost většiny zapojených profesí. V oboru je značná fluktuace pracovníků.

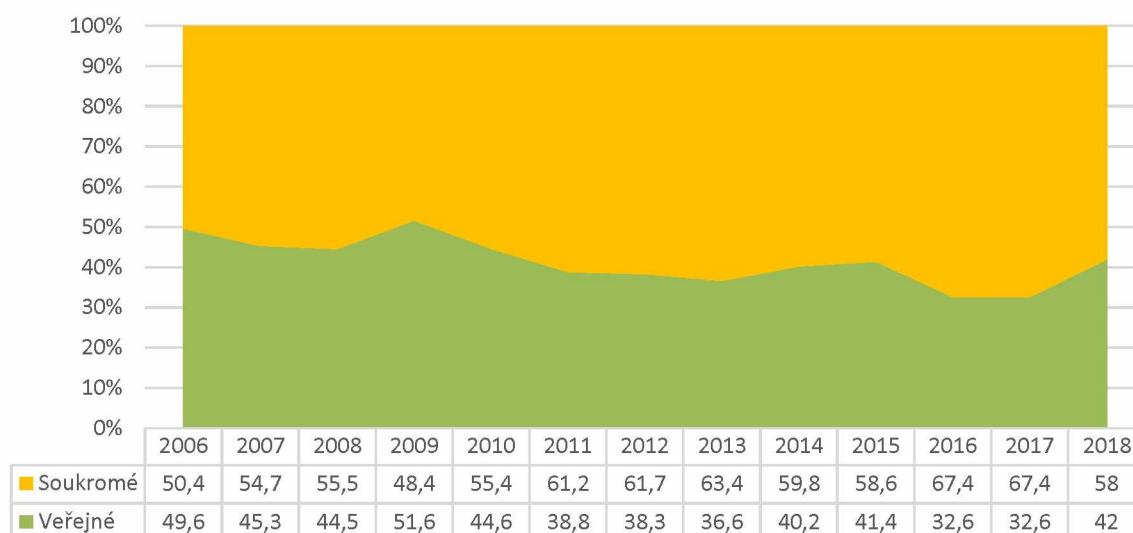
Tato práce se zaměřuje na segment velkých investorů státní správy; inženýrské stavby dle kapitoly 1.1.4. Je to oblast, která je dlouhodobě kritizovaná pro neefektivní nakládání

s veřejnými prostředky, nepružnost i netransparentnost. Například jedním ze závěrů zprávy NKÚ z roku 2018 je konstatování, že „velké rozdíly mezi předpokládanou a vysoutěženou cenou jsou kromě vysoce konkurenčního prostředí dokladem opožděné aktualizace databáze cen jednotlivých položek staveb pozemních komunikací.“ [48] Nepružnost oboru může mít značný vliv na nakládání s veřejnými prostředky. Veřejné investiční projekty tvoří cca 42 % objemu stavebních zakázek (viz Obrázek 2); tento segment představují nejen centrální instituce státu (například ŘSD, SŽDC a další), ale i krajské a municipální investice, investice organizací pro správu majetku atd. Zástupci těchto organizací se shodují, že „pouze digitalizace ve stavebnictví povede k zefektivnění stavebního procesu a že takto lze dojít k transparentnějšímu a efektivnějšímu řízení změnových procesů.“ [38]

### 1.1.1 Role účastníků investičního projektu

Investiční projekt představuje proces, který je obvyklým způsobem řízen a organizován, role na projektu jsou uspořádány do ustáleného schématu. Rozdělení rolí a jejich vzájemné vazby jsou dány zvyklostmi, legislativou a případně smluvními standardy (viz kapitola 1.1.3).

**Investor** má v investičním projektu klíčovou roli. Je vždy iniciátorem akce, řídí celý proces přípravy a většinou i proces realizace. Nezřídka je též provozovatelem, například prostřednictvím své organizační složky. Má tedy pozici objednatele a zadavatele. U komplikovaných projektů může většinu svých povinností svěřit externímu subjektu, který zastává roli **mandatáře** nebo **správce stavby**.



**Obrázek 2:** Stavební práce v České republice podle zadavatelů, data z let 2006-2018

Zdroj: ČSÚ [37]

**Inženýrská činnost** zahrnuje činnosti spojené se zajištěním postupu výstavby, jeho řízení v průběhu jednotlivých fází až po předání do provozu. Součástí je i majetkoprávní činnost, tedy výkupy pozemků a vypořádání majetkových poměrů dotčených výstavbou nebo provozem stavby.

**Projektant** je účastníkem celého investičního procesu, v této roli se může vystřídat více subjektů (v některých případech to dokonce požaduje legislativa). V prvních krocích, při zpracování návrhů a studií, plní zároveň úlohu architekta. Následně vytváří postupně detailnější návrh a technické řešení, zapracovává vstupy a prověřuje možné kolize. Zpracovává jednotlivé stupně projektové dokumentace (viz kapitola 1.1.2). U složitých projektů plní též roli koordinátora a řeší soulad stavební a technologické části. Specifickou činností projektanta je výkon **autorského dozoru**, kdy ověřuje soulad prováděných prací s dokumentací pro stavební povolení.

**Zhotovitel** je dodavatelem stavební části a technologické části stavby. Zajišťuje realizaci předmětu investičního projektu v souladu s projektovou dokumentací, respektive s požadavky na technické, funkční, časové a finanční parametry díla.

**Technický dozor investora** prověřuje a kontroluje provádění stavby, slouží jako kontrolní a poradní nástroj investora, jedná v jeho zájmu. Jedná se o vysoce odbornou činnost, často rozšířenou o provádění tzv. **supervize**. V praxi je například schválení a proplacení provedených prací, víceprací a méněprací podmíněno souhlasem zástupce technického dozoru investora.

**Provozovatel** přebírá stavbu po vydání kolaudačního rozhodnutí, nebo po vydání rozhodnutí o zahájení zkušebního provozu. Obvykle zároveň plní úlohu **správce**, případně **uživatele**. Provozovatel může být totožný s investorem, nebo může být jeho organizační složkou; může jím být ale také externí organizace najatá správcem majetku. V průběhu provozní fáze provádí údržbu, opravy, kontrolní a revizní činnosti prostřednictvím svých vlastních zdrojů nebo přes **servisní organizace**. Spolu s investorem zajišťuje další činnosti v životním cyklu investičního projektu, viz kapitola 1.3.

Pro úplnost je třeba zmínit další **zainteresované strany**, které do procesu investičního projektu vstupují, ovlivňují jej nebo jsou jím samy ovlivňovány. Jsou to především orgány místní správy a samosprávy, dotčené organizace a instituce, zájmové organizace a veřejnost.



### 1.1.2 Projektová dokumentace

Žádná stavba nemůže být vybudována, provozována nebo zrekonstruována bez některé z forem projektové dokumentace. Je nezbytná nejen pro dodržení legislativního postupu [52], ale i jako podklad k rozhodování, návod k postupu a prostředek pro stanovení odpovědností. **Projektová dokumentace slouží i k jednoznačnému definování požadavků na produkt,** kterým je předmět investičního projektu a užitek z něj plynoucí.

Až na výjimky není v zákoně dogmaticky definována ani skladba a náplň, ani přesná terminologie jednotlivých fází a stupňů projektu. Dále uvedený výčet vychází z ustálené praxe v oboru vymezeném v úvodu kapitoly 1.1, a zároveň představuje logickou posloupnost vývoje projektu, kdy jsou postupně zpřesňovány požadavky a mění se struktura obsažených informací.

#### **Předprojektová fáze** (někdy označována jako investorská příprava)

- **Koncepce, investiční záměr** představuje souhrn požadavků, definování účelu a funkčních parametrů stavby, obecné umístění do širšího území. Součástí by měly být bilance potřeb a spotřeby v úrovni odhadů, odhad investičních a provozních nákladů, návrh umístění staveniště včetně dopravních tras. Tato dokumentace musí respektovat místní územně plánovací dokumentaci, vždy ji pořizuje investor.
- **Studie** slouží k postupnému prověření variant a jejich zúžení až do invariantního řešení. Řeší se technické, funkční, dopravní aspekty, vlivy na životní prostředí EIA, limity území i návratnost investice. Cílem je nalezení nejvíce optimálního řešení. Pořízení některých studií vyžaduje legislativa [50] a jejich pořizovatelem je investor.
- **Dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR)** slouží jako podklad k povolení umístění stavby. Její náležitosti jsou určeny zákonem [47], pořizovatelem je investor.

#### **Projektová fáze**

- **Dokumentace pro stavební povolení (DSP)** slouží jako podklad pro vydání povolení ke stavbě nebo k ohlášení stavby, náležitosti určuje legislativa [47]. Objednavatelem je investor.

- **Dokumentace pro zadání stavby (DZS)** slouží jako podklad pro výběrové řízení a ke stanovení nákladů na realizaci prací a dodávek. V případě veřejných zakázek je rozsah určen zákonem [51] a odpovídá prováděcí dokumentaci, viz dále.
- **Dokumentace pro provedení stavby (DPS)** je závěrečným podkladem pro provedení stavby. Investorem pořízená univerzální dokumentace, nezávislá na budoucím dodavateli. Neobsahuje například přesné typy zařízení, druhy materiálů a hmot, ale přesně definuje jejich funkční parametry.
- **Realizační dokumentace stavby (RDS)** zapracovává do DPS konkrétní řešení, technologie a výrobky dodavatele. V závislosti na smluvních podmínkách je pořizovatelem investor nebo zhotovitel.
- **Dokumentace skutečného provedení stavby (DSPS)** slouží k zachycení konečného stavu projektu, její pořízení nařizuje legislativa [47]. Smyslem je zachytit veškeré změny vzniklé v průběhu stavby a montáží technologií, odchylky od projektovaného stavu. Dokumentace slouží k uložení do archivu pro budoucí údržbové nebo likvidační práce (viz kapitola 1.3).

### **Provozní fáze**

- **Dokumentace zkušebního provozu (DZKP)** se pořizuje v případě, kdy je uvedení do provozu podmíněno tzv. zkušebním provozem, tedy náběhovou fází, během které se ověřují provozní režimy, potvrzují projektové parametry včetně vlivů na životní prostředí apod. Týká se to především technologických celků.
- **Provozní dokumentace (PD)** slouží jako pomyslný návod k použití stavby. Pořizuje se opět u složitějších technologických celků, a její vydání je požadováno v daném oboru závazným předpisem (například [26]), který určuje i její obsah.
- **Správní dokumentace (SD)** tvoří souhrn všech dokumentů, informací a záznamů nezbytných pro efektivní správu stavby. Její pořízení se řídí stejnými pravidly, jako provozní dokumentace.

Další dokumentace se následně zpracovávají v průběhu provozu, především v souvislosti s rekonstrukčními pracemi, modernizací nebo likvidací.

### 1.1.3 Kontrakty a legislativní požadavky

V České republice dosud příliš využívány vzorové standardizované smlouvy ve stavebnictví, jako jsou například mezinárodní vzory (FIDIC) nebo národní standardy (např. ÖNORM B2110). Tyto tzv. **smluvní standardy** se jinde ve světě využívají z jednoduchého důvodu: je to výhodné pro všechny účastníky smluvních vztahů, taková smlouva je **účelným kompromisem**. Toto tvrzení se opírá o tzv. **teorii kontraktu** držitelů Nobelovy ceny za ekonomii Olivera Harta a Bengta Holströma, která říká: „*Vztahy typicky zahrnují konflikt zájmů, smlouvy proto musí být připraveny tak, aby zajistily, že strany budou dělat vzájemně prospěšná rozhodnutí.*“ [15]

Standardy FIDIC byly v České republice částečně zavedeny pro oblast inženýrských staveb, ale pouze u některých investorů a jen v omezeném rozsahu. Pro jiné oblasti stavebnictví tyto standardy ani nejsou vhodné. Neexistence standardu vede k roztržičnosti řady kontraktů, snižuje se jejich transparentnost. Každý kontrakt by měl zajistit splnění věcných, technických, časových a finančních parametrů projektu.

Pro splnění věcných a technických parametrů je nutno dodržet legislativní požadavky. Ty lze rozdělit do dvou oblastí, a to jsou požadavky zákonné a požadavky dalších předpisů. Požadavky dalších předpisů se nevztahují na všechny subjekty, ale mohou souviset s výkonem specifické činnosti nebo s charakteristikami projektu. Jsou to jednak **technické normy**, které samy o sobě nejsou závazné, ale mohou být tzv. zezáväzněny legislativou, nařízením správního úřadu nebo rozhodnutím investora. Podobně pak **technické podmínky** schvaluje a činí pro vybranou oblast závaznými ministerstvo.

Pro splnění časových parametrů je nezbytné stanovit harmonogram, který může být ovlivněn obtížně předvídatelnými faktory (například klimatické podmínky). V současné době chybí jednotný nástroj pro prediktivní stanovení časových lhůt a rezerv, a pro optimalizaci harmonogramu v reálném čase.

Podmínkou splnění finančních parametrů je kvalitní výkaz výměr v projektové dokumentaci, a kontrolní systém sledující vícepráce a vícenáklady. Jelikož většina zakázek v předmětném segmentu vzniká cestou veřejných výběrových řízení, je často běžnou praxí, kdy cena nabídková je výrazně nižší než cena výsledná. Také snaha o využívání **sazebníků prací** (například UNIKA) je u rozsáhlých investičních projektů kontraproduktivní; paradoxně totiž způsobuje velké diference mezi nabídkami při snaze získat body za nižší cenu, a nakonec tak vítězí nabídka kalkulovaná podle pravidel, ale za danou cenu nerealizovatelná.

### 1.1.4 Typy staveb

Tato práce se zabývá projekty, které se řadí do oboru inženýrského stavitelství. **Pozemní stavitelství** zahrnuje výstavbu bytových a nebytových budov a změny na budovách stávajících. **Inženýrské stavitelství** označuje obor výstavby a změn dopravních staveb, telekomunikačních, elektrických a trubních vedení, staveb pro průmyslové účely a ostatních inženýrských děl. Konkrétní zařazení tématu práce umožňuje Klasifikace stavebních děl CZ-CC (viz Tabulka 1). V práci jsou analyzovány **projekty dopravních tunelů**. Jedná se o jedny z nejvíce složitých technologických celků. Zároveň jich existuje dostatečné množství, aby bylo možno získat a srovnávat data, která by byla vzájemně souměřitelná.

**Tabulka 1:** Zařazení staveb v oboru dle CZ-CC

Kód CZ-CC	Název oddílu
214	Mosty, visuté dálnice, tunely, podjezdy a podchody
2142	Tunely a podchody
<b>214211</b>	<b>Tunely</b>

*Zdroj: ČSÚ [18]*

## 1.2 Digitalizace stavebnictví – Stavebnictví 4.0

Digitalizace v současnosti ovlivňuje mnoho průmyslových odvětví včetně stavebnictví. Dotýká se všech přímo zúčastněných subjektů, ovlivňuje také společnost jako celek včetně vzdělávání nebo sociální oblasti. Nezřídka se jedná o sekundární dopady zaváděných inovací, kdy například snaha zefektivnit a usnadnit těžkou práci může mít za následek snížení pracovního uplatnění méně kvalifikovaných pracovníků.

### 1.2.1 BIM

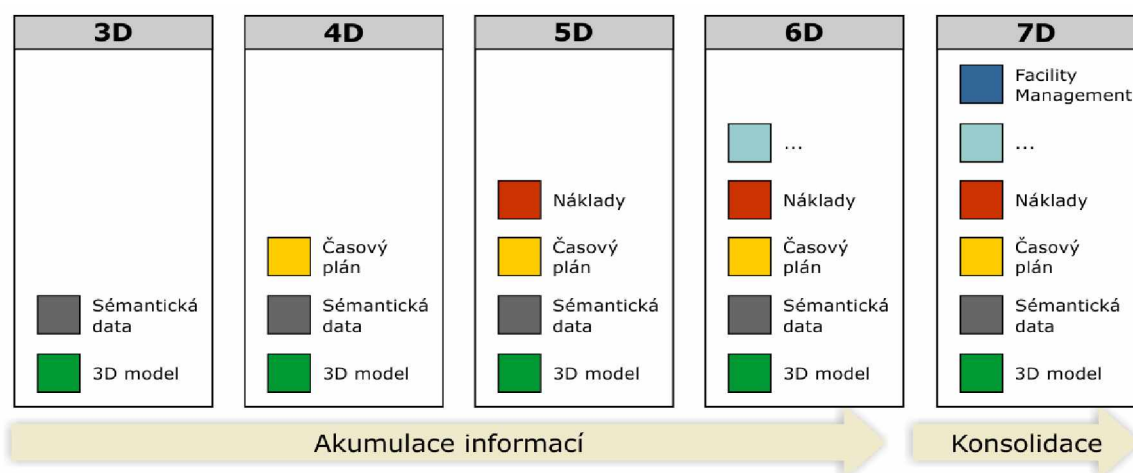
Ve stavebnictví přichází digitalizace se zpožděním, a projevuje se odlišně než v jiných odvětvích. Má podobu metodiky, označované jako **Building Information Management (BIM)**. Do českého jazyka se pojem překládá jako **Informační management staveb**, a v průběhu zavádění se začal používat také pojem **Stavebnictví 4.0**. Jedná se o komplexní proces tvorby a správy projektu založený na centrální správě dat v podobě objektového modelu a strukturovaných sémantických dat. *Digitální modelování staveb popisuje způsob práce založený na součinnosti, který vytváří a využívá digitální modely objektu jako základ pro konzistentní přípravu, užívání a správu digitálních informací a dat relevantních pro*

životní cyklus objektu tak, aby data bylo možné sdílet, komunikovat a opětovně využívat všemi příslušnými stranami transparentním způsobem [6].

Historie BIM se datuje od roku 1975, kdy byl publikován popis metodiky, kombinující informace o mapových podkladech, půdorysech, řezech a pohledech v jediném dokumentu. Profesor Charles Eastman nastínil přínosy metodiky především v kolaborativní rovině, v úsporách času a eliminaci neodhalených kolizí, včetně konceptu jednotné databáze [11]. Navržené postupy dále zdokonalil na projektu GLIDE (*Graphical Language for Interactive Design*) jako předchůdce platformy BIM, který byl v průběhu dalších desetiletí zdokonalován v souvislosti s rozvojem možností informačních a komunikačních technologií. Samotný pojem BIM ve smyslu Building Information Modeling byl použit poprvé v roce 1992 [46].

Skutečný rozvoj metody BIM nastal až v souvislosti s rozvojem možností informačních systémů, které mimo samotného výpočetního výkonu umožňují též vícedimenzionální propojování datových složek, jejich systematickou analýzu, kooperaci rozsáhlých týmů nad jediným objektovým modelem a v neposlední řadě též sdílení dat a informací.

Nejvíce zásadní rozdíl oproti klasickému přístupu je ve způsobu zpracování, zpřístupnění a využívání dat a informací v průběhu jednotlivých fází investičního projektu. Pokud se hovoří o přínosech BIM (viz kapitola 1.2.2 a další), je jich možné dosáhnout díky tomu, že se již nepracuje s autonomními 2D nebo 3D CAD výkresy a oddělenými množinami metadat a dalších sémantických informací, tvořených v jednotlivých fázích projektu, ale data se postupně akumulují a následně konsolidují do potřebné struktury (viz Obrázek 3).



**Obrázek 3:** Struktura akumulace informací v multidimenzionálním datovém modelu

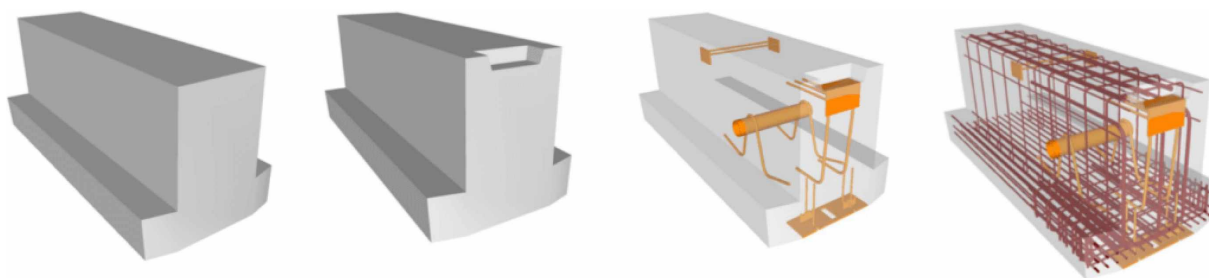
*Zdroj: Vlastní zpracování podle [10]*

Geometrická složka se rozpracovává do vhodné úrovně podrobnosti (tzv. LOD/LOI/LOG, viz Obrázek 4) a průběžně se doplňuje o relevantní sémantické informace. Tyto negrafické informace mohou popisovat téměř libovolné vlastnosti objektů: materiálové řešení, fyzikální vlastnosti, užité vlastnosti, provozní informace, energetické bilance, informace o pořizovací ceně, provozních nákladech, časové náročnosti realizace. Komplexní datová báze slouží v průběhu celého životního cyklu stavby. Jelikož doplňující složky představují specifické pohledy na projekt, označují se jako nD dimenze:

- 3D představuje geometrický model se základními metadaty.
- 4D představuje časový pohled na projekt.
- 5D tvoří finanční rovinu, tedy kalkulace, rozpočty, sledování nákladů.
- 6D je pohled udržitelnosti a spotřeby energií.
- 7D je pohled facility managementu.
- 8D je pohled managementu kvality a bezpečnosti.

Z uvedeného výčtu informací, které jsou v rámci BIM podrobovány analýze, je patrná nutnost využití většího počtu různorodých programových nástrojů, ale i samotných datových formátů. Geometrická i sémantická data se propojují s CAD systémy, s analytickými nástroji, se systémy CAFM ale i s běžným kancelářským softwarem.

Principiálním předpokladem kooperace nad BIM daty je výměna dat bez jejich transformace. Proto se značná pozornost věnuje ustanovení obecných datových standardů a standardizaci dat na co nejvyšší úrovni, například v rámci jedné investorské organizace nebo dokonce v nadnárodní rovině. Vyvíjejí se standardizované a neproprietární datové formáty, které slouží jako univerzální obousměrné vstupy.



**Obrázek 4:** Akumulace grafických informací v BIM modelu (úroveň podrobnosti LOD 200/300/350/400)

*Zdroj: SWECO*

Metodika BIM představuje skokovou inovaci, změnu paradigmatu celého oboru projektové přípravy, realizace a provozu staveb. V organizačních strukturách se objevují nové role (BIM manažer, BIM koordinátor [10]), a ideové ani technické řešení již není obsahem běžné projektové dokumentace, ale zaznamenává se v datech modelu a v propojených sémantických složkách. Zvyšuje se pracnost některých činností ve fázi projektové přípravy.

Výstupy z modelu nemusí mít nezbytně podobu klasické projektové dokumentace; předpokládá se, že jednotlivé stupně projektové dokumentace (DÚR, DSP, DZS, DPS, RDS atd.) by mohly být předávány a analyzovány pouze ve virtuálním prostředí.

Takový postup přináší změny i v oblasti smluvních vztahů. Připravuje se zavedení národních smluvních standardů pro projektování a pro výstavbu [36]. Jedním z důvodů je změna rozložení úsilí a nákladů v časové ose životního cyklu projektu, viz kapitola 2.

### 1.2.2 Přínosy BIM

Digitalizace stavebnictví má, podobně jako v jiných odvětvích, za cíl především zvýšení efektivity procesů a v konečném důsledku eliminaci zbytných nákladů. Tyto náklady mohou být explicitní, které jsou účtovány dále v dodavatelském řetězci a v konečném důsledku je tedy nese investor. Může se jednat ale i o náklady implicitní, které mají podobu utopených nákladů v interních procesech. Jejich minimalizace je tak cílem každého ze subjektů, zapojených v investičním projektu. Přínosy inovace BIM se předpokládají především v těchto oblastech [3]:

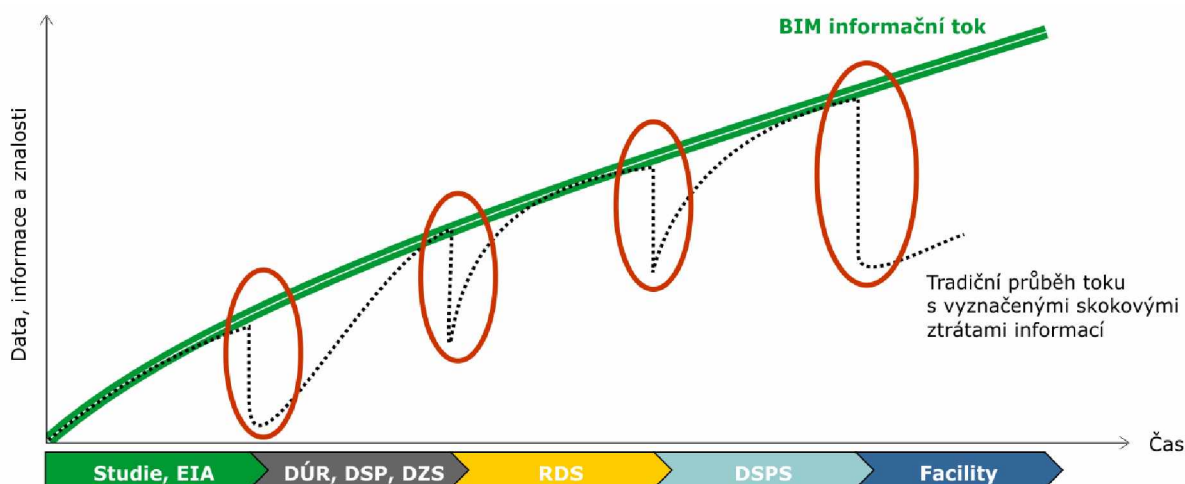
- a) **Informační management:** metodika je nástrojem k efektivní spolupráci lidí a informací. Při kvalitním nastavení procesů a dodržení principů technologie lze dosáhnout jedinečné informační úrovně modelu, který zvýší užitnou hodnotu stavby v jejím životním cyklu (viz Obrázek 5).
- b) **Vizualizace:** model umožňuje nejen obvyklé 3D pohledy na projekt, ale i propojení s technologiemi virtuální nebo augmentované reality.
- c) **Detekce kolizí a koordinace:** propojení dílčích modelů do centrálního umožňuje koordinaci stavebních konstrukcí s technologiemi a rozvody inženýrských sítí v libovolné fázi návrhu.
- d) **Studie proveditelnosti:** díky BIM je možné dosáhnout vysoké úrovně poznání již ve fázi posuzování proveditelnosti projektu, jeho celkové rentability, vlivů na životní prostředí atd.

- e) **Systematizace návrhu:** jednotlivé softwarové nástroje umožňují provádět simulace a analýzy různých parametrů projektu (energetické bilance, průtoky, kapacity, spády) nebo simulovat chování navrhovaných systémů v různých fázích realizace a provozu.
- f) **Prefabrikace:** detailní návrh postavený na objektovém modelu umožňuje využití principů prefabrikace i výroby na míru, kde je to vhodné. Hotové komponenty je možné sledovat podobně jako ve strojírenské výrobě.
- g) **Řízení strojů pomocí 3D technologií, propojení s GIS a GPS systémy:** data z informačního modelu jsou využívána pro přesné řízení strojů, jejich lokalizaci, navádění a řízení, pro kontrolu přesunů hmot a zemních prací atd.
- h) **Model skutečného provedení:** je-li informační model aktualizován, zachycuje skutečně zrealizovaný stav včetně odchylek od projektovaného stavu. Nahrazuje pak dokumentaci DSPS.
- i) **Organizace výstavby (BIM 4D):** na základě informačního modelu lze sestavit a simulovat harmonogram realizace, logistické procesy stavebních a montážních prací a sledovat kritickou cestu v časové posloupnosti činností.
- j) **Koordinace rizik BOZP (BIM 4D):** model slouží jako vstup pro zpracování analýzy rizik a jejich prevence, včetně koordinace BOZP na staveništi v reálném čase.
- k) **Výkazy výměr, objemové a nákladové odhady, finanční analýzy (BIM 5D):** využívají se především ke kontrole skutečných objemů oproti předpokladům. Je možné kontrolovat výkazy zpracované v libovolné fázi projektu. Problém je se strukturováním informací, a se zapojováním dat která nemohou být součástí modelu nebo na něj přímo napojena.
- l) **Forenzní analýza (BIM 5D):** rozpočty a jejich následná kontrola, spolu s kontrolou provedených dodávek či prací mohou být využity pro efektivní odhalování podvodů.
- m) **Řízení životního cyklu projektu (BIM 6D):** informační management umožňuje posouzení a návrh z hlediska životního cyklu, především v úrovni nákladových analýz a vlivu na životní prostředí. Viz také kapitola 1.3.



- n) **Udržitelnost, energetické bilance (BIM 6D):** BIM umožňuje projekt navrhnout v souladu s požadavky na udržitelný rozvoj, uhlíkovou stopu v životním cyklu atd.
- o) **Facility management (BIM 7D):** informační model který prošel celou fází přípravy a realizace je jedinečným zdrojem informací pro správu a údržbu. Při nasazení CAFM systému a kvalitních dat je možno dosáhnout úspor v nákladech.

Jednotlivé oblasti přínosů lze shrnout do teze: **BIM v životním cyklu projektu mění značnou část stochastických procesů na procesy deterministické** [31], a to díky minimalizaci ztrát informací a znalostí mezi fázemi životního cyklu (viz Obrázek 5). Snižuje se úsilí a čas nutné ke zvládnutí složitě předvídatelných problémů, současně je možno eliminovat podstatnou část rizik projektu. To je vyváženo vyšší pracností především v úvodních fázích investice (více v kapitole 2) a vysokými nároky na informační gramotnost všech osob, zapojených do řízení investičního projektu.



**Obrázek 5:** Snížení ztrát informací a znalostí v průběhu investičního projektu

*Zdroj: Vlastní zpracování podle [4]*

### 1.2.3 Zavádění BIM v České republice

V České republice se metodika BIM pro oblast zaměření této práce zavádí cca od roku 2015; ještě před tímto rokem byly uplatňovány některé principy BIM, nikdy ne v celé šíři a komplexně. V současné době se metodika zavádí na základě koncepce **Stavebnictví 4.0** Ministerstva průmyslu a obchodu [20], která předpokládá povinnost používat metodiku BIM u nadlimitních veřejných zakázek od roku 2022.

Tento postup je motivován snahou využít předpokládané přínosy především v oblasti digitalizace a propojování informací. Již v počátku bylo zřejmé, že nejefektivnější bude

převzít nejlepší praxi ze zahraničí. Jako vhodný vzor bylo vybráno Německo, které BIM zavádí po negativních zkušenostech z poslední doby, kdy došlo k násobnému zvýšení nákladů a prodloužení doby výstavby v důsledku chybné koordinace. Jedná se například o projekty *Labské filharmonie* v Hamburku, berlínského nádražního terminálu nebo nového letiště *Berlin-Braniborsko*. Byl ustanoven tým odborníků, který v působnosti Spolkového ministerstva dopravy a digitální infrastruktury zpracovalo jak celkovou implementaci BIM metodik do sféry veřejných zakázek, tak řízení pilotních projektů, jejich vyhodnocení a přenos zkušeností do praxe [21].

Také v České republice se BIM zavádí prostřednictvím pilotních projektů. Subjekty si mohou ověřit různé postupy, modely kooperace, ověřit správnou praxi a vytvořit vhodné metodiky. Většinou to znamená značné vnitřní náklady, proto subjekty se zaváděním BIM často váhají [16]. Zavádění BIM je napříč oborem vnímáno rozporuplně, metoda je zpočátku nákladná, a především finanční přínosy jsou zpochybňovány. Aktivní kroky vyvíjejí především subjekty z řad projektantů a zhotovitelů, které mají kontakty a zkušenosti ze zahraničí a dovedou metodiku řízeně aplikovat. Investoři státní správy jsou svázáni legislativními a rozpočtovými pravidly, a často nedisponují dostatkem erudovaných pracovníků. Přitom úloha investora je v procesu BIM projektu zcela klíčová [43].

Implementace BIM se nemůže odehrát bez komplexní změny zákonného rámce, a úpravy stávajících a sestavení nových norem. Na tomto procesu již od vzniku národní strategie pracuje Česká agentura pro standardizaci. Legislativní proces pak zajišťují jednotlivá ministerstva. Průběh prací se od původního časového plánu zavádění [20] v době dokončení této práce odchyloval o měsíce či dokonce roky.

### 1.3 Životní cyklus investičního projektu

Životní cyklus investičního projektu je časový úsek mezi vznikem záměru stavbu vytvořit, přes její přípravu, realizaci a užívání až do fáze likvidace. Délka trvání životního cyklu přímo souvisí s pojmem *životnost*. Ta může být chápána různě:

- **Technická životnost** je doba, po kterou stavba poskytuje nezávadný užitek. Podle platného předpisu *je životnost stavby doba, po kterou ukazatele vlastností stavby budou udrženy na úrovni slučitelné s plněním základních požadavků* [28].
- **Ekonomická životnost** je období, po které lze stavbu užívat bez nadlimitních nákladů. Toto období bývá obvykle kratší než u technické životnosti, neboť do

úvahy vstupuje i morální zastarávání vlivem nových inovací nebo rizik z užívání, poruch, poškození vlivem mimořádných událostí atd.

- **Požadovaná životnost** je pojem užívaný zejména v koncepčních požadavcích; jedná se údaj vyplývající z potřeb investora, technických předpisů a podobně. Stanoví se nejen doba životnosti stavby jako celku, ale také intervaly celkových oprav, lhůty pro výměnu klíčových technologických prvků apod.

Klíčový je vztah mezi *životností* stavby a *návratností* vložených peněžních prostředků (viz kapitola 2). Pokud investor uvažuje o projektu, jehož realizace a provoz představuje hodnoty v řádech miliard korun, uvažuje zároveň s jejich návratností, která počítá s odpovídajícím časovým horizontem, po kterou musí být stavba provozována a udržována v bezvadném stavu. Na celé toto období je třeba kalkulovat nejen bilanci nákladů a výnosů, ale například také spotřeby energií, vlivy na životní prostředí a trvalou udržitelnost projektu. Tuto problematiku upravují normy ČSN ISO 15686-X [9].

Etapy životního cyklu tvoří čtyři na sebe navazující fáze, tvořící pomyslný cyklus:

1. **Předinvestiční fáze** slouží k identifikaci veškerých reálných variant, jejich postupnému vylučování na základě technických a ekonomických faktorů až do invariantního řešení, které je doporučeno k projektové přípravě a realizaci.
2. **Investiční fáze** zahrnuje projektovou *přípravu* a *realizaci* stavby, včetně montáží technologických zařízení. Fáze končí odzkoušením díla a předáním do provozu.
3. **Provozní fáze (operační)** má dvě časové dimenze. Zahrnuje činnosti, spojené s *běžným provozem*, jako je plánovaná údržba, revize, periodické prohlídky a obvyklé servisní práce. Tyto činnosti lze dobře plánovat, a představují konstantní tok nákladů; probíhají trvale. Zároveň do této fáze spadají skokové *obnovy*, během kterých dochází k plánovaným i neplánovaným výměnám technologií, k opravám stavebních prvků, rekonstrukcím, modernizaci součástí stavby atd.
4. **Ukončení provozu a likvidace** představuje závěrečnou fázi cyklu, kdy se stavba většinou již neprovozuje. Předpokládá se, že v ukončovací fázi dochází k výraznému přebudování projektu, a cyklus se opakuje. K likvidaci inženýrských staveb dochází zcela výjimečně, byť takové případy jsou známy (například Choceňský tunel aj.).

Při uplatnění teorie životního cyklu se v praxi využívají přínosy BIM. Podle vyjádření odborníků z investorské praxe, „*kvalitní a aktuální podklady, respektive stav objektu zachycený v systému pro správu a údržbu přispěje k efektivitě ve všech fázích životního cyklu, a to především v provozní fázi.*“ [38]

Kromě vyšší efektivity je cílem snížení rizik vyplývajících z nedokonalých informací a snížení vícenákladů. Na základě zkušeností ze zahraničí se předpokládá, že zavedení BIM přinese pokles nákladů životního cyklu stavby, viz kapitola 2.2.

Úspory nákladů v provozní fázi, tedy během správy a údržby, jsou jedním z klíčových důvodů, proč se metoda BIM začala v praxi více využívat. Provozní fáze má největší vliv na náklady celkového životního cyklu; trvá nejdéle a zahrnuje řadu obtížně predikovatelných činností, které je možné eliminovat nebo významně zjednodušit již jen existencí podrobné datové informační základny. Úspory provozní fáze lze shrnout do šesti hlavních oblastí:

- a) Přehlednější správa prostoru stavby – rychlý přístup ke kvalitním informacím.
- b) Efektivní údržba – kvalitní informace zajistí kvalifikovanější rozhodování.
- c) Efektivní využití energií – optimalizace energetické bilance.
- d) Efektivní provádění údržby a změn.
- e) Řízení životního cyklu stavby – BIM umožňuje hodnotit náklady WLC namísto samotných investičních nákladů.
- f) Efektivní přenos dat mezi BIM modelem a CAFM systémem – především sémantická data slouží jako propojení mezi systémy, viz Obrázek 5.

V jednotlivých fázích životního cyklu se zpracovávají dílčí stupně projektové dokumentace, popsané v kapitole 1.1.2. Tomu odpovídají výstupy z modelu BIM v různé podrobnosti a struktuře dle kapitoly 1.2.1.

## 2 PŘÍNOSY A NÁKLADY INVESTIČNÍHO PROJEKTU

Rozhodování o každé investici je rozhodování dlouhodobé. V průběhu času, důsledkem změn působí rizika, která vznikají z mnoha příčin především v přípravné a realizační fázi investice. Každá investice, ať finanční nebo hmotná, představuje kapitálový výdaj. Proto by měla zajišťovat návratnost vložených peněžních prostředků. [25] Při ekonomických i manažerských úvahách je proto nezbytné počítat se třemi faktory, tvořícími tzv. trojúhelník investice:

- a) **Výnosnost** – rentabilita nebo zisk z investice. Většinou je smyslem investice, u investičních projektů se označuje jako **návratnost** nebo **ekonomický přínos**.
- b) **Riziko** – je nedílnou součástí investice, spočívá především v odchylkách od projektových parametrů včetně předpokládané návratnosti; jakékoliv zvýšení nákladů lze vnímat jako riziko. Cílem by mělo být riziko identifikovat, řídit a snížit na přijatelné minimum; cílem aplikace BIM je snížení většiny rizik.
- c) **Likvidita** – schopnost předmětu investice přeměnit se na peněžní prostředky. U hmotných veřejných investic je likvidita de facto nehodnotitelná, neboť se jedná o součást strategické infrastruktury státu.

Kritickými faktory jsou tedy návratnost, kterou chce investor maximalizovat, a riziko, jehož úroveň je třeba minimalizovat. Vysoká návratnost je vždy spojená s vyšším rizikem.

U investic se obvykle posuzují následující kritéria: [25]

- **Alternativní náklady příležitosti** (potenciální výnos z druhé nejlepší alternativy).
- **Doba návratnosti** (počet let, za který se kapitálový výdaj splatí příjmy z investice).
- **Čistá současná hodnota** (rozdíl mezi diskontovanou hodnotou peněžních příjmů z investice a hodnotou vynaložených kapitálových výdajů).
- **Čistá konečná hodnota** (úročení příjmů a výdajů k budoucímu okamžiku).
- **Čistá konečná hodnota s návratností** (kritérium kompromisu mezi dobou návratnosti a čistou současnou hodnotou).
- **Ekonomická přidaná hodnota** nebo **ekonomický přínos**.
- **Vnitřní míra výnosu**.

## 2.1 Efektivnost veřejných investic

V kapitole 1.1 bylo uvedeno, že se tato práce zaměřuje na segment velkých investorů státní správy. Hodnocení efektivnosti projektů veřejných se provádí odlišně od investic privátního sektoru. Používá se analýza nákladů a přínosů s použitím čisté současné hodnoty. Náklady a přínosy jsou kvantifikovány zpravidla na základě oborového kalkulačního vzorce. Do projektu, pro který se zpracovává hodnocení efektivnosti, se zahrnují veškeré infrastrukturní investice nebo opatření nezbytná pro dosažení očekávaných efektů. Pro peněžní vyjádření nákladů a přínosů jsou uvažována data počítaná na základě kalkulačních vzorců [25].

### 2.1.1 Ukazatele pro hodnocení efektivnosti veřejných investic

Pokud posuzujeme efektivnost investice, musíme zvažovat zavedení každé inovace v podobě nejlepší dostupné technologie nebo postupu, abychom minimalizovali náklady. Je to zásadní podmínka k tomu, aby investiční projekt splňoval kritérium pozitivní bilance nákladů a přínosů [27]. Takovou inovací je, respektive může být BIM. Dále uvedený popis ukazatelů vychází z literatury [25]. Ukazatele se počítají na úrovni ekonomických nákladů, bez daní.

#### Čistá současná hodnota – NPV

Čistá současná hodnota srovnává stav projektovaný ( $m$ ) a výchozí ( $n$ ). Ukazatel je definován jako suma všech diskontovaných čistých výnosů. Čím vyšší je hodnota ukazatele, tím větší je ekonomický přínos navrhovaného projektu.

$$NPV_{(n-m)} = \sum_{t=1}^T \frac{NB_{t(m-n)}}{(1+r)^{t-1}} \quad (1)$$

Kde:  $NB_{t(m-n)}$  čistý ekonomický výnos projektového stavu proti stavu výchozímu  
 $r$  diskontní míra  
 $t$  analyzované období (hodnocený rok)  
 $T$  životní cyklus (počet let hodnocení)

#### Vnitřní míra výnosu – IRR

Ukazatel představuje diskontní míru, při které je čistá současná hodnota rovna nule. Je vyhodnocován jako výnosnost investice.

$$\sum_{t=1}^T \frac{NB_{t(m-n)}}{(1+IRR)^{t-1}} = 0 \quad (2)$$

## Rentabilita nákladů – BCR

Ukazatel slouží pro plánovací účely, vypočítá se ze vztahu:

$$BCR_{(m-n)} = \frac{NPV_{(m-n)}}{DC_m} + 1 \quad (3)$$

Kde:  $BCR_{(m-n)}$  míra výnosu investičních nákladů na pořízení

$NPV_{(m-n)}$  čistá současná hodnota při diskontní míře  $r$

$DC_m$  diskontované investiční náklady na pořízení stavby

### 2.1.2 Výpočet ekonomického přínosu

Výpočet ekonomické efektivnosti projektů dle vzorce (1) se provádí na základě bilance peněžních toků formou čistých ekonomických výnosů, namodelovaných ex-ante na období ekonomické životnosti investice [25]. Délka období, vyplývající především z charakteru projektu, se rozšíří o dobu realizace stavby.

Na straně příjmů se vykazují nárůsty celospolečenských, respektive socioekonomických přínosů oproti současnosti; případně se uvažuje pokles celospolečenských nákladů. Na straně výdajů jsou tyto položky uvažovány inverzně. Veškeré příjmy a výdaje se vykazují ročně, tak, aby bylo možné jejich hodnoty diskontovat oproti výchozímu roku. Za výchozí rok se obvykle uvažuje rok zahájení realizace stavby.

#### Kalkulační vzorec pro výpočet čistého ekonomického výnosu

Vzorec čistého ekonomického výnosu ( $NB_{(m-n)}$ ), kde jsou jednotlivé toky použity v diferenční podobě mezi stavem výchozím a stavem projektovým:

$$NB_{(m-n)} = CI_{(m-n)} + BC_{(m-n)} + BE_{(m-n)} + BP_{(m-n)} + BEm_{(m-n)} + BO_{(m-n)} \quad (4)$$

**Náklady na investici** ( $CI_{(m-n)}$ ) zahrnují náklady na výstavbu a rekonstrukce a náklady na provoz, údržbu a opravy.

**Přímé socioekonomické výnosy** ( $BC_{(m-n)}$ ) kvantifikují změnu v chování dotčených subjektů (veřejnosti, uživatelů stavby) po dokončení investičního projektu. Mohou mít podobu například uspořené času nebo pohonných hmot.

**Úspora z externích nákladů** ( $BE_{(m-n)}$ ) se vyjadřuje formou průměrné výše externalit na jednotku výkonu nebo výši externích nákladů na danou relaci. Jedná se například o snížení hluku a emisí z dopravy na určité trase.

**Nepřímé socioekonomické výnosy** ( $BP_{(m-n)}$ ) vyplývají z ochoty subjektů utrácet v souvislosti s tím, že je projekt realizován. Patří sem například vyšší oblíbenost spádových oblastí pro bydlení a rekreaci atd.

**Přínosy plné zaměstnanosti** ( $BEm_{(m-n)}$ ) představují dodatečný příjem zaměstnanců zapojených do jednotlivých fází životního cyklu projektu.

**Ostatní přínosy** ( $BO_{(m-n)}$ ) zahrnují *druhotné peněžní přínosy* (například přínosy z mýta), *druhotné nepeněžní příjmy* (pozitivní efekty pro společnost) a *zůstatkovou hodnotu projektu*.

### 2.1.3 Hodnocení metodou Best Value

V globálním měřítku je v oblasti výběrových řízení trendem zavádění takových metod pro výběr nejvýhodnější nabídky, kdy kritériem není pouze cena, ale i další aspekty, určující celkovou hodnotu nebo přínos pro zadavatele, respektive uživatele. Jednou z takových je metoda *Best Value* [17], která umožňuje získat kvalitnější plnění především v oblasti služeb uvedených v oddílu 71 hlavního slovníku jednotného klasifikačního systému CZ-NACE, kam spadají mimo jiné projektové práce nebo řízení staveb.

Podle návrhu novely předpisů o zadávání veřejných zakázek [2] lze ekonomickou výhodnost (ekonomický přínos) hodnotit mimo jiné ve formě *nejvýhodnějšího poměru nákladů životního cyklu a kvality*, nebo *nejnižších nákladů životního cyklu*. Vedle nabídkové ceny se potom hodnotí i tzv. *kritéria kvality*, kterými jsou také technická úroveň, funkční vlastnosti, uživatelská přístupnost a environmentální nebo inovační aspekty [30]. Zavedení a přínos BIM souvisí s tímto přístupem k hodnocení efektivity životního cyklu projektů.

## 2.2 Náklady v životním cyklu investičního projektu

V pohledu finančního účetnictví *náklady představují peněžně vyjádřenou spotřebu výrobních faktorů včetně veřejných výdajů, vyvolanou tvorbou výkonů* [39]. V ekonomickém pojetí se jedná o *peněžní vyjádření obětí na statcích a výkonech za účelem dosažení zisku* [53]. Zahrnují tedy nejen náklady explicitní, ale i tzv. náklady implicitní (náklady obětované příležitosti, náklady skryté aj.).

Existuje více pohledů na členění nákladů [40]. V manažerském účetnictví se používá členění kalkulační, které rozlišuje přímé a nepřímé náklady. Podle závislosti na objemu prováděných výkonů se rozlišují náklady variabilní a fixní. Dále se používá také členění druhové a členění účelové.



Z pohledu životního cyklu se náklady rozlišují podle toho, jak zhodnocují majetek, na:

- *provozní náklady* (provozní výdaje);
- *investiční náklady* (investiční výdaje).

Ve stavebnictví se náklady druhově i účelově rozdělují do čtyř úrovní, uspořádaných vzestupně takto: [35]

### **1. úroveň: náklady na realizaci stavební činnosti**

Zahrnují konstrukce, materiál, práce, stroje, režii a zisk. Odvozují se od kalkulační jednice, tedy od výkonu vymezeného názvem, kvalitativními podmínkami a měrnou jednotkou. Z ekonomického hlediska se rozlišují *vlastní náklady výroby*, zahrnující výrobní režii, a *úplné vlastní náklady výkonu*, zahrnující navíc správní režii.

### **2. úroveň: náklady na stavební objekt**

Používá se obvykle členění na:

- *Základní rozpočtové náklady* (zahrnuje 1. úroveň nákladů)
  - Hlavní stavební výroba, hrubá stavba, inženýrské sítě, vodní hospodářství.
  - Pomocná stavební výroba (přidružená), řemesla, instalace, dokončovací práce, kompletace.
  - Montáž, práce a výkony na provozních souborech a stavebních objektech.
  - Hodinové zúčtovací sazby, slouží pro ocenění prací, pro které nejsou ceníkové položky, prací nezměřitelných, na předběžné obhlídky, havarijní práce, provádění revizí apod.
- *Náklady spojené s umístěním stavby*
  - Zařízení staveniště, mimostaveništní doprava
  - Územní a provozní vlivy, ostatní
- *Náklady na přípravu, realizaci a organizaci stavby*
- *Doplňkové náklady*

### **3. úroveň: celkové náklady výstavby**

- A. Projektové a průzkumné práce
- B. Provozní soubory

- C. *Stavební objekty* (zahrnuje 2. úroveň nákladů)
- D. Stroje, zařízení, inventář
- E. Umělecká díla
- F. Vedlejší náklady spojené s umístěním stavby
- G. Ostatní náklady
- H. Rezervy
- I. Ostatní investice
- J. Nehmotný investiční majetek
- K. Provozní náklady na přípravu a realizaci stavby
- L. Kompletační činnost

#### **4. úroveň: náklady životního cyklu LCC/WLC**

V kontextu teorie životního cyklu, viz kapitola 1.3, zahrnují *veškeré náklady vynaložené na pořízení a využívání stavby po celou dobu její ekonomické životnosti, včetně ekonomických nároků na její ekologickou likvidaci* [35].

LLC je technika umožňující vyčíslení srovnatelných nákladů vznikajících v průběhu životního cyklu projektu, který představuje návrhový horizont životnosti. Bere v úvahu všechny relevantní ekonomické faktory v jednotlivých životních fázích. [9]

WLC je metodika pro systematické ekonomické hodnocení nákladů a výnosů v celém posuzovaném (návrhovém) období projektu [9]. Ke složkám LLC přidávají ještě nestavební náklady, externality a příjmy. Struktura nákladů životního cyklu odpovídá fázím životního cyklu stavby, viz Obrázek 6.

##### **2.2.1 Typický průběh nákladů a jejich kalkulace**

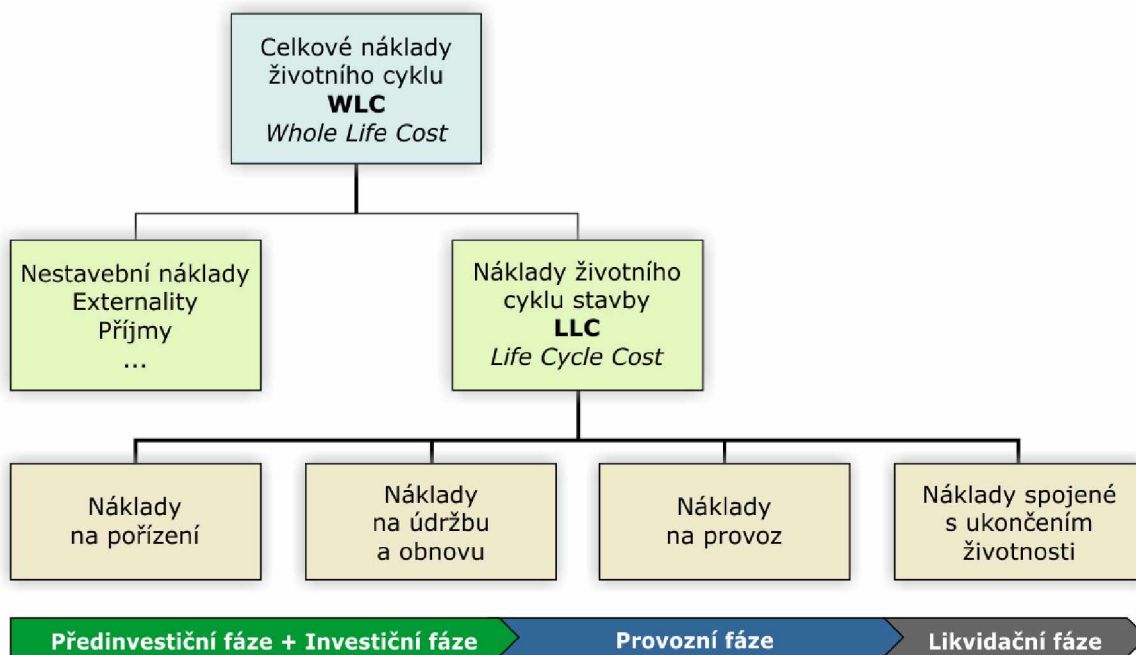
Pro stanovení průběhu nákladů v životním cyklu je rozhodujícím parametrem tzv. *návrhové období projektu*. To představuje časový horizont, po který se počítá s provozem stavby, její údržbou, a předpokládanou dílčí modernizací. Pokud je to u daného typu konstrukce nebo objektu vhodné, lze v této perspektivě počítat i se skokovou modernizací, zvýšením užitné hodnoty v průběhu provozní fáze a jejím výrazným prodloužením.

Je obtížné zobecnit tento parametr natolik, aby bylo možno stanovit jednotný průběh pro celý komplex stavební a technologické části, nebo dokonce pro všechny typy inženýrských

staveb. Například u silničních tunelů je návrhové období definitivního ostění 100 let, ovšem u technologického vybavení většinou 10 až 20 let, podle druhu technologie. Technologické prvky lze demontovat a vyměnit bez závažnějšího omezení provozních funkcí stavby; zato vyrobit a instalovat složitější prvky s životností 100 let by bylo velice nákladné a z pohledu technologického rozvoje i neefektivní [28]. Proto se používá termín *analyzované období*.

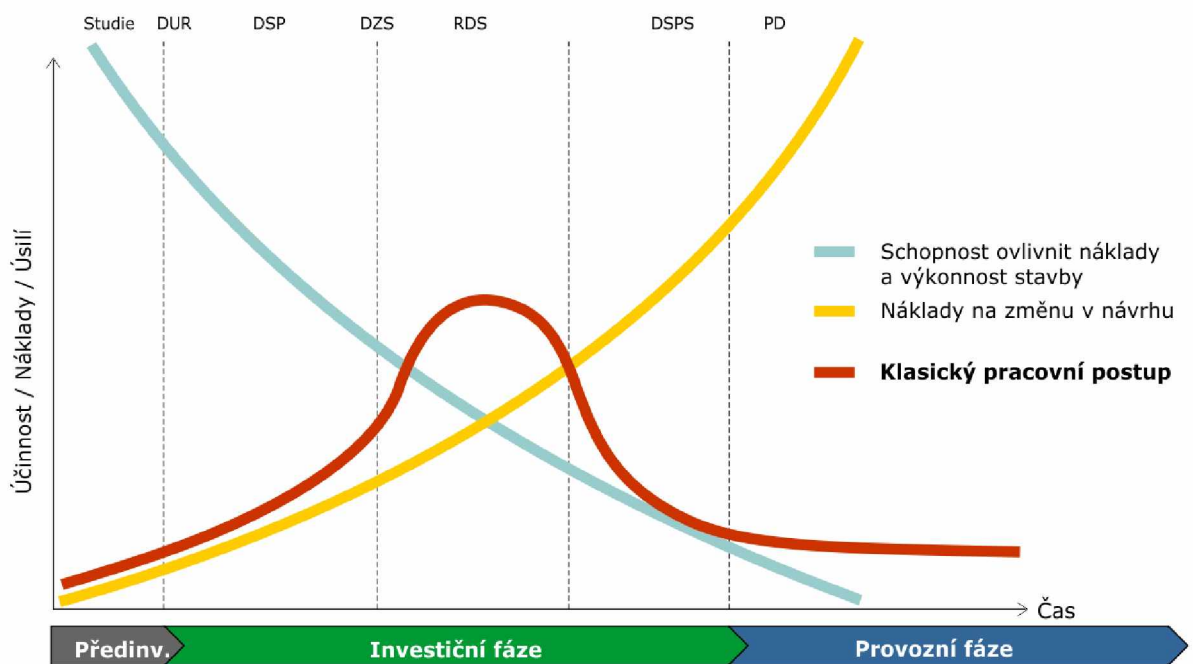
Teorie životního cyklu tato období nerozlišuje, a zavádí pojmy *celková životnost* a *náklady na celkovou životnost*, což jsou ale bohužel nepřesné pojmy. Při analýzách se vychází z předpokladu, že se vždy jedná o náklady na dostatečně dlouhé období, které umožní srovnávat různé postupy výstavby, provozu a údržby, s tím, že tyto cykly mohou být periodické a opakují se v různé frekvenci v závislosti na vnějších faktorech. [34] Grafická interpretace průběhu nákladů v životním cyklu projektu je tedy zjednodušená a nezachycuje veškeré aspekty problematiky, viz Obrázek 7.

Tak jako je obtížné stanovit jednotný průběh časové osy, je komplikované definovat jednotný průběh nákladů mezi fázemi životního cyklu. Situaci komplikuje také skutečnost, že v řadě zemí, Českou republiku nevyjímaje, neexistuje jednotně uplatňovaná metodika sledování a vyhodnocování nákladů životního cyklu, a často není dodržována ani struktura popsaná normou [9]. To vše potom vede ke stavu, kdy je k dispozici řada analýz, které hovoří o stejné problematice, ale ve zcela rozdílných pojmech.



**Obrázek 6:** Struktura nákladů životního cyklu podle ISO 15686-5

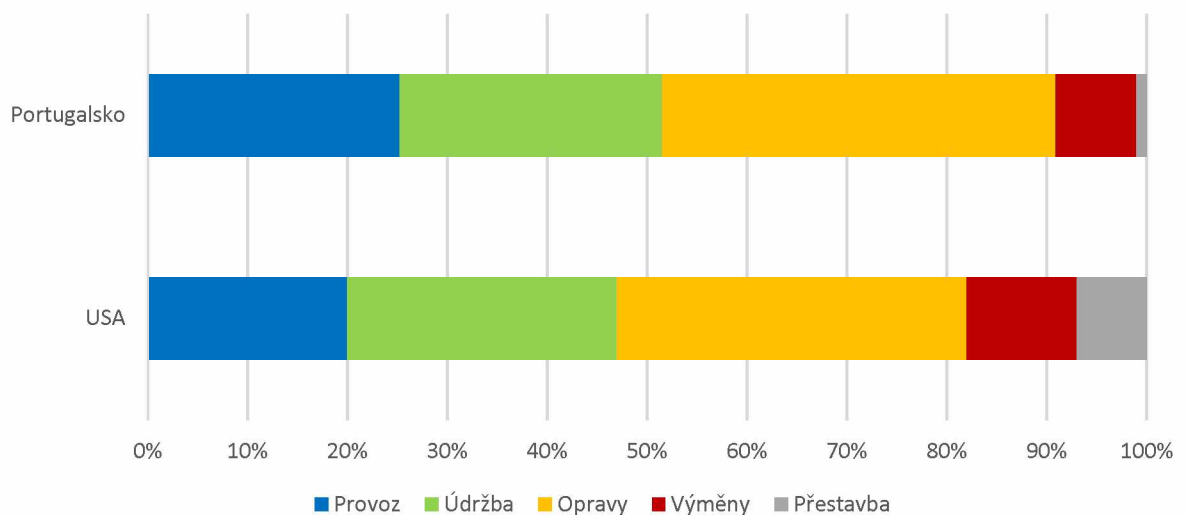
*Zdroj: Vlastní zpracování podle [9]*



**Obrázek 7:** Průběh nákladů LCC investičního projektu

*Zdroj: Vlastní zpracování podle Patrick MacLeamy, AIA/HOK*

Typické rozložení nákladů lze ilustrovat například na datech z případových studií, týkajících se provozu a údržby dálničních staveb v USA a v Portugalsku, viz Obrázek 8. Tato data popisují stejné procesy v rozdílném prostředí, proto je nelze zobecnit a aplikovat na Českou republiku, aniž by došlo ke zkreslení. Průběh i strukturu nákladů je třeba chápat jako zobecněnou interpretaci.



**Obrázek 8:** Rozložení nákladů části životního cyklu dálničních tunelů v různých zemích

*Zdroj: Vlastní zpracování podle [33] a [7]*

Při kalkulaci a vyhodnocení nákladů životního cyklu projektu se obvykle používají tyto ukazatele: [34]

### Čistá současná hodnota

$$NPV = -IN + \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

Kde: $NPV$	čistá současná hodnota peněžních toků
$IN$	investiční náklady na pořízení
$CF$	peněžní toky (cash flow)
$r$	diskontní míra
$t$	analyzované období
$T$	životní cyklus [34]

### Čistá současná hodnota nákladů životního cyklu

$$NPV_{LCC} = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (7)$$

Kde: $NPV_{LCC}$	čistá současná hodnota životního cyklu
$C_t$	součet všech relevantních nákladů po odpočtu výnosů v období [34]

### Roční ekvivalent nákladů životního cyklu

$$EAC = \frac{NPV}{f_{ta}} \quad (8)$$

Kde: $EAC$	roční ekvivalent nákladů životního cyklu
$f_{ta}$	faktor pro přepočtení ročních částek [34]

### Deterministický přístup ke kalkulaci LCC

Jako vstupní se použijí deterministické hodnoty, tedy takové, které nejčastěji nastanou. Metoda je doplněna o citlivostní analýzu.

$$LCC = C_p + \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

Kde: $LCC$	celkové náklady životního cyklu v současné hodnotě
$C_p$	náklady na pořízení [5]

## Stochastický přístup ke kalkulaci LCC

Jako vstupní hodnoty se použijí náhodné proměnné s daným rozdělením pravděpodobnosti. Tento přístup se v praxi obvykle používá, pokud se se změnami nákladů pracuje v analýze rizik životního cyklu.

$$f(LCC) = f(C_p) + \sum_{t=0}^T \frac{f(C_t)}{(1 + f(r))^t} \quad (10)$$

Kde:  $f(LCC)$  je hustota pravděpodobnosti LCC v současné hodnotě  
 $f(C_p)$  je hustota pravděpodobnosti nákladů na pořízení  
 $f(r)$  je hustota pravděpodobnosti diskontní míry  
 $f(C_i)$  je hustota pravděpodobnosti každé z položek relevantních nákladů LCC a odpočtu výnosů [5]

## Suma celkových nákladů LCC

Náklady životního cyklu lze kalkulovat také jako sumu jednotlivých složek v čase, s tím, že hodnoty vstupují do výpočtu již diskontované. Tento přístup je v praxi obvyklý.

$$LCC = C_{in} + C_{op} + C_m + C_{svc} + C_{re1} + C_{re2} + C_{re3} + \dots + C_{rei} + C_d \quad (11)$$

Kde:  $C_{in}$  jsou náklady na přípravu a realizaci  
 $C_{op}$  jsou náklady na provoz  
 $C_m$  jsou náklady na údržbu  
 $C_{svc}$  jsou náklady na opravy  
 $C_{re1,2,3\dots}$  jsou náklady na skokovou obnovu (refurbishment)  
 $C_d$  jsou náklady na likvidaci [41]

Uvedený vztah je možno doplnit pravděpodobnostmi těch složek, které nemusí vždy nastat a jejichž průběh je podmíněn dalšími faktory.

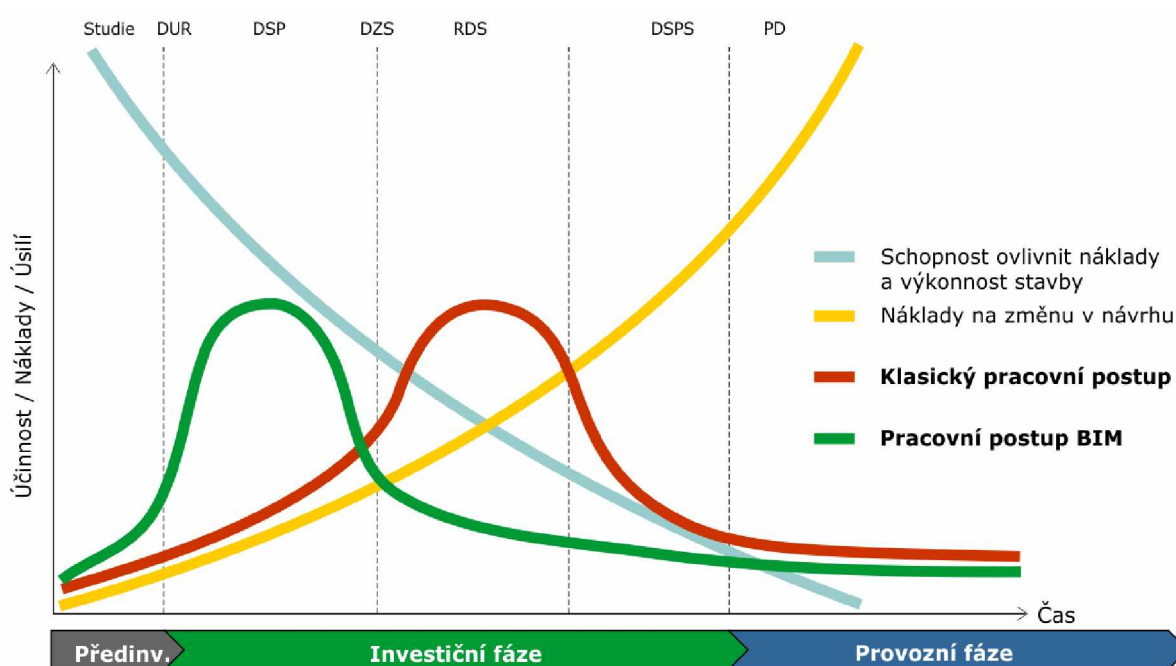
$$LCC = C_{in} + C_{op} + C_m + C_{svc} + p_1 C_{re1} + p_2 C_{re2} + p_3 C_{re3} + \dots + p_i C_{rei} + p_d C_d \quad (12)$$

Kde:  $p_i$  jsou pravděpodobnosti jednotlivých skokových obnov  
 $p_d$  je pravděpodobnost likvidace [41]

## 2.2.2 Předpokládaný průběh nákladů při zavedení BIM

Smyslem zavádění inovací do procesů je především zvýšení efektivity, tedy snížení nároků na úsilí, čas a náklady [44]. U tak složitých procesů, jaké probíhají při realizaci investičních projektů v předmětném segmentu, je jednou z klíčových oblastí pro uplatnění inovací oblast řízení znalostí. Cílem je systematicky odstraňovat znalostní a informační bariéry a vytvořit tok informací napříč aktivitami projektu, při udržení kvalitativních parametrů informací [45]. K naplnění těchto cílů slouží BIM.

Pokud se zmiňují předpokládané úspory ze zavedení BIM (viz kapitola 1.2.2) jako prostředku k automatizaci procesů, nespočívají samozřejmě v nasazení robotických systémů; úspory vyplývají z možnosti efektivní predikce víceprací, nekonzistencí a obecně v lepším řízení rizik, která jsou při současném stavu chápána jako stochastická a nevyhnutelná. Předpokládaný průběh nákladů je porovnán s typickým průběhem přechodové charakteristiky, která popisuje náklady v životním cyklu investičního projektu (viz Obrázek 9).



**Obrázek 9:** Předpokládaný průběh nákladů LCC po zavedení BIM

*Zdroj: Vlastní zpracování podle Patrick MacLeamy, AIA/HOK*

Základní premisa, která byla uznávána v době vzniku prvních koncepcí zavádění BIM v oblasti veřejných investic do inženýrských staveb v České republice, vychází ze studie Boston Consulting Group (BCG) z roku 2016, viz kapitola 2.2.3. Podle studie „do roku 2025 plná digitalizace přípravy staveb povede k ročním úsporám celkových nákladů o 13 % až

21 % ve fázi projektování, inženýringu a realizace, a 10 % až 17 % ve fázi provozu“ [14]. Na stejném podkladu vzniklo i celoevropské Doporučení pro implementaci BIM procesů z pohledu efektivity, kvality a úspor při realizaci veřejných stavebních zakázek [12]. Tento dokument již pracuje s přesnějšími ukazateli. Další zdroje navazující na studii uvádí předpoklad zvýšení náročnosti přípravné fáze, kdy se objem prací a tím vyvolaných nákladů zvyšuje o cca 1 % z nákladů životního cyklu stavby.

Je třeba si uvědomit, že toto 1 % u hypotetické stavby s rozpočtem 40 miliard CZK na výstavbu a 10 miliard CZK na provoz a údržbu představuje navýšení ceny projekčních prací o 500 milionů CZK, přičemž současná cena stejných prací prováděných obvyklým způsobem je nižší, než kolik by činilo toto navýšení.

Předpoklady byly dále zpřesněny především prací týmu University College London a University of Leeds (UCL), viz kapitola 2.2.4, který postupně publikoval několik analýz, soustavně zpřesňujících původní předpoklady. V posledním výstupu jejich prací je uvedeno: „*po základní implementaci BIM se předpokládá celková úspora 3 % nákladů životního cyklu, přičemž nejvyšší míra úspor je především v provozní fázi, kde činí 5,5 %.*“ [23] Uvedené hodnoty vycházejí ze studií a analýz více konzultačních společností i z údajů některých vládních úřadů v Evropě. Tato studie také konstatuje, že **výhody BIM nejsou plně funkcionalizovány ani nemohou být měřeny kvantitativním způsobem.**

Obtížnost kvantifikace přínosů BIM spočívá v synergickém efektu více faktorů zároveň. Nákladové činitele nevznikají pouze v souvislosti s BIM, ale také řízením nákladů životního cyklu a nástrojů CAFM pro správu stavby. Každý z nástrojů působí na jiné činitele a snižuje jinou oblast nákladů, přičemž ale zároveň vyvolává další náklady především v přípravné fázi. Proto se celková změna průběhu nákladů předpokládá tak výrazná, a zároveň proto ji není možno analyzovat odděleně po jednotlivých složkách.

### 2.2.3 Studie Boston Consulting Group

Studie BCG předpokládá obecnou úsporu zavedení digitalizace v oboru stavebnictví až 20 % nákladů životního cyklu projektu. Hlavním cílem studie je predikce vývoje oboru a transformace jednotlivých subjektů, tedy účastníků výstavby. Analýza zohledňuje vazby na další obory průmyslu, které procházejí obdobnou proměnou. Zpracovává předpovědi pro tři oblasti stavebnictví: komerční, infrastrukturní a průmyslové projekty, přičemž specifikaci inženýrských staveb v podmínkách České republiky odpovídají všechny.



Předpoklady studie BCG vycházejí nikoli pouze ze zavedení metodiky BIM, ale obecně z procesu digitalizace stavebnictví; řada inovací bude zavedena bez ohledu na BIM, kde ale všechny technologie působí synergicky. Jedná se například o následující oblasti inovací:

### **Uživatelské rozhraní a aplikace**

- Využívání big data a komplexní datové analytiky ve všech fázích projektu. Přináší úspory předcházením kolizí, umožňuje prediktivní údržbu a také předcházení havarijních stavů při výstavbě (například kolapsům konstrukcí nebo horninových prostředí při ražbách podzemních děl).
- Simulace a virtuální realita. Možnost virtuální prohlídky slouží nejen pro komunikaci s investorem a zainteresovanými stranami, ale také pro posouzení funkčních a bezpečnostních aspektů.
- Mobilní rozhraní a augmentovaná realita. Snadný přístup k datům projektu a jejich propojení se skutečností v reálném čase usnadňuje komunikaci a předchází kolizím a chybám v projektu.

### **Softwarová platforma a řízení dat**

- Informační model v cloudu. Praktická aplikace BIM umožňuje centrální správu a řízení projektových dat a jejich snadné zpřístupnění všem zapojeným subjektům. Jsou minimalizována informační rizika.
- Neomezené připojení a sledování. Centralizovaná správa dat na cloudu umožňuje k datům přistupovat odkudkoliv, zpřístupnit je a sledovat vývoj projektu.

### **Digitální/fyzická integrační vrstva**

- Hromadná výroba a prefabrikace. Jelikož každá stavba představuje de facto kusový výrobek, prefabrikace je jednou z možností snížení nákladů. Principy hromadné nebo sériové výroby mohou být zavedeny nejen u obvyklých stavebních prvků a výrobků, jejich aplikace je možná také u větších celků nebo jejich částí, které se mohou v rámci projektu opakovat.
- 3D skenování. V současnosti se skutečný stav obvykle zaznamenává do různých vyspělých forem digitálních map, kam jsou přenášeny konstrukce nebo zařízení zaměřené podle skutečnosti. Proto se začínají využívat možnosti 3D skenu, který například za pomoci lidarů vytvoří mračno bodů popisující skutečný stav

konstrukce nebo terénu s absolutní přesností a za zlomek času. Tyto postupy nahrazují část geodetických prací.

### **Senzory a zařízení**

- Inteligentní konstrukční zařízení a robotika. Podobně jako v průmyslu, ve stavebnictví jsou vyvíjena robotická zařízení pro mechanicky se opakující práce, včetně například ukládky cihel, transport a ukládání betonových směsí a podobně. Na otevřených staveništích (především při výstavbě silnic a dálnic, železničních těles nebo rozsáhlých mostních konstrukcí) se experimentuje s používáním kooperačních robotů. Díky nim bude možné nejen ušetřit namáhavou práci, ale především práci vysoce rizikovou.
- Autonomní vozidla a drony. Zavedení inteligentních technologií s prvky částečné nebo úplné autonomie výrazně zefektivní veškerou staveništní logistiku. Reálné experimenty s roji kooperujících dronů naznačují výrazné úspory nákladů na kontrolní a revizní činnost bez nutnosti přerušit provoz u dopravních nebo průmyslových staveb. Místo toho, aby se tyto práce prováděly za účasti lidského týmu, je možné provést prohlídku za využití technologií které následně zpracují data pro virtuální prohlídku. Hlavní efekt úspory je především v rovině ušetřených nákladů na zastavení provozu.
- Vestavěné senzory. Je možné využívat senzory a čipy pro značení, lokalizaci autonomních prostředků. Mohou fungovat na pasivním principu nebo aktivně signalizovat poruchu, výkyvy ve výkonu nebo v napájecí soustavě a podobně. Tato technologie se již v současnosti využívá a předpokládá se další nárůst.

Ve studii BCG představuje metodika BIM určité zastřešení všech těchto dílčích oblastí. Vývojové stupně digitalizace jsou popsány následovně.

### **Fáze přípravy**

1. Paralelní a výkonný proces návrhu a projektování.
2. Virtuální zpracování fyzických struktur.
3. Návrh řízený daty.
4. Simulace a rychlé prototypování.
5. Iterační návrh a projektování.

## **Fáze realizace**

1. Sdílení dat v reálném čase, integrace, koordinace.
2. Výstavba řízená daty a štíhlý management stavby.
3. Nové postupy stavební výroby.
4. Automatizovaná a autonomní výstavba.
5. Přesný monitoring výstavby a průzkumu.

## **Fáze provozu**

1. Zdokonalené procesy provozu a údržby.
2. Virtuální přejímky.
3. Chytrý provoz a údržba.
4. Sledování stavu a prediktivní údržba.
5. Rychlá a efektivní rozhodnutí o údržbě.

Studie uvádí značný rozptyl možných dopadů BIM na náklady ve fázích životního cyklu. Uvažuje paralelní vliv více inovací, a ještě je rozděluje pro různé druhy staveb, nicméně nepopisuje dopady vždy v celém rozsahu. Proto například vyčísluje úsporu při návrhu chemického výrobního zařízení, ale již neuvádí očekávané úspory při jeho provozu. Dále uvádí úspory podle druhů stavebních konstrukcí (svislé konstrukce 10 %, liniová výstavba 15 %, funkční komplexy jako například nemocnice od 15 do 23 %, přičemž dopady do provozních nákladů jsou pouze do výše 10 %). Součástí analýzy je také odhad objemu celosvětově uspořených nákladů za rok v cenové úrovni roku 2025. Tento přístup je poměrně problematický, znemožňuje totiž zobecnění většiny dat a jejich aplikaci na jiné druhy staveb, než které jsou ve studii konkrétně popsány.

Jak již bylo uvedeno, studie BCG předpovídá obecné úspory ze zavedení BIM:

- ve fázích přípravy a realizace v rozsahu 13-21 % nákladů fáze;
- ve fázi provozu a obnovy v rozsahu 10-17 % nákladů fáze.

Cenou za tuto úsporu je předpokládaný nárůst nákladů ve fázi přípravy, který je určen jako 1 % z nákladů životního cyklu investičního projektu. Je způsoben přesunem úsilí do dřívější fáze životního cyklu, a zapojením kapitálově náročných procesů digitalizace a automatizace.

## 2.2.4 Studie University College London/University of Leeds

Studie UCL/UoL hodnotí přínosy zavedení BIM do segmentu stavebnictví ve Velké Británii. V tomto smyslu nabízí do značné míry lépe srovnatelné výstupy. Hned v úvodu si autoři všimají toho, že jelikož inovace není pevně definována, jsou její výhody zatím vnímány především komerčně. Proto se snaží o kvantifikaci obecných výhod zavedení BIM a poskytnout robustní dynamickou metodologii pro stanovení nákladů a přínosů inovace.

Od jiných prací se liší tím, že výslovně uvádí BIM jako součást konceptu inteligentních měst *Smart Cities*. Odvolává se v tomto na britskou normu, která koncept popisuje jako „*efektivní integraci fyzických, digitálních a lidských systémů do zastavěného prostředí, aby občanům zajistila udržitelnou, prosperující a inkluzivní budoucnost*“. [23] Podle autorů přináší BIM vyšší produktivitu a efektivitu, umožňuje komplexní kontrolu. Studie hodnotí náklady a přínosy BIM ve fázi přípravy, realizace, provozu a obnovy životního cyklu investičního projektu, s tím, že se podrobně zaměřuje především na investiční část (příprava a realizace) a pracuje s analýzou dodavatelských řetězců.

Kvantifikace klíčových nákladů vyžaduje kalkulaci nákladů na pořízení (tedy v průběhu přípravy a realizace, jedná se o náklady investiční), i nákladů na provoz a údržbu, ideálně pak nákladů životního cyklu projektu. Podle závěrů studie UCL lze pořizovací náklady BIM rozdělit především na:

- **Náklady na pořízení softwaru a technologií:** implementace BIM vyžaduje úplný přechod od lineárního pracovního postupu až k parametrickému modelování, které je nutně založeno na novém typu softwaru. Ten je dodáván prostřednictvím pronájmu, náklady jsou tedy rozloženy v čase. Je také nutno investovat do výkonného hardwaru a síťových prostředků, včetně využití cloud computingu.
- **Náklady na vzdělávání pracovníků:** zavedení BIM výrazně mění charakter práce v projekčních a stavebních společnostech. Nový systém vyžaduje odborníky, kteří jsou schopni vykonávat jednoduché programování nezávisle na softwarové platformě, a navíc jsou odborníky ve svých profesích. Proto jsou zapotřebí vyšší investice do školení stávajících zaměstnanců, investic do nových vysoce kvalifikovaných IT specialistů a zapojení týmů technické podpory.

Kvantifikace nákladů životního cyklu se podle autorů studie UCL jeví jako velmi složitý problém. Ačkoliv je celá problematika popsána mezinárodními normami, a věnují se jí týmy odborníků, složité scénáře životního cyklu představují stále velkou výzvu. Proces životního

cyklu je velice složitý a mezi jednotlivými stavbami se výrazně liší. Je obtížné kvantifikovat skutečné náklady životního cyklu, jsou velmi různorodé.

Proti těmto nákladům stojí přínosy BIM. Ve fázích **přípravy a realizace** spočívají v tom, že metodika je silným nástrojem pro kooperaci a komunikaci zúčastněných stran. Ty mají přístup vždy k nejvíce aktuální podobě projektu (doslova se říká, že model je *jediným zdrojem pravdy*). Zlepšuje se synchronizace dat a informací. To vede k výhodám včetně:

- Snížení chybovosti, eliminace zbytečné práce a omezení plýtvání: lepší sdílení informací, vizualizace a synchronizace eliminují příčiny vzniku mnoha chyb, například práce s neaktuálními podklady.
- Lepší spolupráce: méně nedorozumění, lepší vztahy mezi zúčastněnými stranami, což omezuje vznik konfliktů a soudních sporů.
- Lepší správa času: díky zavedení BIM mohou dodavatelé a zákazníci vizualizovat a posoudit navrhovaný projekt dříve, s možností zpětné vazby.
- Kvalita určená k uspokojení potřeb obsluhy a uživatelů je vyšší.
- BIM umožňuje zavedení prefabrikace a automatizace, což přináší úsporu času a nákladů.

Ve fázi **provozu** umožňuje BIM shromažďovat cenné údaje pro rozhodování. Datová základna s vazbou na sémantickou složku modelu může zahrnovat informace například o poruchách zařízení, plánování a provádění údržby. To znamená:

- snížení nákladů na údržbu.
- snížení nákladů na náhradní díly a jejich obnovu.
- snížení nákladů na energii a další provoz.

V této oblasti tedy studie nepřináší žádné nové poznatky, pouze potvrzuje již dříve publikované závěry. Dále popisuje tzv. **klíčové charakteristiky**; je možné analyzovat úspory nákladů a další přínosy BIM na projektech, které mají následující charakteristiky:

- a) **Složitost**: čím větší je složitost projektu, tím větší je potřeba, aby byl realizován za použití BIM. Čím je projekt složitější, tím větší jsou přínosy inovace, ale také potenciálně vyšší náklady na implementaci souvisejících technologií (což je dáno jejich odvozením od nákladů životního cyklu).

- b) **Multidisciplinární projekty:** analýzy by se měly zaměřit na projekty, které mají multidisciplinární charakter a zapojují větší počet zainteresovaných stran.
- c) **Typ projektu:** analýzy by měly pokrývat stavební projekty obecně, nikoli pouze budovy. Například projekty v oblasti infrastruktury poskytují mnohem přesnější a lépe vypovídající údaje.

Klíčové charakteristiky odpovídají zaměření této práce, což dává teoretický předpoklad pro to, že by analýza provedená s využitím předpokladů studie UCL měla více odpovídat realitě. Cílem studie je vytvoření metodiky pro hodnocení nákladů a přínosů BIM projektů, a v jejím závěru je uvedeno, že výstupy odpovídají tomu, jak je BIM hodnocen a vnímán v britském kontextu. Autoři výslovně uvádějí, že při použití v jiném prostředí metodická část nemůže být použita. To nijak nesnižuje použitelnost první části studie například pro analýzu v České republice.

V závěru studie, a také v přednáškách kde prezentovali její výstupy, autoři uvádějí, že jedním z podnětů k jejich práci byly obavy vládních institucí ve Velké Británii, zda tamní veřejný sektor nemůže více využívat potenciálu digitalizace stavebnictví. V tomto směru jsou závěry studie poměrně pesimistické, neboť přináší doklady o tom, že proces zachycování nákladů zůstává i při zavedení této inovace černou skříňkou. Autoři přiznávají, že stále není jasné, jaké jsou skutečné finanční náklady a přínosy BIM. Pro objasnění těchto nejasností doporučují provést systematickou analýzu po projektech, subjektech a po celých sektorech stavebnictví a shromáždit co nejvíce dat.

Výstupy studie jsou podle mínění autorů přínosné pro jednotlivé účastníky výstavby, ale nemohou poskytnout komplexní obraz, který je nezbytný pro hodnocení přínosů v životním cyklu projektu.

Jak již bylo uvedeno, studie UCL předpovídá úspory ze zavedení BIM:

- ve fázi realizace ve výši 1 % nákladů životního cyklu;
- ve fázi provozu a obnovy ve výši 3 % nákladů životního cyklu.

Cenou za tuto úsporu je předpokládaný nárůst nákladů ve fázi přípravy, který je určen jako 1 % z nákladů životního cyklu investičního projektu. Také v tomto případě je způsoben přesunem úsilí do dřívější fáze životního cyklu, a zapojením kapitálově náročných procesů digitalizace a automatizace.

### 2.3 Souvislosti nákladů a rizik

Většina činitelů, které vyvolávají růst nákladů investičního projektu, má náhodný charakter. Nemusí se jednat o růst přímých nákladů, ale například také o nárůst pracnosti nebo časové náročnosti některého procesu nebo činnosti. Studie provedená v Götteborgu v roce 2011 [13] identifikovala nejvíce pravděpodobná rizika s negativním dopadem na termíny plnění, kvalitu a náklady u stavebních projektů (viz Tabulka 2).

**Tabulka 2:** Pravděpodobnost zpoždění a zvýšení nákladů

Riziko	Pravděpodobnost	Dopad na čas/náklady
Neefektivní řešení	až 0,8	> 40 %
Chyby v kalkulacích a rozpočtech	až 0,6	> 20 %
Zpoždění výstavby	až 0,6	> 20 %
Nedostatek vstupů	až 0,6	> 5-10 %
Nedostatek koordinace/spolupráce	až 0,6	> 10-20 %

*Zdroj: Vlastní zpracování podle [13]*

Uvedená rizika samozřejmě nastávají náhodně, mohou nastat zároveň a v jejich důsledku dochází ke zvýšení investičních i provozních nákladů. Méně než třetinu projektů ve všech sektorech je možno dokončit v rozpočtovaném rozsahu včetně 10 % rezervy (viz Tabulka 3). Je pozoruhodné, že například pouze jeden z deseti projektů, realizovaných ve veřejném sektoru, nepřekračuje plánovaný rozpočet. [1]

**Tabulka 3:** Procento stavebních projektů překračujících plánované rozpočty

Procento z celkového počtu projektů	Překročení nákladů
35 % všech projektů	10 %
31 % všech projektů	10 % až 30 %
19 % všech projektů	30 % až 50 %
12 % všech projektů	více než 50 %

*Zdroj: Vlastní zpracování podle [1]*

**Proto je zavedení BIM vnímáno především jako cesta, jak snížit neurčitost odhadu rizik a změnit průběh nákladů na více deterministický jev, než je tomu v současnosti.** Přispívá tomu jednotná datová a informační báze, nahrazující dílčí dokumentace a eliminace informačních ztrát.

### 3 ANALÝZA DAT Z PILOTNÍCH PROJEKTŮ

V předchozích kapitolách byla popsána problematika inženýrského stavitelství, vysvětlena zaváděná inovace a její předpokládaný vliv na náklady v životním cyklu investičního projektu. V aktuální kapitole je provedena analýza nákladů vybraných pilotních projektů v České republice.

Současný stav oboru neumožňuje srovnání ucelených nákladových křivek u více projektů, a to ani pokud bychom uvažovali projekty zahraniční. Příčina tkví v tom, že úspory z nasazení BIM jsou rozloženy do celého životního cyklu, ale obvyklé chápání účastníků výstavby se vztahuje vždy jen k určité části životního cyklu, kde by chtěli úspory vyčíslit – tedy například k přípravě a realizaci, nebo k provozu. Dlouhodobá vize úspor z provozu je pro většinu ze subjektů nezajímavá. Pokud na přípravu a realizaci počítáme úsek například 10 let, potom u projektu ušetří jednotliví účastníci nerovnoměrně asi 3 % [23], přičemž část z toho se rozplyne ve změnách probíhajících na trhu. Navíc ve stavebnictví není možné projekty jednoduše srovnat a vyčíslit změny, jak bude uvedeno dále. Proto analýza zde provedená je spíše v empirické rovině. Koneckonců, těžko lze vyjádřit zápornou hodnotu pramenící z nedorozumění a sporů, jaké jsou na tuzemských projektech bohužel běžné. Jak uvedl Ing. Jaroslav Synek, Ph.D.: *„Mnoho poznatků je zatím v rovině obtížně systematicky prokazatelných hodnot, protože vlivy nejsou a nemohou být přesně kvantifikovány, a jejich výskyt, vzhledem k počtu projektů nelze přesně definovat.“*<sup>1</sup>

#### 3.1 Data pilotních projektů

Pro analýzu bylo teoreticky možné využít data o jednotlivých desítkách projektů v rámci České republiky. Inženýrské stavby představují do jisté míry nehomogenní skupinu, kdy každá charakteristika projektu může znamenat vylučující kritérium, které činí každé dva projekty nesrovnatelnými.

Nejvyšší stupeň rozpracovanosti BIM v různých fázích životního cyklu byl při sestavování této práce na dvou komplikovaných a rozsáhlých tunelových stavbách. Prvním projektem je tzv. **Tunelový komplex Blanka** v Praze (TKB), tvořený dopravním systémem tunelů, technologickými centry, navazujícími částmi pozemních komunikací a dalšími objekty. Na tomto projektu byla metodika BIM dosud uplatněna ve fázi provozu, kde je součástí systému

---

<sup>1</sup> Ing. Jaroslav Synek, Ph.D., vedoucí útvaru technologií a materiálu Metrostav a.s. Elektronická komunikace s autorem práce, navazující na konferenci **BIM: přidaná hodnota rizika**, pořádané společností Autodesk v listopadu 2019 v Praze.



pro správu a údržbu v rámci facility managementu. Druhým projektem je železniční **tunel Ejpovice (TE)** na koridoru mezi Prahou a Plzní. Dva tubusy tunelu spolu s technologickým zázemím, nadzemními objekty a přilehlými částmi železničního svršku a spodku jsou zpracovány v rovině tzv. *uživatelského modelu*, který je využíván při správě a údržbě. Podrobnosti o obou projektech jsou uvedeny v Přílohách A a B.

Implementace BIM probíhala na obou projektech paralelně, vždy v reakci na jiné potřeby a odlišným postupem. Na projektu TE byl zpracován geometrický model v minimální podrobnosti, odpovídající požadavkům provozovatele, a byl přímo popsán základní strukturou sémantických dat. Předpokládá se další využití jako podpůrného nástroje pro běžné činnosti správy a údržby. Zpracování modelu a metadat zajišťovali pracovníci zhotovitele stavby. Oproti tomu model projektu TKB byl zpracován týmem na straně provozovatele, a to v takové podrobnosti, aby v modelu bylo lze identifikovat každý prvek ovládaný řídicím systémem stavby. Sémantická složka modelu je datově poměrně chudá, rozhodující je klíčové pole s identifikačním kódem prvku, přes který se data propojují se samostatným informačním systémem pro správu a údržbu stavby. Tento systém poté zajišťuje facility management a také funkce prediktivní údržby.

Rozdílný přístup k BIM je dán odlišností železničního a městského silničního tunelu; ve stavbách je instalováno a udržováno řádově rozdílné množství technologických zařízení. Paradoxně oba přístupy znamenají srovnatelnou pracnost, a například v rovině dodatečně vyvolaných nákladů a úsilí představují zcela srovnatelné položky (na pracnějším projektu je více činností, ale nárůst je proporcionální). V obou případech se do tvorby modelu zapojovalo více subjektů, od projektanta a zhotovitele až po provozovatele a investora jakožto uživatele BIM.

Náklady každého investičního projektu se popisují jednotnou strukturou, která respektuje pravidla a zvyklosti v oboru. Podrobná typická nomenklatura je uvedena v Příloze C, základní strukturu uvádí Tabulka 4. První tři části zahrnují investiční náklady, spojené s přípravou a realizací investičního projektu, a to včetně nákladů na zajištění zkušebního provozu. Zbývající tři části souvisí se zajištěním provozu a skokovou obnovou, případně s likvidací stavby. Zde se jedná většinou o náklady provozní.

Mimo toto členění je každý rozpočet možno strukturovat do tzv. hlav celkových nákladů výstavby, viz kapitola 2.2; takové členění je však pro potřeby analýzy dopadů BIM do životního cyklu investičního projektu nevhodné, a proto není v této práci použito.

**Tabulka 4:** Struktura nákladů analyzovaných pilotních projektů

Příprava a realizace (investiční náklady)	
<b>A</b>	<b>Příprava a celkové zabezpečení stavby</b>
A.1	Náklady inženýrské činnosti ve výstavbě
A.2	Náklady projektových dokumentací
A.3	Výkupy pozemků a nemovitostí
A.4	Jiné náklady přípravy a zabezpečení výstavby
A.5	Geotechnický monitoring
<b>B</b>	<b>Realizace stavby</b>
B.1	Stavební objekty
B.2	Provozní soubory
B.3	Ostatní zhotovitelé
B.4	Ostatní náklady realizace stavby
<b>C</b>	<b>Ostatní investiční náklady</b>
C.1	Úprava ceny díla v důsledku změn nákladů
C.2	Zkušební provoz
<b>D</b>	<b>Rezerva</b>
Provoz a likvidace (provozní i investiční náklady)	
<b>E</b>	<b>Provoz a údržba</b>
E.1	Náklady na personální zajištění
E.2	Spotřeba energií
E.3	Spotřeba vody
E.4	Kontroly a prohlídky
E.5	Náklady na údržbu stavby
E.6	Měření
E.7	Ostatní náklady provozu
<b>F</b>	<b>Obnova</b>
<b>G</b>	<b>Likvidace</b>

*Zdroj: Vlastní zpracování*

## **3.2 Metodika a zpracování vstupních dat pro analýzu**

Analyzované období bylo pro potřeby práce stanoveno na 50 let od uvedení do provozu.

Pro toto období byla od investorů, respektive provozovatelů obou projektů získána data ve struktuře souhrnného rozpočtu (viz Příloha C), doplněná o veškeré známé provozní náklady.

Dále bylo třeba doplnit informace o obnově, stanovit intervaly plánovaných výměn zařízení v cyklech obnovy dle projektové dokumentace. U analyzovaných projektů se používá poměrový model, kdy se:

- a) Každých 10 let obnoví zařízení v hodnotě 2 % investičních nákladů na technologii.
- b) Každých 20 let obnoví zařízení v hodnotě 5 % investičních nákladů na technologii.
- c) Každých 50 let obnoví konstrukce v hodnotě 3 % investičních nákladů na stavební část.

Popsaný postup byl konzultován se zástupci provozovatelů obou staveb, a s nezávislým odborníkem v oboru zajištění provozu tunelových staveb. Jedná se o jeden z obvyklých přístupů, v praxi je možno se setkat i s jinými metodikami pro stanovení intervalů obnovy.

### **3.2.1 Transformace vstupních dat**

Provozní náklady, stejně jako náklady na obnovu, byly diskontovány na současnou hodnotu pomocí vzorce (7), s tím, že byla uvažována průměrná roční inflace 2 % v souladu s obvyklým inflačním cílem České národní banky. Ačkoliv se skutečná výše inflace v praxi většinou liší o desetiny procent, pro účely analýzy nákladů se jedná o obvykle používanou hodnotu; tento postup byl ověřen s vedoucím oddělení rozpočtování a ekonomiky staveb jednoho z poskytovatelů dat pro analýzu.

Náklady celého životního cyklu se rozpočítávají tak, že se:

- a) Určí bod na časové ose, ke kterému se hodnocení provádí.
- b) Stanoví se doby trvání jednotlivých fází (příprava, realizace, provoz včetně intervalů obnovy, případně likvidace).
- c) Od bodu hodnocení na časové ose se provede rozpočítání nákladů životního cyklu na jednotlivé roky a náklady se diskontují.

Výsledkem je křivka nákladů životního cyklu.

## ZÁVĚR

Výsledky obsažené v této práci jsou interpretovatelné spíše v empirické rovině. Její spolehlivost je přímo úměrná přesnosti získaných dat a zahrnutých předpokladů. Zavádění BIM jako celooborové inovace se dotýká velkého množství subjektů, které ne vždy jsou na tak velký krok zcela připraveny. Každá z předchozích průmyslových revolucí měla velký dopad na strukturu hospodářských a průmyslových odvětví, která ovlivňují postavení zemí v mezinárodní dělbě práce, mění konkurenceschopnost zemí jako celku i jednotlivých ekonomických subjektů. [22]

Pokud je výstupem z provedené analýzy konstatování, že po zavedení inovace BIM v České republice budou potvrzeny teoretické předpoklady přejaté ze světa, musíme brát v úvahu, že se tak může stát jen v určité části segmentu stavebnictví nebo v působnosti některých velkých investorů. Analýza prokázala, že může dojít k přeskupení nákladů v rámci životního cyklu; na datech pilotních projektů bylo vyčísleno, k jaké míře úspory ročního ekvivalentu nákladů by mělo teoreticky dojít. Pokud si ale položíme otázku, zda je tento výsledek možné přenést i na další projekty, je třeba přiznat, že to vlastně nejsme schopni říci.

Aktuální politická a ekonomická situace v České republice je složitá. Odborné instituce varují před tím, že inovace BIM je zaváděna bez toho, aby bylo zpracováno procesní schéma stavebnictví (životního cyklu staveb) jako podklad pro návrh digitálního procesu, nejsou jasné návaznosti výstupů na prostředí. Není uvažováno s postupným zaváděním povinností, jak je to obvyklé v jiných zemích, ale skrytě se připravuje skoková povinnost pro všechny subjekty ve stavebnictví. Takový postup může nástup čtvrté průmyslové revoluce ve stavebnictví zcela zdiskreditovat a znehodnotit nejen u odborné veřejnosti.<sup>2</sup>

Na základě provedené analýzy je možné odvodit, že BIM postupně přinese snížení nákladů v jednotlivých fázích životního cyklu, bez ohledu na to, jak nákladné a složité je zavedení předmětné inovace.

Asi nejzásadnější přínos BIM je možné shrnout slovy jedné z největších osobností historie managementu, Tomáše Bati: *Lidem myšlení, strojům dřinu*. Pokud bude praktické uplatnění BIM znamenat snížení mechanické práce, chybovosti, omezení různých forem plýtvání, bude celkový efekt vždy pozitivní nejen pro investora, ale pro všechny účastníky investičního projektu.

---

<sup>2</sup> Hodnotící zpráva Odborné rady pro BIM k naplňování Konceptce zavádění metody BIM v České republice z 1. prosince 2019, neveřejný dokument.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ARMSTRONG, Geno. *Climbing the curve: Global construction survey*. KPMG International, 2015.
- [2] ASOCIACE PRO ROZVOJ INFRASTRUKTURY. *Metodika hodnocení kvality u veřejných zakázek na projektové práce, služby technických poradců a inženýrskou činnost*. Praha, 2017.
- [3] AZHAR, S., A. NADEEM, J. MOK a B. LEUNG. *Building information modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects*. Proc. First International Conf. on Construction in Developing Countries, Karachi, Pakistan (2008)
- [4] BAYAR, M. Sanem, Algan TEZEL, Zeeshan AZIZ, Algan ARAYICI a Sara BISCAYA. Optimizing handover of as-built data using BIM for highways. In: *1st International BIM Academic Forum Conference*. Glasgow, 2016.
- [5] BOUSSABAINÉ, Halim a Richard KIRKHAM. *Whole Life-Cycle Costing: Risk and Risk Responses*. 1. Oxford: Blackwell Publishing, 2004. ISBN 9781405107860.
- [6] BRAMANN, Helmut a Ilka MAY. Spolkové ministerstvo dopravy a digitální infrastruktury SRN. *Roadmap digitální projektové přípravy a výstavby: zavádění moderních IT procesů a technologií při projektování, výstavbě a provozování objektů ve stavebnictví*. 1. vyd. Berlín, 2015.
- [7] CORTES REZENDE, Maria. *Analysis and cost evaluation in the life cycle of road tunnels*. Lisboa, 2017. Dissertation. Técnico Lisboa.
- [8] ČSN 73 7507. Projektování tunelů pozemních komunikací. 3. Praha: ÚNMZ, 2013.
- [9] ČSN ISO 15686-5. *Budovy a jiné stavby – Plánování životnosti – Část 5: Posuzování nákladů životního cyklu*. Říjen 2018. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [10] DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR UNTERIRDISCHES BAUEN E. V. (DAUB). *Digital Design, Building and Operation of Underground Structures: BIM in Tunnelling*. Cologne, 2019, 44 s.
- [11] EASTMAN, Charles. The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal*. The American Institute of Architects, **1975**(63), 46-53.

- [12] EU BIM TASKGROUP. *Handbook for the Introduction of Building Information Modeling by the European Public Sector*. EU, 2017.
- [13] GAJEWSKA, Ewelina a Mikaela ROPEL. *Risk Management Practices in a Construction Project – a case study*. Göteborg, 2011. Diplomová práce. Chalmers University of Technology.
- [14] GERBERT, Philipp, Santiago CASTAGINO, Christoph ROTHBALLER, Andreas RENZ a Rainer FILITZ. The Boston Consulting Group, Inc. *Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling*. 1. vyd. Mnichov, 2016.
- [15] HART, Oliver a Bengt HOLSTRÖM. *The Theory Of Contracts*. 2. Massachusetts: MIT, 1986.
- [16] KAISER, Jiří, Jiří DEMEL a Dalibor VYTLAČIL. Digitalizace stavebnictví. *TECNICAL: Časopis pro spolupráci vědy a praxe*. Praha: Rektorát ČVUT, 2007, ročník 8 (2/2017), 33. ISSN 1805-1030.
- [17] KELLY, John, Roy MORLEDGE a Sara WILKINSON. *Best Value in Construction*. Oxford: Blackwell Science, 2002. ISBN 0-632-05611-8.
- [18] Klasifikace stavebních děl CZ-CC. *Český statistický úřad* [online]. Praha: ČSÚ, 2019, 04.01.2019 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: [www.czso.cz/csu/czso/klasifikace\\_stavebnich\\_del\\_-cz\\_cc-](http://www.czso.cz/csu/czso/klasifikace_stavebnich_del_-cz_cc-)
- [19] KOHOUT, Pavel. *Finance po krizi: důsledky hospodářské recese a co bude dál*. 2., rozš. vyd. Praha: Grada, 2010. Finanční trhy a instituce. ISBN 978-80-247-3583-2.
- [20] *Koncepce zavádění metody BIM v České republice*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, 2017.
- [21] KÖNIG, Markus a Milena FEUSTEL. Spolkové ministerstvo dopravy a digitální infrastruktury SRN. *Zavádění postupového plánu digitalizace při přípravě a realizaci staveb: První monitorovací zpráva*. 1. vyd. Berlín, 2017.
- [22] KRAFTOVÁ, Ivana, Iveta DOUDOVÁ a Radim MILÁČEK. At the threshold of the fourth industrial revolution: who gets who loses. *E M Ekonomie a Management*. 2018, 21(3), 23-39. DOI: 10.15240/tul/001/2018-3-002. ISSN 12123609.

- [23] KRYSTALLIS, Ilias, Eleni PAPADONIKOLAKI, Giorgio LOCATELLI a Ornelia IUORIO. Towards a methodology for quantifying the benefits of BIM. In: *European Conference on Computing in Construction*. Chania: ResearchGate, 2019, s. 19-24. DOI: 10.35490/EC3.2019.138.
- [24] KUBANOVÁ, Jana. *Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi*. [3. vyd.]. Bratislava: Statis, 2008. ISBN 978-80-85659-47-4.
- [25] MÁČE, Miroslav. *Finanční analýza investičních projektů: praktické příklady a použití*. Praha: Grada, 2006. Finanční řízení. ISBN 80-247-1557-0.
- [26] MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY. *TP 154 Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací: Technické podmínky*. 2. upravené vydání. Praha: ELTODO EG, 2009, 117 s. 978-80-254-4193-0.
- [27] MISHAN, E. J. a Euston QUAH. *Cost-benefit analysis*. 5th ed. New York: Routledge, 2007. ISBN 978-0415349918.
- [28] Pokyn F ke směrnici o stavebních výrobcích 89/106/EHS, Trvanlivost a směrnice o stavebních výrobcích, Brusel 2002, ENTRV/G5 Gk 24
- [29] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, Inc.. *A Guide to the Project management Body of Knowledge*. Pennsylvania, 2004.
- [30] PROKOP, Viktor, Jan STEJSKAL a Oto HUDEC. Collaboration for innovation in small CEE countries. *E+M. Ekonomie a management: vědecký ekonomický časopis*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Ekonomická fakulta, 2019, **22**(1), 130-144. ISSN 1212-3609.
- [31] PRUVOST, Hervé a Raimar J. SCHERER. Analysis of risk in building life cycle coupling BIM-based energy simulation and semantic modeling. In: *Creative Construction Conference 2017*. Primosten: Elsevier, 2017, s. 1106-1113. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.08.068. ISSN 1877-7058.
- [32] ROJÍČEK, Marek, Vojtěch SPĚVÁČEK, Jan VEJMĚLEK, Eva ZAMRAZILOVÁ a Václav ŽĎÁREK. *Makroekonomická analýza: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2016. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5858-9.
- [33] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta. Analýza nákladů životního cyklu dopravních staveb. In: *Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu* [online]. Praha: TAČR, 2015 [cit. 2019-09-29]. Dostupné z: [www.cesti.cz/wc15/01\\_Heralova\\_LCC.pdf](http://www.cesti.cz/wc15/01_Heralova_LCC.pdf)

- [34] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta. *Oceňování staveb a životní cyklus*. Praha: Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-06066-7.
- [35] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta. *Oceňování v rámci výstavbového projektu: (propočty, položkové rozpočty)*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2013. ISBN 978-80-01-05226-6.
- [36] *Stavební smluvní standardy* [online]. Praha: Platforma pro Český stavební smluvní standard, 2016 [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: [www.stavebni-smluvni-standardy.cz](http://www.stavebni-smluvni-standardy.cz)
- [37] Stavebnictví – časové řady: Vybrané ukazatele. *Český statistický úřad* [online]. Praha: ČSÚ, 2019, 6.6.2019 [cit. 2019-07-31]. Dostupné z: [www.czso.cz/csu/czso/sta\\_cr](http://www.czso.cz/csu/czso/sta_cr)
- [38] Studie digitalizace ve stavebnictví 2019: Veřejní investoři. *CEEC Research* [online]. Praha: CEEC, 2019, 15.4.2019 [cit. 2019-07-31]. Dostupné z: [www.ceec.eu/research/](http://www.ceec.eu/research/)
- [39] SYNEK, Miloslav. *Manažerská ekonomika*. 5., aktualizované a doplněné vydání. Praha: Grada, 2011, 480 s. ISBN 978-80-247-3494-1.
- [40] SYNEK, Miloslav. *Podniková ekonomika*. Praha: C.H. Beck, 1999. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 8071792284.
- [41] TEPLÝ, Břetislav. *Problematika nákladů životního cyklu staveb*. Brno: FAST VUT, 2016.
- [42] THEWES, Markus, Jürgen SCHWARZ, Stephan ENGELHARDT a Peter VOGT. Optimising life-cycle costs of tunnels. *TunnelTALK* [online]. 2015, **2015**(4), 1-10 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.tunneltalk.com/TunnelTECH-April2015-Economic-optimisation-of-tunnels-using-life-cycle-cost-analysis.php>
- [43] TOMANOVÁ, Štěpánka, Jaroslav NECHYBA, Barbora POSPÍŠILOVÁ, Petr MATĚJKA a Roman VORÁČ. *Příručka BIM pro investory*. 1. Praha: Odborná rada pro BIM, 2018. ISBN 978-80-907251-0-2.
- [44] TROTT, Paul. *Innovation management and new product development*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Financial Times Prentice Hall, 2005. ISBN 0-273-68643-7.
- [45] TRUNEČEK, Jan. *Znalostní podnik ve znalostní společnosti*. Praha: Professional Publishing, 2003. ISBN 80-86419-35-5.
- [46] VAN NEDERVEEN, G.A. a F.P. TOLMAN. Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*. 1992, **1**(3), 215-224. ISSN 0926-5805.



- [47] Vyhláška č. 499/2006 Sb.: Vyhláška o dokumentaci staveb. In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha: ÚNMZ, 2006, ročník 2006, číslo 163.
- [48] Výstavba dálnic. *Národní kontrolní úřad ČR* [online]. Praha: NKÚ, 2018 [cit. 2019-07-31]. Dostupné z: [www.nku.cz/assets/kontrola/analyzy/vystavba-dalnic.pdf](http://www.nku.cz/assets/kontrola/analyzy/vystavba-dalnic.pdf)
- [49] WEN, Zhen. Application Research of BIM Technology in Engineering Cost Management. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, **295**. DOI: 10.1088/1755-1315/295/4/042037. ISSN 1755-1315. Dostupné také z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/295/4/042037>
- [50] Zákon č. 100/2001 Sb.: Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí). In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha: ÚNMZ, 2001, ročník 2001, číslo 40.
- [51] Zákon č. 134/2016 Sb.: Zákon o zadávání veřejných zakázek. In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha: ÚNMZ, 2016, ročník 2016, číslo 51.
- [52] Zákon č. 183/2006 Sb.: Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). In: *Sbírka zákonů ČR*. Praha: ÚNMZ, 2006, ročník 2006, číslo 63.
- [53] ZWACH, Leopold. *Theorie podnikové ekonomiky průmyslové: (soukromá ekonomika obecná se zvláštním zřetelem k podnikovým jevům průmyslovým)*. V Brně: Pokorný, 1945. *Systém podnikohospodářské vědy průmyslové*.

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Specifikace pilotního projektu TKB .....	73
Příloha B	Specifikace pilotního projektu TE .....	75
Příloha C	Typická nomenklatura investičního projektu .....	77
Příloha D	Hodnoty LLC pilotního projektu TKB .....	81
Příloha E	Hodnoty LLC pilotního projektu TE .....	84

*Přílohy jsou sestaveny z podkladů poskytnutých investory, projektanty, zhotoviteli a provozovateli popsáných projektů. To zahrnuje především projektovou dokumentaci, souhrnný rozpočet stavby a dále analytické podklady různého charakteru.*

## SPECIFIKACE PILOTNÍHO PROJEKTU TKB

---

### Popis projektu

Tunelový komplex Blanka (TKB), který je součástí pražského Městského okruhu mezi křižovatkami Malovanka a Pelc-Tyrolka. Je rozdělen do čtyř samostatných staveb, jejichž projektová příprava probíhala souběžně a byla proto koordinována tak, aby celý soubor staveb byl funkčním celkem. Trasa prochází urbanizovaným prostředím na hranicích historického jádra Prahy, je vedena v hloubených i ražených tunelech, s připojovacími rampami v důležitých uzlech. Jedná se o jednu z nejsložitějších staveb, které kdy v Praze vznikly, a to nejen rozsahem samotné dopravní stavby, ale také množstvím vyvolaných přeložek inženýrských sítí nebo dopravních opatření při výstavbě. Tato náročnost je srovnatelná asi jen s prvními provozními úseky metra. Celková délka tunelového komplexu je 5,5 kilometru, z toho necelé 3 kilometry tvoří ražené úseky.



Výstavba ražené části tunelu (2011, foto archiv autora)



**Dopravní prostor třípruhového tunelu (2015, foto archiv autora)**

### **Zajímavosti a ocenění**

- Tunelový komplex je tvořen třemi provozně samostatnými tunely: Brusnickým, Dejvickým a Bubenečským.
- Strojovna vzduchotechniky pod Letnou představuje jednu z největších ražených prostor v ČR.
- Česká dopravní stavba, dopravní technologie a významná inovace v dopravě ČDS&T 2015.
- Stavba roku 2016.
- Cena České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě.
- Cena Inženýrské akademie ČR.

### **Lokalita**

- Praha 6; Praha 7; Praha 8; Praha-Troja

## SPECIFIKACE PILOTNÍHO PROJEKTU TE

### Popis projektu

Projekt modernizace železniční tratě 170 v úseku Rokycany – Plzeň je u Ejpovic řešen přeložkou mimo stávající trasu. Pod terénními útvary Homolka a Chlum je nová trasa vedena v tunelu Ejpovice (TE). Jedná se o dva jednokolejné tunely o délce 4150 m, jejich výstavbou se délka trati zkrátila o cca 6100 m. Tunely jsou vybudovány pomocí speciálního konvertibilního štítu. Měl průměr téměř 10 metrů a na délku 120 metrů, celá sestava vážila 1800 tun. Ostění je tvořeno prstenci z 8 segmentů (7+1 závěrný), segmenty jsou z monolitického betonu s rozptýlenou výztuží (vláknobeton / drátkobeton); 4 prstence v místě napojení propojek železobetonové vyztužené vázanou betonářskou výztuží. Každý prstenec je vodonepropustný, délky 2,0 m, tloušťka segmentu 0,40 m



Výstavba ražené části tunelu (2015, foto archiv autora)



**Pevná jízdní dráha v dokončeném tunelu** (2019, foto archiv autora)

### **Zajímavosti a ocenění**

- Po zprovoznění v listopadu 2018 se tunel Ejpovice stal nejdelším železničním tunelem v České republice.
- Dopravní stavba roku 2019.

### **Lokalita**

- Plzeňský kraj

## TYPICKÁ NOMENKLATURA INVESTIČNÍHO PROJEKTU

---

Uvedené třídění odpovídá souhrnnému rozpočtu souboru staveb Tunelového komplexu Blanka, jak byl průběžně aktualizován po dobu přípravy a realizace stavby pro potřeby investora. Pro potřeby práce byla tato struktura použita i pro analýzu dat nákladů projektu Tunel Ejpovice. Nejedná se o dogmaticky danou strukturu, v praxi je možné se setkat s jiným uspořádáním některých položek nebo jejich skupin; obvyklé je také členění podle hlav, které ale nebylo při analýze využito.

### **A PŘÍPRAVA A CELKOVÉ ZABEZPEČENÍ STAVBY**

#### **A.1 Náklady inženýrské činnosti ve výstavbě**

A.1.01 Inženýrská činnost

A.1.02 Koordinační činnost

#### **A.2 Náklady projektových dokumentací**

A.2.01 Přípravná dokumentace (studie)

A.2.02 Projektová dokumentace (DUR, DSP, ZDS)

A.2.03 Změnová projektová dokumentace (DSP)

A.2.04 Koordinace projektů

A.2.05 Autorský dozor

#### **A.3 Výkupy pozemků a nemovitostí**

A.3.01 Výkupy pozemků

A.3.02 Výkupy nemovitostí

A.3.03 Vyvolané investice

#### **A.4 Jiné náklady přípravy a zabezpečení výstavby**

A.4.01 Poradenská činnost

- A.4.02 Průzkumné geologické práce
- A.4.03 Geodetické práce
- A.4.04 Soutěže a zadávací řízení
- A.4.05 Archeologický průzkum
- A.4.06 Pasportizace
- A.4.07 První a druhá hlavní prohlídka tunelů
- A.4.08 BOZP
- A.4.09 Vícetisky projektové dokumentace
- A.4.10 Provozní dokumentace
- A.4.11 Ostatní

#### **A.5 Geotechnický monitoring**

- A.5.01 Realizační dokumentace
- A.5.02 Monitoring dodávka a montáž
- A.5.03 Vyhodnocení monitoringu včetně závěrečné zprávy
- A.5.04 Náklady na ISM a kancelář monitoringu

### **B REALIZACE STAVBY**

#### **B.1 Stavební objekty**

- B.1.01 Stavební objekty
- B.1.02 Zařízení staveniště
- B.1.03 Realizační dokumentace
- B.1.04 Dokumentace skutečného provedení
- B.1.05 Technické vyzkoušení stavebních objektů
- B.1.06 Účast na komplexním vyzkoušení stavby
- B.1.07 Geotechnický monitoring

#### **B.2 Provozní soubory**

- B.2.01 Provozní soubory



- B.2.02 Realizační dokumentace
- B.2.03 Dokumentace skutečného provedení
- B.2.04 Individuální vyzkoušení PS
- B.2.05 Dokumentace – podklad pro zpracování stavební části
- B.2.06 Komplexní vyzkoušení provozních celků
- B.2.07 Návrh provozního řádu
- B.2.08 Finanční rezerva zhotovitele

### **B.3 Ostatní zhotovitelé**

- B.3.01 Stavební objekty
- B.3.02 Provozní soubory

### **B.4 Ostatní náklady realizace stavby, návazné investice**

## **C OSTATNÍ INVESTIČNÍ NÁKLADY**

### **C.1 Úprava ceny díla v důsledku změn nákladů**

- C.1.so Stavební objekty
- C.1.ps Provozní soubory

### **C.2 Zkušební provoz**

- C.2.01 Náklady na personální zajištění
- C.2.02 Dokumentace zkušebního provozu
- C.2.03 Kontroly a prohlídky
- C.2.04 Náklady na údržbu stavby
- C.2.05 Měření
- C.2.06 Zařízení staveniště

## **D ROZPOČTOVÁ REZERVA**

## **E PROVOZ A ÚDRŽBA**

### **E.1 Provozní činnosti**

### **E.2 Údržba a revize**

**E.3 Opravy**

**E.4 Periodická obnova dílů**

**E.5 Riziková rezerva**

**F OBNOVA**

**G ODSTRANĚNÍ A LIKVIDACE**