ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2020

MOŽNOSTI IMPLEMENTACE CHYTRÝCH STAVEBNÍCH DÍLCŮ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ

Vypracoval: **Bc. Artemii Ivanilov**

Vedoucí práce: **Ing. Michal Kovářík**

Prohlášení

Prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně. Použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v přiloženém seznamu citované literatury.

V Praze 5.1.2020 Podpis .....

Bc. Artemii Ivanilov

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Michalu Kováříkovi za cenné rady a odborné připomínky. Chtěl bych poděkovat panu Ing. Milanu Hamplovi z *IKADATA s.r.o.*, za jejich ochotu a čas, který mi věnovali, a panu Ing., Ph.D. Lukášovi Čábi z *PERI a.s.* za poskytnutí příležitosti spolupráce. Taktéž bych chtěl poděkovat mým rodičům a kamarádům za skvělé podmínky a zázemí.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Ivanilov Jméno: Artemii Osobní číslo: 440835

Zadávající katedra: Katedra technologie staveb

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Možnosti implementace chytrých stavebních dílců v pozemním stavitelství

Název diplomové práce anglicky: Implementation possibilities of smart building components in building construction.

Pokyny pro vypracování:
Cílem práce je návrh a formulace koncepce technologie chytrých stavebních dílců a následná analýza vhodných oblastí pozemního stavitelství pro implementaci navržené technologie. Jádrem diplomové práce bude praktická část, kde na základě nabytých vědomostí a provedené rešerše v teoretické části, student přesně určí dvě potenciálně vhodné oblasti v prostředí realizace staveb, a pro tyto vymodeluje infrastrukturu, postupy a potřebné zařízení pro dva konkrétní projekty. Výsledkem pak bude návrh nových postupů v dané oblasti s použitím technologie chytrých stavebních dílců a analýza navržené modelace. Zásadním přínosem práce bude průzkum stávajícího stavu, zjištění potenciální potřeby a následný návrh řešení pro zefektivnění dané konkretní oblasti. V závěru práce student vyčíslí finanční kalkulací a zjistí konkrétní uspořenou částku a vyhodnotí, jestli pro stavební podnik tato technologie vyplatí v rámci dané dodávky a projektu či nikoli.

Seznam doporučené literatury:
Thomas Bock, Thomas Linner. Robotic Industrialization: Automation and Robotic Technologies for Customized Component, Module, and Building Prefabrication. ISBN: 1107076390
Thomas Bock, Thomas Linner. Site Automation: Automated/Robotic On-Site Factories (Cambridge Handbooks on Construction Robotics) ISBN: 1107075971
Pavan Meadati, Javier Irizarry, Amin K. Akhnoukh. BIM and RFID Integration: A Pilot Study
Sattineni, A. Real-Time Management in a BIM Model with RFID and Wireless Tags
Ali Motamedi and Amin Hammad. RFID-Assisted Lifecycle Management of Building Components Using BIM Data
Salman Azhar, Anoop Sattineni. Techniques for tracking RFID tags in a BIM model

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Kovařík

Datum zadání diplomové práce: 27.09.2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce" a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Anotace

Cílem práce je návrh a formulace koncepce technologie chytrých stavebních dílců a následná analýza vhodných oblastí pozemního stavitelství pro implementaci navržené technologie. Jádrem diplomové práce je praktická část, kde na základě nabytých vědomostí a provedené rešerše v teoretické části, student přesně určil dvě potenciálně vhodné oblasti v prostředí realizace staveb, a pro tyto vymodeloval infrastrukturu, postupy a potřebné zařízení pro reálný projekt v oblasti pozemního stavitelství. Výsledkem pak je návrh nových postupů v dané oblasti s použitím technologie chytrých stavebních dílců a analýza navržené modelace. Zásadním přínosem práce je průzkum stávajícího stavu, zjištění potenciální potřeby a následný návrh řešení pro zefektivnění dané konkrétní oblasti. V závěru práce student vyčíslil finanční kalkulací a vyhodnotil, jestli pro stavební podnik tato technologie vyplatí v rámci dané dodávky a projektu či nikoli.

Klíčová slova

RFID, štítek a čtečka, BIM, model a databáze, chytré stavební dílce, modulové fasády, prefabrikované rozvody TZB, digitalizace a robotizace stavebnictví, stavebnictví 4.0,

Annotation

The thesis aims to formulate and design the concept technology of smart building components and to make subsequent analysis of suitable areas of building construction for the implementation of the proposed technology. The core of the thesis is the practical part, where, based on the acquired knowledge and research in the theoretical part, the student will identify two potentially suitable areas in the construction phase, and will model the technical infrastructure, new processes and necessary equipment for the project. The result of the thesis will be the model of new processes in the two construction areas using the technology of smart building components and subsequent analysis of the proposed modeling. The main contribution of this work will be the survey of the current situation, the identification of potential needs and the subsequent proposal of solutions to streamline the specific areas. At the end of the work, the student enumerates financial calculations and finds out the specific amount saved, evaluates whether the technology of smart building components pays out for the construction company to implement this technology.

Key words

RFID, tag & reader, BIM, model & database, smart building components, modular facade, prefabricated HVAC units, digitalization a robotization of the construction sector, construction 4.0,

Obsah

1. Úvod ... 1
1.1 Charakteristika odvětví stavebnictví ve světě a ČR ... 1
1.2 Digitalizace a robotizace stavebnictví ... 8
1.3 Strom problémů ... 13
1.4 Hypotéza ... 14
1.5 Formulace hlavního cíle diplomové práce ... 18
1.6 Strom cílů ... 19
2. Teoretická část ... 20
2.1 Stavebnictví 4.0 ... 20
2.2 Technologie BIM ... 22
2.2.1 Definice a pozice v koncepci Stavebnictví 4.0 ... 22
2.2.2 Přínosy BIM ... 24
2.2.3 BIM: Druhy informace ... 26
2.2.4 BIM: Databáze ... 27
2.2.5 BIM: Standardy ... 28
2.3 Technologie RFID ... 29
2.3.1 Definice a pozice v koncepci Stavebnictví 4.0 ... 29
2.3.2 Štítek ... 30
2.3.3 Protokol ... 35
2.3.4 Čtečka ... 35
2.3.5 Middleware ... 37
2.3.6 Standardizace ... 37
2.3.7 Omezení ... 38
2.4 Smart Building Components ... 39
2.4.1 Formulace koncepce ... 39

2.4.2 Zkušenosti využití technologií BIM a RFID v odvětví 45
2.4.2.1 PERI 45
2.4.2.2 ČSOB 48
2.4.2.3 Další oblasti využití 49
2.4.3 Vhodné oblasti pozemního stavitelství pro implementaci technologie chytrých stavebních dílců 50
3. Praktická část 52
3.1 Popis projektu a stavebních procesů 52
3.1.1 Modulová fasáda 54
3.1.2 Prefabrikované rozvody TZB 55
3.2 Stávající postup 56
3.2.1 Modulová fasáda 57
3.2.2 Prefabrikované rozvody TZB 62
3.3 Nový postup 68
3.3.1 Obecný přehled změn 68
3.3.1.1. Výroba 69
3.3.1.2. Logistika 69
3.3.1.3. Realizace 70
3.3.1.4. Finální kontrola a zahájení kolaudačního řízení 70
3.3.1.5. Provoz 71
3.3.2 Detailnější popis realizace modulových fasád 71
3.3.3 Detailnější popis provozu TZB 76
3.4 Technické vybavení 79
3.5 Datová struktura 83
3.6 Hodnocení nového postupu 88
3.6.1 Návratnost investic 88

3.6.2 SWOT analýza 91
3.6.3 Eliminace vzniku vad při realizaci modulových fasád 92
3.6.4 Řízení reklamačních závad při provozování TZB 94
3.7 Kroky při implementaci 96
3.8 Bariéry při implementace 99
4. Závěr 100
Seznam použitých zdrojů 102
Seznam tabulek, grafů a obrázků 106
Seznam příloh 110

Seznam zkratek

BAT Battery Assisted Tag, štítek napájený baterií

BCF BIM Collaboration Format; otevřený formát pro přenos komentářů

BEP BIM Execution Plan; dokument pro smluvní vztahy BIM projektů

BOZP Bezpečnost a Ochrana Zdraví při Práci

BIM Building Information Modeling (Management), informační model budovy

CAFM Computer Aided Facility Management, systém pro podporu facility managementu

CAD Computer Aided Design; počítačem podporované projektování

CzBIM Odborná rada pro BIM

ČR Česká republika

DMS Document Management Systém; správa dokumentů

DMT Digitální Model Terénu

DSPS Dokumentace Skutečného Provedení Stavby

DWG DraWinG; nativní formát souborů programu

EKV Elektronická Kontrola Vstupu

EPC Electronic Product Code, elektronický kód produktu

EPS Elektronická Požární Signalizace

ERO European Communications Office, Evropský úřad pro komunikaci

FCC Federal Communications Commission, Federální komise pro komunikaci

FM Facility Management

GPS Global Positioning System; Globální polohový systém

IAN International Article Number, Mezinárodní číslo položky

IC Integrated Circuit, integrovaný obvod

ID adresa (identifikační číslo)

IFC Industry Foundation Classes; otevřený neutrální souborový formát

IoT Internet of Things, internet věcí

IT Informační Technologie

ISO International Organization for Standardization, Mezinárodní organizace pro normalizaci

LOD Level Of Detail; úroveň podrobnosti

NFC Near Field Communication, metoda komunikace rádiových zařízení na velmi krátkou vzdálenost

NWD NavisWorks Document; publikační formát programu Navisworks

MPO Ministerstvo průmyslu a obchodu

PBZ Požárně Bezpečnostní Zařízení

PD Projektová Dokumentace

PO Požární Ochrana

QR Quick Response, rychlá odpověď

R/W Read/Write, čtení/zápis

RFID Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci

RFA Request For Application; typ poptávkového dokumentu

RFI Request For Information; typ poptávkového dokumentu

ROI Return On Investments; návratnost investice

RVT Nativní formát programu Autodesk Revit

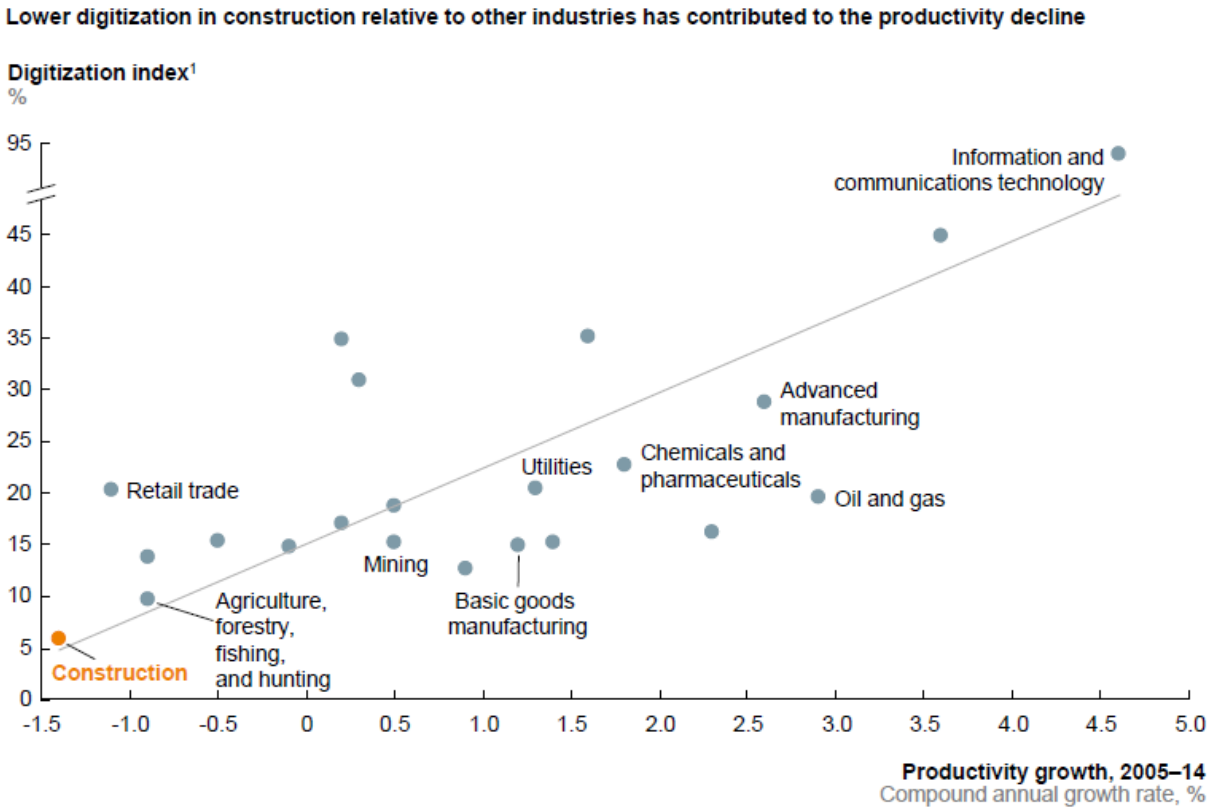
1. Úvod

1.1 Charakteristika odvětví stavebnictví ve světě a ČR

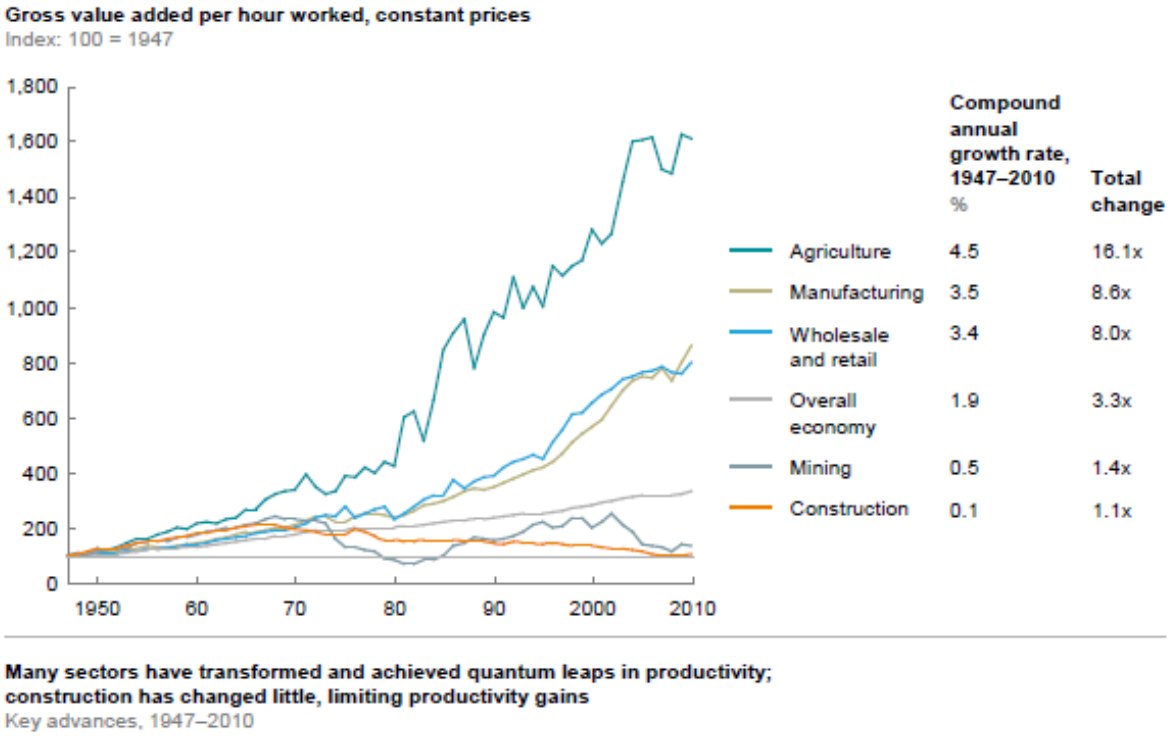
S ročními příjmy ve výši téměř 10 bilionů dolarů, tj. přibližně 6 % světového HDP, je stavebnictví základním kamenem světové ekonomiky. Přispívá k růstu téměř všech ostatních odvětví, jelikož vytváří hodnotu pomocí budov, infrastruktury a dalších produktů výroby stavebnictví [1]. To platí i pro Českou republiku. Stavebnictví u nás patří mezi klíčová hospodářská odvětví a je považováno za jeden z pilířů české ekonomiky: tvoří podstatnou část HDP – 5,6 % a zaměstnává 13 % občanů. Vyznačuje se vysokou mírou mezispotřeby, to znamená, že má velký vliv na řadu dalších odvětví hospodářství „*…lze to pak ze širšího národohospodářského hlediska brát jako určitou informaci o tom, k jakému zvýšení celkové produkce v národním hospodářství dojde, zvýší-li se v určitém větším rozsahu i stavební investice…*“. [2] V současné době je stavebnictví charakterizováno rostoucí složitostí výrobků a náročností provádění, vysokými požadavky na kvalitu a rychlost výstavby. Velkou roli ve splnění uvedených požadavků hraje rychlá a efektivní komunikace mezi klíčovými členy projektového týmu, která představuje základní kámen úspěšného projektu [3].

Avšak stavebnictví ve státech EU po roce 2000 negativně zaostává v růstu produktivity oproti ostatním odvětvím hospodářství (*Obrázek 2*), rovněž ukazuje nízkou ziskovou marži v kvartilu (*Obrázek 3*) [4]. To by mohlo být způsobeno:

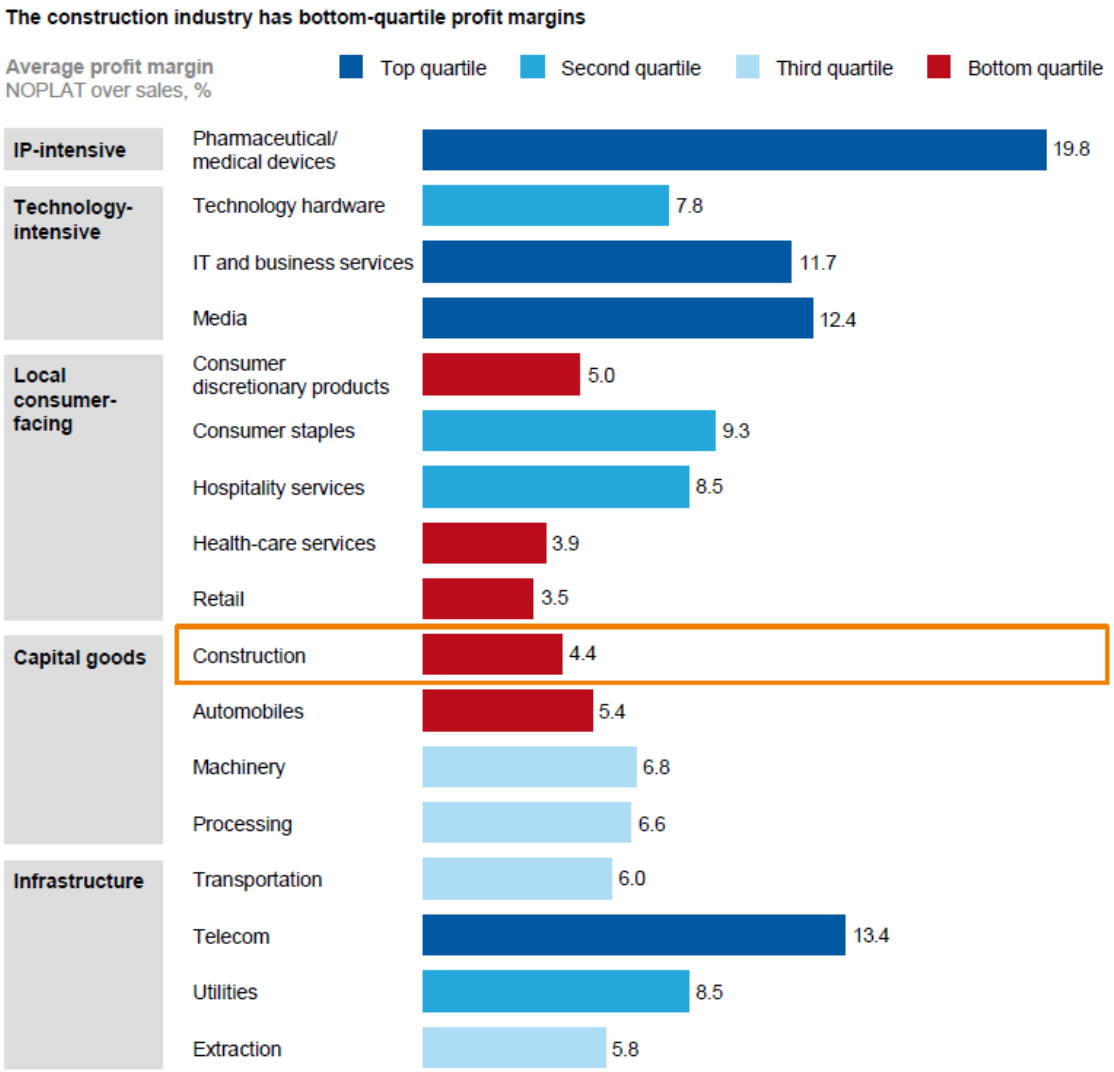
- vysokým podílem ruční práce, [5]
- faktem, že využívání výrobních technologií a strojů ve stavebnictví se od 80. let snížilo, zatímco užívání lidské práce se zvyšuje, [4]
- nízkým stupněm digitalizace odvětví (*Obrázek 1*), [6]
- pomalou a neefektivní komunikací a koordinací projektové dokumentace a dalších podkladů mezi jednotlivými účastníky projektu. [6]



Obrázek 1 *Stupeň digitalizace ve stavebnictví a ostatních odvětvích hospodářství, 2015, Německo, USA Zdroj: [6]*



Obrázek 2 *Vývoj produktivity ve vybraných odvětvích hospodářství EU mezi lety 1950–2010, Zdroj: [6]*



Obrázek 3 *Tabulka hodnot marže ve vybraných odvětvích, Zdroj: [6]*

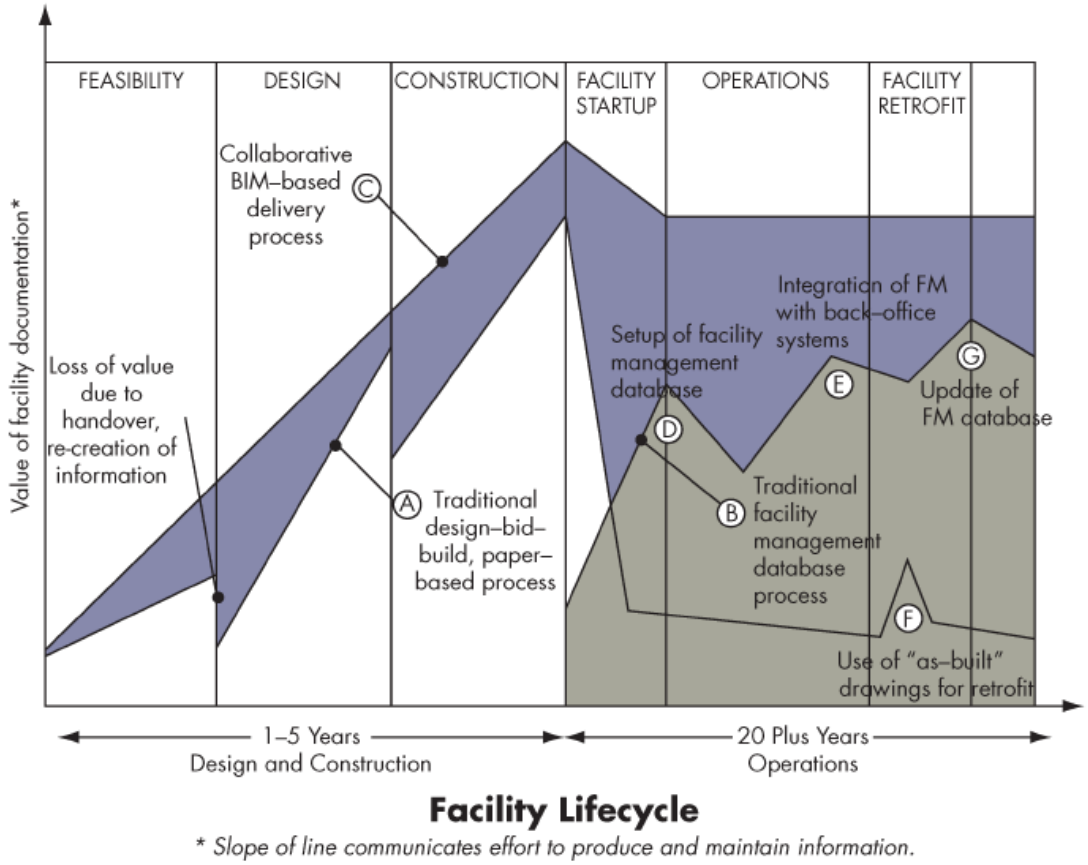
Povaha stavebního trhu je fragmentovaná, což znamená, že veškerá činnost v průběhu vývoje projektu je rozdělena mezi různé společnosti – projektování, příprava a realizace projektu obvykle neprobíhá v rámci jednoho podniku, a tak vlivem obtížné koordinace mezi různými subjekty a ztrát při předávání informací často vznikají chyby, zpoždění a nemalé ekonomické ztráty jak pro zhotovitele, tak i pro investora [5].

Hlavní důvodem je způsob komunikace mezi jednotlivými členy daného projektu, respektive způsob dodání a zprostředkování informace – projektové dokumentace a dalších nezbytných podkladů mezi všemi členy projektového týmu ve vybrané fázi. Ve většině případů probíhají současně procesy přípravy, realizace a následného provozu na základě výměny izolované 2D dokumentace. Vzhledem k tomu, že velikost a složitost projektu roste, roste současně i množství dat, které je sdílen mezi zúčastněnými stranami. Informace nejsou strukturované a propojené, a tak jsou náchylné k chybám, které mohou

vést k vícenákladům, zpožděním a často i ke sporům mezi zúčastněnými stranami projektu. Většinu projektové dokumentace vypracovávají různé projektové a dodavatelské firmy a je obtížně kontrolovat jejich koordinaci. Důvodem je zejména skutečnost, že společnosti pracují v různých softwarech a podle různých standardů. Jedním z možných řešení je použití procesů cloudové spolupráce, které nabízí technologie BIM. Tím lze dosáhnout lepší a efektivnější komunikace mezi všemi zúčastněnými stranami – generálním architektem a projektantem a jeho subdodavateli (např. projektanty technologických částí, statiky), generálním dodavatelem a jeho subdodavatelem, investorem a dalšími členy projektu. Různé strany jsou schopny pracovat na projektu současně a vzájemně komentovat a koordinovat sdílenou dokumentaci. Hlavní výhodou je, že BIM neumožňuje více než jednu reprezentaci pro objekt, nezáleží na tom, který výkresový pohled se používá, vždy se jedná o jeden zdroj informací. V případě, že dojde ke změně v projektu, jsou všechny výkresy okamžitě aktualizovány. Tato zásadní vlastnost vede ke snížení potřebného času při projektování a menším chybám při prvotním návrhu, k následující koordinaci a komunikaci. Existuje menší riziko chyb a konfliktů, protože je možné odhalit mnoho potenciálních chyb již ve fázi návrhu. Všechny zúčastněné strany, které mají k modelu přístup, mohou vidět, jak se jejich příspěvek odráží v hlavním modelu, a mohou odpovídajícím způsobem provádět opravy. Takový model také předběžně umožňuje virtuální stavbu budovy, což vede k lepšímu řízení procesu realizace. BIM model má větší potenciál, když je propojen s BIM databází, kam lze vkládat řadu dalších informací – technologické postupy, technické a materiálové listy, ceny atd. Přestože jsou 2D výkresy stále požadovány při schvalovacích procesech, předpokládá se, že v budoucnu se BIM model stane zákonným požadavkem [7].

Rychlá a efektivní výměna informací je často přerušena právě zúčastněnými stranami, které nejsou ochotné informace sdílet z důvodů smluvních, bezpečnostních nebo proto, že se jedná o duševní vlastnictví – to negativně ovlivní celkový proces vývoje projektu, protože plně sdílené informace vedou k potenciálnímu snížení vzniku vícenákladů, což je v zájmu všech stran. Další obtíží při komunikaci je velký počet zúčastněných stran nezbytných pro vytvoření projektu. Většina společností má méně než 10 zaměstnanců, proto je zapojeno několik společností, z nichž se každá věnuje pouze jedné specializované činnosti. Na každé fázi stavebního projektu pracují obvykle společnosti jiné a každá z nich je zodpovědná za jinou oblast. To významně ovlivňuje

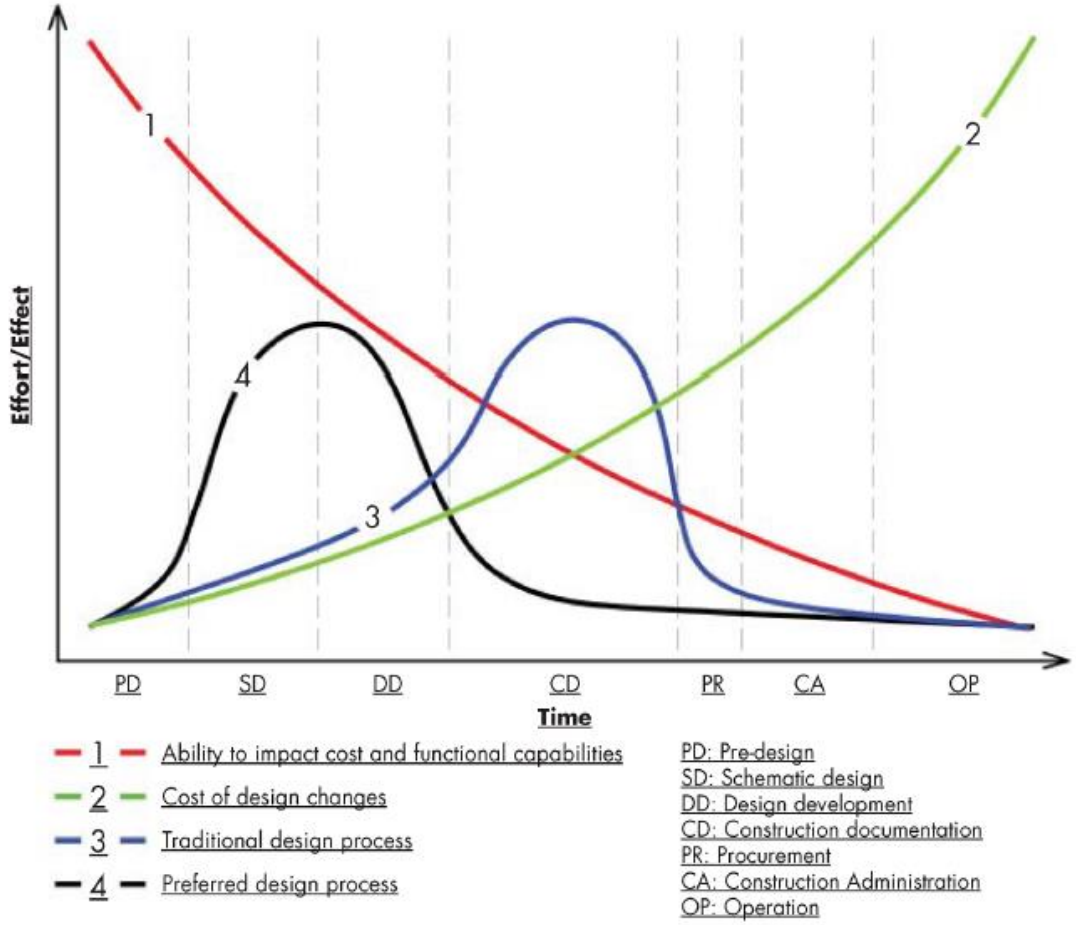
roztříštěnost vybraného projektu, účinnost výměny informací a koordinaci dokumentace mezi členy projektového týmu v průběhu všech fází projektu [7].



Obrázek 4 *Porovnání toku a ztrát informace podél životního cyklu projektu, Zdroj [8]*

Výsledkem je nadbytečnost úkolů souvisejících se zprostředkováním a obecně výměnou informací. Posun směrem k BIM má za následek významné změny v pracovních postupech a přístupu k procesu přípravy projektu, a to jak uvnitř společnosti, tak v mezipodnikových procesech při přechodu od tradiční papírové formy k BIM. Komunikace je základním kamenem úspěšného projektu ve všech jeho fázích, BIM je významným nástrojem a základem pro zefektivnění této komunikace mezi jednotlivými členy. Jak je zřejmé z obrázku výše (*Obrázek 4*), v případě použití tradiční papírové formy se na začátku následující fáze vždy ztratí část informací. Během kolaborativní práce v BIM modelu a databázi je to jiné, protože hlavní model je jediným zdrojem relevantních dat v průběhu celého životního cyklu projektu, a všechny zúčastněné strany mají okamžitý přístup k aktualizovaným informacím uvnitř modelu. Nejdůležitější součástí BIM je včasná možnost provedení různých analýz v počátečních fázích projektu, jako například odhady nákladů a energetických požadavků, strukturální analýzy nebo zprávy o udržitelnosti, jak je demonstrováno na obrázku dole (*Obrázek 5*).

Je založen na křivce MacLeamy, a ukazuje důležitost činit rozhodnutí co nejdříve, protože je snazší a levnější provádět změny během počátečních fází projektu. Čím více je projekt před realizací rozpracovaný, tím větší máme šanci realizovat změny bez velkých dopadů na náklady. Bohužel tradiční přístup založený na papíru je schopen tyto změny určit až v okamžiku, kdy se objevují, což má za následek velké náklady, neideální technické řešení a časové ztráty. V přístupu založeném na spolupráci BIM jsou geometrické a negeometrické data podporující výše uvedené analýzy rychlejší, protože zúčastněné strany přidávají k modelu informace společně. To umožňuje identifikovat potřebné změny dříve, než bude příliš pozdě, a přizpůsobit návrh budovy předpokládanému použití. Výsledkem těchto procesů je budova vyšší kvality, zkrácení dodací lhůty a snížení nákladů po celou dobu životnosti budovy [7].



Obrázek 5 *Možnost a vliv změn během životního cyklu projektu, Zdroj [8]*

Jak v projektech pozemního, tak i dopravního stavitelství se poslední dobou začíná zavádět BIM, ale tento systém je stále používán jenom ve fázi projektování a přípravy. Další řada výhod, které poskytuje BIM v realizační fázi díla, není nijak využita. S BIM modelem se těžce pracuje na stavbě, kde je velký podíl dokumentace

v papírové formě a ruční práce. V současné době je BIM model velmi rozvíjen, ale těžko ovlivní přímo proces realizace díla, kde jsou efektivní komunikace a aktuální a úplné informace tím nejdůležitějším předpokladem kvalitního provedení. Realizace je nejdůležitější fází projektu, jelikož se tvoří finální podoba projektu. Čím kvalitněji a rychleji projekt postavíme, tím větší dostane zhotovitel zisk [7].

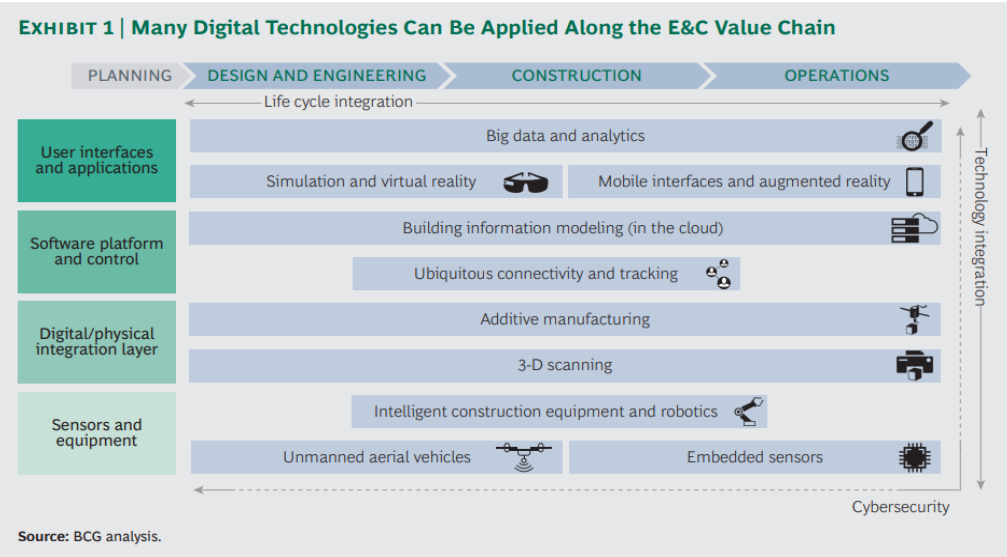
Neexistuje žádné propojení mezi digitálním (BIM) a fyzickým světem (dílem), což říká o tom, že ve staveništních podmínkách BIM nemá skoro žádný význam, a proto převládá papírová podoba zobrazení informace. Na pomoc přichází štítky a čipy RFID, které nesou identifikační funkci a jsou schopné propojit fyzické dílo a digitální data. Povaha stavebního odvětví není konzistentní z hlediska zavádění BIM: během fáze projektování a přípravy BIM se současně vyžívá hodně, ale během realizační fáze není skoro uplatněn. Kromě toho, jak bylo zmíněno výše, dodavatelé projektových nebo stavebních prací často používají různé platformy, které se navzájem nesynchronizují. Současná konvenční stavební zařízení představují z pohledu ICT (Informační a komunikační technologie) „mrtvá“ zařízení. Dá se dospět k závěru, že vlivem problémů a faktorů již popsaných výše odvětví stavebnictví v současné době je v krizové situaci – prodlužuje se doba výstavby, vznikají zbytky materiálů a odpady, zvyšují se náklady, vyskytuje se nízká kvalita dílů, nízká marže atd. a to má vliv nejen na jednotlivé odvětví, ale i na rozvoj celého hospodářství státu [4].

Skutečný stav stavebnictví představuje výzvu, pro kterou konvenční technologie v současnosti nemají řešení, platí to i ve vysoce rozvinutých zemích. Stavebnictví v ČR i EU patří k odvětvím, kde přirůst produktivity práce stagnuje (*Obrázek 2*). Lze předpokládat, že je to zapříčiněno nejen rostoucí komplikovaností staveb a jejich konstrukcí reagující na různé energetické, ekologické a další požadavky, ale i nezkoordinovanou komunikací mezi jednotlivými členy projektu, nízkým stupněm digitalizace ve výrobě, případně nevyužíváním digitálních technologií na stavbě, a vysokým podílem ruční práce. Na základě výzkumu problematiky stavebnictví a možných řešení můžeme předpokládat, že řešením výše nastíněných problémů bude zavedení digitalizace do stavebnictví [9].

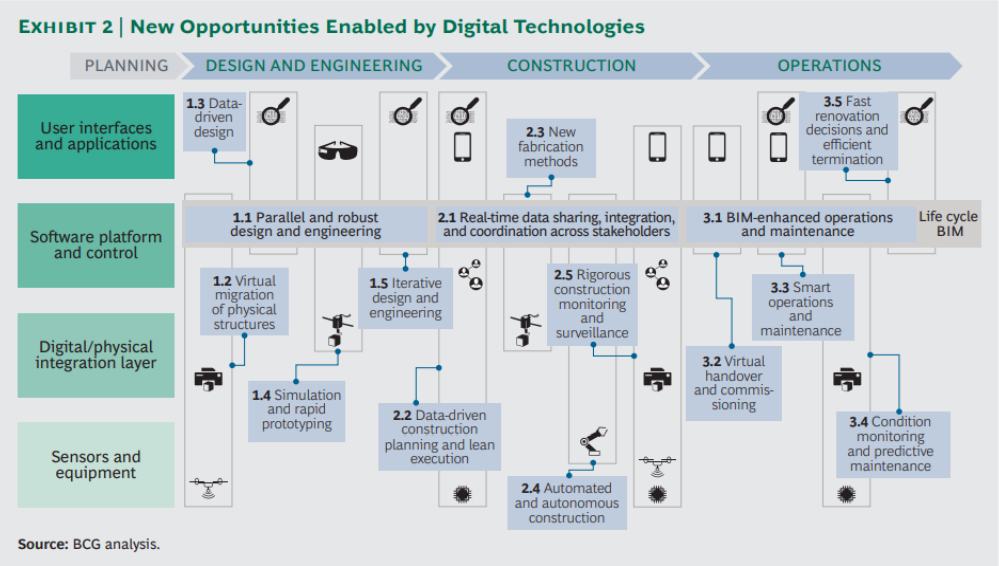
1.2 Digitalizace a robotizace stavebnictví

Na rozdíl od jiných průmyslových odvětví stavebnictví pomalu přijímá nové digitální a robotické technologie a nikdy neprošlo významnou transformací, např. 3. a 4. průmyslovou revolucí. Stavební trh se navíc nyní potýká se stále většími a komplexnějšími „megaprojekty“, zejména v oblasti infrastruktury. V důsledku těchto neúspěchů a nových výzev, zaznamenalo stavební odvětví stagnaci v růstu efektivity a produktivity práce a nadále výrazně zaostává za růstem ostatních průmyslových odvětví (*Obrázek 2)* [1].

Stavebnictví je však současně na cestě k zásadním změnám a hlavní hybnou sílou je digitalizace – rozvoj a zavádění digitálních technologií a procesů. Stavba bude brzy charakterizována propojenými systémy senzorů a štítků, inteligentních strojů, mobilních zařízení a nových softwarových aplikací – to vše bude integrováno v rámci centrální platformy informačního modelu budovy (BIM) (*Obrázek 9*). Větší uplatnění digitální technologie umožňuje společnostem zvyšovat produktivitu, řídit složité procesy, snižovat zpoždění projektů a vícenákladů a zejména pomáhá zvyšovat bezpečnost během provádění a navyšovat kvalitu finálního díla. Jiná průmyslová odvětví, jako například automobilový průmysl, prošla radikálními změnovými procesy dříve a nyní jsou na dobré cestě k rozsáhlé digitální a robotické transformaci. V oblasti stavebnictví digitalizace teprve začíná a autor ze svých vlastních zkušeností může říct, že tendence má pomalý, ale pozitivní charakter. Vzhledem k obrovské velikosti odvětví se i malá vylepšení projeví jako značné výhody pro celou společnost a ekonomiku státu [1].



Obrázek 6 *Přehled základních digitálních technologií podél životního cyklu projektu, Zdroj [1]*



Obrázek 7 *Přehled základních digitálních technologií podél životního cyklu projektu, Zdroj [1]*

Klíčovou vlastností digitální transformace, případně zavedení robotizace, v rámci 4. průmyslové revoluce, je softwarová platforma a řídicí vrstva, která se skládá z velké části – BIM. Jako nástupce tradičního CAD (Computer-Aided Design) nyní BIM (Building Information Modeling) slouží všem zúčastněným stranám v hodnotovém řetězci pomocí virtuálního modelování a do něj vložené informace simulují jakýkoli aspekt životního cyklu prvku [1].

Jak bylo zmíněno výše, digitalizace stavebnictví se postupně šíří, největší posuny se projevují v softwarových systémech integrovaných do procesu navrhování a dalších přípravných projektových prací, samotný proces realizace díla zůstává poměrně pozadu. V současné době dochází k propojení fyzického a digitálního světa, což je významným procesem pro fázi realizace, například zabudováním senzorů a štítků, které jsou nyní k dispozici za malý zlomek nákladů. Tyto identifikační pomůcky mohou provádět monitorování stavu v reálném čase, obsahují potřebné podklady z BIM modelu týkající se kterékoli části budovy během realizace i provozu a neustále aktualizují a doplňují databázi. Pokročilá digitální řešení se však současně posouvají mnohem dále. Nyní známe použití dronů pro průzkum a kontrolu stavebních míst. Díky propojení digitálního světa s fyzickým se ze stavu „sledování“ stává „dělání“, pokročilé technologie jsou nyní schopny pomocí robotických strojů převádět data do fyzické činnosti, autonomně, bezpečně a kdekoli [6].

V důsledku těchto pokroků probíhají automatizované a bezpilotní operace, například u výkopových prací při monitoringu kubatur. Taktéž ve stavebním průmyslu

vzniká trend aditivních výrobních metod, jako je 3D tisk, které se stávají aplikovatelnými i na rozsáhlé stavební prvky a betonové konstrukce. Společnosti mohou také používat 3D skenery k vytváření digitálních modelů složitých budov, a tím usnadňovat sanaci nebo rekonstrukci budov, například jako to vyžívá PERI pro návrh bednicích prvků, zajišťování kvality chování a sledování znehodnocování materiálů. GPS a radiofrekvenční identifikace (RFID) jsou využívány ke sledování materiálů, zařízení a pracovníků, nebo vkládání různých podkladů při provozování budovy. V rámci BIM umožňují mobilní uživatelská rozhraní a rozšířená realita komunikaci v reálném čase se vzdálenými stavebními dělníky a posádkami údržby, virtuální realita a simulace zlepšují rozhodování, plánování a školení. Analýza velkých dat a internet věcí je dalším významným trendem jak při stavbě jednotlivých budov, tak u velkých měst. Analytické metody nyní umožňují zpracovat obrovské množství heterogenních dat generovaných stavebními projekty a jejich prostředími a využít je k vylepšení designu budovy, usnadnění rozhodování v reálném čase, zvýšení přesnosti předpovědí a systematickému zlepšení podpory. Přehled moderních oblastí digitalizace stavebnictví je přestavěn výš (*Obrázek 6, Obrázek 7*) [1].

Přesto, že nové digitální technologie mají schopnost zvýšit produktivitu práce a přinést do odvětví hodně dalších příležitostí, jak se to současně děje v jiných průmyslových odvětvích, stavebnictví výrazně zaostává za ostatními sektory v používání digitálních nástrojů a jen pomalu přijímá nové materiály a technologie vzhledem ke svým specifikům oproti jiným průmyslovým odvětvím (*Tabulka 1*) [10].

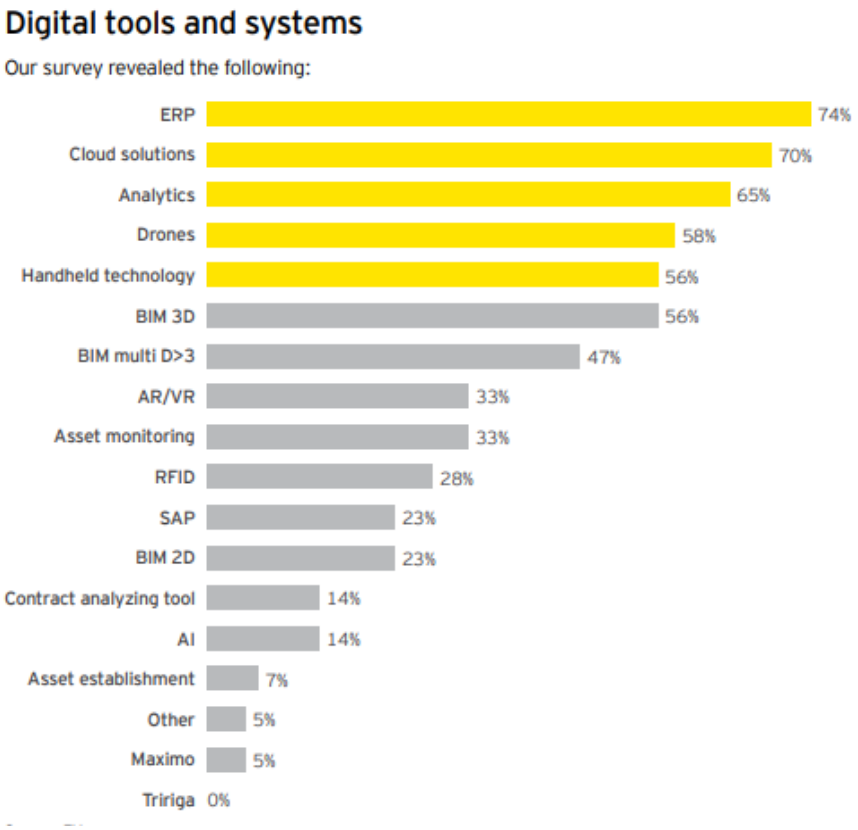
Stavebnictví	Průmyslová výroba
Pohyblivé pracoviště	Stabilní pracoviště
Dlouhý výrobní proces (od několika měsíců do deseti let)	Kratší výrobní proces (např. výroba automobilu trvá několik dnů)
Závislost na klimatických podmínkách [2]	Výroba v chráněných prostorech
Individuální charakter výroby	Sériová nebo hromadná výroba
Značné množství hmot (tisíce tun)	Menší hmotnost výrobků (např. auto váží několik tun)
Mechanizace výroby	Automatizace výroby
Roztříštěnost výroby	Koncentrace výroby
Fluktuace pracovníků	Stabilní pracovníci
Nepřemístitelnost stavby	Přemístitelné výrobky
Dlouhý životní cyklus výrobku (15–100 let)	Kratší životní cyklus výrobku (např. automobil 10 let)

Tabulka 1 *Specifika stavebnictví vs. jiné průmyslové odvětví, Zdroj, [10]*

Významné pokroky, které jsou dnes nasazovány nebo prototypovány, mohou transformovat účinnost a efektivitu výstavby ve třech hlavních oblastech:

- digitální technologie (autor se v práci soustředí na tuto oblast ve fázi realizace díla), [1]
- pokročilé materiály, [1]
- automatizace stavebnictví (autor téma detailně probral v rámci bakalářské práce, která navazuje na tuto diplomovou práci). [1]

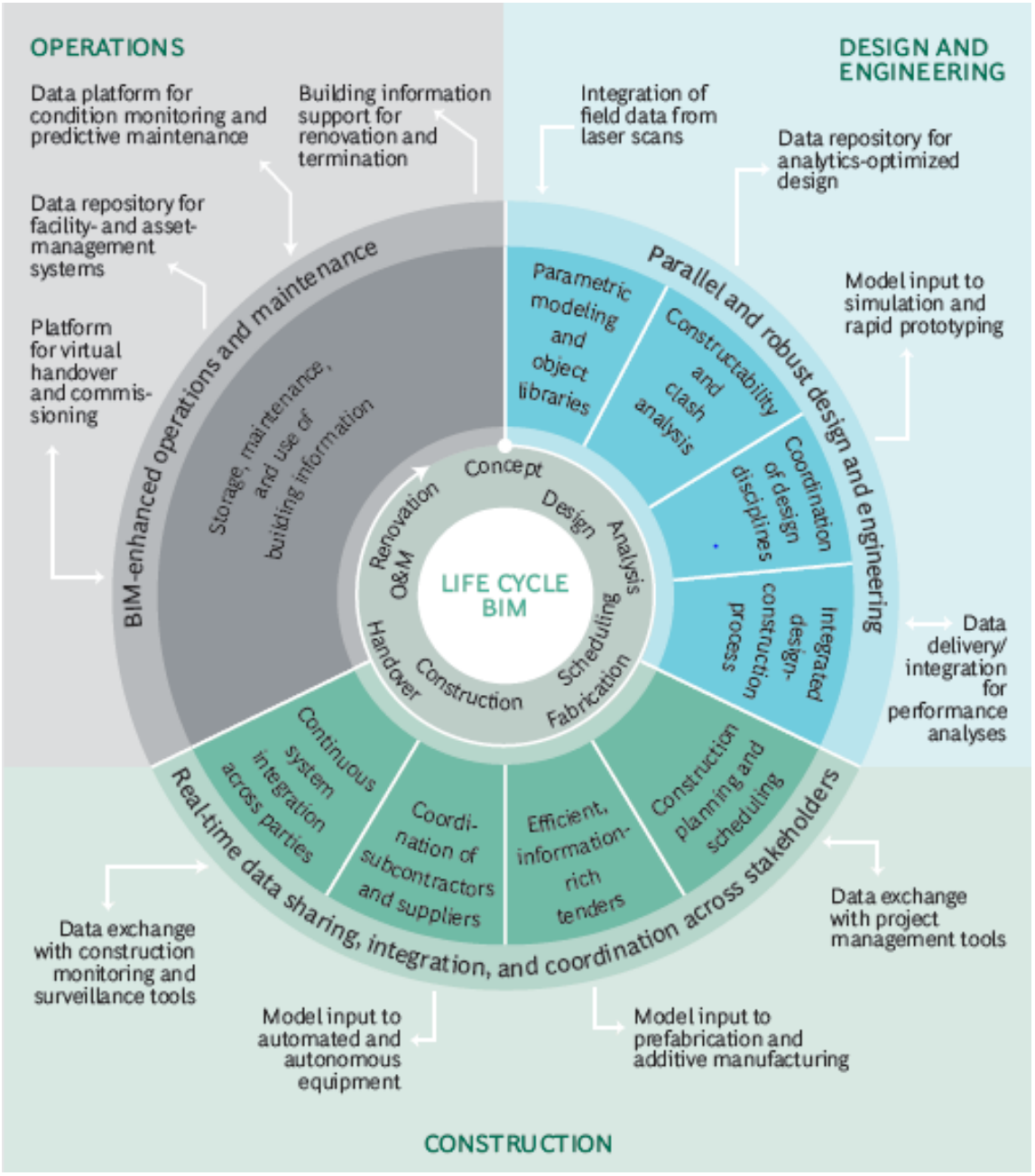
Nejrychleji se šíří digitální technologie. Průzkum odhalil míru adopce mezi respondenty více než 44 %. Očekává se, že plánovaná adopce v příštích třech letech dosáhne 70 %, což je mnohem více než míra adopce u materiálů a automatizace. To vede k myšlence, že digitální technologie lze jednoduše adoptovat, a vzhledem k tomu že tyto tři oblasti jsou mezi sebou propojeny, je zřejmé, že implementování digitálních technologií je prvním krok k adaptaci i dalších oblastí – pokročilé materiály a automatizace stavebnictví. Detailnější informace o adopci jednotlivých digitálních technologií jsou představeny dole (*Obrázek 8*). Je vidět, že přes nejrozšířenější technologie – komunikační a kolaborativní nástroje, BIM a analytika Big Data [6].



Obrázek 8 *Adopce digitálních nástrojů v odvětví stavebnictví, Zdroj: [11]*

Podle odhadů nastane do 10 let úplná digitalizace v pozemním stavitelství, která povede v rezidenční výstavbě k ročním globálním úsporám nákladů ve výši 0,7 bilionu

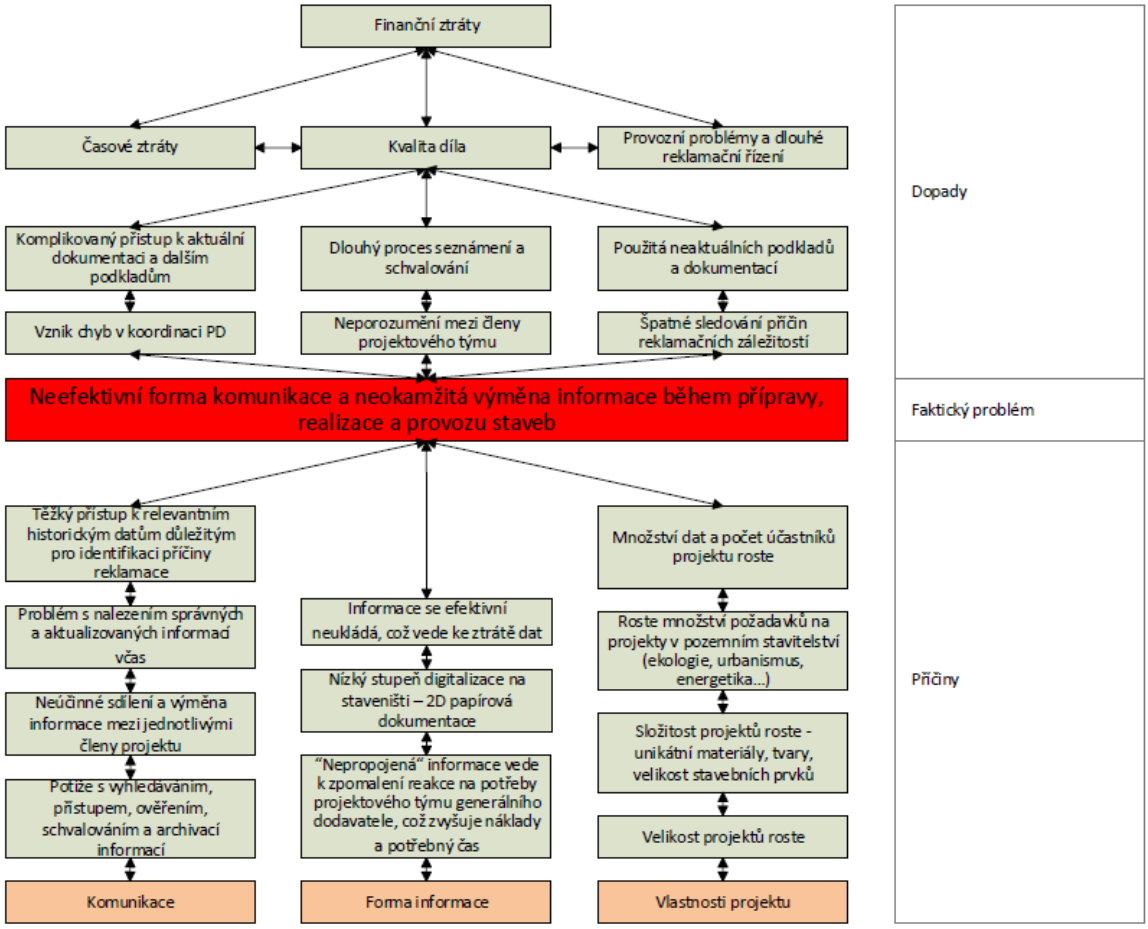
dolarů na 1,2 bilionu dolarů (13 % až 21 %) ve fázi realizace 0,3 bilionu dolarů na 0,5 bilionu dolarů (10 % až 17 %) ve fázi provozu. Digitalizace zásadně změní hru v oblasti pozemního stavitelství, což umožní nejen zvýšení efektivity a kvality v hodnotovém řetězci, ale také přeskupení konkurenceschopnosti mezi společnostmi a zeměmi. Zavedení digitalizace vytvoří podklad pro implementaci dalších inovačních oblastí jako pokročilých materiálů a automatizaci stavebnictví [1].



Obrázek 9 *Přehled digitálních technologií podél životního cyklu projektu, Zdroj [1]*

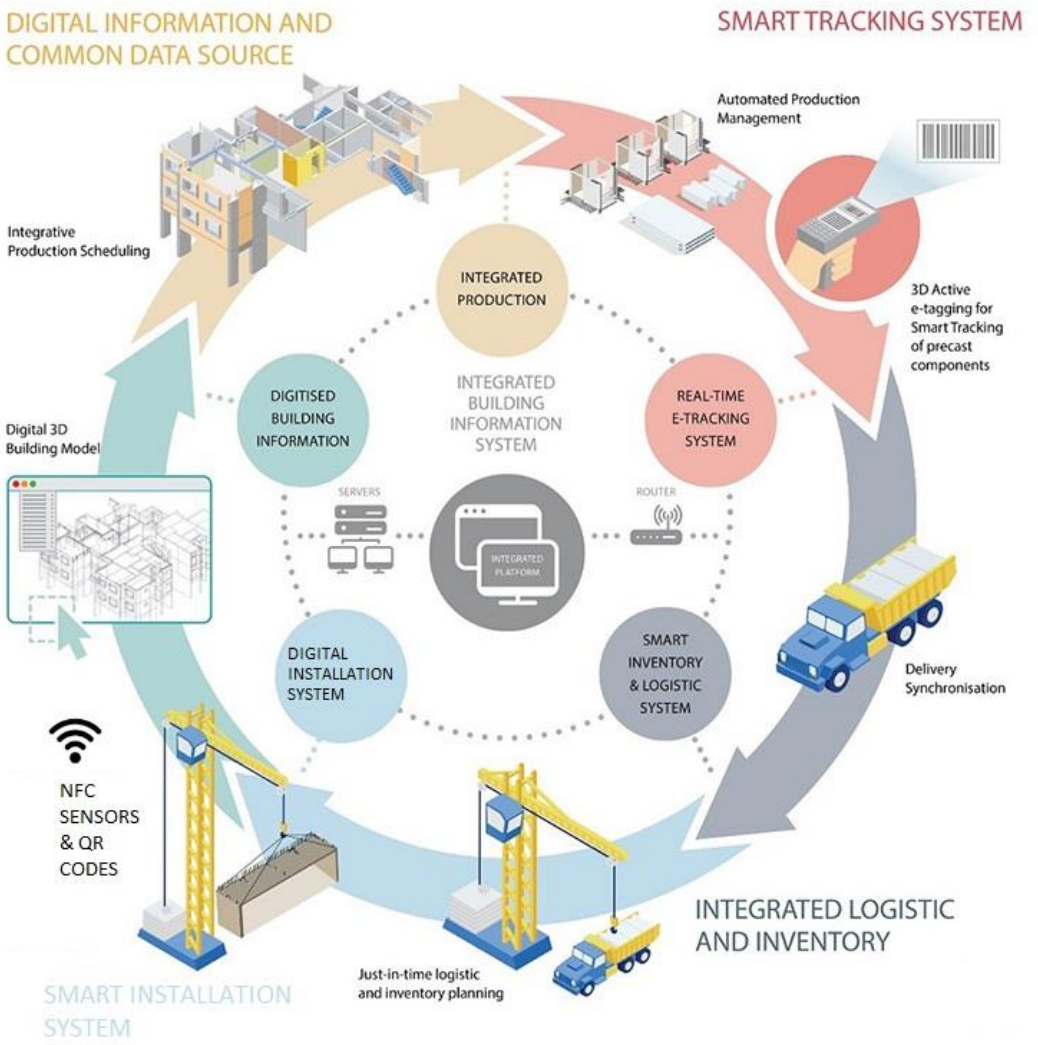
1.3 Strom problémů

Strom problémů představený dole (*Obrázek 10*) je výsledkem shromáždění informací z minulých kapitol. Je založen na tvrzeních, která vychází z vědeckých článků. Na základě tohoto stromu problémů bude popsána hypotéza, vypracován strom cílů a stanoven hlavní cíl tyto diplomové práce, případně budou popsány nástroje vedoucí k vyřešení představených problémů.



Obrázek 10 *Strom problémů, Zdroj [autor]*

1.4 Hypotéza



Obrázek 11 *Koncepce Smart Building Components, Zdroj [12]*

Aktuální trendy stavebního trhu diktují nové podmínky – komplexnost a rozsáhlost projektů roste, tudíž roste i obsáhlost a složitost projektové dokumentace, což zvyšuje náročnost při práci s ní. BIM poskytuje prostředky pro rychlé a snadné získávání aktuální informací prostřednictvím rozhraní 3D modelu a propojených dat vložených do BIM databáze. Je nutno brát v úvahu i tu skutečnost, že BIM model při realizaci nemá žádný význam pro dělníky a mistry na stavbě, jelikož se v něm obtížně pracuje ve staveništních podmínkách a proces vyhledávání podkladů nutných pro práci trvá dlouho. Vzhledem k této skutečnosti lze tvrdit, že dělníci nemají okamžitý přístup k aktuálním informacím a že informace uložené v BIM nejsou na stavbě nijak uplatňované. Toto tvrzení nás vede k faktickému problému, který je popsán ve stromu

problému (*Obrázek 10*) – neefektivní forma komunikace a zdlouhavá výměna informací během přípravy, realizace a provozu staveb. Autor práce si v této diplomové práci klade za cíl najít nástroj pro zefektivnění toku informací napříč celým životním cyklem projektu, zvýšení informovanosti všech zúčastněných stran ve všech fázích projektu, a hlavně implementovat tento nástroj v rámci staveništních podmínek pro projekty pozemního stavitelství [6].

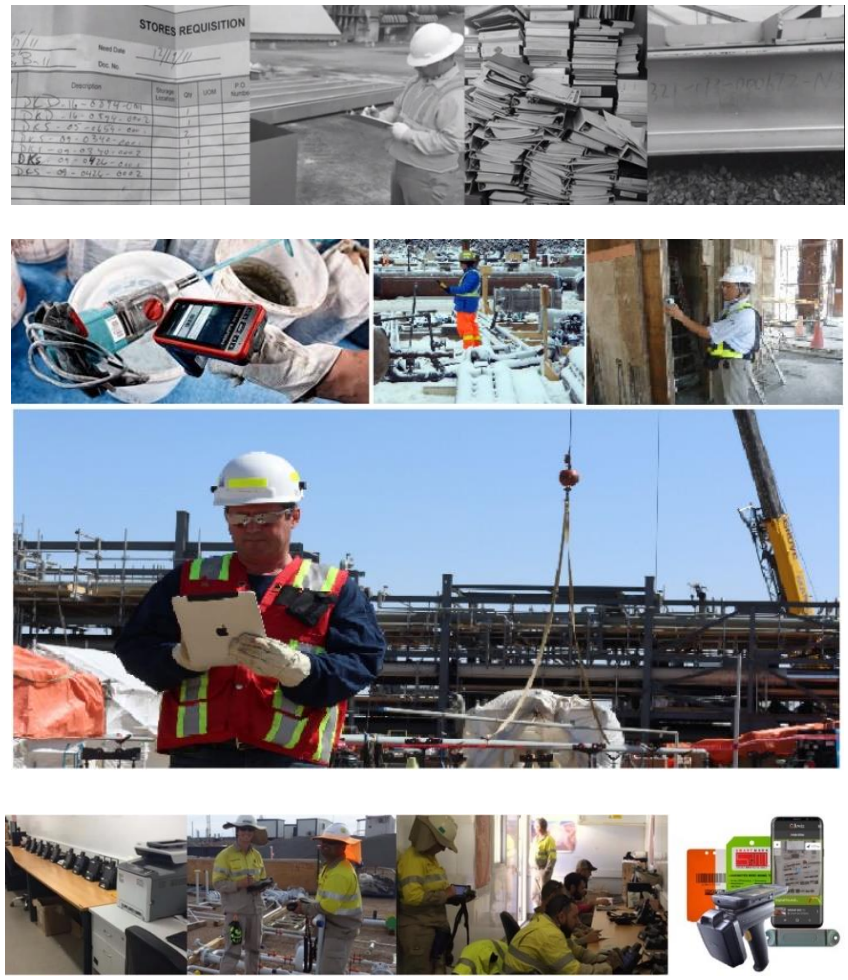
Jako nástroj pro tyto účely autor navrhl technologii založenou na integraci BIM s technologií RFID – Smart Building Components (*Obrázek 11*). Chytrý stavební dílec (*angl. Smart Building Component*) je stavebním prvkem, který v sobě obsahuje informaci o sobě, kde BIM je zdrojem informace a RFID je můstkem mezi tímto digitálním zdrojem a jeho fyzickou podobou. Na jakýkoli materiál, komponent či prvek lze umístit štítek, který bude obsahovat unikátní ID, jež bude mít přímé propojení s BIM modelem a jeho databází. Při přečtení tohoto ID čtečkou bude zobrazena potřebná informace v rámci dané konkrétní fáze provedení. Integrace technologie BIM s RFID usnadňuje výběr prvků, získávání, výměnu a nahrání informací a tvorbu různých protokolů během přípravy k výrobě, výroby prvku, logistiky, skladování, realizace na stavbě a následného provozu. Integrované prostředí BIM a RFID poskytuje plynulý tok informací s evidováním všech nově vložných změn a dat, což snižuje manuální chyby a zvyšuje účinnost získávání informací, poskytuje lepší koordinaci a komunikaci a redukuje práci s papírovou dokumentací. Tento způsob monitorování a sledování lze použít ke zvýšení informovanosti, produktivity a bezpečnosti stavebních dělníků na staveništi a jiných účastníků projektu. Technikou sledování štítků RFID lze monitorovat zařízení a stavební materiály na staveništi. Jedná se o zavedení efektivního komunikačního nástroje pro předávání informací o statusu prvků se související dokumentací v jednotlivých etapách přípravy, realizace a provozu v rámci BIM modelu. Tento nástroj je aplikovatelný zejména v rámci staveništních podmínek, jelikož každý odpovědný pracovník bude mít u sebe RFID čtečku, která se skládá z chytrého telefonu nebo tabletu a softwaru, jenž bude ukazovat aktuální, strukturovanou a požadovanou informaci z BIM modelu a databáze. Nástroj likviduje papírovou formu dokumentů na stavbě, připojuje dělníky k informacím v BIM modelu a databázi a ostatním členům projektu, a tím zachovává plynulý tok informací v digitální podobě a efektivní a rychlou komunikaci. Dělníky mají okamžitý přístup k informačním vstupům pro provedené práce a možnost rychlého nahrání dokumentových výstupů z procesu.

Komunikace a efektivní sdílení informací je klíčem pro kvalitní, rychlý a výhodný projekt. Čím více lidí z projektu připojujeme k jedinému zdroji aktuální informaci, což v podstatě BIM je, a omezeně (dle příslušného oprávnění) povolíme upravovat a doplňovat informace do BIM modelu a databáze, tím vyšší máme celkovou informovanost a koordinaci na stavbě a mimostaveništních pracovníků, čímž snižujeme možnost vzniku chyb a vad, a zefektivníme celkovou výměnu informaci mezi všemi členy projektového týmu podél životního cyklu projektu. Avšak zavedení tohoto systému žádá podstatnou základnu a hodně kroků pro implementaci takového systému je nutno nastavit IT infrastrukturu pro práci s BIM daty, zavést BIM postupy do projektu, a hlavně namotivovat a vyškolit pracovníky atd.

Autor práce přepokládá, že integrace technologií BIM a RFID (příp. *Chytrých stavebních dílců*), dokáže v projektech pozemního stavitelství zvýšit efektivitu komunikace, zrychlit výměnu aktuální informací mezi jednotlivými členy projektu a dostat informaci z BIM fyzicky do stavby a všemi těmito faktory ovlivnit další nejzásadnější parametry stavebního projektu:

- vyšší kvalitu provedených prací a finálního díla,
- úsporu času při přípravě, realizaci a provozu objektu,
- snížení možnosti vzniku vícenákladů zprostředkovaných neporozuměním nebo neaktuální dokumentací,
- koordinace projektových prací již v počátečních fázích projektu a kontrola souladu dokumentace se zadávacími specifikacemi investora, analýzy a ocenění již v počátečních fázích projektu
- rychlý přístup ke všem potřebným strukturovaným podkladům všech zúčastněných osob a systém okamžitého oznámení při aktualizaci dat,
- sledovatelnost materiálů a stavebních komponentů, zabránění podvodným materiálům a komponentům, zajištění jednoho zdroje pravdy pro stav materiálu a umístění od výroby k instalaci, řízení logistiky, kontrola a inspekce materiálu, monitoring podmínek přepravy, skladování a manipulace
- zjednodušení správy dat v dodavatelském řetězci (minimalizování lidských chyb, okamžitý přenos/sdílení dat mezi relevantními stranami),

- automatická generace a uložení záznamů, protokolů a kontrolních zkušebních plánů v reálném čase
- rychlý kontakt a následná komunikace s potřebnými odpovědnými osobami,
- snížení papírových dokumentů a zvýšení digitalizaci na staveništi (*Obrázek 12*),
- usnadnění budoucí údržby objektu a zefektivnění reklamačních záležitostí – přístup ke všem historickým datům a relevantním podkladům, např. BIM DSPS
- vyšší informovanost vede k šetrnosti k životnímu prostředí a zvýšení bezpečného prostření na stavbě.
- integraci s dalšími softwarovými systémy,
- možnost exportu dat pro další analytiku a vyhodnocení výsledků projektu



Obrázek 12 *Digitalizace staveniště, Zdroj [14]*

1.5 Formulace hlavního cíle diplomové práce

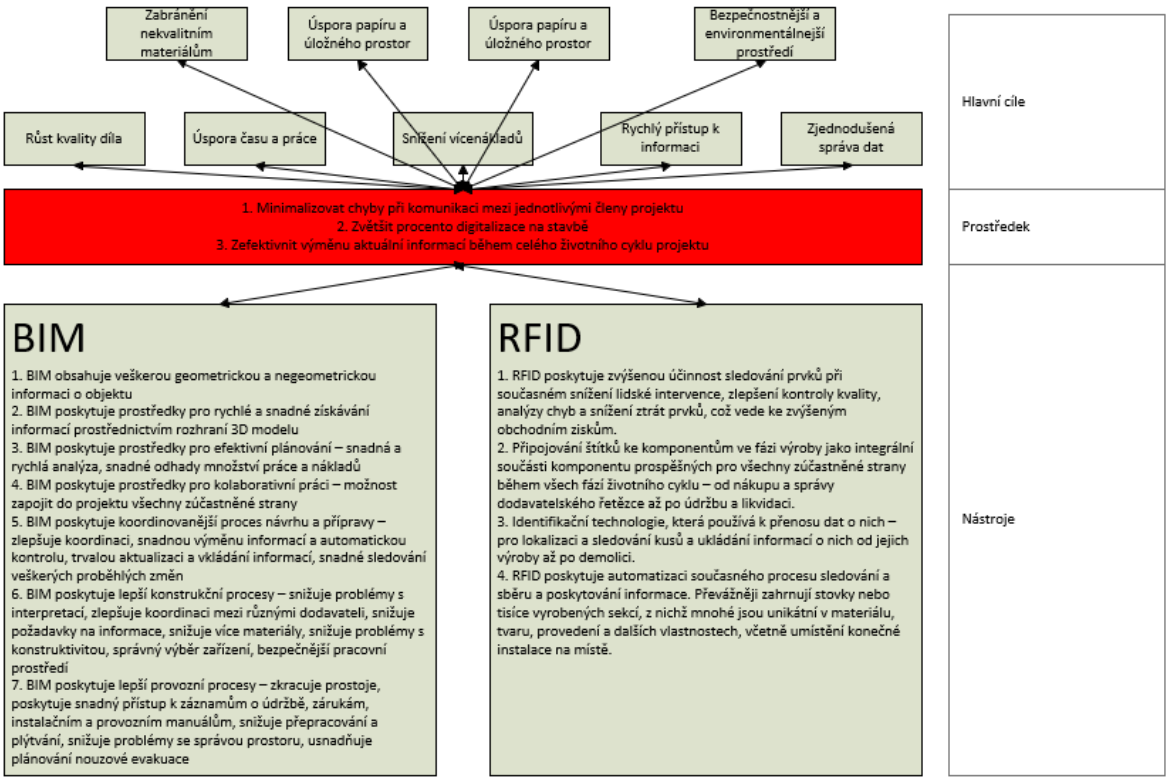
Provedená rešerše vedla autora k vytvoření stromu problémů, stromu cílů a formulaci hypotézy, která bude buď potvrzena, nebo vyvrácena v praktické časti diplomové práce. Tyto stromy a hypotéza jsou založeny na datech zjištěných během rešerše a jsou uvedené v kapitole 1.3, 1.6 a 1.4. Výsledkem těchto stromů je následující formulace hlavního cíle diplomové práce:

„Jak a v jakých oblastech pozemního stavitelství může zavedení technologie chytrých stavebních dílů do fází přípravy, realizace a provozu minimalizovat chyby při výměně aktuální informací mezi jednotlivými členy projektu, zefektivnit proces komunikace během životního cyklu projektu a zvýšit procento digitalizace na staveništi a jestli zavedení tohoto systému přivede ke kvantitativní změně ve finančním, časovém nebo kvalitativním aspektu projektu v pozemním stavitelství?"

Tato formulace cíle dostatečně odpovídá rozsahu diplomové práce a stanoveným pokynům ze zadání. Obsahem práce bude návrh a formulace koncepce technologie chytrých stavebních dílců a následná analýza vhodných oblastí pozemního stavitelství pro implementaci navržené technologie. Jádrem diplomové práce bude praktická část, kde na základě nabytých vědomostí a provedené rešerše v teoretické části autor přesně určí dvě potenciálně vhodné oblasti v prostředí realizace staveb a pro konkrétní projekt vymodeluje infrastrukturu, postupy a potřebná zařízení. Výsledkem pak bude návrh nových postupů v dané oblasti s použitím technologie chytrých stavebních dílců a analýza navržené modelace. Zásadním přínosem práce bude průzkum stávajícího stavu, zjištění potenciální potřeby a následný návrh řešení pro zefektivnění dané konkrétní oblasti. V závěru práce autor finálně vyhodnotí technologii a určí další vývoj.

1.6 Strom cílů

Strom cílů je založen na stromě problémů a stanovené hypotéze, zjednodušeně se jedná o obrácený strom problémů. Výsledkem stromu cílů je identifikace činností, vlastností nástrojů a prostředků nezbytných k dosažení žádoucích cílů. Strom cílů je představen dole (*Obrázek 13*):



Obrázek 13 *Strom cílů, Zdroj [autor]*

2. Teoretická část

2.1 Stavebnictví 4.0

„*Iniciativa Stavebnictví 4.0 vychází z usnesení vlády ČR k iniciativě Průmysl 4.0 č. 729 ze dne 24. srpna 2016, které ukládá předsedovi vlády založit ve spolupráci s koordinátorem digitální agendy České republiky a dalšími zainteresovanými členy vlády do 24. listopadu 2016 Alianci Společnost 4.0 jako koordinační mechanismus se zapojením hospodářských a sociálních partnerů a zástupců akademických a vědeckých obcí ke koordinaci agend spojených se 4. průmyslovou revolucí. Uvedené usnesení vlády ČR kromě jiného vyzývá hospodářské a sociální partnery, zejména představitele Českomoravské konfederace odborových svazů, Svazu průmyslu a dopravy České republiky a Hospodářské komory České republiky, aby představili vlastní iniciativy, kterými mohou aktivně přispět k implementaci a realizaci myšlenek 4. průmyslové revoluce. Odborná rada pro BIM se svými členy i dalšími zainteresovanými partnery se proto rozhodla reagovat na vznik Aliance Společnost 4.0 konkrétní iniciativou: Stavebnictví 4.0 Informační modelování staveb (BIM) lze vnímat jako jeden ze základních pilířů Stavebnictví 4.0 a metodika BIM je jedním z předpokladů zavádění inovací do stavebnictví. Na základě iniciativy SIA ČR – Rady výstavby na Radě vlády pro stavební průmysl, vydala vláda ČR dne 2. listopadu 2016 Usnesení č. 958, kde určila MPO gestorem pro zavádění BIM a uložila do 31. července 2017 zpracovat koncepci zavádění BIM v České republice jako jednu z podmínek pro Stavebnictví 4.0.*“ [14]

Vize „Stavebnictví 4.0“ se týká 4. průmyslové revoluce a představuje zásadní výzvu pro celé odvětví stavebnictví. Hlavní technologické trendy koncepcí „Stavebnictví 4.0“ a „Průmyslu 4.0“ jsou představeny dole (*Obrázek 14, Obrázek 15*). Jak je vidět z obrázků, tyto hlavní trendy představují propojený systém, kde každý prvek spolupracuje s dalším. BIM a RFID jsou součástí tohoto systému, a proto je implementace těchto technologií důležitým krokem pro zavedení koncepce Stavebnictví 4.0“ [16].

Obrázek 14 *Technologické trendy tvořící se koncepce Průmysl 4.0. Zdroj: [16]*

Obrázek 15 *Technologické trendy tvořící se koncepce Stavebnictví 4.0. Zdroj: [16]*

2.2 Technologie BIM

2.2.1 Definice a pozice v koncepci Stavebnictví 4.0

Obrázek 16 *Technologické trendy tvořící se BIM v koncepci Stavebnictví 4.0. Zdroj: [16]*

BIM, jako zkratka pro informační model budovy, je známá po celém světě, je však těžké najít jednu společnou definici toho, co přesně BIM je, protože mnoho organizací má tendenci definovat BIM podle svých potřeb a účelu své práce. [8] Ve své knize BIM Handbook (2008), jejímž spoluautorem je Chuck Eastman, jeden z předních výzkumných pracovníků v oblasti BIM, definují autoři BIM jako: *„…technologii modelování a přidruženou sadu procesů pro vytváření, komunikaci a analýzu stavebních modelů. BIM je zkratka „Building Information Modeling“, která odráží a zdůrazňuje procesní aspekty, a nikoli „Building Information Model“. Objekty těchto procesů jsou modely…* “. Další definici poskytuje NBS (2016): „*... BIM neboli Building Information Modeling*

je proces vytváření a správy informací o stavebním projektu v průběhu životního cyklu projektu. Jedním z klíčových výstupů tohoto procesu je informační model budovy, digitální popis každého aspektu projektu. Tento model vychází z informací shromážděných společně a aktualizovaných v klíčových fázích projektu… ". Další definicí, kterou používá Royal Institute of British Architects (2012), je: *„… digitální znázornění fyzických a funkčních charakteristik zařízení vytvářejícího sdílený zdroj znalostí pro informace o něm, které tvoří spolehlivý základ pro rozhodování během jeho životního cyklu, od nejranějšího počínání po demolici…* ". Tato definice se používá kvůli její jednoduchosti, protože je snadno srozumitelná pro široké spektrum čtenářů, zatímco opravdu představuje definici BIM, dostatečně komplexní pro účely této zprávy. I když chápání informačního modelu budovy jako procesu hraje důležitou roli, je také nutné pochopit, jaké jsou specifické vlastnosti modelu BIM. Tato nutnost vychází z potřeby rozlišovat mezi procesem vytváření modelu a samotným modelem. Pro definování informačního modelu budovy se používá definice podle Borrmanna a kol., (2018): *„… informační model budovy je komplexní digitální reprezentace budovy s velkou informační hloubkou. Obvykle zahrnuje trojrozměrnou geometrii stavební komponenty na definované úrovni detailů. Kromě toho také zahrnuje nefyzikální objekty, jako jsou mezery a zóny, hierarchická struktura projektu nebo plány. Objekty jsou obvykle spojeny s dobře definovanou sadou sémantických informací, jako je typ komponenty, materiály, technické vlastnosti nebo náklady, jakož i vztah mezi komponentami a jinými fyzickými nebo logickými entitami…*". Tato definice zachycuje složitost budovy a návaznou složitost informační modelu. Podle průzkumů se použití BIM ve stavebních procesech v posledním desetiletí zdvojnásobilo a stále roste [7].

Pro odvětví stavebnictví můžeme definovat BIM jako databázi informací, která může zahrnovat kompletní data od prvotního návrhu, přes výstavbu, správu budovy a případné změny dokončené stavby (rekonstrukce) až po její demolici, včetně ekologické likvidace stavby a uvedení prostoru do původního stavu. Je možné dosáhnout mnohem vyšší efektivity při použití metody BIM, pokud bude součástí obecnější koncepce digitalizace celého stavebnictví („Stavebnictví 4.0"). Přijetí koncepce pro zavádění metody BIM v ČR je prvním významným krokem při digitalizaci stavebnictví [16].

BIM zaujímá hlavní postavení v koncepci Stavebnictví 4.0 (*Obrázek 16*)., protože tvoří digitální model fyzického díla s rozsáhlým informačním podkladem, a otevírá cestu pro další digitální (např. cloud prostředí pro okamžitou spolupráci, rozšířená realita (AR,

VR, MR) a databáze pro Big Data) a robotické technologie. Digitalizace je prvním krokem k robotizaci, tudíž i k vzniku a rozvoji 4. průmyslové revoluce v odvětví.

2.2.2 Přínosy BIM

Většina přínosů BIM jsou důsledkem potřeb, které vyžaduje investor, neboť zavedení BIM do projektu zvyšuje náklady investorovi. BIM dává možnost vizualizovat a analyzovat projekt v libovolné fázi a v libovolné míře. Analýzy prováděné nad modelem, zejména v prvních fázích projektu, kdy se změny provádějí s nízkými náklady a jejich důsledky lze odhadovat se značnou mírou pravděpodobnosti, umožňují tvorbu podrobné specifikace zadání. Zadáním projektu se mohou stát i dosud málo používaná kritéria, jako je např. cena výstavby na pracovní místo, energetická spotřeba vztažená na časovou a plošnou jednotku, certifikační systém a požadovaná úroveň certifikace, budoucí provozní náklady na zaměstnance apod. S takovými požadavky může investor vyžadovat i vyšší úroveň zodpovědnosti od projektanta a zhotovitele za předané dílo, například při zvýšené opakovatelnosti standardních prvků, jejich ověření a uchování v databázi konstrukčních elementů včetně všech technickohospodářských parametrů. Shromáždit podstatnou většinu dat potřebnou k návrhu tak komplexní věci, jakou je moderní budova, je nepředstavitelná bez strukturovaného datového modelu a efektivních nástrojů, jak s ním pracovat a jak jej sdílet. Tato schopnost BIM modelu vynikne zejména ve srovnání s tradičním přístupem, který je charakteristický různými formáty dat a neexistující standardizací a jenž je uložený v nějakém souborovém systému s nemožností komplexní správy. Porovnávání důsledků volby některé z variant lze snadno a rychle posuzovat i z různých a někdy i multikriteriálních pohledů. Projekt lze vizualizovat od nejranějších stádií, což vlastníkům a uživatelům poskytuje jasnou představu o tom, jak návrh reflektuje jejich požadavky a umožňuje jim aktivně vstupovat a přizpůsobovat design [7].

V předstihu výstavby BIM umožňuje projektovému týmu „stavět“ projekt ve virtuálním prostředí, vyzkoušet složité pracovní postupy a identifikovat úzká místa výstavby. Zhotoviteli je dána možnost plánování nasazení dočasných stavebních konstrukcí a nákupu materiálů, zařízení a pracovní síly a rychlejší dodávka projektu. Složité konstrukční detaily jsou řešeny v předstihu s cílem vyhnout se kolizím a využít inteligenci a automatizaci v rámci modelu [7].

Výkonové charakteristiky, přehled výrobců, záruční lhůty, seznam regulací, specifikace, náklady, provádění údržby atd. jsou příklady popisných atributů v modelu při předání dokumentace dodavatelem. Výše provozních nákladů, spolehlivost, životnost, priorita, vztah k dalším prvkům atd. jsou příklady dat ukládaných až v průběhu provozu. Jediný model slouží pro multidisciplinární a týmovou spolupráci. Na modelu lze názorně ukázat, o jakou část budovy jde, jakou technologii a jaký detail. Problémy vznikající kolizemi profesí, technologií atd. lze odstranit již ve fázi návrhu a kontrolovat a aktualizovat ve fázi stavby. Eliminace „předělávek“, tj. projektových změn vyplývajících ze špatného návrhu, zlevňuje celý projekt. Identifikovat a odstranit chyby v „modelu“ je jistě snazší a méně nákladné, než na stavbě či dokonce ve fázi užívání [7].

Jedním z motivů a hlavních výhod BIM oproti tradičním fázím výstavby je nepřetržitost a postupné zpřesňování a zvětšování míry detailu v rámci životních cyklů. Spolupráce celého týmu na tvorbě, sdílení a užití datového modelu spočívá právě v tom, že vložených dat do modelu neužívá vždy a „jenom“ tým, který data zadává, ale mohou je – za určitých podmínek – využít všichni uživatelé modelu. Strukturovaný datový model shromažďující geometrická data o stavbě ve fázi přípravy a zhotovení výstavby je přínosem pro FM již jenom sám o sobě. Porovnáme-li předání udržovaného datového modelu, tzv. „As built BIM“, který zobrazuje i historii návrhu a výstavby, se současným stavem předávání hotové stavby, je rozdíl markantní. Dohledání konkrétních záznamů v případě předání různých nestandardizovaných datových formátů na nejrůznějších datových nosičích, dokonce některá dokumentace je předána pouze „na papíře“, bývá noční můrou facility manažera, který takový objem dat přebírá. Data nebývají doprovázena ani vlastním popisem obsahu, ani definicí formátu. Jejich souvislost se skutečně odevzdaným dílem bývá mnohdy spíše vroucím přáním než skutečností. Přebírání takových dat obvykle skončí v nějakém „archivu“ a obtížně se hledá osoba, která by v tomto datovém „guláši“ udělala nějaký pořádek. Dokumentaci skutečného provedení, jejíž odevzdání zhotovitelem investorovi ukládá zákon, neformalizuje žádný všeobecně platný standard, takže získání základních dat o plochách a jejich atributech a správa těchto dat, se stává povinností uživatele budovy. CAFM systém je potom jednotným datovým skladištěm provázaným s průběžně aktualizovanou elektronickou dokumentací. BIM je naproti tomu schopen mnoho popisných dat přidat do svého datového modelu a postupně jej rozšiřovat. Aby se díky tomu nestal datový model BIM neohrabaným „molochem“, jehož data jsou velice řídce zobrazována a referována

uživateli a zachoval si schopnost rychlé navigace v geometrickém modelu, je dobré využít jeho koexistence s CAFM systémem a jeho datovým modelem, který mnohá data převezme do svého modelu a „odlehčí tím“ BIM [7].

Souhrnná tabulka potenciálních přínosů BIM pro projekty je představena dole (*Tabulka 2*):

PLÁNOVÁNÍ	NÁVRH	VÝSTAVBA	PROVOZ
rychlá výměna informace a snadný přístup k projektové dokumentaci			
plán využití prověření pozemku	tvorba návrhu kontrola návrhu 3D koordinace a detekce změn statická analýza osvětlovací studie energetická analýza analýza technických zařízení ostatní analýzy hodnocení udržitelnosti kontrola normových požadavků	plánování organizace staveniště plán realizace stavby 3D koordinace prefabrikce a řízení výroby 3D vytyčování skutečné provedení uvedení do provozu a přebírka	plánování preventivní údržby analýza provozu systémů správa majetku správa ploch havarijní plánování skutečné provedení uvedení do provozu a přebírka
rozvržení fází oceňování, rozpočtování zachycení skutečného stavu	rozvržení fází oceňování, rozpočtování zachycení skutečného stavu	rozvržení fází oceňování, rozpočtování zachycení skutečného stavu	rozvržení fází oceňování, rozpočtování zachycení skutečného stavu

Tabulka 2 *Přínosy BIM, Zdroj [17]*

2.2.3 BIM: Druhy informace

V BIM prostředí existují dva druhy informací – grafické a negrafické. Výstupy rovněž dělíme na alfanumerické parametry jednotlivých elementů a na jejich grafickou reprezentaci, případně data, která prostřednictvím grafické reprezentace elementy získají, jako je např. plocha, výška a šířka (příklady struktur najdete v kapitole 3.5). Elementy také mohou obsahovat odkazy na externí dokumenty, např. pdf, doc, jpg a další (softwarové aplikace pro práci s BIM najdete v kapitole 3.4). Vždy je ovšem z pohledu využitelnosti informací pro přípravu, realizaci a provoz preferováno, aby potřebné informace byly v modelu obsaženy jako parametry s konkrétní hodnotou. To umožní využití informace pro další zpracování. Důležitou vlastností výstupů BIM je jejich rozměr v čase, dle jednotlivých etap výstavby. Součástí BEP je proto definiční matice, která pro každý element zájmu stanovuje sadu vyžadovaných parametrů dodaných v určité fázi zpracování. Jinak není nutné tyto parametry vytvářet. Budou dodány a vyplněny v momentě propojení modelu s databázovým systémem [17] [26].

2.2.4 BIM: Databáze

Není možné ukládat veškerou informaci do jednoho modelu kvůli narůstající velikosti souboru a následnému obtížnému fungování. Proto lze BIM model propojit s externí databází pro uložení větších souborů nebo odkazů na další softwary v různých formátech a v modelu zachovávat jen základní informace o prvcích, například ve fázi provozu CAFM, obecné databázové systémy MS Access apod. Ne všechny elementy a jejich parametry však musí být nutně přímo propojeny se s databázemi, např. potrubí a kolena vzduchotechniky. V modelu představují samostatné elementy, avšak pro další databázové zpracování nemají velký význam. Stejně tak ne všechny atributy je nutné uchovávat v externích databázích. Pro takovéto elementy není pevně definována struktura požadovaných parametrů, ale jsou nastaveny obecné požadavky na jejich modelování. Všichni účastníci BIM projektu musí postupovat v souladu s platnými ČSN ISO normami, zejména ČSN P ISO/TS 12911 (730121). Jedná se o otevřenou cloud platformu, kam by měly mít přístup všechny zúčastněné osoby a mohly doplňovat příslušné podklady. Nejedná se jenom o cloudový BIM model, ale o otevřenou databázi BIM, která kopíruje zásadní principy DMS. Každý zúčastněný bude mít přístup k systému, příslušné oprávnění a roli. Takže každá strana bude mít své pracovní složky a veřejné složky, v nichž má právo provádět úpravy. Bude fungovat komentování veškerých dokumentů všemi stranami a schvalování dokumentace prostřednictvím elektronického podpisu. Bude možnost revidování dokumentace, vše bude skryto v rámci jednoho souboru a bude i možnost porovnávání. Tato databáze bude podporovat veškeré formáty pro prohlížení a úpravu, aby byla možná společná práce a odkazy na další softwarové systémy, například BIM360Docs. BIM360 Glue, BIM360 Field, systém elektronického stavebního deníku, systém elektronického podpisu atd. (další softwarové systémy pro BIM databázi, softwarové aplikace najdete v kapitole 3.4) [17].

Přístup k výměně informací bude založen na využití modelové výměny dat na serveru, což je usnadněno prostřednictvím systému správy databází (DBMS). Tento systém je uložen lokálně nebo v cloudu. Přístup se často nazývá také jako server BIM nebo IFC, protože bývá často založen na standardním datovém modelu, jako je IFC. Umožňuje všem zúčastněným stranám pracovat na stejných informacích a ve stejnou dobu, protože tyto servery pracují na úrovni objektu budovy, což může zmírnit některé problémy s interoperabilitou, jako je například kontrola verzí a současné technické problémy [7].

2.2.5 BIM: Standardy

Základní podmínkou při zavedení principů BIM v prostředí stavebních projektů je zpracování informačního modelu objektu a přenos všech potřebných dat v elektronické podobě do tohoto informačního modelu. Je zcela nezbytné celý BIM proces detailně naplánovat a řídit jeho průběh za účelem dosažení projektových cílů a získání použitelných výstupů. Je nutné zajistit základní klíčové postupy realizace BIM projektu [17] [26] [27]:

- sestavení BEP (Výkonný plán BIM) pro celý projekt, kde bude ustanoven BK projektu, zavedeny BIM metodiky práce do smluvních ujednání. BEP bude obsahovat klíčové informace o tom, jakým způsobem bude technologie BIM nasazena a použita v daném projektu, po celou dobu životního cyklu projektu udržovat aktuální a kontrolovat dodržování „BEP“ ze strany interním i externích spolupracovníků na projektu,
- pravidelné kontroly BIM projektu s odsouhlasování integrity dat a pracovních postupů,
- definovat pravidla interní a externí spolupráce a výměny dat a definovat standardy výměnných formátů dat pro účastníky procesu, kteří nemají doporučené programové nástroje,
- definovat způsoby členění modelů a podrobnosti modelování a konkrétní zodpovědnosti za jednotlivé části modelu v jednotlivých fázích modelování,
- všechny změny BIM provádět prostřednictvím 3D úprav prvků (vyvarovat se 2D postupům), zachovat plnou integritu a aktuálnost datového modelu,
- zajistit odpovědnost jednotlivých partnerů výstavby za vkládání dat do modelu podle požadavků projektu,
- zajistit standardizaci v pojmenování a aktuálnost formátů a obsahu dat exportovaných z BIM modelu pro potřeby spolupracujících a schvalujících organizací [17].

2.3 Technologie RFID

2.3.1 Definice a pozice v koncepci Stavebnictví 4.0

Obrázek 17 *Technologické trendy tvořící se RFID v koncepci Stavebnictví 4.0. Zdroj: [16]*

Radiofrekvenční identifikace (*angl. radio-frequency identification (RFID)*) je identifikační technologie, která se používá k přenosu dat pamětí čipu, který je připojen nebo zabudován k objektům. RFID je technologie automatické identifikace používaná k označení, sledování a detekci různých objektů. Systém RFID se skládá ze dvou hlavních komponent: tag a reader. RFID tag je elektronický štítek, v kterém jsou uloženy data a je připojen přímo k objektům. RFID reader je nástroj pro čtení dat ze štítku, který vysílá radiofrekvenční signál pro komunikaci se štítkem. Systém RFID je při sledování a dokumentování technicky výhodnější než čárové kódy (další identifikační technologie). RFID štítky mají schopnost většího ukládání dat, mohou pracovat v náročných

prostředích a nevyžadují přímou viditelnost při sečtení dat. Je mnohem rychlejší shromažďovat informace o šarži komponent pomocí RFID, protože technologie RFID umožňuje sběr až čtyřiceti položek za sekundu [36].

RFID systém se skládá z fyzické a IT vrstvy:

- fyzická vrstva se skládá ze čtečky, štítku a čtecí zóny,
- IT vrstvu tvoří middleware a podniková aplikace [37].

Když BIM tvoří digitální reprezentaci fyzického díla prostřednictvím různých druhů dat, RFID má schopnost tyto data připojovat přímo k fyzickému prvku. Je třeba si uvědomovat, že v rámci koncepce Stavebnictví 4.0 pro BIM a RFID platí dva společně navazující principy – *Big Data* a *Okamžitá spolupráce* (*Obrázek 17*). Tato shoda dodatečně potvrzuje ten fakt, že integrací technologií BIM a RFID můžeme vyvinout vhodný nástroj pro efektivní shromažďovaní a výměnu informací a okamžitou komunikací.

2.3.2 Štítek

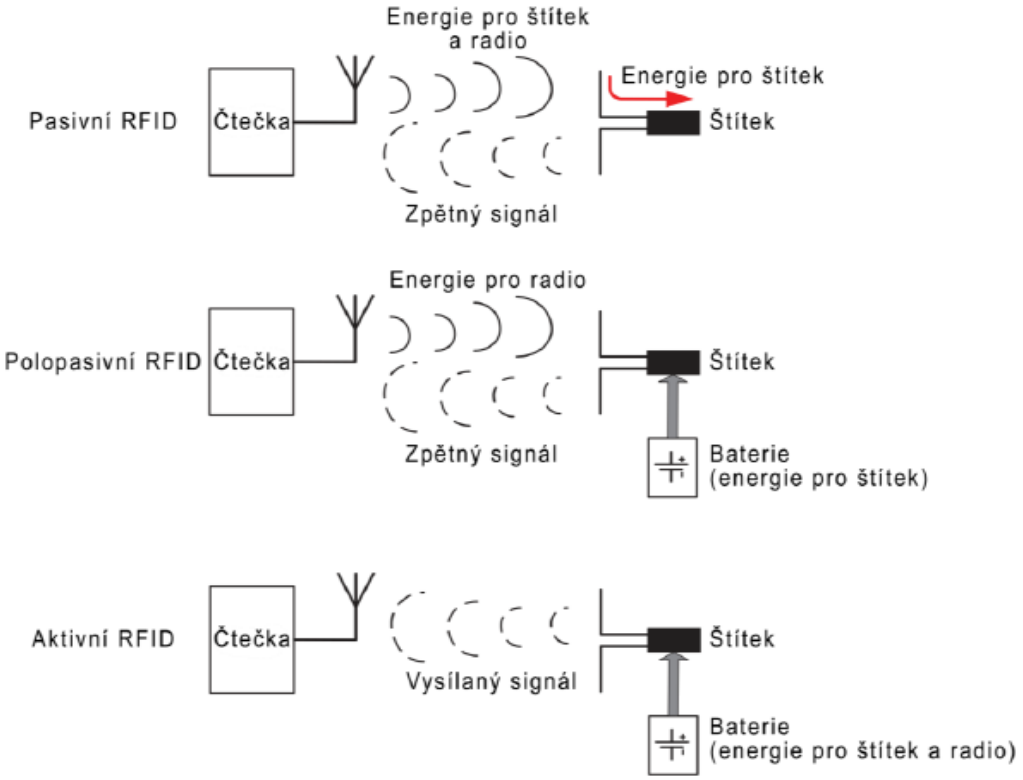
Štítky jsou umístěny přímo na prvcích a slouží k jejich monitorování a uložení dat. Jednotlivý štítek se skládá z integrovaného obvodu a antény. Integrovaný obvod (IC) je rozdělen do několika částí. Jedna z nich je vyhrazena pro napájení obvodu – energie může být dodána z baterie (polopasivní nebo aktivní štítek) nebo vyzařovanou energií ze čtečky (pasivní štítek). Další část je zodpovědná za modulaci / demodulaci signálů, šifrování a dešifrování digitálních bitů a implementaci komunikačního protokolu. Poslední část integrovaného obvodu – paměť štítku. Toto je rozděleno do bloků, které lze pouze číst (read-only) nebo číst / zapisovat (read-write). Většinou v paměti jsou uložena unikátní identifikační číslo (ID), veřejná a soukromá hesla, odkazy a další základní informace ve zkráceném formátu atd. [38] [39].

Anténa je největší součástí integrovaného obvodu RFID štítku. Nejcitlivějším místem štítku je právě spojení mezi anténou a integrovaným obvodem. Přes anténu právě probíhá komunikace a přenos energie mezi štítkem a čtečkou. Po přečtení dat z jakéhokoli typu transpondéru mohou být data odeslána do hostitelského počítače nebo uložena do čtečky pro pozdější nahrání do počítače. Na trhu jsou dostupné různé konstrukce antén. Většinou jsou vyrobeny sítotiskem, lisováním fólií nebo leptáním mědi, přičemž sítotisk je nejrychlejší a nejpoužívanější metodou [38] [39].

Nosným médiem integrovaného obvodu je podklad, který tvořen flexibilním, tenkým materiálem, a hlavně schopným vydržet podmínky prostředí po celou dobu vyžadované životnosti štítku. Běžně se podklady vyrábějí z PVC, PET, polyesterů a FR-4 (v ojedinělých případech dokonce z papíru), jelikož všechny tyto materiály splňují požadavek na hladký povrch a rozptýlení elektrostatických nábojů [38] [39].

Výšeuvedené klíčové komponenty RFID štítku (integrovaný obvod a anténa) musí být chráněny před vlivy okolního prostředí. Kryt štítků je zpravidla vyrobený z polypropylenu, polyacetátu nebo jiného odolného materiálu poskytuje spolehlivou ochranu a výrazně prodlouží jejich životnost. Dlouhá životnost štítků je nutná zejména tam, kde se opakovaně používají (vozíky, kontejnery atd.) a kde jsou vystaveny extrémním podmínkám (velmi nízké nebo velmi vysoké teploty, zvýšená vlhkost atd.) [38] [39].

Štítky RFID dělíme dle různých parametrů – *zdroje energie* (*Tabulka 3*), *provozní frekvence* (*Tabulka 4*), *funkcionality* (*Tabulka 5*) *a protokolu*. V závislosti na zdroji energie jsou štítky rozděleny na pasivní, polopasivní a aktivní. Pasivní štítky využívají energii generovanou čtečkou/anténou. Pasivní značky jsou levnější, menší, lehčí a mají neomezenou životnost. Vyžadují však výkonnější čtečku a mají kratší rozsahy čtení.



Obrázek 18 *Kategorie RFID štítků podle zdroje energie, Zdroj: [39]*

Pasivní štítky nemají vlastní zdroj energie pro provoz integrovaného obvodu – jsou napájeny vzdáleně energií přenášenou čtečkou. Při obdržení dostatečného množství energie je integrovaný obvod schopen odeslat odpověď zpět čtečce. Energie ze čtečky tedy zajišťuje jak napájení, tak komunikaci. Velké množství této energie umožňuje maximální čtecí vzdálenost 0,6 až 6 m v závislosti na konkrétním typu štítku. Pasivní štítky jsou nejlevnější a nedají se znovu použít – jedná se tedy o spotřební zboží, kdy životnost štítku končí s životností produktu. Teoreticky je však jejich životnost nekonečná. Pasivní štítky mají omezenou schopnost ukládání dat [38] [39].

Polopasivní štítek je opatřen baterií, která poskytuje napájení pouze pro provoz integrovaného obvodu, nikoliv pro komunikaci. Štítek se čtečkou komunikuje pomocí zpětné vazby (backscatter coupling). V porovnání s pasivními štítky jsou polopasivní štítky schopny přečíst v dosahu až 30 m mají vyšší kapacitu paměti. Vzhledem k chybějícímu vysílači tyto štítky (stejně jako pasivní štítky) nepřispívají k rádiovému šumu. Vzhledem k těmto událostem polopasivní štítky jsou dražší, větší a těžší (v závislosti na velikosti a umístění baterie). Jejich hlavní nevýhodou je životnost, která je přímo úměrná životnosti baterie. V horších podmínkách (např. při nízkých teplotách) může baterie přestat fungovat, což přivede štítek do téměř mrtvé fáze [38] [39].

Aktivní štítky mají dvě hlavní části – baterie i vysílač. Aktivního štítku obsahuje interní baterie pro napájení, což zabezpečuje větší dosah čtení / zápisu (až 30 m), ale jsou větší, dražší a mají omezenou životnost. Baterie dodává energii do integrovaného obvodu pro svoji činnost a do vysílače pro zajištění komunikace. Životnost může být až 20 let. Vzhledem k přítomnosti vysílače nemusí štítek co do přenosu informací spoléhat na čtečku. Vlastně může sám jako čtečka pracovat. Aktivní štítky dosahují daleko delších čtecích vzdáleností až 1 km (v závislosti na baterii a vysílači). V jejich integrovaných obvodech mohou být zapojeny senzory prostředí. Aktivní štítky mají největší paměťovou kapacitu a jsou na rozdíl od pasivních a polopasivních štítků schopny data zpracovávat. Ve skutečnosti mohou tyto štítky lokálně vyhledávat informace z jiných štítků nebo senzorů, zpracovávat je a poté je přenášet. Štítek může být dále naprogramován do režimu majáku (beacon) – probouzí se v určitých časových intervalech, ve kterých pošle svou identitu a nasnímaná data ze senzoru, poté se opět samočinně přepne do režimu spánku. Aktivní štítky mají hlavní výhodu oproti polopasivním, a sice tu, že u nich lze monitorovat stav baterie. Štítky někdy používají k přenosu a přijímání dat dvě různé

frekvence (downlink a uplink). Použití aktivních štítků je omezeno cenovým faktorem, jelikož jsou nejdražším z uvedených typů štítků [38] [39].

	Active Tags	Passive Tags	Semi-Passive Tags
Distance range	Up to 100 m	Up to 15 m	Up to 60–80 m
Power	Power supply (Battery)	Inducted from readers	Turned on by a signal
Relative cost	>30	1	>20
Data storage	Extendible and can vary	512 bytes to 4 KB	Extendible and can vary
Data transfer rate	Up to 128 KB/s	Up to 1 KB/s	Up to 16 KB/s
Lifetime	Up to 10 years	Unlimited	Over 6 years

Tabulka 3 *Rozdíly mezi různými druhy štítků dle zdroje energie, Zdroj: [40]*

Frekvence je dalším kritériem dělení štítků – současné technologie RFID používají tři frekvenční rozsahy: nízký (100-500 kHz), střední (10-15 MHz) a vysoký (850-950 MHz / 2,4-5,8 Ghz) (*Tabulka 4*). Každý frekvenční rozsah má své vlastní jedinečné vlastnosti. Nízké a střední frekvence se běžně používají pro správu zásob, zatímco vysoké frekvence se používají pro sledování železničních vozidel a systémy výběru mýtného. Část spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od 1 mm do 1000 km – rádiové vlny [38] [39].

Štítky s nízkou frekvencí (LF) obvykle pracují při 125 kHz a někdy 134 kHz a mají menší čtecí zónu (do několika desítek centimetrů), proto jsou vhodné pro aplikace blízkého dosahu. Lze tento typ štítku bezbariérově aplikovat k prvkům obsahujícím vodu nebo jinou kapalinu, živočišnou tkáň nebo kov [38] [39].

Vysoká frekvence (High Frequency, HF) vysokofrekvenční štítky obvykle pracují při 13,56 MHz. HF štítky mají oproti LF štítkům větší čtecí zónu (do 1 m). Mají také vyšší přenosovou rychlost a větší paměť. Lze tento typ štítku bezbariérově aplikovat k prvkům obsahujícím vodu, tkáň a dřevo, však případě výskytu kovu se jejich čtení stává obtížnějším [38] [39].

Ultra vysoká fekvence (Ultra high frequency, UHF) v pásmu ultra krátkých vln jsou používány frekvence 433 MHz (aktivní štítky) a 860–960 MHz (polopasivní a pasivní štítky) se středovou frekvencí kolem 915 MHz. Nepracují dobře v okolí vody a kovů, ultra vysoké frekvence absorbuje obzvlášť voda [38] [39].

Mikrovlnná frekvence (Super High Frequency, SHF) pracují ve frekvenčním pásmu od 300 MHz do 3 THz. Štítky pracující při frekvenci 2,4 GHz spadají do dílčího pásma decimetrových vln (300 MHz < f < 3 GHz). Další používanou mikrovlnnou frekvencí je 5,8 GHz (dílčí pásmo centimetrových vln, 3 GHz < f < 30 GHz). Dostupné jsou jak pasivní a polopasivní štítky, tak aktivní štítky. Nejmenší typ štítku a jejich dosah v případě pasivních štítků činí zhruba 5 m, polopasivních – 30 m a aktivních – až 100 m. [38] [39].

Band	Frequency Range	Distance Range	Example Applications
(125–150) kHz	Low frequency (LF)	<2 m	Animals ID
13.56 MHz	High frequency (HF)	<20 cm	Access and security
(433–928) MHz	Ultra-high frequency (UHF)	433–864 MHz <100 m 865–928 MHz <2 m	Logistics
(2.45–5.8) GHz	Microwave	<1 m	Mobile vehicle toll
(3–10.5) GHz	Ultra-wide band (UWB)	<10 m	(Early phases)

Tabulka 4 *Rozdíly mezi různými druhy štítků dle frekvence, Zdroj: [40]*

V závislosti na funkčnosti štítku zavedla nezisková organizace EPC Global 6 tříd štítků RFID (*Tabulka 5*). Hlavními klasifikačními prvky jsou zdroj energie, kapacita paměti a schopnost a způsob komunikace. Značky lze číst pouze (RO), číst / zapisovat (R / W) nebo psát / mnoho číst jednou. Značky RO jsou předem naprogramovány s jedinečnými informacemi a poté je nelze upravovat. U značek R / W lze další data zapsat přepsáním nebo rozšířením existujících dat uložených ve značce. Informace lze ve značkách WORM změnit pouze jednou [39].

Class 0	Jednoduché pasivní štítky, WORM, předprogramované z výroby
Class 1	Pasivní štítky, WORM, zápis může být proveden při výrobě nebo v místě použití
Class 2	Pasivní štítky, R/W, dostupná paměť pro uživatele, možnost šifrování dat, zápis může být proveden při výrobě nebo v místě použití
Class 3	Polopasivní štítky, R/W, dostupná paměť pro uživatele, senzory prostředí
Class 4	Aktivní štítky, R/W, dostupná paměť pro uživatele, senzory prostředí, zajištění vzájemné komunikace s ostatními aktivními štítky a čtečkami
Class 5	Aktivní štítky a čtečky, kromě komunikace poskytují energii štítkům spadajícím do výše zmíněných kategorií

Tabulka 5 *Funkcionalita Zdroj: [39]*

2.3.3 Protokol

Protokol je soubor pravidel, kterými se řídí komunikace a přenos dat mezi čtečkou a štítkem. Čtečka a štítek musí pro vzájemnou komunikaci mít stejné protokoly. Protokoly můžeme rozdělit do dvou širších kategorií: otevřené (open), to znamená, že tyto protokoly jsou vyvíjeny normalizačními orgány (ISO 18000-6) a jsou dostupné po celém světě, a proprietární (proprietary) tyto protokoly jsou vyvíjeny konkrétními výrobci pro vlastní obchodní účely [39] [40].

2.3.4 Čtečka

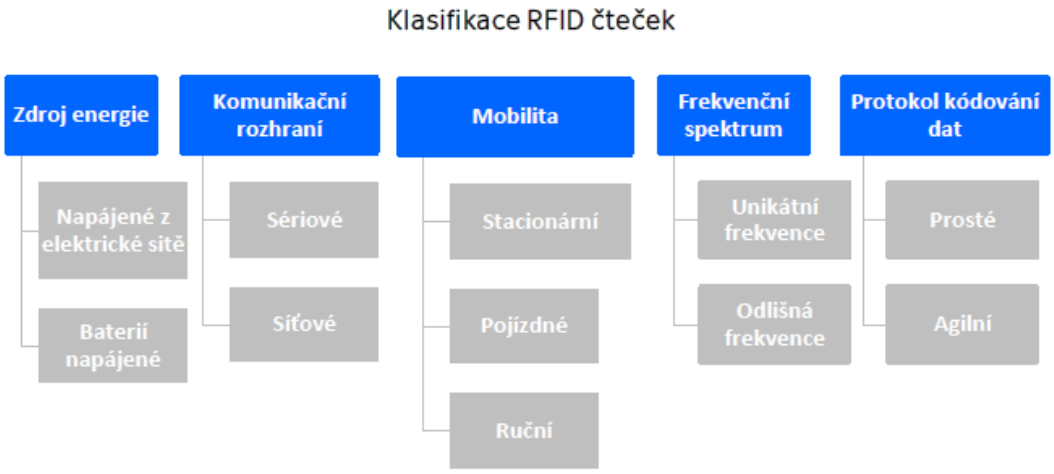
Čtečka (reader) pokládá dotazy štítkům, které vstoupí do její zóny dosahu. Čtečka se skládá z antény, vysílače / přijímače a dekodéru. Čtečka má zabezpečovat efektivní řízení komunikace se štítky (čtení / zápis) a následný přenos dat do aplikace, která bude tato data používat. To jsou buď jednoduchá data, nebo v případě inteligentních čteček, filtrovaná data, což jsou data, která již byla zpracována ve čtečce. Čtecí anténa je součástí čtečky a obvykle je k ní připojena pomocí kabelu. Operační frekvence RFID systému je určena čtečkou, protože právě anténa čtečky vyzařuje energii používanou štítky (v pasivním a polopasivním systému). Anténa štítku je naladěna tak, aby rezonovala na správné frekvenci a mohla se tak snadno spojit s anténou čtečky. Anténa čtečky generuje nosnou vlnu správné frekvence, aby štítek v daném frekvenčním rozsahu byl schopný absorbovat RF energii. Čtecí anténa generuje nosnou vlnu správné frekvence, takže štítek může absorbovat vysokofrekvenční energii v daném frekvenčním rozsahu. Jednou z nejdůležitějších vlastností čtenářů je metrika, která určuje maximální počet štítků, které lze úspěšně načíst za jednu sekundu. V pasivních systémech se počet přečtených štítků pohybuje od 50 do 100 za sekundu, v aktivních systémech od 50 do 900. Podsystém čtečky lze rozdělit do dvou odlišných skupin. První skupinou je vysokofrekvenční rozhraní, druhou skupinou je řídicí systém. Tyto skupiny spolupracují s externím

hostitelským systémem. Současně lze smartphony používat v kombinaci s příslušným softwarem jako čtečku RFID [39].

Obrázek 19 *- RFID čtečka v kombinaci s tabletem/smartphone, Zdroj: zebracom*

Čtečkou může být i smartphone či tablet, který v sobě obsahuje NFC štítek, který je v podstatě RFID technologií, však má kratší čtecí zónu a má dva režimy – aktivní a pasivní. Na trhu existují nástroje, které zvětší tu čtecí zónu a povolí používat smartphone či tablet jako obyčejnou RFID čtečku (*Obrázek 19*).

Zde je prezentován komplexní přehled čteček RFID dostupných na současném trhu. Klasifikace je založena na zdroji energie, komunikačním rozhraní, mobilitě, frekvenčním spektru a protokolu kódování dat (*Obrázek 20*).



Obrázek 20 *Klasifikace RFID čtecích zařízení, Zdroj [39]*

Při použití čtečky v konstrukčních podmínkách je nutné zavést další důležitý pojem, a to čtecí zónu nebo zónu dotazu, což je oblast, ve které čtenář čte data z etikety nebo zapisuje data na štítek. Jedná se tedy o trojrozměrný fyzický prostor, ve kterém jsou

elektromagnetické vlny přenášeny mezi dvěma komponenty systému RFID (čtečkou a štítkem). Dotazovací zóna spadá do fyzické vrstvy, protože úspěšná komunikace mezi čtečkou a štítkem je vysoce závislá na rušení od jiných elektromagnetických zdrojů, vlnovém odrazu nebo přítomnosti dalších stacionárních a pohybujících se objektů v zóně [39].

2.3.5 Middleware

Jedná se o softwarovou komponentu, která zabezpečí propojení mezi čtečkou a podnikovým softwarem. Middleware shromažďuje data přímo ze štítku, odesílá je do čtečky, ukládá je a podle potřeby je odesílá do podnikových aplikací, přičemž zároveň sleduje, konfiguruje a spravuje hardware (čtečku). V podnikových aplikacích jsou procesy prováděny pomocí shromážděných dat v požadovaných formátech. Minimální informace hlášené middlewarem jsou ID tag, ale většina informací je rozsáhlejší - ID tagu, ID reader a datum / čas události (datové struktury jsou popsány v kapitole 3.4). Sofistikovanější systémy zpracovávají další informace - stav paměti štítků, úroveň baterie štítků, informace o senzorech (předpokládá připojení senzoru), existence štítku v čtecí oblasti (mimo čtecí oblast) a pozice štítků (předpokládá GPS). Firemní software pak může být BIM API nebo SW pro čtečku (nebo tablet nebo smartphone), která má být propojena s databází BIM a modelem a odkazy na další SW, jako je BIM360, elektronický protokol atd. [39].

2.3.6 Standardizace

Standardizace RFID zahrnuje 3 vrstvy – datového spojení, aplikační vrstvu a fyzickou vrstvu. Vrstva datového spojení se zabývá inicializací, protokolem, antikolizním a datovým obsahem štítku. Fyzická vrstva řeší komunikaci mezi štítky a čtečkou aplikační vrstva určuje metody jejich testování. V oblasti RFID existuje několik úrovní normalizace: normy, předpisy a mandáty. Normy jsou vyvíjeny různými organizacemi pro usnadnění interoperability mezi různými součástmi různých výrobců. Normy se vztahují na hardware, software a jejich použití, a tak definují jasnou kvalitu produktu. Standardizační organizace mohou být mezinárodní jako ISO, IEC, ITU, národní jako ANSI (USA), JISC (Japonsko) nebo průmyslové jako EPC Global a AIAG. Výsledkem normalizace je v současné době nej sofistikovanější protokol EPC Global Gen 2, který vyhovuje normě ISO 18000-6C a je celosvětovým standardem pro UHF. Za regulaci jsou odpovědné regulační orgány nadnárodní nebo vnitrostátní povahy, jako jsou ERO (pro

Evropu), FCC (USA), CTO (Česká republika) atd. Kromě toho v některých odvětvích (např. Logistika nebo maloobchod) existují zvláštní předpisy, tzv. Mandáty. Někteří zákazníci, zejména ve Spojených státech amerických, kde je tento postup běžný, předepisují svým dodavatelům (často proti jejich vůli) povinnou integraci systému RFID, aby se zvýšila účinnost jejich dodavatelských řetězců [39] [42].

2.3.7 Omezení

V této kapitole jsou nastíněny základní problémy, které technologii RFID limitují. Většina z nich byla, nebo stále je, předmětem výzkumu, jež má za cíl tyto problémy odstranit a posunout technologii kupředu. Mezi zmíněná omezení patří:

- cena – cena je stále vysoká ve srovnání s hlavním konkurentem – čárovým kódem.
- rušení – zdrojem rušení materiál (kovové materiály, kapaliny) a vlivem frekvence. [19]
- frekvenční – rušení vlivem kolize systémů se zdrojem elektromagnetických vln [20]
- bezpečnost – ochrana soukromí a zabezpečení systému RFID proti mechanickým vadám

2.4 Smart Building Components

2.4.1 Formulace koncepce

Z důvodu nutnosti eliminace chyb a zefektivnění procesů je se jeví nutným účinné sdílení a výměna informací mezi různými zúčastněnými stranami, případně všemi společnostmi během projektového managmentu (AECOO) – architekty, projektanty, generálními dodavateli a jejich dělníky, subdodavateli a jejich dělníky, investory a provozními techniky. Pro tyto účastníky je důležité včasné nalezení správných informací. V současné době se kritické informace o výrobních a instalačních procesech vůbec neukládají nebo je nelze snadno získat během provádění nebo po dokončení projektu, protože jsou většinou v papírové podobě a jsou uloženy na nejrůznějších datových nosičích. V důsledku toho, vzniká potřeba vytvořit nástroj pro efektivní výměnu aktuální informací, který autor v předchozích kapitolách už zhruba koncipoval – technologie chytrých stavebních dílců. Nejedná se jenom o cloudový BIM model, ale o otevřenou databázi BIM, která kopíruje zásadní principy DMS. Každý zúčastněný bude mít přístup k systému, příslušné oprávnění a roli. Hlavním cílem systému je optimalizace toku informací prostřednictvím BIM a RFID a propojení fyzického prvku s její digitální podobou a zavedení tohoto nástroje do staveništích podmínek. Jak bylo zmíněno v úvodní části této práce – jedná se o integraci technologie RFID, kde štítek je fyzickým nosičem dat a čtečka nástroje pro sečtení těchto dat, s BIM modelem tvořenou softwarem společnosti Autodesk Revit znázorňující geometrickou informaci modelu a BIM databází tvořenou softwarem Microsoft Access obsahující množství dat o prvku. Integrované prostředí RFID a BIM poskytuje plynulý tok informací, který snižuje manuální chyby a zvyšuje účinnost získávání informací. Touto integrací dosáhneme účinného řízení informací během celého životního cyklu zařízení – poskytuje kdykoli přístup k vkládání, extrahování, aktualizaci nebo upravování digitálních dat všemi účastníky projektu zapojenými do životního cyklu prvku. Systém chytrých stavebních dílců bude založen na dalších principech:

- **documentation management system (DMS)** – jádro systému, na kterém se zakládá další popsány systémy. Registruje tok dat od prvotního návrhu přes montážní dokumentace až do nahrání provozních manuálů a protokolů o provedení revizí a vždy s platnými odkazy na trvale aktualizované BIM model a databázi, kde bude uloženy veškeré dokumenty nezbytné pro danou fázi (např.

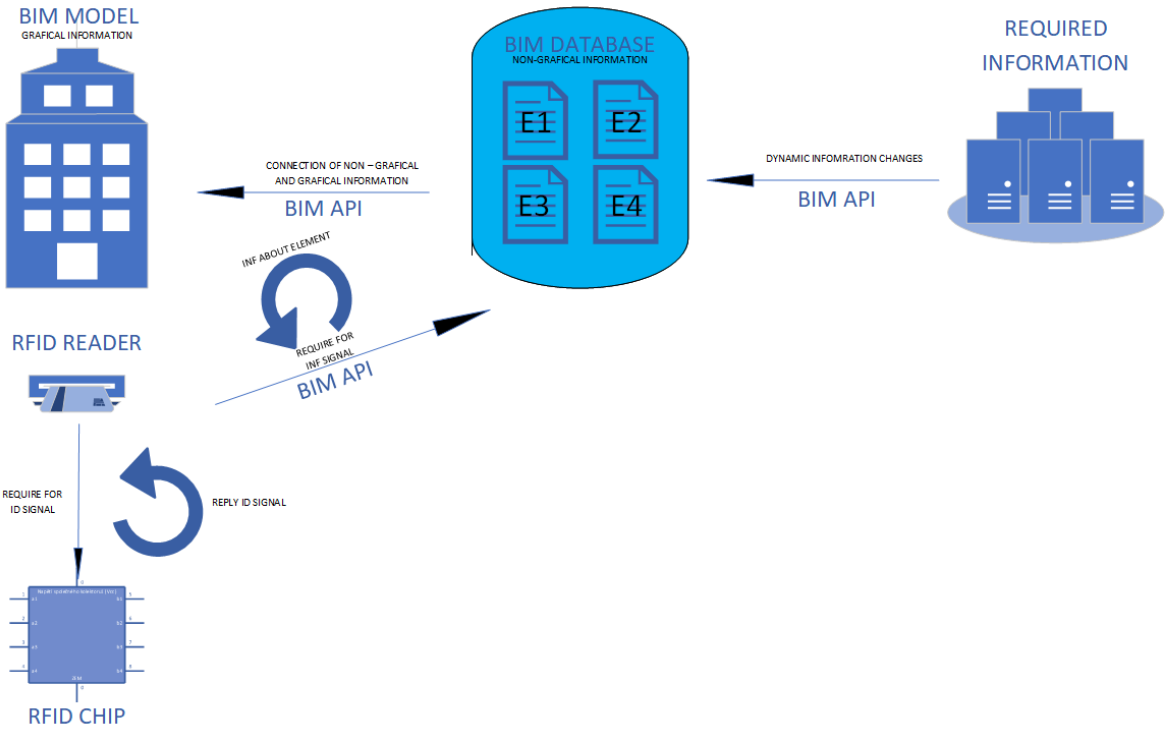
STP dokumentace, montážní dokumentace, materiálové doklady, postupy atd.) a dokumentární výstupy z provedených prací (např. listy, protokoly, záznamy, fotodokumentace, změny PD atd.), které budou vkládány na základě určitých oprávnění a rolí každou odpovědnou osobou. Hlavně ten systém bude mít komunikační funkce jak software – uživatel, tak i uživatel – uživatel (systémy oznámení a notifikace o změnách, systém oprávnění o roli, možnosti komentování, komunikace, seznámení a schvalování prostřednictvím elektronických podpisů). Díky možnosti propojení s dalšími software, systém umožní automatickou generaci a uložení všech nutných protokolů, listů a prohlášení, které budou vznikat na základě provedených prací, čím minimalizujeme ztrátu informace. Evidence veškerých změn v PD během fáze realizace pro tvorbu DSPS a generace dokumentace pro předání do dalších fází a finální archivace (např. montážní a materiálové podklady od výrobce, podklady ke kolaudaci, generace, uložení a předání finálních KZP, protokolů o zkouškách),

- **proces managment systém (PMS)** – zavedení systému statusů prvků (výroba, skladování, montáž…), který bude zobrazen v rámci BIM sytému a souvisejících dokumentací příslušné danému statusu, které budou buď vstupem do procesu nebo výstupem, fotodokumentace zhotovení díla v rámci protokolů KZP od konce výrobu prvku do jeho předání,
- **material management systém (MMS)** – řízení logistiky, lokace a tracking pohybu dodávky, koordinace harmonogramu dodávek, správa stavebních materiálů a spotřebních materiál, sledování a dodržování podmínek přepravy, skladování a manipulace, automatická generace výstupních dokumentů (např. dodacích listu, prohlášení o shodě atd.),
- **quality and safety management systém (QMS)** – zpracování checklistů splnění podmínek BOZP před zahájením prací a vždycky obnovitelná rizika BOZ a nutná opatření k eliminaci těchto rizik (jak pro prováděnou práci, tak i pro bezpečnost celého staveniště), šablony pro tvorbu a vyplnění KZP během realizace prvku s připojením nutných norem, vyhlášek a hlavně postupné fotodokumentace procesů a jiných dokumentů v rámci jednotlivých položek KZP (např. školení montéru, svářečů a oprávnění k montáži, předávací protokoly…),

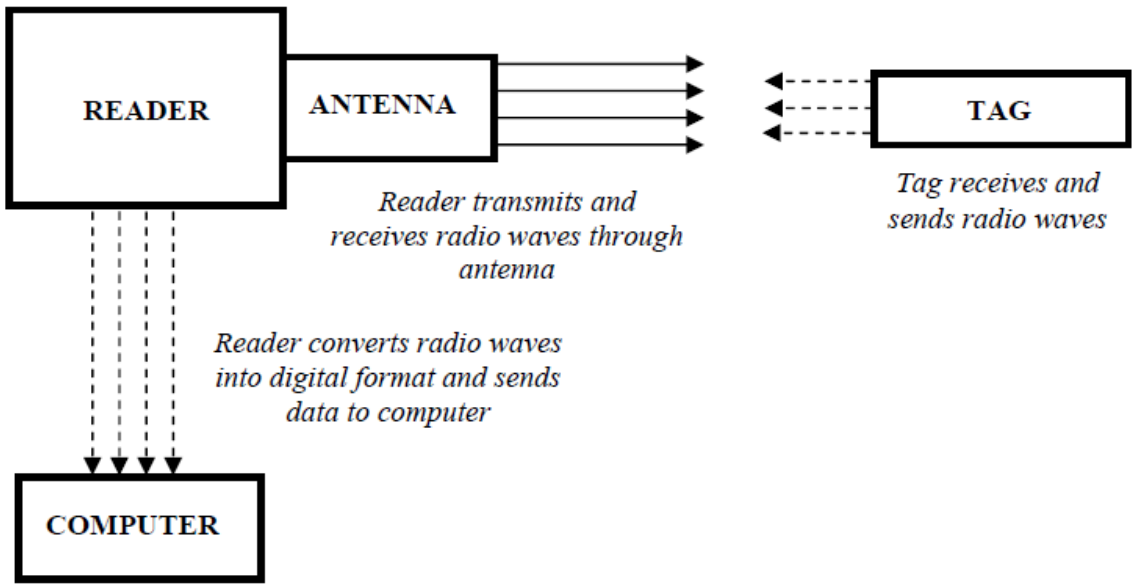
- **facility management systém (FMS)** – přistup k historii prvku, hned dostupné modely DSPS, provozní manuály a další podklady k provozu a údržbě a platné údaje pro FM, systém oznámení o revizích a opravách pro splnění požadavků preventivní a prediktivní údržby, rychlý přístup na servisní centrum, odpovědnou firmu a reklamační oddělení, automatické generování protokolu o revizích, opravách a revizních zkouškách.

Celkový proces zavedení systému začíná identifikací a výběrem vhodného prvku a vytvořením jeho digitální podoby spolu se zpracováním všech datových struktur, vložením informací a vytvořením digitálního modelu, pak probíhá vytvoření ID, tisk štítku a nasazuje štítků RFID na vybrané komponenty. Veškerý tok informací bude probíhat v rámci BIM modelu a databáze na základě dat distribuovaných do všech připojených štítků (*Obrázek 21, Obrázek 24*). Štítek bude jenom markerem pro lokalizaci prvku v BIM a bude obsahovat základní informaci o komponentu a odkaz na detailnější informace přes ID. Informace o štítku RFID používá k vyhledání prvku a sdělí tyto informace BIM (*Obrázek 22, Obrázek 23*). Jako pojítko mezi štítkem a databází slouží softwarová aplikace prostřednictvím API (Application Program Interface) BIM–API a RFID–API, která bude vytvořena v rámci spolupracujících podniku. Softwarová aplikace byla vyvinuta pomocí programovacího jazyka Visual Basic.NET (VB.NET). Aplikace Revit Architecture 2019 bude použita jako software k vývoji modelu BIM. Integrované prostředí BIM a RFID bude vyvinuto pomocí vývojové sady RFID Alien Technology a aplikace Revit Architecture 2019 společnosti Autodesk. Vývojová sada RFID zahrnuje čtečku, pomocnou anténu, sériový kabel, síťový křížový kabel a štítky EPC třídy 1 generace 2. Negrafická data zahrnují projektové dokumenty, postupy, odkazy, specifikaci, uživatelské příručky a záruky v závislosti na fázi atd. Pro různé aplikace se používají odlišné frekvence štítku. Způsob napájení bude pasivní. Pasivní štítky nejsou napájeny baterií, ale jsou poháněny rádiovými vlnami emitovanými čtečkou. Pracují při nízkých frekvencích (124 kHz, 125 kHz nebo 135 kHz), vysokých frekvencích (13,56 MHz) a ultravysokých frekvencích (v rozsahu od 400 MHz do 960 MHz). Mají čtecí dosah až 10 m. Pasivní značky jsou ve srovnání s ostatními typy značek levnější, protože vyžadují menší údržbu. Jsou malé a nejlevnější. Data budou uložena způsobem ReWritable. Čtečka může být buď mobilní s možností přenosu dat na tablet nebo obyčejná čtečka RFID štítků. Detailnější postup bude popsán v praktické části, dále je představen jen obecný postup zavadění:

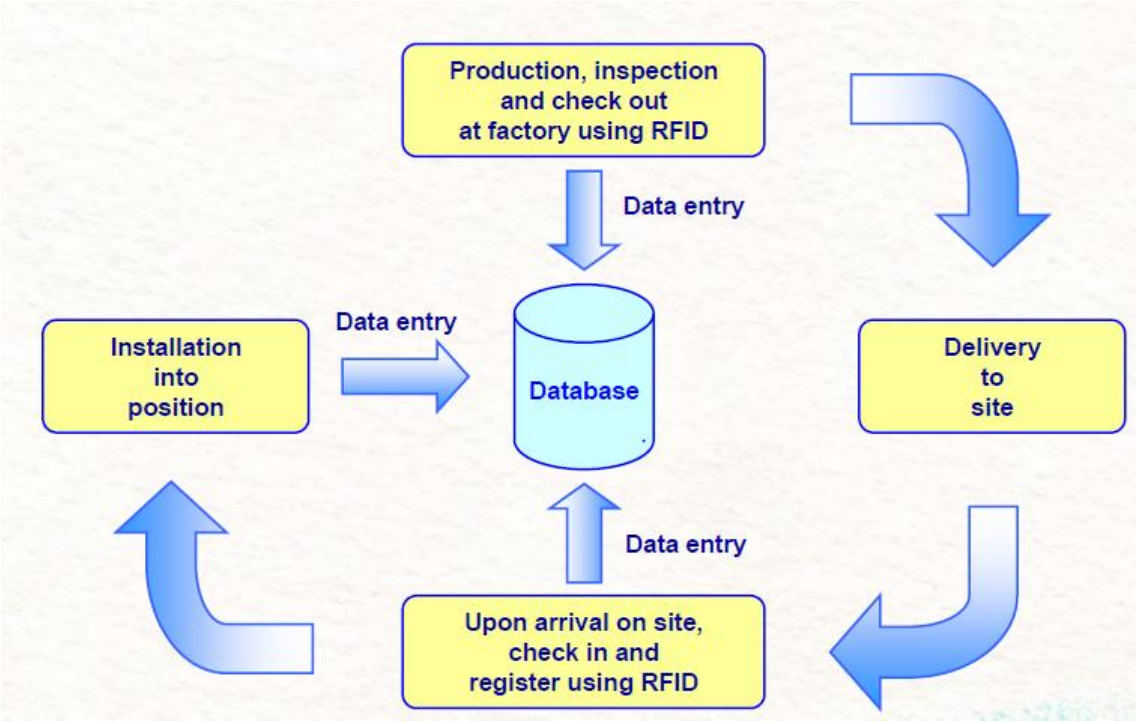
1. První krok zahrnuje identifikaci a výběr vhodného prvku a vytvoření jeho digitální podoby spolu se zpracováním všech datových struktur, vložením informací a vytvořením digitálního modelu.
2. Struktura složek měly by být zdokumentovány, aby se minimalizovala časová ztráta při hledání součástí ve velkém úložném prostoru, plus, nastavit všechny systémy, strukturu BIM elementu, RFID štítku a BIM databáze. Nastavit systém statusů a související dokumentů, notifikace, oprávněni a roli. Vytvoření projektů v souvisejících SW (BIM360 atd.) a propojení s BIM modelem a databází.
3. Použití štítku v rámci výroby dle přání subdodavatele. Pro generálního dodavatele použití systému chytrých stavebních dílců se začíná koncem výroby prefabrikátu. Ve fázi výroby by měly být zdokumentovány montážní dokumentace, STP, materiálové informace a veškeré ostatní podklady o komponentech.
4. Připojování značek ke komponentám ve fázi výroby jako integrální součást komponentů prospěšných pro všechny zúčastněné strany během fází životního cyklu, od nákupu a správy dodavatelského řetězce až po údržbu a likvidaci.
5. Čtečka RFID čte RFID tag komponenty a tato informace je odeslána jako vstup do databáze BIM. Na základě tohoto ID tagu je prohledána databáze BIM k nalezení prvku.
6. Ve fázi logistiky v komponentu by už měly být uložené veškeré výstupy od generálního dodavatele a subdodavatele pro zahájení montáže. Tracking logistiky se taky uskutečňuje pomocí štítku.
7. Ve fázi výstavby by dodávky měly být všechny podklady k montáži uložené do BIM a přístupné pro všechny zúčastněné osoby pro vložení a sečtení informace
8. Ve fázi výstavby by dodávky měly být zkontrolována, aby se zajistilo, že komponenty mají požadovanou kvalitu. Jakékoli problémy během instalace by měly být zdokumentovány jako součást historie součásti.
9. Během provozní fáze se budou sečtené veškeré podklady nezbytné k provozu budovy a bude periodicky provedena kontrola stavu štítku



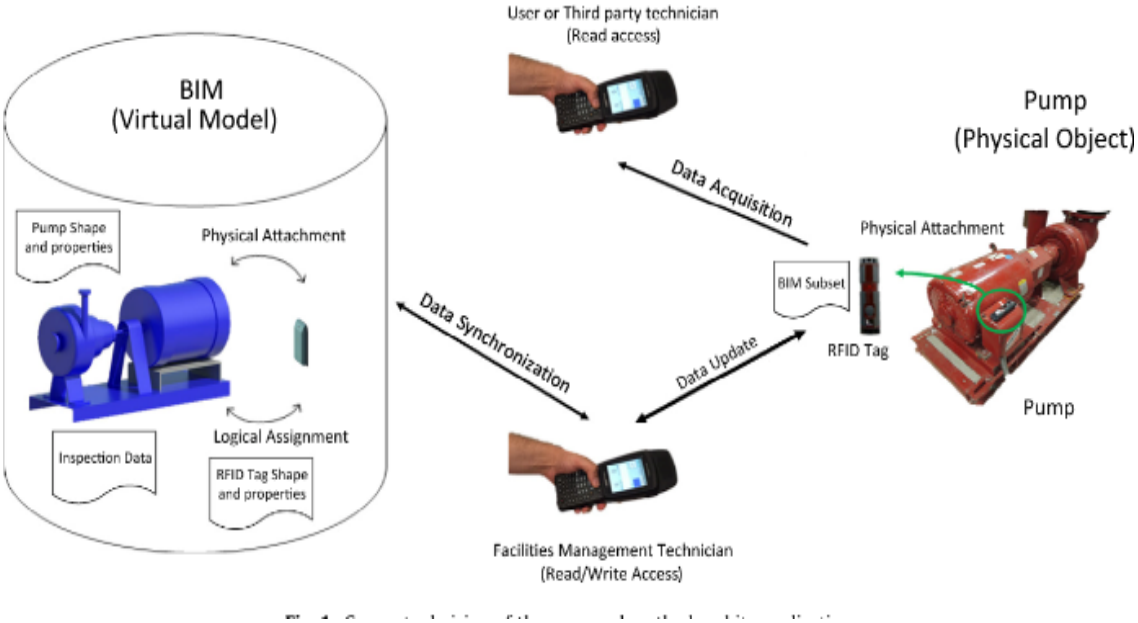
Obrázek 21 *Technická struktura technologie chytrých stavebních dílců, Zdroj [autor]*



Obrázek 22 *Komunikace čtečky a štítku, čtečky a počítačových systémů, Zdroj [24]*



Obrázek 23 *Příklad trvalého vkládání/aktualizace informace o komponentu pomocí RFID čtečky, Zdroj [43]*



Obrázek 24 *Příklad využití RFID při provozu TZB zařízení, Zdroj [35]*

2.4.2 Zkušenosti využití technologií BIM a RFID v odvětví

Staveniště je dynamickém prostředím s obtížným řízením materiálových součástí, nástrojů, pracovní síly, a hlavně související informace, které během všech fází životního cyklu zahrnuje mnoha účastníků. Dodané prvky jsou uloženy na různých místech v rámci stavby a tato místa se mohou před instalací prvků na konečných pozicích několikrát změnit. Rozsáhlé portfolio materiálů a součástí vyžaduje specifické podmínky monitorování, skladování a manipulace a podléhají jedinečným instalačním technikám. Pracovníci v současné době dodržují pokyny pro manipulaci a instalaci uvedené v tištěných montážních pokynech, což vede k časově náročnému hledání souvisejících informací. Stavební výroba navíc čelí vnějším klimatickým podmínkám. Na rozdíl od pásové výroby je výrobní prostředí pro stavbu in-situ nekontrolované – prvky se nepohybují podél předem stanovené cesty nebo nefungují předem určeným způsobem. Je zřejmé, že v tak dynamickém a drsném prostředí je současná metoda monitorování zdrojů založená na ruční práci s papírovou dokumentací neúčinná a neefektivní. Pro zefektivnění výroby je nutno zavést principy pásové výroby. V rámci stavebnictví zkusíme pomocí RFID a BIM přizpůsobit tok informace během stavebního projektu jak při pásové výroby. V této kapitole bude popsány příklady implementace technologií RFID a BIM. Je nutno, aby informace o materiálech a součástech snadno a rychle dostupné na místě, nejen na místě. Stavební výrobky a meziprodukty se navíc vyznačují značnými rozměry, které, pokud jsou prvky označeny identifikačními štítky, mohou ztěžovat jejich nalezení. RFID nevyžaduje přímou viditelnost pro sběr dat. Některé systémy mají velké rozsahy čtení a velké kapacity paměti a jejich štítky mohou být také zapouzdřeny, aby se zvýšila životnost v drsných provozních podmínkách. Všechny tyto aspekty dělají z RFID technologie atraktivní nástroj, který má potenciál vyřešit problémy sledování zdrojů webu a nejen tam.

2.4.2.1 PERI

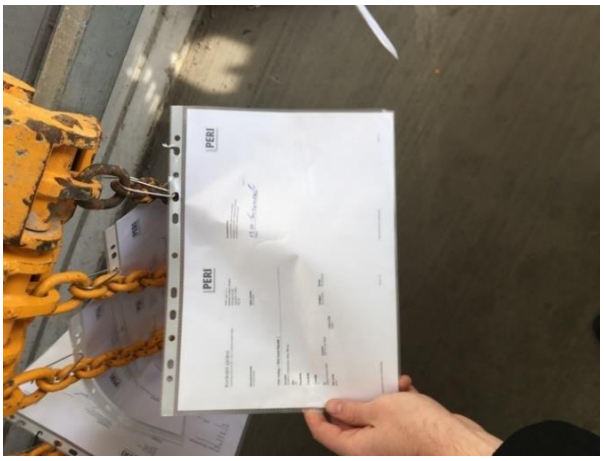
Využití moderní technologie PERI má velký pokrok jak v RFID, tak i ve většině dalších digitálních technologií. Například RFID technologie našly velké uplatnění v řízení jakosti. Řízení kvality pomocí RFID je určeno pro kontrolu kvality systémových zvedacích háků, které kromě toho oznámení o provedení kontrol. Kontrola probíhá vizuálně podle příslušných bodů. Na každém háku bude umístěn aktivní štítek (*Obrázek 25*).

Obrázek 25 *Zvedací háky s protokoly kvality, Zdroj [autor]*

Když je kontrola provedena, odpovědný pracovník pomocí čtečky přečte aktivní štítek, který posílá informaci do systému o tom, že kontrola byla provedena (*Obrázek 26*).

Obrázek 26 *RFID čtečka ve výrobně PERI, Zdroj [autor]*

Pak systém vypracovává formulář o provedené kontrole, uloží ji do systému a nastaví časový interval do příští kontroly. Formulář se vytiskne, uloží v systému a pošle na stavbu (*Obrázek 27*).



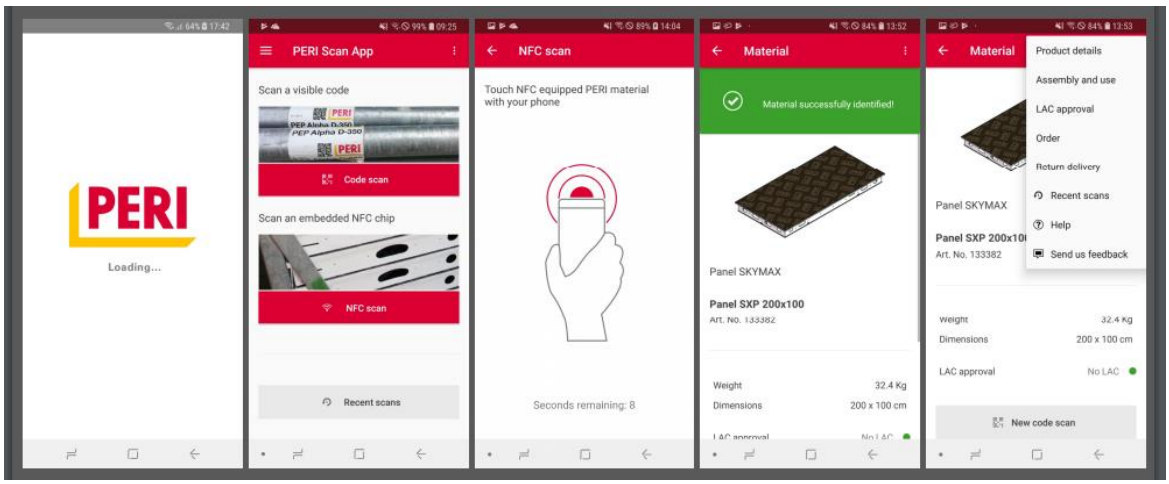
Obrázek 27 *Výstupní protokol kvality, Zdroj [autor]*

PERI využívají i řádu dalších technologie. Senzory se používají pro betonáž, pro monitorování hydratačního tepla a náplně formy a pro kontrolu okolních podmínek (*Obrázek 28*). Senzory se taky dobře integrují s RFID čipem pro trvalé čtení hodnot.

Obrázek 28 *Druhy senzorů, Zdroj [28]*

PERI taktéž hodně vyžívá pro své účely BIM a řádu souvisejících s tím technologie informační model, který obsahuje grafickou (3D model prvků), negrafickou informaci (číslo výrobku, číslo z obchodního katalogu, seznamy účastníků, hmotnost a rozměry, náklady, navazující výkresy, statika, brožury o výrobcích, animační návody a další data). Pro monitorování různých procesů, jak například životní cyklus v rámci BIM – kolaborativní design, technologie XR, animační postupný návod, knihovna BIM, odkazy na web, digital reality capture. Pro tvorbu animace – snadný přístup přes QR kód k animacím montáže specifickým pro daný produkt v rámci BIM modelu, což garantuje bezpečné a efektivní provedení. Panoramatický pohled 360 °, který umožňují pohlcující kontrolu řešení PERI dlouho předtím jeho provedením. Jako související SW v kombinaci s BIM používáno BIM360 Docs pro správu dokumentace a modelu – okamžitý přístup k relevantním dokumentům, nástroj pro komunikaci s projektantem a architektem – komentování a schvalování dokumentace, záruka trvalého přístupu k aktuální dokumentaci, BIM360 Glue pro kolaborativní design a kontrolu, detekce kolizí, komunikace s projektantem a architektem a BIM360 Field pro minimalizaci rizika nehod, záruka plánované kontroly kvality, monitoring závad a odpovědnosti. Během realizace požívá RFID štítky, sensory, robotizace, doplněná a virtuální realita. V rámci rekonstrukce budovy – laserové skenování pro průmyslové objekty, historické budovy,

obytné a komerční objekty, infrastruktury. Však RFID používá hodně pro obchodní oddělení – identifikace v nákupových katalogách (*Obrázek 29*). [28]



Obrázek 29 *RFID technologie v obchodu, Zdroj [28]*

2.4.2.2 ČSOB

Při implementaci projektu ČSOB IKADATA úspěšně implementovala technologii RFID a BIM pro inteligentní provoz budov a efektivní správu zařízení. Koncept je vyvíjen z pohledu vlastníka budovy pro účely jeho správy a provozu. Definované požadavky a zásady jsou formulovány pro použití BIM a RFID pro správu zařízení ČSOB. Původní myšlenkou bylo použití čipů RFID k určení polohy zařízení. Poté byla provedena transformace tak, aby osoba odpovědná za pravidelnou kontrolu a údržbu budovy měla vyšší účinnost při provozu budovy. V zásadě pracuje na stejném konceptu, jaký je popsán v této práci – RFID čipy jsou připojeny k prvkům, které by měly být udržovány, které jsou propojeny s CAFM, ve kterém jsou informace uloženy. Pracovník přečte potřebné informace pomocí čtečky a má úplnou představu o stavu zařízení. Od IKODATA autor obdržel zpětnou vazbu – ideálně by se ve výrobě měly používat čipy RFID k vložení informací od začátku životního cyklu. V zásadě to funguje tak, že RFID je slyšet identifikátorem zapsaným do databáze a přímým přístupem k databázi z mobilního zařízení. Pokud není k dispozici připojení k internetu, RFID se zapíše do SW a odešle signál, když má připojení. Čtečka se nepoužívá k přidávání informací, informace přidává ústředí. Čipy RFID jsou označeny veškerým technologickým zařízením a stavebními prvky, na nichž je prováděna pravidelná údržba – identifikace prvku. Všechny instalace a technologické zapojení byly umístěny ve zvýšené podlaze [17].

2.4.2.3 Další oblasti využití

Existuje řada dalších způsobů využití RFID a BIM technologií ve stavebnictví. Autor dále popisuje další způsoby využití RFID a BIM (*Tabulka 6*) na základě provedeného rešerše a odkazuje na vědecké články, kde je toto využití zcela důkladně popsáno:

Logistika	**PREDICTION OF RFID PERFORMANCE IN SUPPLY CHAINS**, *Chin Boo Soon*
Material tracking	**RFID TECHNOLOGY FOR TRACKING PRE-FABRICATED PIPE SPOOLS**, *Jongchul Song, Carlos Caldas, Esin Ergen, Carl Haas, and Burcu Akinci*
	AUTOMATED TRACKING OF STRUCTURAL STEEL MEMBERS AT THE CONSTRUCTION SITE, *Karen M. Furlani and Lawrence E. Preffer*
	RFID IDENTIFIKACE VNITŘNÍHO UMÍSTĚNÍ PRO STAVEBNÍ PROJEKTY, *Montaser A., Moselhi O.*
	KONCEPČNÍ RÁMEC PRO INTEGRACI MODELOVÁNÍ INFORMACÍ O BUDOVÁCH S ROZŠÍŘENOU REALITOU, *Wang X., Love P. E., Kim M.J., Park C.S., Sing C.P., Hou L.*
	AUTOMATING THE TASK OF TRACKING THE DELIVERY AND RECEIPT OF FABRICATED PIPE SPOOLS IN INDUSTRIAL PROJECTS, *Jongchul Songa, Carl T. Haasa, Carlos Caldasa, Esin Ergenb, Burcu Akincib*
	RADIO-FREQUENCY IDENTIFICATION APPLICATIONS IN CONSTRUCTION INDUSTRY. *Jaselskis E.J., Anderson M.R., Jahren C.T., Rodriguez Y., Njos S.*
	EFFECTIVE MONITORING OF THE CONCRETE POURING OPERATION IN AN RFID-BASED ENVIRONMENT *J. Comput. Moon S., Yang B.*
	DEVELOPING A PRECAST PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM USING RFID TECHNOLOGY. *Yin S.Y., Tserng H.P., Wang J., Tsai S.*
	AUTOMATING THE TASK OF TRACKING THE DELIVERY AND RECEIPT OF FABRICATED PIPE SPOOLS IN INDUSTRIAL PROJECTS. *Song J., Haas C.T., Caldas C., Ergen E., Akinci B.*
	AUTOMATICALLY TRACKING ENGINEERED COMPONENTS THROUGH SHIPPING AND RECEIVING PROCESSES WITH PASSIVE IDENTIFICATION TECHNOLOGIES. *Grau D., Zeng L., Xiao Y.*
Productivity and progress control	**AUTOMATED PRODUCTIVITY CONTROL OF LABOR AND ROAD CONSTRUCTIO**N, *Ronie Navon*
	IMPACT OF MATERIAL MANAGEMENT ON PRODUCTIVITY, *Thomas H.R., Sanvido V.E., Sanders S.R.*
	A UNIFIED APPROACH FOR MODELLING CONSTRUCTION INFORMATION. *Bjork B.C.*
Access and safety control	**RFID AND BIM-ENABLED WORKER LOCATION TRACKING TO SUPPORT REAL-TIME BUILDING PROTOCOL CONTROL AND DATA VISUALIZATIO,** *Aaron M. Costin, Ph.D.*
Operation and Maintenance	**PERFORMANCE-BASED EVALUATION OF RFID-BASED INDOOR LOCATION SENSING SOLUTIONS FOR THE BUILT ENVIRONMEN**T *Li N., Becerik-Gerber B.*
	LANDMARC: INDOOR LOCATION SENSING USING ACTIVE RFID. *Ni L., Liu Y., Lau Y.C., Patil A.*
	AN IMPROVED BAYESIAN-BASED RFID INDOOR LOCATION ALGORITHM HUANG *Y., Liu Z., Ling G.*
	ENHANCING THE EFFICIENCY OF ACTIVE RFID-BASED INDOOR LOCATION SYSTEMS. *De AmorimSilva R., Da S., Goncalves P.A.*

Tabulka 6 *Přehled využití technologie RFID v pozemním stavitelství, Zdroj: [autor]*

2.4.3 Vhodné oblasti pozemního stavitelství pro implementaci technologie chytrých stavebních dílců

Přípravu, realizaci a provoz projektu uskutečňuje mnoho účastníků, kteří si neustále vyměňují informace. V přípravných fázích všechno směruje k tomu, aby dokumentace byla vyprojektována ve správné a kvalitní podobě a následně subdodavatelé byli schopni dodat kvalitní prvky podle této dokumentace. S tím, jak roste velikost a komplexnost projektů, roste i počet výrobků, které se nedají vyrobit na staveništi, ale v dílně – prefabrikáty. Pokud máme rozsáhlý projekt, ve kterém je jako nosný systém naprojektován prefabrikovaný skelet nebo prefabrikovaný lehký obvodový plášť, nebo jakékoli jiné prefabrikované dílce máme na stavbě hromadu prvků, a proto je náročné sledovat komponenty, materiály a nástroje a monitorovat pracovní sílu, související informace a harmonogramy práce. Stavba musí mít přesný plán jednotlivých návozů, skladování a montáže, kde je důležitě vědět kam a jaký prvek patří. Staveniště je dynamickém prostředím s obtížným řízením materiálových součástí, nástrojů, pracovní síly, a hlavně související informace, které během všech fází životního cyklu zahrnuje mnoha účastníků. Dodané prvky jsou uloženy na různých místech v rámci stavby a tato místa se mohou před instalací prvků na konečných pozicích několikrát změnit. Rozsáhlé portfolio materiálů a součástí vyžaduje specifické podmínky monitorování, skladování a manipulace a podléhají jedinečným instalačním technikám. Pracovníci v současné době dodržují pokyny pro manipulaci a instalaci uvedené v tištěných montážních pokynech, což vede k časově náročnému hledání souvisejících informací. Stavební výroba navíc čelí vnějším klimatickým podmínkám. Na rozdíl od pásové výroby je výrobní prostředí pro stavbu in-situ nekontrolované – prvky se nepohybují podél předem stanovené cesty nebo nefungují předem určeným způsobem. Je zřejmé, že v tak dynamickém a drsném prostředí je současná metoda monitorování zdrojů založená na ruční práci s papírovou dokumentací neúčinná a neefektivní. Pro zefektivnění výroby je nutno zavést principy pásové výroby. V rámci stavebnictví zkusíme pomocí RFID a BIM přizpůsobit tok informace během stavebního projektu jak při pásové výroby. V této kapitole bude popsány příklady implementace technologií RFID a BIM. Je nutno, aby informace o materiálech a součástech snadno a rychle dostupné na místě. Autor v práci identifikoval oblasti stavebnictví, kde by technologie chytrých stavebních dílců mohla dosáhnout nejvyšší efektivity. Následně v praktické části vybral dvě z nich a zkusil analyzovat a vyhodnotit výsledky v rámci reálného projektu. Jako nejvhodnější oblast

autor vidí oblast velkých administrativních kancelářských projektů, kde se používají atypické nebo se opakující prefabrikace. Nejvhodnějšími oblastmi prefabrikace, kde by technologie chytrých stavebních dílců mohla být využitá, jsou oblasti s velkým množství dílců různých typů, u kterých není snadné vzájemné rozlišení a následná montáž bez rizika záměny a tím vyvolaných chyb [29] [31]:

- železobetonové prefabrikáty – sloupy, stěny, stropní desky, schodišťová ramena a podesty, průvlaky apod., [30]
- fasádní prvky – modulové fasády nebo atypické fasádní obklady, složité zakřivené fasády (tančící dům, stavby architektky Zaha Hadid apod.),
- ocelové nosné konstrukce, [34]
- betonářská výztuž, [30]
- zámečnické prvky, [33]
- interiérové a exteriérové obklady a dlažby, [33]
- různé atypické a opakující se výplně stavebních otvorů – unikátní dveře a okna, [17]
- prefabrikované svodné horizontální a svislé potrubí pro správné provedení zkoušek a uvedení do provozu, [32]
- technologické zařízení budovy – koncové prvky, zařízení do strojoven a jiných technických zázemí, např. střecha. [17] [35]

3. Praktická část

Na základě kapitoly 2.4.3 teoretické části této diplomové práce, kde byly stanovené vhodné oblasti pozemního stavitelství pro implementaci technologie chytrých stavebních dílců, autor vybral projekt, kde by tyto stavební procesy, případně oblasti byly realizovány. V následující praktické části je popsán způsob provádění těchto procesů stávajícím způsobem a poté způsobem nově navrženým s použitím technologie chytrých stavebních dílců v rámci reálného projektu v oblasti pozemního stavitelství a následným návrhem potřebné technické infrastruktury, vybavení a popisem veškerých změn oproti tradičnímu způsobu výroby. Budou vyhodnoceny výsledky zavedení nové technologie a popsány postupné kroky a překážky při implementaci daného systému. Veškerá informace o projektu byla převzatá a zkonzultována ve stavební firmě, která je generálním zhotovitelem popsaného projektu a v které autor této práce současně pracuje. Ani název firmy a ani projektu nebudou zveřejněné vzhledem k žádosti vedení firmy.

3.1 Popis projektu a stavebních procesů

Polyfunkční budova, která se nachází v Holešovicích, Praha 7, má společný suterén o 3 podzemních a 8 nadzemních podlažích, které jsou rozdělené na objekty A1 a A2, objekty jsou spojeny krčkem a ocelovou lávkou. Celková výška nadzemní části je cca 31 m, suterén – má hloubku cca 11 m. Celková plocha kancelářských prostor činí 22.400 m^2. Na střeše jsou umístěny objektové technologie. Jedná se o design/build projekt, to znamená, že hlavními účastníky na jedné straně jsou investor a generální dodavatel, kteří úzce spolupracují. GD řídí projekční fázi. Na druhé straně vystupuje GD v pozici realizátora ve spolupráci s subdodavateli. Máme dvě skupiny účastníků – jedna skupina modeluje a koordinuje BIM a druhá skupina objekt připravuje, realizuje a provozuje. V rámci diplomové práce budou probrané dva stavební procesy v rámci tohoto projektu – modulové fasády (dále MF) a prefabrikované horizontální rozvody (dále PR) chlazení (CHL), vzduchotechniky (VZT) a stabilního hasicího zařízení (SHZ). Důvodem výběru podobného objektu a dodávek je ten, že se jedná administrativní objekt s velkou pronajímatelnou plochou, což znamená, že převládá typové a standardizované řešení, velké plochy, velké procento využití prefabrikace u modulové fasády a prefabrikovaných rozvodů. U modulových fasád je důležitě sledovat kvalitu dílců, podmínky pro přepravu, skladování a manipulaci a přísně dodržovat technologický postup v celé výrobní fázi až

do momentu předání díla. Výrobní a realizační fáze je obtížná a riziková vzhledem ke ztrátě nebo špatné práci s materiálovými a projektovými podklady, nestrukturovanému vedení KZP a nevedení fotodokumentace procesu, což vede ke vzniku vícenákladů, špatné finální kvality díla a ztrátě času během realizace.

U prefabrikovaných rozvodů je nejdůležitější fází poctivá tvorba KZP a provedení zkoušek za účelem ověření funkčnosti systému, sběr všech nezbytných dokladů pro kolaudaci a další správný provoz veškeré technické infrastruktury budovy, v této fázi vzniká největší množství chyb a ztráta dat, které vedou ke ztrátě času, vzniku vícenákladů a dlouhým reklamačním řízením, kde je složitě sledovat původ a čas vzniku závady. Výhodou obou výše popsaných procesů (MF a PR) je to, že jsou procesy připravovány a realizovány jednou dodavatelskou společností (GD) a objekt následně provozuje stejná společnost, což znamená, že implementace dané technologie, která v podstatě zahrnuje popisované fáze, může začít již od začátku projektu přes výrobu, montáž a další provoz. Všechny další zmíněné postupy odpovídá vývojů konkrétně diskutovaného projektu, který autor sebral od hlavních jeho účastníků, nikoliv se nejedná o obecné postupy přípravy, realizace a provozu projektu.

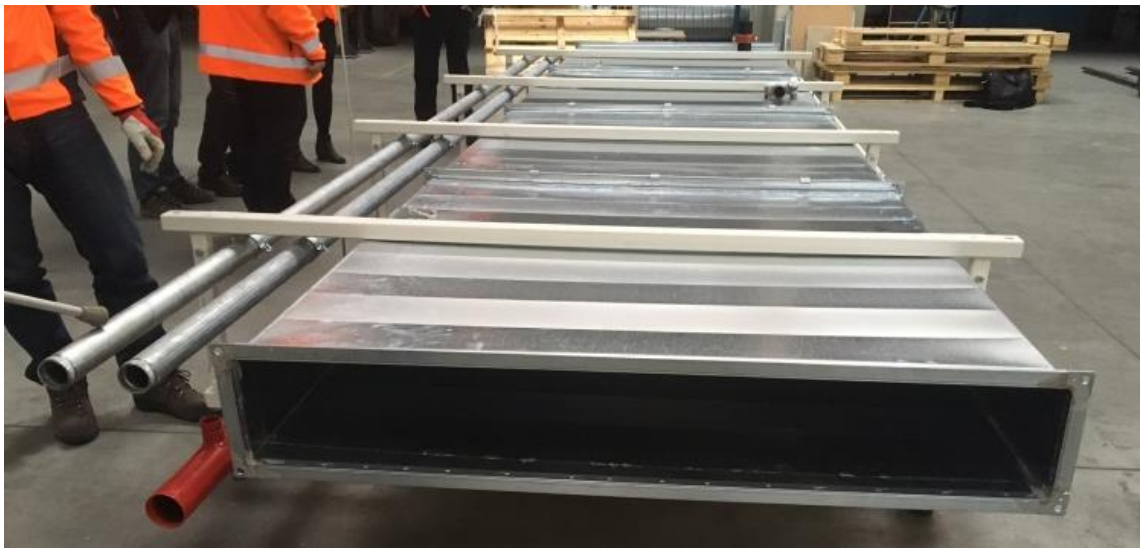
3.1.1 Modulová fasáda

V rámci projektu budou použity 2 typy fasád – modulové a rastrové fasády. Pro účely praktické části vezmeme typické a nejrozšířenější typ modulové fasády pro daný projekt. Jedná se o typickou fasádu v nadzemních podlažích, kde velikost fasádních modulů je šíře 2.700 mm (v závislosti na geometrii půdorysu budovy) a na výšku celého podlaží. Jednotlivé moduly jsou řešeny jako jednoduché fasádní dílce z hliníkových profilů (objektové řešení vycházející z odzkoušeného systému). Jednotlivé moduly jsou buď zasklívané na celou šířku modulu nebo částečně s neprůhledným panelem v rámci jednoho modulu (*Obrázek 30*). Vzájemné kombinace těchto modulů znamenají různé poddruhy této fasádní konstrukce. U řešení rohu fasády je přistoupeno k objektové úpravě připojovacího detailu mezi jednotlivými moduly. Tato úprava spočívá ve vkládání doplňkových profilů, které řeší rozevírání spár. Zasklívací jednotka má přesahy pro vytvoření strukturálního rohu.

Obrázek 30 *Modulová fasáda, Zdroj [autor]*

3.1.2 Prefabrikované rozvody TZB

Jednotlivý modul se skládá z potrubí chlazení, vzduchotechniky a stabilního hasicího zařízení (*Obrázek 31*). Obecný popis a popis rozmístění prefabrikovaných potrubí bude proveden v dalších kapitolách. V této kapitole je uveden obecný popis prefabrikátu. Je potřeba zmínit, že před vypracováním dílenské dokumentace je nutno mít zkoordinované potrubí s ostatními rozvody. Potrubí prefabrikovaných rozvodů je dále napojeno ve strojovně na zařízení a koncové jednotky. Například, chladicí jednotky jsou spouštěny dle aktuální potřeby chlazení a jsou řízeny v kaskádě tak, aby byly střídány a rovnoměrně opotřebovávány z hlediska vyrovnané bilance provozních hodin obou jednotek. Úprava vzduchu je provedena pomocí čtyř centrálních sestavných jednotek umístěných na střechách objektu. Čerstvý vzduch je nasáván na střeše příslušné budovy. Stabilní hasící zařízení je rozvedeno po celém objektu a má za úkol uhasit požár vodou v jeho počátečních fázích, nebo udržet požár pod kontrolou, aby jeho uhašení mohlo být dokončeno jinými prostředky.



Obrázek 31 *Prvek prefabrikovaného TZB rozvodu, Zdroj [autor]*

3.2 Stávající postup

Daný projekt se jeví pro autora jako vhodné prostředí pro implementací technologie chytrých stavebních dílců – **administrativní objekt** (velké plochy, vyšší procento standardizace a prefabrikace), **investorem, zhotovitelem i subdodavateli je jedna společnost** (menší fragmentace, jednodušší proces zavedení inovačních technologií), **prefabrikace** (nejvhodnější oblast pro implementaci viz kapitola 2.4.3). Jako vhodná oblast pro implementaci systému chytrých stavebních dílců se jeví prefabrikace, případně elementy modulových fasád a prefabrikovaných rozvodů. Současné procesy v rámci řízení realizace, dokumentací, materiálů, kvality a bezpečnosti, provozu se jeví pro autora problematické v těchto oblastech, proto je nutno provést analýzu stávajících procesů a na základě tohoto určit kritické procesy a virtuálně modelovat implementaci technologií chytrých stavebních dílců za účelem optimalizace daných procesů a vyloučením možných chyb, které by mohly ovlivnit vznik vícenákladů, času výstavby a finální kvality díla. V dalších částech proběhne popis průběhu přípravy, realizace a provozu daných stavebních procesů. Níže je představena tabulka (*Tabulka 7*) toku dat neboli vývoje projektové dokumentace, na základě které bylo dílo realizováno:

		Fáze projektu ČR	RIBA UK
PLÁNOVÁNÍ	1	**PPR** – Příprava projektu	Brief
		STS – Studie/Návrh	
NÁVRH	2	**DUR** – Dokumentace pro ÚR	Concept
	3	**DSP** – Dokumentace pro SP	Development Design
		DZS – Dokumentace pro zadání stavby	Technical Design
	4	**DPS** – Dokumentace pro provedení stavby	Specialist Design
VÝSTAVBA	5	**RDS** – Realizační dokumentace	Construction
	6	**DSPS** – Dokumentace skutečného provedení stavby	
PROVOZ	7	**FAM** – Dokumentace pro FM	Operation

Tabulka 7 *Vývoj projektové dokumentace, Zdroj [17]*

3.2.1 Modulová fasáda

Tvorba projektové dokumentace pro modulové fasády začíná obvykle ve chvíli, když je vydána dokumentace pro stavební povolení. DSP je v podstatě hlavním podkladem pro prováděcí a realizační dokumentaci. Po vydání DSP a odsouhlasení všemi zúčastněnými začíná tvorba DPS. Vzhledem k tomu, že generální dodavatel, investor projektu a zhotovitel modulových fasád jsou složkami jedné společnosti, spolupráce na zhotovení projektové dokumentace pro modulové fasády začíná již v ranních fázích projektu. Probíhá trvalá koordinace a komunikace mezi všemi členy projektu, a hlavně mezi generálním projektantem a dodavatelem modulových fasád za účelem vydání správné dokumentace provedení stavby a navazující dílenské dokumentace. Nástroje komunikace a koordinace v rámci vypracování projektové dokumentace během všech její stupňů jsou neefektivní – zápisy z kontrolních dnů, manuální prohlížení dokumentace, telefonní nebo mailová komunikace. Tato fáze je velmi důležitá z hlediska koordinace projektových řešení a výměny aktuální informace a rozhodnutí – od investora by mělo jít přesné zadání odpovídající stanovému cílová cena, generální zhotovitel má poskytovat koordinaci z hlediska montáže, generální projektant a subdodavatel by měli spolupracovat na zhotovení dílenské dokumentace – ve většině případů jsou rozhodnutí uložena buď v mailu nebo v zápisech KD a projektová dokumentace je uložena ve 2D formě. Po vydání každého stupně dokumentace probíhá její odsouhlasení všemi zúčastněnými strany prostřednictvím 2D dokumentace uložené na společných uložištích anebo v emailové komunikaci. Schvalování dokumentace je dlouhým procesem, jelikož zahrnuje hodně členů projektového týmu a nástroje distribuování dokumentace nejsou dostatečně efektivní. Během tvorby dílenské dokumentace probíhá tvorba výrobní dokumentace, která je vnitropodnikovou záležitostí sloužící pro postup výroby jednotlivých dílů a poptávku nezbytných součástí pro výrobu těchto modulů. Na základě dílenské dokumentace začíná proces výroby modulů a tvorby montážní dokumentace na straně subdodavatele a tvorby stavebně technologického projektu na straně generálního dodavatele, který obsahuje základní zásady organizace výstavby a technologické postupy, časovou a prostorovou návaznost jednotlivých prováděných staveních procesů. Prvky jsou vyráběny po sadách dle předem nastaveného časového plánu výroby v návaznosti na staveništní montáž. V rámci této fázi je důležité správné plánování a podchycení všech návazností. Při nakládce a expedici prvků je zapotřebí data zanést ručně do seznamu k nakládce, seznamu skutečně naložených prvků. Naložené prvky jsou manuálně zaneseny

do seznamu, tentokrát se jedná o seznam skutečně naložených prvků, po jehož vytvoření dochází k porovnání seznamů a fyzické kontrole naložených prvků.

Dokumenty související s výrobou (např. dodací listy, prohlášení o shodě a další) se vyplní manuálně při obdržení prvků na stavbě. Prvky prochází vnitropodnikovou kontrolou kvality a pak přepravné na stavbu. Následně probíhá odevzdání stavebně-technologického projektu a montážní dokumentace a všech materiálových a montážních podkladů, která se ukládá na společném uložiti a která probíhá dalším kolečkem schvalování, které probíhá pomocí výše uvedených nástrojů. Na základě stanoveného časového plánu dodávek probíhá transport sad modulů na stavbu. Na přepravu modulů je kladen velký důraz, ale nevyplňuje se standardně žádný KZP. Po ukončení výroby je nutno zkontrolovat materiálové vlastnosti prvků, případně vlastnosti modulových prvků (tolerance, statický výpočet, vodotěsnost, vzduchotěsnost, požární odolnost, příprava materiálů pro montáž, certifikáty). Může se stát, že jsou fasádní moduly poškozeny kvůli špatným podmínkám transportu, skladování a manipulace, což ve finále ovlivní kvalitu díla. Pokud vzniknou zdržení během přepravy, existuje při stávajícím stavu výroby a komunikace jediná možnost, jak nahlásit problém při logistice – telefon, což může ovlivnit celkovou časovou a prostorovou koordinaci stavby. Při obdržení dílců na stavbě jsou manuálně vyplněny dodací listy a prohlášení o shodě. Obdržené montážní a materiálové podklady spolu se STP jsou uložené ve 2D formě na uložišti, ke kterému mají přístup ostatní členové projektového týmu. Po dodání modulů na stavbu začíná další proces – vnitrostaveništní logistika.

Prvky se transportují na místo skladování. Místo skladování je stanoveno v ZOV. Za správnost skladování zodpovídá vedoucí pracovník a řídí se příslušným technologickým postupem. Jak bylo řečeno výš, modulový element je relativně křehký prvek, proto má vyšší nároky na přepravu, skladování a manipulaci. U těchto činností se aktuálně netvoří žádný checklist ani fotodokumentace, které by usnadnily monitoring kvality. Ve chvíli, kdy začíná montáž, stavba se nachází ve 3. etapovém procesu (vrchní stavba), či přesněji vrchní stavba 4.NP. Instalace fasády probíhá souběžně se zhotovením hrubé stavby. Proces realizace bude probíhat dle technologického postupu, se kterým musejí být seznámení všichni pracovníci. Při montáži jednotlivých modulů budou manuálně a ručně vyplňovat montážní listy a kontrolní zkušební plány. Vedoucí pracovníci (mistr, stavbyvedoucí apod.) musí mít trvalý přístup k veškerým potřebným dokumentům pro montáž, které jsou většinou buď v papírové podobě, nebo v PDF

formátu, uloženy na společných úložištích. V rámci daného projektu a diplomové práce budeme uvažovat s následujícím seznamem dokumentace jako základním podkladem pro realizaci díla:

- stavebně-technologický projekt, kam patří prostorová, časová, a technologická návaznost – ZOV s návrhem zdvihacích zařízení, technologické postupy, montážní kapacita, harmonogram a jiné časové, prostorové a technologické podklady,
- kontrolní zkušební plány, montážní listy, prohlášení o shodě, dodací listy, protokoly oprávnění k montáži a další. Materiálové listy (fasádní profily, zasklení, obkladové materiály, tepelná izolace, hydroizolace…) a doklady (certifikáty, LEED, materiálové a technické listy atd.,
- montážní dokumentace – technické zprávy, schéma, půdorysy, řezy, pohledy a detaily, popis jednotlivých skladeb a rozhrání fasád, výpis elementů, plechů, profily, skla a kotevních prvků,
- DPS – celková dokumentace provádění staveb.

Informace o proběhlých změnách přichází buď mailem, nebo telefonicky, a nemá v podstatě okamžitý dopad do projektové dokumentace a průběh realizace. Samotný proces montáže jednotlivého modulu se skládá z následujících základních kroků. pro které bude dělník a mistr vždy potřebovat vstupní údaje a na základě provedených prací dostane nějakou výstupní informaci, která bude předána a uložena, většinou v papírové podobě:

- kontrola nosných ŽB konstrukcí a předání dokončeného železobetonového skeletu s tolerancemi
    - vyplnění papírového KZP s odkazem na ČSN a předávací protokoly,
- přivařování kotevních prvků pro přípoj nosných ocelových kotev a montáž nosné ocelové konstrukce fasády (šroubové spoje)
    - předání váhorysů a vytyčovacích výkresů – na stavbě i papírově,
    - podklady z montážní dokumentace pro typy a umístění kotevních prvků,
    - podklady z TP, případně nářadí, soupis materiálů, postup, školení svářečů, manipulace s materiálem, spojovací prostředky,

- podklady ze STP, případně montážní kapacity, harmonogram a seznámení s časovou a prostorovou návazností na související procesy – koordinace navazujících konstrukcí a činností,
- odkazy ZOV – sklady, elektro a voda,
- požadavky BOZP a EMS,
- vyplnění papírového KZP – kontrolní zaměření kotevních prvků a úprava povrchu svaru,

- provedení veškeré přípravy pro navazující konstrukce (např. nalepování exteriérových hydroizolačních a interiérových parotěsných folií, příprava pro elektroinstalaci a vzduchotechniku, lamely, vstupní dveře…).
  - detaily navazujících konstrukcí,
- instalace jednotlivých elementů modulové fasády. Během celého procesu montáže má být zajištěna ochrana realizovaných částí,
- probíhá montáž či zavěšení modulového prvku, ale předtím by měla byt zajištěna veškerá příprava k montáži a navazující konstrukce,
- po zavěšení a vyrovnání elementů se připouští provedení montážních a rektifikačních svárů na ocelových kotevních prvcích, které jsou umístěny na vnitřní straně parotěsné roviny,
- kotvení fasád – spojů jednotlivých bloků zpravidla ve výškách stropních desek, a to do stropní desky. Poloha fasády, případně kotvení, je měřena od vytyčených modulových os objektu předaných stavbou v rámci stavební připravenosti a vyneseného na horní ploše betonové stropní desky (průvlakových kotev HILTI HST M12/125 v běžných elementech a M16/140 rohové a zesílené elementy dle projektu fasády),
- po zavěšení a vyrovnání elementů se připouští provedení montážních a rektifikačních svárů na ocelových kotevních prvcích, které jsou umístěny na vnitřní straně parotěsné roviny,
- fasádní prvky je nutné usazovat do projektovaných výšek a ve správné předozadnosti k objektovým osám, správnou polohu fasády průběžně ověřovat. Nutno kontrolovat výškové kóty,

- elementy jsou vedle sebe a nad sebou vzájemně napojeny vertikálním a horizontálním těsněním,
- provedení navazujících konstrukcí. Veškeré vstupní a výstupní podklady při provádění pospaných procesů jsou vyznačeny níže:
    - předání fyzické a papírové polohy váhorysů a vytyčovacích výkresů,
    - předání nosné ocelové konstrukce a přípravy pro navazující konstrukce a technologie,
    - rozměření konstrukcí a elementů (KZP, prohlášení o shodě, materiálové listy…) před začátkem montáží jednotlivých etap,
    - podklady z montážní dokumentace pro typy a umístění jednotlivých typů elementů, vyznačení jednotlivých typů fasád a detailů navazujících konstrukcí,
    - podklady z TP, případně nářadí, soupis materiálů, postup, školení svářečů, manipulace s materiálem, postup montáže, požadavky BOZP a naložení s odpadem,
    - podklady z STP, případně montážní kapacity, harmonogram a seznámení s časovou a prostorovou návazností na související procesy – koordinace navazujících konstrukcí a činností,
    - odkazy ZOV – sklady, elektro a voda,
    - vyplnění papírového KZP v jednotlivých fázích montáže.

Během realizace bude vyplňován KZP v papírové formě a následně budou shromážděny veškeré podklady ke kolaudaci, které budou rovněž manuálně uloženy na uložištích. Bude vypracována dokumentace skutečného provedení (DSPS) na základě změnových listů. V této fázi dochází ke ztrátě dat a dlouhému hledání nutných podkladů:

- DSPS,
- stavební deník,
- dokumenty k materiálům (skla, bondy, lepení, plechy, profily, izolační materiály, kotvení, těsnění, kování, požární předěly, dveře a okna, karusel),
- protokoly o zkouškách (akustika, statika, požár).

Pak se dílo předává spolu se všemi nezbytnými podklady pro provoz. V této fázi se dochází ke ztrátě dat a dlouhém hledání nutných podkladů:

- na střeše objektu je nainstalován certifikovaný kotvící systém – údržba je řešena pomocí horolezecké techniky,
- DSPS a veškerý předchozí dokumentace a podklady budou uloženy do modelu a databáze,
- interval pravidelných kontrol, údržby a čištění jednotlivých konstrukcí specifické doporučení pro provedení běžné údržby jednotlivých konstrukcí, termíny provedení revizí, oprav a rekonstrukcí,
- manuál údržby a servisu fasádních konstrukcí – provozní manuál fasády a provozní manuál objektu a návrh servisní smlouvy,
- kontakty na dodavatele servisu a reklamační oddělení zhotovitele.

3.2.2 Prefabrikované rozvody TZB

V případě prefabrikovaných rozvodů tvorba detailnější projektové dokumentace prefabrikovaných rozvodů TZB začíná ve chvíli, když je vydána dokumentace pro provádění stavby. Tato dokumentace má být hotová a schválená před tvorbou dílenské dokumentace za účelem koordinace jednotlivých technologických rozvodů. DPS je zadávací dokumentace subdodavatele pro vypracování dílenské dokumentace. Po vydání má být dílenská dokumentace odsouhlasena všemi stranami, aby se začala vypracovávat výrobní dokumentace, na základě které se jednotlivé prefabrikáty budou vyrábět. Odsouhlasení probíhá všemi zúčastněnými strany prostřednictvím 2D dokumentace uložené v společných uložištích a mailové komunikací. Jedná se o stejný princip jako u modulových fasád – schvalování dokumentace je dlouhým procesem, jelikož zahrnují hodně členů projektového týmu a nástroje distribuování dokumentace nejsou dostatečně efektivní. Ve chvíli až tato dokumentace je finálně schválená, začíná proces výroby modulů a tvorba montážní dokumentace na straně subdodavatele a tvorba stavebně technologického projektu na straně generálního dodavatele, které bude obsahovat zásady organizace výstavby a technologické postupy, časovou a prostorovou návaznost. Prvky budou vyráběny po sadách dle předem nastaveného časového plánu výroby v návaznosti na staveništní montáž. V rámci této fáze je důležité správné plánování a uchycení všech návazností na ostatní procesy na stavbě. Při nakládce a expedici prvků bude zapotřebí

data zanést ručně do seznamu k nakládce, seznamu skutečně naložených prvků. Naložené prvky jsou manuálně zaneseny do seznamu, tentokrát se jedná o seznam skutečně naložených prvků, po jehož vytvoření dochází k porovnání seznamů a fyzické kontrole naložených prvků. Stejně dodací listy a prohlášení o shodě se vyplní manuálně při obdržení prvků na stavbě. Prvky prochází vnitrovýrobní kontrolou kvality a pak jsou přepravené na stavbu. Následně probíhá odevzdání stavebně-technologického projektu a montážní dokumentace a všech materiálových a montážních podkladů, která se ukládají na společném uložišti. Všechny uvedené podklady podléhají dalšímu schvalování. Schvalování probíhá pomocí stejných nástrojů, které popsány výše.

Na základě stanoveného časového plánu dodávek probíhá transport sad modulů na stavbu. Při obdržení dílců na stavbě jsou manuálně vyplněny dodací listy a prohlášení o shodě. Když jsou prvky převzaty na stavbě, začíná vnitrostaveništní logistika. Prvky se transportují na místo skladování, které je stanoveno v ZOV a uloženo na místo dle příslušných podmínek pro přepravu, skladovaní a manipulaci, za což odpovídá vedoucí pracovník dle příslušného technologického postupu. Proces realizace bude probíhat podle montážní dokumentace a technologického postupu, se kterým musejí být seznámeni všichni pracovníci, a každý zúčastněný má mít k dokumentacím přístup. Při montáži jednotlivých modulů budou manuálně a ručně vyplňovat montážní listy. Vedoucí pracovníci (mistr, stavbyvedoucí) musí mít trvalý přístup ke všem potřebným dokumentům pro montáž. Tyto dokumenty jsou většinou ve 2D papírové podobě nebo v PDF formátu uloženy na uložištích.

- stavebně-technologický projektem, kam patří technologické postupy, harmonogram a jiné časové, prostorové a technologické podklady
    - dokumentace pro pořízení, montáž, kompletace a předání veškerých částí, včetně veškeré nezbytné přepravy, vyložení, svislé dopravy, zabudování, ochrany, bezpečnostních opatření v rámci BOZP, potřebných pracovních sil a materiálu, řízení prací, lešení, výrobních prostor a jiných dočasných prací, které jsou zapotřebí k rádnému provedení a předání tohoto souboru dle smluvní dokumentace,
    - prostorová struktura: technologická schéma (směr montáže, rozdělení do záběrů), ZOV s návrhem zdvihacích zařízení,
    - časová struktura: časový plán zásob a montáže, časoprostorový graf,

- technologická struktura: kontrolně zkušební plán, technologický postup, montážní kapacita, technologické předpisy, materiálové listy a specifikace (textový popis použitých materiálu, specifikace zařízení a jednotek, popis použitých systému, požadavky na stavební připravenost podmínky provádění (např. realizace v nepříznivých klimatických podmínkách, ochrana v zimním období apod.), harmonogram prací, podrobný výkaz výměr, doložení certifikátu, které umožnují daný materiál či výrobek použít, posouzení jednotlivých typu zařízení uložených na základ nebo střechu (akustika, vibrace), posouzení kotevních prvků potrubí, řešení dilatací mezi prvky, veškerá mechanizace nezbytná pro realizace rozvodů,
- KZP, soupis hlavních požadovaných zkoušek v rámci systému řízení a kontroly jakosti a související protokoly,
- všechny systémy musí splňovat základní požadavky, především z hlediska těsnosti, systému a jeho vyvážení. Tyto požadavky budou doloženy certifikáty a zkouškami,
- zkoušky zařízení budou probíhat spuštěním zařízení a jejich hydraulickým vyvážením. Zkoušky budou probíhat vždy za účasti dodavatelů chladicích jednotek a oběhových čerpadel. O veškerých zkouškách budou předány protokoly a k jejich provedení bude přizván technický dozor investora.

- montážní dokumentace – montážní výkresy jednotlivých strojů a zařízení, dílenské výkresy kovových konstrukcí, detaily provedení navazujících konstrukcí, výkresová část, technické zprávy, výpočty, specifikace výrobu,
- DPS – celková dokumentace provádění staveb, která bude obsahovat kompletní aktualizaci projektu na základě případných změn vyvolaných podrobným zpracováním výrobní dokumentace jednotlivých částí nebo záměnou referenčně specifikovaných výrobku v prováděcí dokumentaci, dodavatelské dokumentace, příp. montážní dokumentace budou zpracovány veškeré detaily a konstrukce související s navazujícími obchodními soubory.

Informace o proběhlých změnách přichází buď mailem, nebo telefonicky, a nemá v podstatě okamžitý dopad do projektové dokumentace a průběh realizace. Generální

dodavatel ve spolupráci s dodavatelem prefabrikovaných rozvodů vypracovává soupis veškerých změn, které proběhly na projektu proti DPS. Generální projektant vypracovává na základě celkového změnového listu dokumentaci skutečného provedení. Generální dodavatel připravuje kolaudační podklady a návrh provozního manuálu včetně souvisejících podkladů. Samotný proces montáže jednotlivého modulu se skládá z těchto základních procesů, během kterých každý zúčastněný má mít přístup ke všem podkladů pro realizaci. Samotný proces montáže jednotlivého modulu se skládá z následujících základních kroků. pro které bude dělník a mistr vždy potřebovat vstupní údaje a na základě provedených prací dostane nějakou výstupní informaci, která bude předána a uložena, většinou v papírové podobě:

- kontrola jednotlivých prefabrikátů a okolních podmínek pro montáž
    - vstupní informaci je obsazena v papírových TP a výstupní informace bude manuálně zanesená do papírových KZP,
- součástí předání stavební připravenosti je protokolární a fyzické předání vynesených polohových a výškových bodu na všech patrech objektu a kontrola nosných ŽB konstrukcí a předání dokončeného železobetonového skeletu s tolerancemi
    - výstup by měl být zanesen do papírového KZP s odkazem na ČSN a předávacího protokolu,
    - předání fyzické a papírové polohy vahorysů a vytyčovacích výkresů,
- postup montáž prefabrikovaných dílů. Během celého procesu montáže má být zajištěna ochrana realizovaných částí
    - vstupní podklad dělník má obdržet od místra z papírových form PD, STP, TP a výstupní informace budou zaneseny manuálně do papírových KZP,
- zařízení se budou montovat za pomoci mobilních, případně staveništních jeřábu. V případě prostoru mezi objekty budou jeřáby vjíždět přímo na strop nad podzemními podlažími. K montáži potrubí pod stropem muže být využito pojízdných konstrukcí lešení a zdvihací plošina. Prefabrikovaný díl bude manipulační technikou dopraven do bodu montáže, kde bude vyjmut z dopravního koše a manipulační technikou vyzdvižen na místo určení dle PD a zde přikotven na kameny, které jsou dodávkou stavby (kotvy v monolitické konstrukci)

- vstupní podkladem je papírové TP, kde každý pracovník najde podmínky pro skladování, přepravu a manipulaci,

- příprava jednotlivých dílů k montáži. Prefabrikace potrubních rozvodů je prováděna na základě zpracované výkresové dokumentace v dílně mino staveniště. Při montáži ocelového potrubí bude použita kombinace prefabrikovaného potrubí spojovaného pomocí spojek Victaulic a klasicky svařovaného potrubí, přičemž svařování je minimalizováno pro atypické pozice. Ležaté rozvody a stoupačky budou primárně spojovány systémem Victaulic, dopojení ležatých rozvodů na patrech kombinací obou způsobů,
- podle navrženého způsobu a provedení kotvení potrubí budou navrtány závěsy a připraveny trasy pro montáž potrubí. Systémových závěsných a kotvících prvků. Montáž páteřních rozvodů je řešeno v technologického postupu prefabrikace,
- předpokládaný počet pracovníků je 3-4. Odbočky za stoupaček budou vyvařeny, uzávěry přírubové (chlad), nebo závitové (ÚT). – TP a montážní kapacita,
    - vstupní podkladem je papírovou formou PD, STP, TP a plán BOZP výstupní informace budou zaneseny manuálně do papírových KZP,
- postup realizace spojů potrubí a řešení realizace v místě dilatací a návazností na okolní konstrukce,
- kde spojování jednotlivých dílů ležatých rozvodů VZT potrubí tř. B se používají příruby z R profilů. Po zavěšení prvního dílu prefabrikovaného rozvodu VZT na jeho koncovou přírubu bude zavěšen další díl spojen a přikotven. Zavěšování bude provedeno roztečemi závěsů 1,5 až 4 m. Navzájem je potrubí SHZ spojeno spojkami, zajišťujícími dokonalou těsnosti systému. Rovněž i potrubí CHL bude provedeno spojkami. Takto vyrobené prvky jsou dále opatřeny protikorozní povrchovou úpravou
    - vstupní podkladem je papírové PD, STP, TP a plán BOZP výstupní informace budou zaneseny mnuálně do papírových KZP,
- nadále probíhá osazení koncových prvků, zařízení na střechách a vybavení strojoven.

Po dokončení hlavní montáže (případně dílčích montážních celků) se provedou individuální zkoušky a vyplnění a odevzdání finálních KZP, které se vyplňují manuálně

a v papírové podobě. Následně se kompletují kolaudační podklady a je vypracována DSPS na základě všech provedených změn, které byly uložené do sloučených uložišť. Pro vypracování finálního KZP prověřuje se zejména:

- kontrola provedení díla podle projektu (vč. změn ovlivňujících funkci zařízení),
- porovnání štítkových údajů dodaných zařízení s projektem,
- kontrola provedení prací souvisejících profesí (stavební, elektro, tepelná technika, MaR),
- přístupnost a ovladatelnost regulačních klapek,
- kontrola pružných manžet u ventilátorů větracích jednotek (těsnost, souosost),
- kontrola pružného uložení závěsů potrubí,
- kontrola volného chodu ventilátorů a směru otáčení oběžného kola,
- kontrola vodivého spojení potrubí a připojení na zemnící síť,
- kontrola těsnosti a čistoty větracích jednotek a potrubí,
- kontrola pevného a těsného usazení filtrů v kazetách.

Důležitou součástí finální kontroly kvality a vypracování kolaudačních podkladů je provedení zkoušek a vypracování zkouškových protokolů, kam budou manuálně zaneseny výsledky zkoušek a normy, dle kterých tyto zkoušky byly provedeny. Spolu s předním díla budou předány i provozní manuály a plán revizních zkoušek a kontrol, na základě kterých bude budova provozována:

- pokyny pro obsluhu a údržbu,
- termíny pravidelných kontrol, revizí a oprav,
- pokyny k základnímu ovládání jednotlivých zařízení,
- provozní knihy jednotlivých zařízení, postupy a termíny provedení pravidelných zkoušek systému.

Shrnutí a celkový přehled stávajícího postupu ve formě schématu a tabulky je přílohou této diplomové práce – *Příloha č. 1 a Příloha č.2*

3.3 Nový postup

3.3.1 Obecný přehled změn

Zásadní navrhovanou změnou oproti stávajícímu stavu bude zavedení a zprovoznění systému okamžité spolupráce, a to jak v počátečních fázích projektu (např. projektování), tak i v realizační fázi a v následném provozu – při jakýchkoli změnách v modelu (Revit, BIM360…) nebo databázi (MS Access…) bude fungovat systém pružně nastavitelných oznámení a notifikací. Bude zaveden systém rolí s příslušným oprávněním k provádění uprav v informačním modelu. V softwarových systémech MS Access lze nastavit systém oznámení v příslušných složkách a podsložkách, kam budou mít přístup jen oprávněné osoby, které budou mít možnost prohlížet nebo upravovat informační náplň elementu, tak aby všechny zúčastněné strany vždycky měly přístup k trvale aktualizovanému informačnímu modelu s evidencí jakýchkoli změn. Ve stejném informačním modelu bude realizována funkce evidence seznámení a následného schvalování dokumentace prostřednictvím zavedení statusů dokumentace, elektronického podpisu a revidování dokumentů – při uložení jakéhokoli dokumentu se stejným názvem bude uložena poslední revize, přitom budou zpřístupněny všechny předchozí verze. Předbíhat funkci schvalování bude systém komentování a komunikace v rámci doplňkového SW BIM360, kde probíhá dle rolí připomínkování dokumentů a následná diskuze a komunikace. Sběr, ukládaní, správa a následné používaní, sdílení a analýza dat bude probíhat v centrální databázi BIM a bude platit hlavní princip – BIM je jediným zdrojem pravdivé a aktuální informace. Během životního cyklu stavebního výrobku bude probíhat trvalá výměna informací vložením a sdílením aktuální projektové dokumentace, zadání pro projektanty, nových změn a rozhodnutí, vstupních montážních podkladů a výstupních montážních dokumentů atd. Do informačního modelu lze připojovat další SW (v rámci této diplomové práce jsou to produkty Autodesk BIM360 a systém elektronického deníku) a provádět export dat pro analýzu výkonnosti (viz kapitola 3.4 a 3.5). Tok dat v rámci technologie chytrých stavebních dílců bude probíhat v rámci statusu – výroba, logistika, montáž, finální kontrola kvality, provoz. Nezbytnými vstupy a výstupy pro každý status v rámci modulových fasád a prefabrikovaných rozvodů TZB budou příslušné dokumentace (viz kapitola 3.5.). V rámci praktické části této diplomové práce prozkoumáme proces výroby, logistiky a realizace modulových fasád a provozu TZB s použitím technologie chytrých stavebních dílců. Zavedením technologie chytrých

stavebních dílců dosáhneme dynamického plynulého toku dat s evidencí všech vstupních a výstupních dat a provedených změn, čímž snižujeme možnost vzniku ztrát informací v průběhu jednotlivých procesů.

3.3.1.1. Výroba

Jak ve fázi předvýrobní přípravy, tak i během samotného procesu výroby technologie chytrých stavebních dílců bude fungovat jako přístup k trvale aktualizovanému BIM modelu a databáze se všemi výše uvedenými vlastnostmi jako evidence změn, systémy notifikace a schvalování atd., aby byl zachováván plynulý tok dat. Hlavními vstupními podklady bude DPS, dílenská dokumentace, výrobní dokumentace (balík dokumentace č. 1, viz kapitola 3.5) a hlavními výstupy výroby bude uložení všech montážních, materiálových podkladů, a hlavně STP se zpracováním časových, technologických a prostorových návazností – výstupem by mělo být přesné plánovaní stavebního proces a montážní podklady k realizaci díla (dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5). Před zahájením výroby by měla být připravena datová struktura elementu v BIM modelu, BIM databázi, RFID štítku (viz kapitola 3.5.). Na výrobě probíhá tisk RFID štítků, nalepení na jednotlivé komponenty po ukončení výroby, vytvoření unikátního ID a uložení prvního balíku dokumentace a propojení všech výše zmíněných datových struktur. Před zahájením logistiky proběhne kontrola post-výrobní kvality prostřednictvím SW BIM360 se zanesením výsledků do databáze a s připojením podrobné fotodokumentace a dalších nezbytných příloh, stejný proces proběhne při přípravě prvků k transportu na stavbu – bude vyplněn a uložen protokol o splnění podmínek přepravy v rámci BIM360. Bude zaneseno a trvale aktualizováno i plánovaní dodávek v souladu se STP a budou uvedeny časové informace dodávek pro další monitoring logistiky. Ve fázi až výroba je ukončená probíhá automatická řízená vnitrovýrobní expedice. Bude vyvinut speciální softwarový systém, který bude součástí softwarového základu technologie a na základě vstupního nastavení automaticky vyplní dodacích listů, prohlášení o shodě a prohlášení o vlastnostech, taktéž PDF šablony budou dostupné při sečtení v databázi MS Access.

3.3.1.2. Logistika

Během transportu prvků bude probíhat monitoring/tracking logistiky – sledování termínů dodávek, příjezdových cest a dalších informací. Při obdržení na stavbě proběhne automatické řízení vnitrostaveništní expedice – automatické vyplnění a uložení dodacích listů, prohlášení o shodě a prohlášení o vlastnostech. Jak i v ostatních fázích bude trvale

zpřístupněna aktualizovaná databáze se všemi nutnými podklady (dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5), převážně zobrazení, vložení a sdílení odkazů v rámci STP – umístění skladovacích ploch dle ZOV a podmínek skladování dle TP. Bude vložen prostřednictvím SW BIM360 další protokol KZP pro skladování a manipulace s připojením fotodokumentace a dalších nezbytných příloh. Hlavním účelem pro technologii chytrých stavebních dílců pro fáze výroby a logistiky – kontrola kvality komponentu před montáží na stavbě, dodržení správných postupů pro přepravu, skladování a manipulace, obdržení všech nezbytných montážních a materiálových podkladů od subdodavatele a generálního projektanta.

3.3.1.3. Realizace

Během realizační fáze nejhlavnější výhodou, případně změnou, kterou přináší technologie chytrých stavebních dílců oproti stávajícímu postupu, je okamžitý přístup k aktuální dokumentaci a podkladům pro montáž (dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5). Veškerá potřebná informace bude dostupná přímo z prvku nebo lze načtením nahrát, případně uložit veškeré dokumentární výstupy z provedených procesů do trvale aktualizované databáze BIM. Při zahájení montáže bude dokumentace obsahovat kompletní nezbytné dokumenty a odkazy na další webové stránky, SW, video a další informační zdroje nezbytné pro montáž. V průběhu procesu montáže bude pomocí SW BIM360 vyplněn postupový KZP s připojením fotodokumentace a dalších nezbytných podkladů pro montáž. Na základě provedených prací budou automaticky vyplněny a uloženy montážní listy, oprávnění k montáži a školení, předávací protokoly a další dokumenty, které budou dostupné v MS Access a budou přílohami protokolů kvality v BIM360. Vedoucí pracovník, díky tomu že bude mít přístup k databázové centrále, bude před zahájením příslušných prací vidět veškeré změny, rozhodnutí, které proběhly v rámci projektové dokumentace prvku. Hlavním účelem technologie chytrých stavebních dílců v rámci fáze realizace je správně provedená montáž s postupovou kontrolou kvality prostřednictvím zobrazení aktuální dokumentace a všech provedených změn a uložením všech výstupních dokumentů a protokolu kvality s podrobnou fotodokumentací a dalšími přílohami.

3.3.1.4. Finální kontrola a zahájení kolaudačního řízení

Díky tomu, že během všech přechozích fází realizace prvků, máme plynulý tok dat a vzhledem k trvalému vkládání do databáze aktualizovaných dokumentů máme trvalý přehled, přístup k veškerým změnám PD, novým rozhodnutím a výstupním

dokumentům to znamená, že veškeré kolaudační podklady, nebo alespoň příprava podkladů, a vstupy do provozní dokumentace už jsou uloženy v rámci RFID štítku na povrchu prvku. Na základě postupně provedených kontrol kvality vznikají protokoly, které jsou dostupné v BIM databázi a jsou tvořeny finální protokoly KZP s připojením všech příloh a prohlášení potřebných ke kolaudačnímu souhlasu. Všechny zmíněné postupy a dokumenty budou uloženy do databáze. Ukládání dat je realizováno díky automatickému generování a uložení protokolů o zkouškách ze šablon prostřednictvím BIM360 včetně listů se seznamem účastníků zkoušek. Veškeré změny a rozhodnutí v průběhu tvorby PD jsou uloženy ve změnových listech uvnitř prvků, tím máme následnou jednodušší tvorbu dokumentace a modelu DSPS pro kolaudační řízení a následný provoz. Vzhledem k tomu, že veškerá dokumentace je uložena v MS Access máme jednodušší archivaci dokumentace za účelem finálního předání díla.

3.3.1.5. Provoz

Během fáze provozu budou zpřístupněny všechny doklady nezbytné pro správný provoz – provozní manuály, model DSPS, postupy zkoušek, výpis všech prvků dle záruční doby atd., a to buď prohlížením databáze nebo přečtením RFID štítku. Díky zavedení systému CAFM bude provozní technik dostávat oznámení o budoucích termínech revizí, zkoušek a oprav. V BIM databázi najde všechny příslušné podklady k provedení. Po ukončení kontrolních činností probíhá automatické generování prohlášení v rámci provozní knihy díky šablonám v MS Access – vyplnění protokolů o revizích a funkčních zkouškách. Při vzniku jakékoliv závady a reklamačních řízení bude zpřístupněna historie prvku v rámci BIM modelu a databáze, kde je uložena veškerá dokumentace od ukončení výroby až do poslední revize, tím máme jednodušší sledování příčin závad v rámci reklamačních řízení. Kontakty na odpovědné osoby – servisní centrum, reklamační oddělení, firma zhotovitele a návrh servisní smlouvy.

3.3.2 Detailnější popis realizace modulových fasád

Při dodání prvků na stavbu jsou všechny nezbytné podklady už uložené v databázi, proto mistr nebo vedoucí dělník při kontrole sady prvků přečte čtečkou RFID štítek, který zároveň i tabletem, případně chytrým zařízením, detailnější rozbor technického vybavení je popsán v dalších kapitolách (viz. kapitola 3.4 a 3.6.1), a zpátky obdrží potřebný TP s podmínkami k přepravě, skladování a manipulaci a výkres ZOV, dle těchto podkladů rozmístí sadu prvků na staveništi a prostřednictvím produktů BIM360

vyplní příslušný protokol KZP pro přepravu, skladování a manipulaci, vyplní a přiloží k protokolu formou PDF šablony veškeré doklady při obdržení – dodací listy, prohlášení o shodě, prohlášení o vlastnostech. Ve chvíli, kdy začíná montáž, stavba se nachází ve 3. etapovém procesu (vrchní stavba), či přesněji vrchní stavba 4.NP. Instalace fasády bude probíhat souběžně s prováděním hrubé stavby. Proces realizace bude probíhat dle technologického postupu, se kterým musí být seznámeni všichni pracovníci. Proces realizace bude probíhat dle technologického postupu, s kterým všechny dělníky musejí být seznámené. TP a nástroj pro evidenci seznámení bude přístupný v BIM databázi (MS Access) a BIM databázi (MS Access) a BIM360, to znamená před montáží vedoucí pracovník oskenuje štítek a projde veškeré dokumenty nezbytné pro montáž s četou pracovníků a označí všechny školené pracovníky. Před zahájením budou taktéž do centrály a do protokolu KZP nahrány protokoly o školení a oprávnění k montáži. Při montáži jednotlivých modulů budou automaticky vyplňovány a uloženy montážní listy a protokoly KZP. Vedoucí pracovník bude mít stálý přístup dokumentaci související s montáží. Přečtením potřebných podkladů čtečkou (dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5) pro montáž se získá přímo z prvku. Načtení a uložení všech dalších výstupů bude provedeno do aktualizované databázové centrály. Samotný proces montáže elementů modulových fasád při zavedení technologie chytrých stavebních dílců vypadá následně:

- kontrola nosných ŽB konstrukcí a předání dokončeného železobetonového skeletu s tolerancemi
    - probíhá v digitální formě: mistr nebo vedoucí pracovník sečtením štítku dostane odkaz na BIM360, kde je uložena šablona protokolu KZP pro dokončený monolit LOP, vyplní ho, připojí k protokolu fotodokumentace a šablonu předávacího protokolu, která průběžné bude podepsána pomocí elektronickému podpisu, BIM360 rozešle pak všem oznámení o vytvoření protokolu,
- přivařování kotevních prvků pro přípoj nosných ocelových a montáž nosné ocelové konstrukce pod fasádu (šroubové spoje)
    - předání fyzické a digitální polohy vágrysů a vytyčovacích výkresů bude probíhat uložením v centrální databázi BIM a prostřednictvím BIM360, předávací protokol bude vyplněn a pak elektronicky podepsán,

- jak podklady z montážní dokumentace pro typy a umístění kotevních prvků a typů sváru, tak i podklady z TP, případně nářadí, soupis materiálů, postup, školení svářečů, manipulace s materiálem, spojení – šrouby, podklady z STP, případně montážní kapacity, harmonogram a seznámení s časovou a prostorovou návazností na související procesy – koordinace navazujících konstrukcí a činností, odkazy ZOV – sklady, elektro a voda, požadavky BOZP a naložení s odpadem vedoucí dělník nebo mistr dokáže sečtením čtečkou dostat potřebné podklady (dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5) pro montáž přímo z prvku a načtení, případně uložení všech dokumentárních výstupů do trvale aktualizované databáze BIM, která bude propojená s BIM modelem a zobrazena pomocí odkazů v rámci RFID. Při zahájení montáže, dokumentace bude obsahovat kompletní nezbytné dokumenty a odkazy na další webové stránky, SW, video a další informační zdroje nezbytné pro montáž,
- vyplňovaní protokolů KZP kontrolního zaměření kotevních prvků a úprava povrchu svaru bude probíhat postupně a vždy digitální formou – vedoucí dělník nebo mistr sečtením štítku dostane odkaz na BIM360, kde je zpřístupněná šablona KZP pro zaměření kotevních prvků a úpravy sváru vyplní ho, připojí k protokolu fotodokumentace a šablonu předávacího protokolu, která průběžné bude podepsána pomocí elektronickému podpisu, BIM360 rozešle pak všem oznámení o vytvoření protokolu,

- provedení veškeré příprava pro navazující konstrukce (např. nalepování exteriérových hydroizolačních a interiérových parotěsných folií, příprava pro elektroinstalaci a vzduchotechniku, lamely, vstupní dveře…)
  - detaily navazujících konstrukcí jsou uložené a připojené přímo k elementu a dostupné sečtením čtečkou dostat potřebné podklady (dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5) pro montáž přímo z prvku a načtení, případně uložení všech dokumentárních výstupů do trvale aktualizované databázové centrály. Při zahájení montáže, dokumentace bude obsahovat kompletní nezbytné dokumenty a odkazy na další webové stránky, SW, video a další informační zdroje nezbytné pro montáž,

- instalace jednotlivých elementů modulové fasády. Během celého procesu montáže má být zajištěna ochrana realizovaných částí
    - vyplňovaní protokolů KZP bude probíhat postupně a vždy digitální formou, provedení ochrany realizovaných částí bude vždy obsahem každé fáze vyplnění KZP po ukončení prací, bude vždy probíhat trvalé ukládaní výstupů do elektronických deníku,
- probíhá montáž či zavěšení modulového prvku, ale předtím by měla byt zajištěna veškerá příprava k montáže a navazujících konstrukcí.
    - proběhne kontrola všech již vytvořených protokolů KZP a fotodokumentace postupu montáže a jiných výstupních dokumentů v BIM360 a databázi MS Access, kontrola projektové dokumentace a soulad s fyzickém dílem a podklad pro zahájení dalších prací z databáze MS Access, trvalé ukládaní výstupů z provedených prací do centrální databáze BIM a elektronického deníku,
- po zavěšení a vyrovnání elementů se připouští provedení montážních a rektifikačních svárů na ocelových kotevních prvcích, které jsou umístěny na vnitřní straně parotěsné roviny,
- kotvení fasád probíhá spojením jednotlivých bloků zpravidla ve výškách stropních desek, a to do stropní desky. Poloha fasády, případně kotvení, je měřená od vytyčených modulových os objektu předaných stavbou v rámci stavební připravenosti a vyneseného na horní ploše betonové stropní,
- po zavěšení a vyrovnání elementů se připouští provedení montážních a rektifikačních svárů na ocelových kotevních prvcích, které jsou umístěny na vnitřní straně parotěsné roviny,
- fasádní prvky je nutné usazovat do projektovaných výšek a ve správné předozadnosti k objektovým osám, správnou polohu fasády průběžně ověřovat. Nutno kontrolovat výškové kóty,
- elementy jsou vedle sebe a nad sebou vzájemně napojeny vertikálním a horizontálním těsněním,
- provedení navazujících konstrukcí. Veškeré vstupní a výstupní podklady při provádění pospaných procesů jsou význačný dolu:

- předání fyzické a digitální polohy vágrysů a vytyčovacích výkresů bude probíhat uložením v centrální databázi BIM a prostřednictvím BIM360, předávací protokol bude vyplněn a pak elektronicky podepsán,
- předání nosné ocelové konstrukce a přípravy pro navazující konstrukce a technologie veškeré podklady budou dostupné při sečtení štítku z centrální databáze BIM a kontrola nosné ocelové konstrukce bude probíhat postupně digitální formou s připojením fotodokumentace montáže, jak bylo uvedeno výše – prostřednictvím BIM360,
- rozměření konstrukcí a elementů (KZP, prohlášení o shodě, materiálové listy…) před začátkem montáží jednotlivých etap – podklady budou dostupné při sečtení štítku z centrální databáze BIM,
- podklady z montážní dokumentace pro typy a umístění jednotlivých typů elementů, vyznačení jednotlivých typů fasád a detailů navazujících konstrukcí – podklady budou dostupné při sečtení štítku z centrální databáze BIM,
- podklady z TP, případně nářadí, soupis materiálů, postup, školení svářečů, manipulace s materiálem, postup montáže, požadavky BOZP a naložení s odpadem, podklady z STP, případně montážní kapacity, harmonogram a seznámení s časovou a prostorovou návazností na související procesy, odkazy ZOV – sklady, elektro a voda – podklady budou dostupné při sečtení štítku z centrální databáze BIM – koordinace navazujících konstrukcí a činností – podklady budou dostupné při sečtení štítku z centrální databáze BIM,
- vyplňovaní protokolů KZP kontrolního zaměření kotevních prvků a úprava povrchu svaru bude probíhat postupně a vždy digitální formou – vedoucí dělník nebo mistr sečtením štítku dostane odkaz na BIM360, kde je zpřístupněná šablona KZP pro zaměření kotevních prvků a úpravy sváru vyplní ho, připojí k protokolu fotodokumentace a šablonu předávacího protokolu, která průběžné bude podepsána pomocí elektronickému podpisu, BIM360 rozešle pak všem oznámení o vytvoření protokolu.

Probíhá finální kontrola a zkoušení před kolaudačním řízením a předáním díla. Během realizace budou postupně vyplňovány KZP v digitální formě a budou součástí

prvku v rámci centrální databáze. Veškeré materiálové podklady a další dokumenty ke kolaudaci budou k dispozici již ve chvíli předání díla. Všechny proběhlé změny a rozhodnutí, jak bylo zmíněno výš, budou formou změnových listů uložené v rámci prvku, čímž se zefektivní vypracovaní DSPS. Na základě získaných dat v předchozích etapách v rámci centrální databáze budou vypracovány provozní manuály a další dokumenty k provozu. Díky tomu, že máme plynulý tok dat a jediný zdroj aktuální informace v průběhu životního cyklu, je pravděpodobnost ztráty dat minimální.

Podklady ke kolaudačnímu řízení budou zpracovány následujícím způsobem. DSPS bude vypracována na základě změnových listů, které budou uložené v rámci centrální databáze. Stavební deník – součástí technologie chytrých stavebních dílců je související software – papírový stavební deník bude nahrazen elektronickým stavebním deníkem. Dokumenty k materiálům (skla, bondy, lepení, plechy, profily, izolační materiály, kotvení, těsnění, kování, požární předěly, dveře a okna, karusel) budou uloženy již ve fázi výroby a během dalších etap v rámci centrální databáze v digitální podobě. Protokoly o zkouškách (akustika, statika, požár) budou vypracovány a uloženy v rámci BIM360 spolu s postupným vypracováním protokolů KZP. Hlavní výhodou zavedení technologie chytrých stavebních dílců do fáze realizace modulových fasád je přísné sledování kvality díla od výroby až provedení finální kontroly kvality a trvalý přístup k aktuálním podkladům z jediného zdroje informace. Přesný seznam potenciálních vad, kterým se můžeme vyhnout, a možný dopad těchto vad je uveden v kapitole 3.6.3

3.3.3 Detailnější popis provozu TZB

Pro fázi výroby, logistiky a montáže prefabrikovaných rozvodů TZB s použitím technologie chytrých stavebních dílců budou platit stejné postupy, které byly popsány výše. Pro efektivní provozování TZB je důležité provedení výstupních zkoušek, kontroly kvality díla a správný provoz systému. Po dokončení montáže dílčích částí (rozvodů, zařízení, koncových prvků) budou provedené individuální zkoušky, vyplnění a následné odevzdání finálních KZP. Protokoly budou postupně vyplňovány stejně jako v případě modulové fasády. Budou v digitální podobě uloženy do databáze prostřednictvím BIM360, šablony prohlášení o výsledkách zkouškách budou dostupné v centrální databázi MS Access a následně po provedení zkoušek přiložené k jednotlivým KZP. Všechny proběhlé změny a rozhodnutí budou formou změnových listů uloženy v rámci prvku ve shodě s kapitolou 3.3.2, čímž se zefektivní vypracovaní DSPS. Na základě dat

uložených v předchozích etapách v rámci centrální databáze budou vypracovány provozní manuály a další podklady k provozu. Díky tomu, že máme plynulý tok dat a jediný zdroj aktuální informace v průběhu životního cyklu, je pravděpodobnost ztráty dat minimální. Podklady ke kolaudačnímu řízení budou zpracovány následujícím způsobem. DSPS bude vypracována na základě změnových listů, které budou uložené v rámci centrální databáze. Pro vypracování finálního KZP prověřuje se zejména a v rámci kolaudačního řízení budeme potřebovat:

- kontrola provedení díla podle projektu (vč. změn ovlivňujících funkci zařízení) – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- porovnání štítkových údajů dodaných zařízení s projektem – sečtením čtečkou dostat potřebné podklady (balík dokumentace č. 2 a 3, viz kapitola 3.5) přímo z prvku, případně uložení všech dokumentárních výstupů do trvale aktualizované databázové centrály,
- kontrola provedení prací souvisejících profesí (stavební, elektro, tepelná technika, MaR) – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- přístupnost a ovladatelnost regulačních klapek – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- kontrola pružných manžet u ventilátorů větracích jednotek (těsnost, souosost) – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- kontrola pružného uložení závěsů potrubí – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- kontrola volného chodu ventilátorů a směru otáčení oběžného kola – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- kontrola vodivého spojení potrubí a připojení na zemnící síť – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,
- kontrola těsnosti a čistoty větracích jednotek a potrubí – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,

- kontrola pevného a těsného usazení filtrů v kazetách – bude postupně kontrolováno během montáže v rámci protokolů KZP prostřednictvím BIM360,

Důležitou součástí finální kontroly kvality a vypracování kolaudačních podkladů je provedení zkoušek a vypracování zkušebních protokolů, technologie chytrých stavebních dílců hodně usnadňuje postupy provedení zkoušek, protože všechny výsledky budou hned zaneseny do KZP a postupy zkoušek a související normy budou dostupné v centrální databázi načtením štítku. Spolu s předáním díla budou předány i provozní manuály a plán revizních zkoušek a kontrol, na základě kterých bude budova provozována. Dokumenty jsou rozepsány v rámci dokumentace č. 5:

- pokyny pro obsluhu a údržbu uživatel a termíny pravidelných kontrol, revizí a oprav,
- pokyny k základnímu ovládání jednotlivých zařízení,
- provozní knihy jednotlivých zařízení o prohlídkách, opravách, revizích a dalších činnostech – postupy a termíny provedení pravidelných zkoušek systému,

Správný provoz pro TZB je velmi podstatnou etapou, jelikož při špatném provozu může dojít k závadě, která bude následně předmětem reklamačního řízení. V rámci reklamačního řízení je důležitě určit původní příčinu a odpovědnou osobu. Hlavním přínosem technologie chytrých stavebních dílců během provozu přístup ke všem provozním manuálům v MS Access a modelu DSPS v Revit nebo BIM360 a oznámení o termínech revizí V CAFM, tím zachováme trvalou informovanost (přesný 3D obraz budovy pro FM, získání platných údajů pro FM, zlepšení archivace a dohledatelnosti PD a modelu DSPS, sjednocení datové struktury, zlepšení dostupnosti provozní dokumentace) a při reklamačních řízeních bude zpřístupněná historie prvku, což znamená, že reklamační technik bude mít přístup ke všem informacím v rámci prvku, aby mohl správně určit příčinu. Příklady závad lze najít v následujících kapitolách (viz. kapitola 3.6.4).

Shrnutí a celkový přehled změn v rámci nového postupu ve formě schématu a tabulky je přílohou této diplomové práce – *Příloha č. 3 a Příloha č.4*

3.4 Technické vybavení

Specifika každého projektu a podmínky na každém staveništi se navzájem velmi liší od projektu k projektu. Proto pro každý kontext je třeba implementovat konkrétní typ vybavení. Použité materiály jsou různé podle druhu konstrukce, okolních podmínek a zvolených technologií provedení. Každá stavba je unikátním výrobkem z pohledu hromady aspektů a při návrhu technického vybavení ke každému projektu je zapotřebí přistupovat vždycky zvláštním způsobem. Příčiny takového přístupu jsou ve většině případů dany omezeními RFID štítku (viz kapitola 2.3.7.). Paměťová kapacita štítku, možnost úpravy dat, způsob umístění na prvku a jeho provozní frekvence závisí na několika parametrech, jako například – potřeba úpravy obsahu štítku, soukromnost dat, vzdálenost dosahu signálu, použitý materiál komponentu nebo použitý typ čtečky. Materiál komponentu, ke kterému je štítek přilepený, a okolní prostředí kolem štítku, by mohly vážně narušit činnost RFID systému, proto je důležitě vyhodnotit vliv kombinace materiálu komponentu a zvoleného typu RFID štítku. Zapotřebí i v závislosti na výběru typu štítku a podmínkách okolního prostředí volit správný typ čtečky. V této kapitole budou popsány nejdůležitější položky technického vybavení technologie chytrých stavebních dílců, které tvoří nezbytnou součást navrženého systému napříč všemi druhy projekty, kde tato technologie bude uplatněna. V rámci této diplomové práce část těchto položek bude specifikována pro konkrétní projekt (*Tabulka 8* a *Tabulka 9).*

S ohledem na omezenou paměť štítku musí být vytvořena předdefinovaná a strukturovaná BIM databáze, která bude prostřednictvím ID provázána s BIM modelem a v rámci které bude probíhat kompletní informační tok, který ve zkrácené formě odkazů a linek bude uložen ve štítku a zobrazen čtečkou. Čtečka, která je v podstatě chytrým zařízením, díky tomu že bude mít vlastní OS, bude schopna ukazovat podrobnější informaci o prvku a pracovat v dalších souvisejících softwarech (detailnější informace bude uvedena v kapitole 3.5). Sběr, shromažďovaní, ukládaní, správa a následné používaní, sdílení a analýza dat bude probíhat v rámci centrální databáze BIM (*Obrázek 36*). Správa informací o životním cyklu výrobku a identifikace důležitých dat, které by měly být k dispozici během životního cyklu, a metod předávání mezi hlavními účastníky projektu bude popsána v příští kapitole (viz kapitola 3.5). Finanční hodnocení navrženého

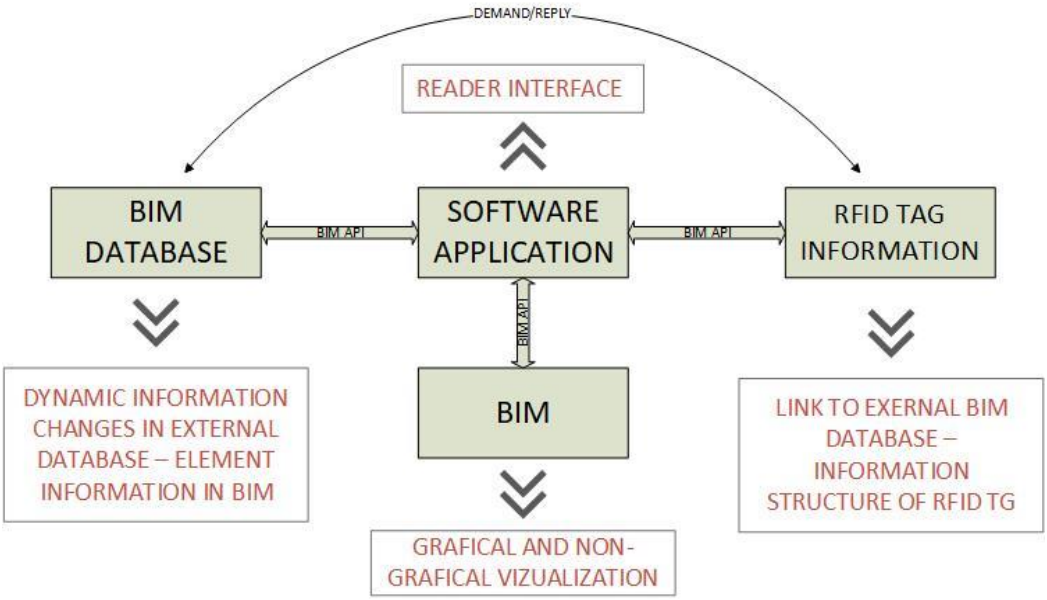
technického vybavení je popsáno ve finanční analýze (viz kapitola č.3.6.1.). Hlavními komponenty hardwarového zařízení, které budou součástí technického vybavení:

- **RFID štítek –** pasivní – přesná specifikace pro daný projekt bude uvedena v tabulce dolu (*Tabulka 8*)
- **RFID čtečka –** integrována s tabletem či smartphonem (přesná specifikace pro daný projekt bude uvedena dolu) (*Tabulka 9*)

Hlavní komponenty softwarového zařízení, které budou součástí technického vybavení:

- software pro 3D modelovávání, který ukládá data ve formátu IFCxml a RVT – **Autodesk Revit**
- databázový systém, který ukládá data extrahovaná z BIM, která bude aktualizována pomocí RFID čtení a dalších aktualizací softwaru – **MS Access**
- software pro plánování – **MS Project**
- software pro řízení projektových prací a dokumentací – **BIM360 Docs**
- software pro řízení kvality a bezpečnosti **– BIM360 Field**
- software s přístupem k BIM modelu pro kolaborativní prací a hledání kolizí – **BIM360 Glue**
- základní kancelářské software MS Office – **Excel, Word, Adobe PDF**
- software, který zajistí propojení mezi štítkem čtečkou a BIM – **BIM API** (*Obrázek 36)*
- software pro facility management – **CAFM**
- RFID čtečka a štítek – **OS** pro zobrazení interface všech nutných SW
- Díky pružnému nastavení v **MS Access** a produktech **BIM360** lze provádět export dat a provádět analýzu těchto dat pro účely podniku
- pomocí pružnému digitálnímu lze tuto technologii kombinovat s dalšími modernímu nástroji pro další zjištění dat o stavbě (např. senzory, modely z laserového skenování a fotogrametrie)

Dolu v *Tabulce 10* a *Tabulce 11* jsou uveden přehled všech SW a HW dle hlavních účelů a přehled všech odpovědných osob, technického vybavení a příslušných činností a oprávnění těchto osob při implementace technologie chytrých stavebních dílců.



Obrázek 32 *Komunikace softwarových a hardwarových složek systému, Zdroj [autor]*

RFID ŠTÍTEK	
ENVIROMENT	-40/+85 C
FREQUENCY – depends on material, collision, reach	LF
ENERGY – depends on construction area condition	PASIVNÍ
INFORMATION	R/W
MEMORY	128 [bitů]
PROTOKOL	PROPIERTARY (EPC GLOBAL GEN 2)
PRICE	ŠTÍTEK (spotřební materiál) – 7 Kč/kus + TÍSKARNA (jednorázové) – 71 818 Kč
SIZE	70 x 14,5 [mm]

Tabulka 8 *Specifikace RFID štítku, Zdroj [autor]*

RFID ČTEČKA	
MOBILITY	RUČNÍ
SPECIFICATION	THE RFD8500 WITH ZEBRA'S MC-40 IOS COMPUTER
TRANSFER DATA	USB, WIFI
OS – depends on software and using of smart apps	OS TABLETU/SMARTPHONU
PROTOKOL – depends on protocol of RFID tag	PROPIERTARY (EPC GLOBAL GEN 2)
PRICE	Jednorázové 32 080 Kč

Tabulka 9 *Specifikace RFID čtečky, Zdroj [autor]*

FUNKCE	SOFTWARE	POPIS
DOCUMENT MANAGEMENT SYSTÉM	• BIM360 DOCS • REVIT • MS ACCESS	• ŘÍZENI PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE, • SYSTÉM SCHVALOVANÍ A KOMUNIKACE, • NOTIFIKACE O ZMĚNÁCH
MATERIAL MANAGEMENT SYSTEM AND QUALITY MANAGEMENT SYSTEM	• BIM360 FIELD, • ŠABLONA PDF + ELEKTRONICKÝ PODPIS • ELEKTRONICKÝ STAVEBNÍ DENÍK • REVIT • MS ACCESS	• ŘÍZENÍ KVALITY A BEZPEČNOSTI • AUTOMATICKÉ VYPLNĚNÍ DODACÍCH LISTŮ • AUTOMATICKÉ VYPLNĚNÍ PROHLÁŠENÍ O SHODĚ A PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH, • AUTOMATICKÉ VYPLNĚNÍ MONTÁŽÍCH LISTŮ A DALŠÍCH VÝSTUPNÍCH PROTOKOLŮ • TVORBA DENNÍCH ZÁZNAMU S PŘIPOJENÍM FOTODOKUMENTACE A VÝSTUPNÍCH DOKUMENTŮ
PROCESS MANAGEMENT SYSTEM	• BIM360 FIELD, • REVIT, • MS ACCESS • ELEKTRONICKÝ STAVEBNÍ DENÍK	• KZP S POSTUPOVOU FOTODOKUMENTACÍ, • STATUSY MONTÁŽE ZOBRAZUJÍCÍ V BIM, • VEDENÍ ELEKTRONICKÉHO STAVEBNÍHO DENÍKU S DENNÍMI ZÁZNAMY
FACILITY MANAGEMENT SYSTEM	• CAFM • ŠABLONA PDF + ELEKTRONICKÝ PODPIS • REVIT • MS ACCESS	• OZNÁMENÍ O REVIZNÍCH, OPRAVÁCH A ZKOUŠKÁCH ATD • AUTOMATICKÉ VYPLNĚNÍ PROVOZNÍ KNIHY A PROTOKOLŮ O PROVOZNÍCH ZKOUŠKÁCH • PŘISTUP K PROVOZNÍM PODKLADŮM A MODELU DSPS • PŘÍSTUP K HISTORII PRVKU
BIM DATABÁZE	• MS ACCESS • REVIT	• PRACE S DATA A VLOŽENÍ INFORMACÍ • SBĚR, SHROMAŽĎOVANÍ, UKLÁDANÍ, SPRÁVA A NÁSLEDNÉ POUŽÍVANÍ, SDÍLENÍ A ANALÝZA DAT
BIM MODEL	• BIM360 GLUE • REVIT	• ZOBRAZENÍ GEOMETRICKÝCH DAT A VLOŽENÍ INFORMACÍ • SBĚR, SHROMAŽĎOVANÍ, UKLÁDANÍ, SPRÁVA A NÁSLEDNÉ POUŽÍVANÍ, SDÍLENÍ A ANALÝZA DAT
RFID READER AND TAG – SPOJENÍ	• IOS A PODNÍKOVÁ APLIKACE • BIM API A MIDDLEWARE	• ZOBRAZENÍ INTERFACE BIM DATABÁZE, MODELU, ŠTÍTKU A DALŠÍCH SW • PROPOJENÍ MEZI JEDNOTLIVÝMI SYSTÉMY – MODEL, DATAVBÁZE, ŠTÍTEK

Tabulka 10 *Přehled všech SW a HW dle hlavních účelů, Zdroj [autor]*

ROLE	HARDWARE/SOFTWARE	FUNKCE
GENIRÁLNÍ PROJEKTANT	• REVIT, • MS ACCESS, • BIM360 DOCS, GLUE	• TVORBA MODELU A PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE • KOOORDINACE MODELU • VLOŽENÍ VSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE
SUBDODAVATEL	• RFID ŠTÍTEK A ČTEČKA, • BIM360 DOCS, GLUE, FIELD, • REVIT, • MS ACCESS, • ELEKTRONICKÝ STAVEBNÍ DENÍK.	• TVORBA PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE • KOOORDINACE MODELU • VLOŽENÍ VSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE • ZOBRAZENÍ VLOŽENÝCH DO SYSTÉMU INFORMACÍ • VLOŽENÍ VÝSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE
GENERÁLNÍ DODAVATEL	• RFID ŠTÍTEK A ČTEČKA, • BIM360 DOCS, FIELD, GLUE, • REVIT, • MS ACCESS, • ŠABLONY PDF + ELEKTRONICKÝ PODPIS • ELEKTRONICKÝ STAVEBNÍ DENÍK.	• KONTROLA MODELU • VLOŽENÍ VSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE • ZOBRAZENÍ VLOŽENÝCH DO SYSTÉMU INFORMACÍ • VLOŽENÍ VÝSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE
MISTR	• RFID ŠTÍTEK A ČTEČKA, • MS ACCESS • BIM360 DOCS, FIELD, GLUE, • ŠABLONY PDF – ELEKTRONICKÝ PODPIS • ELEKTRONICKÝ STAVEBNÍ DENÍK.	• ZOBRAZENÍ VLOŽENÝCH DO SYSTÉMU INFORMACÍ • VLOŽENÍ VÝSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE
VEDOUCÍ DĚLNÍK	• RFID ŠTÍTEK A ČTEČKA, • MS ACCESS • BIM360 DOCS, FIELD, GLUE, • ŠABLONY PDF – ELEKTRONICKÝ PODPIS • ELEKTRONICKÝ STAVEBNÍ DENÍK.	• ZOBRAZENÍ VLOŽENÝCH DO SYSTÉMU INFORMACÍ
PROVOZNÍ TECHNIK	• RFID ŠTÍTEK A ČTEČKA, • MS ACCESS • CAFM	• ZOBRAZENÍ VLOŽENÝCH DO SYSTÉMU INFORMACÍ • VLOŽENÍ VÝSTUPNÍCH PODKLADŮ DO MODELU A DATABÁZE

Tabulka 11 *Přehled všech odpovědných osob a technického vybavení, Zdroj [autor]*

3.5 Datová struktura

Informační základ technologie chytrých stavebních dílců tvoří následující datové struktury:

- datová struktura BIM elementu z modelu – reprezentace grafické informace,
- datová struktura BIM elementu z databáze – reprezentace sémantické informace,
- datová struktura RFID štítku, která je omezená vzhledem k paměťové kapacitě štítku, bude hned zobrazena při sečtení čtečkou a bude zejména obsahovat odkazy na podrobnější informaci z modelu a databáze,

Navržené datové struktury budou ukazovat různou reprezentaci informace z hlediska rozsahu a struktury, ale budou vždy mít jeden zdroj aktuální informace – BIM model a databáze – jedna položka napříč všemi datovými struktury zůstane stejná – ID a bude pomocí BIM API propojovat vše tyto tři struktury a vzájemně se to mezi sebou synchronizovat, tím máme stejnou informaci napříč všemi datovými struktury. Jedná se o vypracování strukturovaného podkladu pro správné shromažďovaní, ukládaní a následné používaní a analýzu dat co nejefektivnějším způsobem pro potřeby všech účastníků projektu během fází životního cyklu výrobku, tz. výroba, logistika, skladování, montáž, kontrola kvality a následný provoz. Níže jsou uvedené dokumentace, které jsou naprosto klíčovým výstupem pro správné a efektivní fungování systému chytrých stavebních dílců před zahájením práce:

- dokumentace č.1 – výroba
    - DPS – BIM model s dopady dílenské dokumentace,
    - výrobní dokumentace,
    - časový plán výroby a dodávek prvků na stavbu,
    - doklady vnitropodnikové expedice na výrobě,
- dokumentace č.2 – logistika (přeprava, skladování, manipulace)
    - DPS – BIM model s dopady montážní dokumentace,
    - montážní dokumentace a materiálové doklady,
    - stavebně – technologická dokumentace (časová, technologická, prostorová dokumentace, ZOV atd.),
    - expedice – dodací listy, prohlášení o shodě a prohlášení o vlastnostech,

    - KZP – po výrobě (kontrola materiálových vlastností prvků), dodržení podmínek přepravy, skladování a manipulace s fotodokumentací a dalšími nezbytnými přílohy,
    - kompletní kontaktní informace výrobce a dodavatele,
    - jiné podklady a dokumentace od výrobce a dodavatele: webové stránky, video, animace atd.,
- dokumentace č.3 – montáž
    - DPS – BIM model s dopady montážní dokumentace,
    - montážní dokumentace a materiálové doklady,
    - montážní kapacita a harmonogramy nasazení pracovníků a mechanizace,
    - geodetické zaměření konstrukcí před montáží,
    - stavebně – technologická dokumentace (časová, technologická, prostorová dokumentace, ZOV),
    - KZP – postupný KZP při montáži krok za krokem s fotodokumentací a dalšími nezbytnými přílohy,
- dokumentace č.4 – kontrola kvality a dokončení díla
    - změnové listy v rámci DPS pro tvorbu DSPS,
    - KZP – finální protokol s fotodokumentací a dalšími nezbytnými přílohy,
    - prohlášení o provedených zkouškách,
    - kompletní podklady ke kolaudačnímu řízení,
- dokumentace č.5 – provoz
    - DSPS – BIM model,
    - provozní manuály, výpis udržovaných prvků, postupy,
    - časový plán revizních zkoušek, oprav a výměn,
    - prohlášení o provedených provozních zkoušek a revizí.

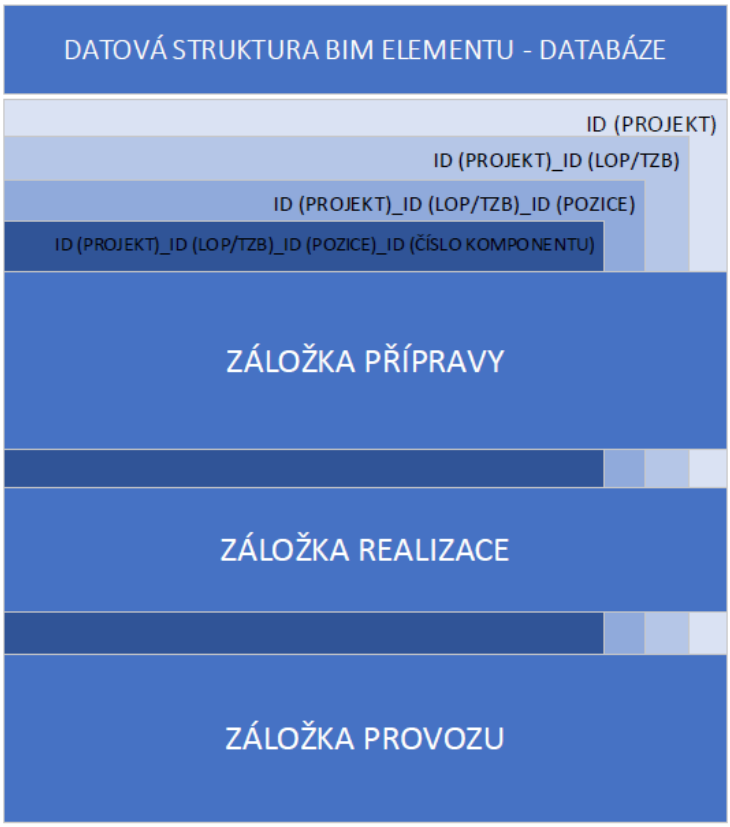
Model DPS musí obsahovat všechny aktuální informace v době realizace díla, následné změny by se měly objevit v modelu DSPS doplněné o veškeré změny v průběhu výstavby a o informace z výrobních (dílenských, realizačních) dokumentací. Model a databáze bude u všech prvků obsahovat správně vyplněné položky popisných informací v minimálním rozsahu dle této koncepce. Model bude rovněž obsahovat všechny v čase jeho vydání aktuální informace, které vznikly a byly jeho součástí v předchozích fázích vývoje. Model DSPS není požadován jako zjednodušený záznam skutečnosti pro účely kolaudačního procesu, tedy v podrobnosti DSP, ale jako kompletní záznam všech

dodaných součástí stavby ve všech částech a profesích. Na model DSPS budou navázány rovněž všechny zhotovitelem předávané doklady ke stavbě jako provozní manuály, certifikáty, revizní protokoly, vzorkovací a schvalovací protokoly, záruční listy, návody na použití, provozní řády, aj.

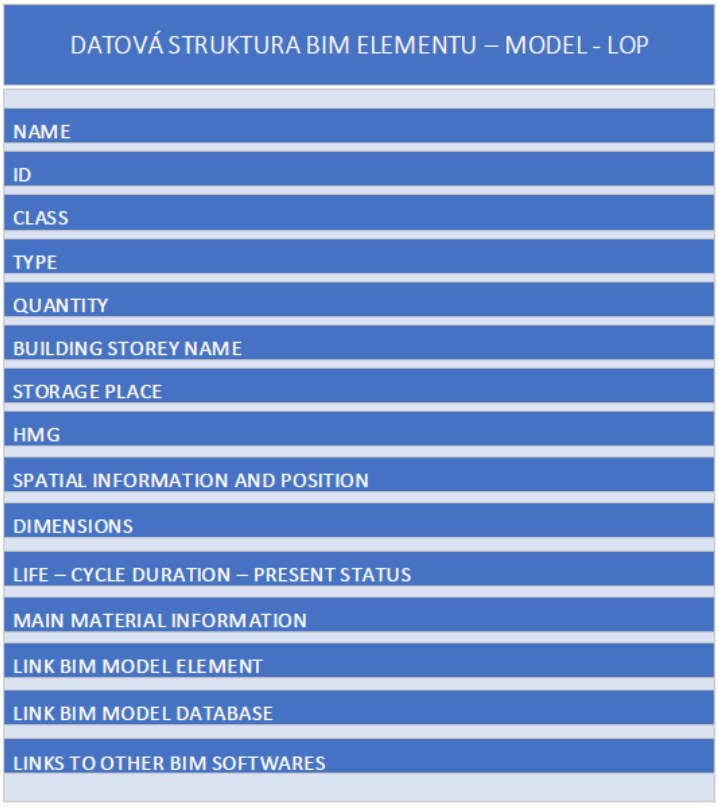
Informace uložená v rámci daných struktur je zařazena do různých skupin. Datový formát uložený v každém parametru je typu: text, celé číslo, číslo, délka, plocha, objem, úhel, adresa URL, materiál a ano / ne „RFID tag“ je přidán k prvkům. Tento parametr je naplněn příslušnou značkou RFID připojenou ke komponentě. Databáze BIM byla vyvinuta v MS Access. Toho bylo dosaženo exportem modelu Revit Architecture do MS Access prostřednictvím funkce ODBC (Open Database Connectivity) dostupné v aplikaci Revit. ODBC exportuje BIM a vytváří databázové tabulky pro typy modelů a instance. Značky Revit Architecture, MS Access a RFID byly založeny pomocí Revit API a RFID softwarového API prostřednictvím programovacího jazyka Visual Basic.Net. Program přijímá ID RFID tagu od RFID čtečky, která se zase používá k provedení databázového dotazu. Každá z popsaných níže datových struktur (*Obrázek 37, Obrázek 38, Obrázek 39, Obrázek 40*) kromě vzájemného propojení prostřednictvím ID bude propojená i s dalšími souvisejícími softwary, v případě této diplomové práce – produkty BIM360, elektronický stavební deník.

DATOVÁ STRUKTURA RFID ŠTÍTKU	
ID	non - changeably unique identifier for searching in database
MOD	link to 3D model (BIM360 Glue...)
ST	current state of mentioned element - name of phase, time and plase in plan
SPEC	basic material information from manufacturing and projet stage - stay non-changeably
CON	contact person in all phases
ENSAF	main information for safety environmentally friendly work
PROC	information related to the current stage taken form BIM database - time, spatial, technological (status and link)
HMG	time information - nearest date of work with the element
SW	link to other SW (BIM360 Glue, BIM360 Field...)
HIST	old data and all action that was happend to manationed elemen (status and link)

Obrázek 33 *Datová struktura RFID štítku, Zdroj [autor]*



Obrázek 34 *Datová struktura BIM databáze – LOP/TZB, Zdroj [autor]*



Obrázek 35 *Datová struktura BIM model – LOP, Zdroj [autor]*

Obrázek 36 *Datová struktura BIM model – TZB, Zdroj [autor]*

3.6 Hodnocení nového postupu

3.6.1 Návratnost investic

Nejdůležitějším parametrem, který ovlivní rozhodnutí investora při zavedení jakékoli inovační technologie je návratnost investic – je třeba přesně vědět, jak velké výnosy bude mít investor ve srovnání s náklady při zavedení nové technologie. Počáteční investice se skládá z několika složek. Možným rizikem či bariérou při zavedení technologie chytrých stavebních dílců – těžce odhadnutelné finanční náklady vzhledem k nemožnosti spočítat množství práce a času pro přípravu datových struktur a technického vybavení. Nákupu hardwarového zařízení – štítky, čtečky a tiskárny odpovídá suma **537 107,00 Kč** (*Tabulka 12*) za předpokladů, že podnik je už vybaven vyhovujícím počtem tabletů a smartphonů. Štítky budou tištěny a naprogramovány přímo ve výrobě, proto pro každou potřebujeme alespoň jednu tiskárnu – *Printronix SL4M RFID Printer*. Pro čtení štítků jak ve výrobních, tak i staveništních podmínkách je zapotřebí RFID čtečka, která je v podstatě doplňkovým hardwarovým pro chytrý telefon a zesilovačem NFC tagu - The *RFD8500 with Zebra's MC-40 IOS computer,* 2-3 pro pracovníky výroby a 6-7 pro vedoucí pracovníky a mistry na stavbě. RFID štiky, jak bylo výše zmíněno (viz. kapitola 3.4), budou pasivní a nízko frekvenční, autor zvolil 1500 kusů pro vyčerpávající potřeby uvedených stavebních procesů. Předpokladem je fakt, že v podniku se už běžně používá BIM a existuje BIM oddělení s BIM koordinátorem a design managerem, které tyto modely spravují, koordinují a vkládají tam informaci ve spolupráci s projektantem. Další položky rozpočtu jsou spojené s nákupem a přípravou softwarů, jako vytvoření datové struktury pro BIM databázi a model, RFID štítek, nastavení propojení mezi těmito datovými struktury, zavedení systému, úpravu podmínek BEP a smluv o dílo a školení všech pracovníků, které budou zapojené do systému. Předpokladem i taktéž, že podnik už vybaven potřebným softwarem a celkové roční náklady činí **168 795,00 Kč** (*Tabulka 12*), však není možné předem spočítat a určit přesnou částku na přípravu tohoto softwaru pro implementaci technologie vzhledem k rozsahu této diplomové práce, jelikož bude to vyžadovat hlubší analýzu a specifikaci kroku zavedení technologie chytrých stavebních dílců. Kdybychom mohli určit potřebné množství práce pro přípravu datových struktur a technického vybavení, mohli bychom určit také celkové náklady zavedení systému. Následně bychom určili množství pracovního času dělníku, které bychom potřebovali ušetřit, aby čistý výnos měl vyšší hodnotu, než investiční náklady při zavedení systému

(*Tabulka 12*). Náklady na čtečky, tiskárny a IT infrastrukturu lze považovat za fixní, neboť se při změně množství produkce téměř nemění. Náklady na štítky jsou oproti tomu variabilní, jelikož každý jednotlivý prvek vyžaduje svůj vlastní štítek. Všechny uvedené ceny a typy jednotlivých hardwarových zařízení a softwarových systému byly vyhledaný na webových stránkách jednotlivých dodavatelů tohoto vybavení V populární literatuře se tedy náklady na štítky obvykle považují za nejdůležitější determinant ziskovosti RFID. S těmito údaji o nákladech je zřejmé, že společnosti musí před implementováním systému vážit návratnost investice.

Navrhovaná analýza nezohledňuje další potenciální úspory, které budou získány eliminací vad a chyb během realizace a provozu, které vznikají při použití běžných metod komunikace a výměny informací. Částečný (autor této práce předpokládá, že existuje řada dalších) popis těchto úspor je obsažen v dalších kapitolách č. 3.6.3 a 3.6.4.

Číslo položky	Popis	Množství	MJ	Cena za MJ	Celková cena (bez DPH)	Sazba DPH [%]	Celková cena (vč. DPH)
			Hardware				
1.	*The RFD8500 with Zebra's MC-40 IOS computer*	9	ks	32 194,82 Kč	289 753,38 Kč	21	350 601,59 Kč
2.	*Tiskárna Printronix SL4M RFID Printer*	2	ks	142 636,00 Kč	142 636,00 Kč	21	173 800,00 Kč
3.	*Etiketa 70 x 14,5 mm, LF Pasivní RFID štítek*	1500	ks	7,00 Kč	10 500,00 Kč	21	12 705,00 Kč
			Software				
1.	*Autodesk BIM (Revit, Field, Glue, Docs, CAFM)*	**Ročně**	-	71 300,00 Kč	71 300,00 Kč	21	86 273,00 Kč
2.	*Microsoft OFFICE (Access, Project, Excel, Word)*	**Ročně**	-	58 500,00 Kč	58 500,00 Kč	21	70 785,00 Kč
3.	*Buildary ONLINE (Elektronický stavební deník)*	**Ročně**	-	9 700,00 Kč	9 700,00 Kč	21	11 737,00 Kč
			Služby				
1.	Příprava datových struktur	**Hodiny**	-	*NELZE URČIT VZHLEDEM K ROZSAHU DP*			
2.	Příprava, nastavení a zprovoznění všech softwarových systému	**Hodiny**	-	*NELZE URČIT VZHLEDEM K ROZSAHU DP*			

Tabulka 12 *Cenová nabídka, Zdroj [autor]*

3.6.2 SWOT analýza

V návaznosti na provedené analýze stávajícího stavu a na výsledkách zavedení nového postupu byla autorem vytvořena SWOT analýza (*Tabulka 13*). Pro potřeby této diplomové práce SWOT analýza byla upravena, protože se nedělá pro celé odvětí, a proto v rámci této práci bude sloužit zejména jako posudek příležitostí a rizik technologie chytrých stavebních dílců v pozemním stavitelství:

Silné strany	**Slabiny**
➢ Efektivní koordinace dokumentace a rychlá výměna aktuální informací a následná komunikace ➢ Zavedení BIM nástrojů pro dělníky přímo do podmínek staveniště ➢ Lokalizace, identifikace a sledování prvků bez nutnosti zásahu člověka ➢ Kontrola logistiky a monitoring dodávek – automatické generování potřebných listů, protokolů, prohlášení a sledování termínů ➢ Není třeba přímá viditelnost – identifikace skrytých prvků ➢ Ukládání, zpřístupňování a dostupnost dat – vytvoření strukturovaného toku dat s aktualizací a evidencí všech změn a přechodem mezi fázemi projektu ➢ Data se neztrácí mezi jednotlivými fázemi projektu ➢ Minimalizace kolizí při výstavbě a chyb při komunikaci ➢ Získání platných údajů pro provoz a přesný 3D obraz objektu ➢ Malá velikost, snadné a rychlé používání, odolnost v drsném prostředí ➢ Snížení papírové práce a ušetření času při vyhledání nutných pro práci podkladů	➢ Úbytek signálu vlivem kovů, kapalin a rušení frekvence z jiných zdrojů [19] ➢ Malá mechanická odolnost vzhledem k staveništním podmínkám [19] ➢ Nejednotná standardizace – „neuniverzalita“ při implementaci [18][20] ➢ Náklady na jednotku (štítek a čtečku) a náklady na implementaci systému jsou příliš velké ➢ Velké organizační změny a přehodnocování stávajících postupů, neboť dotýká se velkého množství lidí ➢ Lidský faktor – úplně nový systém se bude obtížně uchycovat u dělníků a na začátku jsou možné chyby ➢ Mnoho dodavatelů s nízkou úrovní implementace technologií, pokud se jedná o externí dodavatele – faktor konzervativity odvětví ➢ Neinformovanost o technologii ve stavebním sektoru – faktor konzervativity odvětví
Příležitosti	**Rizika**
➢ Možný další vývoj v rámci koncepce Stavebnictví 4.0 – IoT a Robotizace ➢ Optimalizace funkčnosti a informovanosti v různých fázích ➢ Strukturovanost a dostupnost informace ➢ Ekonomická hodnota pro všechny účastníky stavebního procesu ➢ Snížení času procesů probíhajících v rámci přípravy, realizace a provozu ➢ Snížení rutinních a manuálních úkonů za pomoci technologie ➢ Klesající cena štítků, respektive IC ➢ Profitabilita, produktivita, Just-in-Time ➢ Další využití dat, zefektivnění sdílení dat ➢ Integrace s dalšími SW ➢ Export dat pro analytiku v rámci business developmentu ➢ Kapacita technologie pokrývá jakoukoli složitost a velikost projektů	➢ Etický kodex – ochrana soukromí ➢ Bezpečnost systému – hrozba útoků (hacking) ➢ Neochota investovat vzhledem k obavám z hlediska návratnosti investice – není hmatatelný finanční přínos ➢ Neochota novou technologii přijmout a používat ➢ Nenalezení vhodné oblasti implementace technologie

Tabulka 13 *SWOT, Zdroj [autor]*

3.6.3 Eliminace vzniku vad při realizaci modulových fasád

Kvalita LOP, případně modulových fasád, je výrazně ovlivněna vstupní kvalitou dílce a správným postupem realizace, potažmo dodržením všech předepsaných podmínek, norem a postupů při realizaci díla dle aktuální montážní dokumentace. V této fázi vzniká největší riziko vzniku vícenákladů, prodloužení času výstavby a zhoršení kvality díla. V tabulce (*Tabulka 14*) jsou představeny vymodelované případy závad, které by se mohly objevit během realizace modulových fasád v rámci daného projektu a to, jak by jednotlivé případy mohly ovlivnit náklady, čas a kvalitu. Je také uvedeno, jaká opatření lze uplatnit za podmínek stávajícího stavu a stavu s použitím technologie chytrých stavebních dílců:

ZÁVADA	MOŽNÁ PŘÍČINA	DOPAD	ZABRÁNĚNÍ – STAVAJÍCÍ STAV	ZABRÁNĚNÍ – NOVÝ STAV	VÝSLEDEK
Vada dílců kvůli skladování ve špatných podmínkách nebo nesprávné manipulaci s dílcem	Nedodržení předpisů daných materiálovým i podklady. Není kontrolován dle KZP při skladování prvků	Finanční dopad **10-15 tisíc Kč/m^2.** Další dopady: časový dopad, jelikož dodávka opraveného dílce bude zdržovat navazující procesy kapacitní problém (s místem i pracovními silami)	Přísnější dohled nad četou dělníků – školení TP a dodržování předpisů daných materiálovými podklady obsazených v těchto papírových TP při skladování prvků. Osobní kontrola při skladování a manipulaci	Databáze bude dostupná po načtení štítku dělníkem a bude zobrazen odkaz na SW, kde bude uložena šablona protokolu ve formě checklistu, který v jednotlivých položkách bude obsahovat nezbytné přílohy s podmínkami skladování a manipulace. Při skladování nebo manipulaci dělník vyplnění tento KZP přímo v tabletu s připojením fotodokumentace a uloží to.	Minimalizace vzniku škod při skladování prvků a manipulaci s nimi, což zredukuje pravděpodobnost vzniku vícenákladů, zdržení na stavbě a zvýší kvalitu finálního díla
Nesoulad montážního výkresu fasádního elementu s fyzickým provedením	Obsah a správnost montážní dokumentace – nezkoordinovaná výkresová část DPS s montážní dokumentací dodavatele fasád –	Má to zásadní finanční i časové dopady v řádu **100 000 až 1 000 000 Kč,** přičemž samotná část díla může mít hodnotu stovek Kč. Dojde k opravě montážních výkresů. Chybějící součást se objedná.	Lepší koordinace 2D dokumentace v počátečních fázích tvorby dílenské a montážní dokumentace. Přísná kontrola dílenské a montážní dokumentace generálním dodavatelem a projektantem v počátečních fázích tvorby dokumentace	Kolaborativní nástroje, které poskytuje BIM, povolí v počátečních fázích evidovat veškeré změny a kontrolovat postup projektových prací. BIM je jediným zdrojem pravdy projektové dokumentace, pokud všechny zúčastněné mít k tomu přístup – nikdy nedojde podobným problémům	Efektivnější koordinace projektové dokumentace, minimalizace vzniku kolizí, chyb během výstavby, které by mohly přivést k finančním a časovým ztrátám
Vadný podklad pro montáž nosné ocelové konstrukce	Nedodržení požadavků stanovených TP pro provedení podkladní nosné konstrukce – následné vadné osazení elementu, např.	Nemožnost pokračovat ve všech pracích a finanční dopady **100 000 – 1 000 000 Kč** a časový dopad v řádu týdnů.	Rychlá úpravu nosné podkonstrukce. Lepší koordinace a kontrola 2D dokumentace v počátečních fázích tvorby dílenské a montážní dokumentace.	Kolaborativní nástroje, které poskytuje BIM, povolí v počátečních fázích evidovat veškeré změny a kontrolovat postup projektových prací. Sečtení štítku fasádního modulu a následné nalezení v databázi TP, kde dělník najde veškeré vstupní informace pro provedení práce. Následné postupné	Efektivnější koordinace projektové dokumentace, postupné vyplnění protokolů KZP, minimalizuje vzniku kolizí, chyb během výstavby, které by mohly

	poddimenzovaná kotva lávky, která neunese navrhované zatížení			vyplnění KZP – krok za krokem s připojením fotodokumentace.	přivést k finančním a časovým ztrátám
Nefunkční karusel	Provedení detailů navazujících konstrukcí a profesí – špatná příprava na osazení vstupních karuselu – špatné provedení těsnění, která vedla k poškození funkčnosti karuselu	Má to zásadní finanční i časové dopady v řádu **desítek až stovek tisíc Kč.**	Sledovat, aby pracovníci vždy měli aktuální dokumentaci v plném rozsahu – celý balík aktuální montážní dokumentace	Aktuální montážní dokumentace s evidencí všech změn je součástí BIM modelu, nahrává ji dodavatel spolu s GP. Sečtením RFID štítku před zahájením práce dělník získává aktuální a kompletní dokumentaci	Okamžitý přístup k relevantním podkladům vede celkovému zvýšení kvality a redukci vzniku chyb, které vedou k vícenákladům a prodloužení
Nefunkčnost fasád z hlediska vodotěsnosti	Nesprávná kontrola kvality dílce po výrobě	V extrémním případu je nutnost rozebrat celou modulovou fasádu nad inkriminovaným místem. Časové a finanční riziko obrovské a jako vzorový případ nevyčíslitelné. Velmi záleží na času, místě a rozsahu.	Zvýšit nároky na kontrolu kvality dílce hned po výrobě.	Po dokončení každé z popsaných fází bude vyplněn protokol kvality s připojením fotodokumentace a nutných k provedení kontroly norem, vyhlášek atd. Automatické se uloží do databáze	Postupnou kontrolou kvality dílce (po výrobě, po obdržení, po skladování atd.) můžeme efektivněji sledovat kvalitu a zabránit vadám prvku
Dešťová voda teče do interiérových prostorů	Špatné provedení těsnění spojů a spár a neprovedení důkladné kontroly	V extrémním případu je nutnost rozebrat celou modulovou fasádu nad inkriminovaným místem. Časové a finanční riziko obrovské a jako vzorový případ nevyčíslitelné. Velmi záleží na času, místě a rozsahu.	Zvýšit nároky na kontrolu kvality těsnění – osobní kontrola kvality stavbyvedoucím	Na základě předem domluvených rozsahů, pracovník bude vytvářit protokol kontroly kvality spojů a tím, že vždy tam bude vkládat fotodokumentaci	Postupnou kontrolou kvality práce s připojením fotodokumentace lze vzdáleně kontrolovat postup práce a kvalitu. Pak u reklamace lze sledovat příčinu závady.
Pád prvku při osazovaní	Nedodržení správných postupů při manipulace s prvkem	Velký dopad na bezpečnost – zvýší se pravděpodobnost vzniku pracovního úrazu. Zastavení prací a finanční dopad v řádu **desítek tisíc Kč**.	Důkladná kontrola kvality dílce při obdržení na stavbě a přísné studování a dodržování podmínek pro přepravu, skladování a manipulaci dle papírového TP	Před zahájením manipulace s prvkem dělník naskenuje štítek a dostane zpětně celkový přehled TP o správných způsobech skladování a manipulace s prvkem. Při obdržení prvku, následném skladování a manipulaci bude vyplněn KZP, který bude hned uložen v databázi.	Se zvýšením informovanosti na stavbě, sníží se možnost vzniku pracovních úrazů

Tabulka 14 *Zabránění vzniku vad při realizaci modulových fasád, Zdroj [autor]*

3.6.4 Řízení reklamačních závad při provozování TZB

V případě TZB většina reklamačních závazků vzniká kvůli nesprávné finální kontrole kvality a následnému špatnému provozování, během procesu reklamačního řízení je složité zmonitorovat skutečnou příčinu závady a odpovědnou osobu za tuto závadu – může to zabrat delší dobu a na straně dodavatele se vynakládají zbytečné finance. V tabulce (*Tabulka 15*) jsou představeny modelové případy závad, které by se mohly objevit během provozu v rámci daného projektu. Hlavním přínosem technologie chytrých stavebních dílců v oblasti provozu je přístup k historii aktivit prvku během přípravy, realizace a provozu systému:

ZÁVADA	MOŽNÁ PŘÍČINA	DOPAD	STAVAJÍCÍ ZPŮSOB VYHLEDOVÁNÍ	NOVÝ ZPŮSOB VYHLEDOVÁNÍ	VÝSLEDEK
Nefunkční uzavírání požární klapky. Příklad: Při provozních zkouškách EPS se objevila nefunkčnost požární klapky VZT.	Příčinou je buď vada během fáze realizace kvůli nesprávné montáži nebo chyba provozu (nepravidelně prováděné revizní kontroly a opravy). Případně obyčejná porucha.	Finanční dopad možný pro zhotovitele i provozovatele – zjištění příčiny. Další finanční dopad. Výměna nebo oprava klapky a opakovaní funkční zkoušky – **až desítky tisíc Kč**. Plus, negativní reklama pro dodavatele či provozovatele a omezení pro uživatele	Vyhledávání a kontrola papírových protokolů o provedených revizích a kontrolách během fáze provozu, které jsou uložené u provozovatele v provozní knize. Vyhledávání a kontrola výstupních papírových protokolů kvality a zkouškách během kolaudačního řízení, vyhledávání všech vstupních (materiálové podklady, prohlášení o shodě…) a výstupních montážních dokumentů (protokoly kontroly kvality, montážní listy…). Na základě všech sebraných papírových realizačních a provozních dokumentů probíhá posouzení a určení příčiny závady. Odpovědná osoba provádí opravu závady.	1. Při zavedení technologie chytrých stavebních dílců dojde k snížení pravděpodobnosti vzniku popsaných vad, jelikož jak během fáze realizace, tak i během fáze provozu dělník nebo provozní technik bude mít trvalý přístup k aktuální informaci potřebné v rámci daného stavebního procesu a bude mít možnost trvale nahrávat jakékoli výstupní dokumenty. 2. V případě, že k popsaným záležitostem dojde, pracovník reklamačního řízení bude mít hned přístup k historii prvku při sečtení štítku, to znamená veškeré KZP s fotodokumentací, protokoly o zkouškách v rámci kolaudačního řízení, vstupní (materiálové podklady,	Snížení pravděpodobnosti vzniku popsaných závad vzhledem k zvýšení celkové informovanosti na staveništi a zavedením přístupu k historii prvku, práce pracovníka reklamačního oddělení je mnohem efektivnější a přesnější, tím urychlíme trvaní reklamačních záležitostí a ušetříme peníze zhotoviteli
Snížení průtoku vzduchu a unášení prašných částic do VZT zařízení	Příčinou bývá nadměrné znečištění nebo poškození filtru buď během fáze realizace při montáži filtrů nebo během provozu – nepravidelně prováděné revizní kontroly. Při pozdním nalezení vady může dojít poškození VZT zařízení.	Finanční dopad možný pro zhotovitele i provozovatele – zjištění příčiny. Oprava v závislosti na času nalezení závady – výměna filtrů a mřížek, oprava potrubí či oprava nebo výměna VZT jednotek. Případně ztráta certifikace (prašné prostředí). Finanční dopad: **jednotky tisíc až miliony Kč** Plus, negativní reklama pro dodavatele či provozovatele a omezení pro uživatele			
Vznik netěsnosti armatury a únik kapaliny potrubí RTCH a SHZ	Vnitřní koroze a zanesení armatur, které vede k omezení či ztrátě pojistné funkce, což časem může ovlivnit celkovou	Finanční dopad buď na zhotovitele nebo provozovatele – příčina závady. Oprava v závislosti na času nalezení závady – výměna nefunkčního pojistného ventilu			

	funkčnost systémů. Příčinou buď chyba v provádění – nekvalitní ventil nebo nesprávné dodržení technologického postupu nebo špatný provoz – nepravidelně prováděné revizní kontroly a opravy	nebo kompletní oprava celého systému chlazení – **cca od 3000 do 1 000 000 Kč** Plus, negativní reklama pro dodavatele či provozovatele a omezení pro uživatele		prohlášení o shodě…) a výstupní montážní dokumenty (protokoly kontroly kvality, montážní listy…), protokoly o provedených revizích, kontrolách a opravách v rámci provozu	
Snížení vzduchového výkonu a zvýšení hluku VZT zařízení nebo úplná nefunkčnost zařízení	Porucha ventilátoru – poškození nebo zanesení lopatek, což časem může ovlivnit celkovou funkčnost systémů. Příčinou buď chyba v provádění – nekvalitní ventilátoru nebo nesprávné dodržení technologického postupu nebo špatný provoz – nepravidelně prováděné revizní kontroly a opravy	Finanční dopad buď na zhotovitele nebo provozovatele – příčina závady. Oprava v závislosti na času nalezení závady – výměna nefunkčního pojistného ventilu nebo kompletní oprava celého systému chlazení **– cca od 3000 do 1 000 000 Kč** Plus, negativní reklama pro dodavatele či provozovatele a omezení pro uživatele			
Nekonzistentní distribuce vzduchu – uniky vzduchu při proudění	Vznik netěsnosti vadnou montáží spojů jednotlivých jednotek nebo chvěním při provozu a nepravidelnou kontrolu. Při pozdním nalezením může přivést k větším nákladům	Finanční dopad buď na zhotovitele nebo provozovatele – příčina závady. Opravy potrubí VZT – **jednotky až desítky tisíc Kč podle rozsahu**. Plus, negativní reklama pro dodavatele či provozovatele a omezení pro uživatele			

Tabulka 15 *Řízení reklamačních závad při provozování TZB, Zdroj [autor]*

3.7 Kroky při implementaci

V moderním světě efektivní sběr, zpracování a analýza dat je motorem hospodářského pokroku a impulzem pro generaci zisku podniku. Do rozvoje digitálních technologií může být investována spousta peněz a času, ale ve většině případů vedením podniku není správně chápan princip využití digitálních nástrojů, tím ten přístup k zavedení nemá závažný charakter a nese jenom lokální změny, což ve výsledku není natolik efektivní, jak by mělo být. Jádrem a hnací sílou digitálních technologií jsou data – podnik má najít takový způsob zavedení a ovládání digitálních nástrojů, aby toto povolilo shromažďovat, strukturovat, ukládat, používat a analyzovat data co nejefektivnějším způsobem, aby tato data přispívala k tvorbě zisku podniku. Pro různé stavební podniky bude vždy platná různá strategie zavedení, ale vždycky bude založena na následujících pěti nejdůležitějších prvcích [11]:

- změna organizační struktury, nástrojů a procesů spolupráce, komunikace mezi zaměstnanci, firemní kultury a návrhu pracovního prostoru,
- jasná vize, kterou vedení společnosti přinese na další výkonnostní úroveň,
- silná motivace, kterou vedení společnosti přinese na další výkonnostní úroveň,
- vyvinutá softwarová a hardwarová infrastruktura podniku a počítačová gramotnost zaměstnanců,
- schopnost učit se a přijmout inovační produkty, služby a řešení.

Obecně, měřítko zavedení inovačních technologií lze rozdělit do tří úrovní – úroveň státu, úroveň odvětví a úroveň podniku. To platí, jak pro jednu konkrétní technologii, tak i pro celkový přechod stavebnictví na moderní koncepci. Na základě provedeného rešerše v teoretické části a modelace zavedení technologie chytrých stavebních dílců do reálného projektu polyfunkční budovy dolu je představena tabulka (*Tabulka 16*) s přehledem nezbytných kroků či oblastí, kde by měly být přijaté změny, za účelem zavedení digitálních technologií [6] [21]:

ÚROVEŇ	OBLAST	KROKY
STATNÍ	Reformace, iniciativy, zreorganizování regulačních nástrojů a zvýšení průhlednosti	Zavedení digitálních technologií do státních úřadů
		Zjednodušení a zrychlení povolovacích procesů
		Granty a investice do inovačních technologií a vzdělání
		Dodržení průhlednosti odvětví
		Bojovat proti fragmentaci trhu
		Přehodnocení smluvní struktury (alternativní a inovační smluvní strategie, např. IPD, spolupráce projektanta a generálního dodavatele v ranních fázích projektu, těsná spolupráce projektanta a dodavatele)
		Zefektivnění komunikačních a koordinačních nástrojů
		Zefektivnění toku informace podél životního cyklu projektu
ODVĚTVÍ	Přehodnocení projektových a inženýrských prací a zvýšení procenta standardizace	Finanční a časové investice do ranních fází projektu
		Detailnější propracování projektu před zahájením realizace – LOD
		Vývoj BIM modelu a využití koordinačních SW pro dodavatele projektanta
		Kolaborace projektového a realizačního týmu již na tvorbě DPS
		Vypracování developerských standardizovaných variant projektových řešení pro různé typy projektů
		Vypracování generálním dodavatelem a investorem ODR – jediného podkladu pro projektanty – zadání a specifikace
		Projektování vzhledem na montáž a výrobu – DfMA
		Projekt musí sloužit ve prospěch funkčnosti a funkcionality
ODVĚTVÍ	Zefektivnění dodavatelského řetězce	Jediný a přesný vzor tendrové a zadávací dokumentace
		Dlouhá spolupráce s dodavateli, vypracování standardů, referenčních výrobků, vzorkování a poskytnutí podpory pro GP
		Oddělení nákupu u GD
		Sledování stavu dodávek – implementace RFID
		Digitalizovaný systém řízení nákupu, včetně analýz a simulací, implementace prediktivních praktik dodavatelského řetězce v reálném čase
PODNIK	Rozšíření robotizace, digitalizace a moderních materiálů	Zavedení přesného plánování
		Zavedení BIM a RFID
		Kolaborativní nástroje během realizace pro řízení kvality a změn dokumentace
		Postupné zavedení robotizace
		Recyklované a moderní materiály
		Investování do inovačních a výzkumných oddělení
		BIM model musí být dostupný pro všechny
		Zavedení dronů a bezpilotní vzdušná vozidla pro skenování, monitorování a mapování
		Využití digitálních nástrojů pro spolupráci a mobilitu na přenosných zařízeních
		Mobilizování 5D BIM v průběhu životního cyklu projektu s rozšířenými / smíšenými rozhraními reality
		Využití plně propojených webů s internetem věcí (např. Komunikace v blízkém poli, senzory, nositelná zařízení) Implementujte pokročilou analytiku na projektová a celoplošná data
		Vývoj alternativní a inovativní materiály a implementujte automatizační zařízení na stránkách
PODNIK	Rekvalifikace dělníků	Silná motivace při implementaci moderních technologií od vedení do dělníků
		Nastavení harmonogramu školení, které musí mít praktický směr

Tabulka 16 *Kroky při implementaci, Zdroj [autor]*

Pokud se vrátíme konkrétně k technologii chytrých stavebních dílců, platí v podstatě výšeuvedené kroky, ale specifikujeme to detailnějším způsobem:

- tvorba datové struktury a vyplňování parametrů v modelu BIM přes aplikaci Revit,
- tvorba datové struktury a vyplňování parametrů databáze BIM přes aplikaci MS Access,
- nákup a nastavení hardwarových zařízení: tablety, čtečky, tiskárna štítku atd.,
- automatizace toku informací vývojem softwarové aplikace,
- identifikace nejvhodnějších stavebních komponentů pro zavedení technologie chytrých stavebních dílců,
- přehodnocování probíhajících procesů v rámci přípravy, realizace a provoz pro vybrané komponenty,
- extrahování důležitých procesních dat, která mají být uložena do štítků, pro každou fázi životního cyklu vybraných komponent,
- zkoumání nových informací, které mají být přidány do BIM v souvislosti s RFID,
- provedení školení a motivačních schůzek ve všech výkonnostních úrovních

3.8 Bariéry při implementace

Při zavedení technologie chytrých stavebních dílců nemáme podceňovat i řádu bariér, které máme ve chvíle zavádění technologie mít na vědomí a umět najít správné opatření a zajištění proti jejich vzniku. Na základě provedených rešerší byla vypracována tabulka (*Tabulka 17*), která představena dolu, s přehledem možných barier při implementaci technologie chytrých stavebních dílců [6] [18] [19] [22] [23] [24]:

OBLAST	POPIS
Vlastnosti štítku a materiálu komponentu	Bariéry související s vlastnostmi magnetických vln a účinky působící na materiály
	Nedostatek sjednocených mezinárodních standardů – interoperabilita (standardy a protokoly)
	Ochrana dat a soukromí
	Drsný podmínky staveniště
	Rychlost přenosu dat
	Zdroj energie – baterie u aktivního čipů a její životnost
	Materiál komponenty – kovové a kapalinové ruší rádiové signály
	Hustota štítku na plochu
	Pozice štítků vůči čtečkám
	Malý obsah pamětí štítku
	Tloušťka skladby konstrukce – skryté prvky
BIM	Nejsou úplně a důkladně vyvíjeny standardy BIM obecně a vůči RFID
	Problém s včasným dokončením modelu – DPS a DSPS
Lidský faktor	Odpor ze strany pracovníků, které jsou zvyklé na tradiční způsoby práce
	Potřebné další úsilí a školení směrem k zavedení technologie
Finanční náklady	Relativně velké náklady pro implementaci RFID štítků a příslušného SW a HW zařízení
	Pochybnost investora při zavedení – nelze přesně určit návratnost investic

Tabulka 17 *Bariéry při implementace, Zdroj [autor]*

4. Závěr

Z provedeného výzkumu v praktické části diplomové práce, zejména z hodnocení výsledků zavedení technologie chytrých stavebních dílců, vyplývá potřeba implementace této technologie do životního cyklu stavebních projektů v pozemním stavitelství, respektive do postupů realizace modulových fasád a do fáze provozu TZB. Implementací systému dojde k snížení chyb při komunikaci a výměnně informací za současného zavedení BIM systémů v podmínkách staveniště, čímž bude možné dosahovat zvýšení kvality díla a efektivity procesů, zabránit možnému prodloužení času realizace a vzniku vícenákladů během všech fází životního cyklu výrobku. Pravděpodobnost zavedení technologie chytrých stavebních dílců z investorského hlediska, vzhledem k vysokým investičním nákladům a těžce odhadnutelným finančním výnosům, se zdá nebýt vysoká. Autor se navzdory tomu domnívá, že výhody, které zde BIM ve spolupráci s RFID nabízí, jako je jednoznačná identifikace prvků, celkové zrychlení procesů, okamžitý přístup k požadovaným a aktuálním datům, evidence všech změn a výstupních dokumentů a generování protokolů a listů bez zbytečné papírové práce, by vysoké počáteční náklady na zavedení systému převažují. Hlavní bariérou a zároveň nevýhodou zavedení systému chytrých stavebních dílců je těžce odhadnutelná návratnost investic. Klíčem ke správnému zavedení a návratnosti investic je přistupovat k implementaci moderních digitálních technologií komplexně a vidět celou příležitost z globálního hlediska, jelikož se jedná o změnu v celém procesu řízení dokumentace a přehodnocení toku informace. Taktéž, v budoucnu můžeme počítat s klesající cenou, rostoucí kapacitou štítků, dalších klíčových prvků RFID systému a následným rozšířením pole působnosti této technologie ve stavebnictví. Autor se na základě provedených rešerší domnívá, že při implementaci popsané technologie je okamžitý zisk v kratším časovém obdbí těžce dosažitelný, protože zavedení obsahuje hromadu kroků a hromadu účastníků, jen společným úsilím podniků, odvětví a států lze dohasnout správného zavedení, následně i všech popsaných benefitů.

Když vyhodnotíme dopad zavedení inovačních technologií v různých druzích podniků ze všech odvětví, ty, které jsou ochotné do toho investovat, stále se vylepšovat a být prvními na trhu, často mají konkurenční výhodu, kterou je poté pro ostatní obtížné napodobit. Klíčovou myšlenkou jakékoli rozvoje – nezastavovat se, vylepšovat a hledat další možnosti růstu. Když podnik neinvestuje do inovačních technologií, chybí mu jedinečná příležitost, která je vodvětví stavebnictví současně k dispozici – vzhledem k

konvenční povaze, stavebnictví pomalu přijímá digitalizaci, robotizaci a nové materiály, znamená to že ty, které to budou implementovat ve svých podnicích, budou mít unikátní přednost na trhu a své vlastní know-how.

Vzhledem k rozsahu diplomové práce se podařilo popsat pouze některé oblasti aplikací technologie chytrých stavebních dílců, byly vybrány ty, které by dle autora mohly v nejbližší době najít uplatnění v prostředí pozemního stavitelství a ty, které by měly nejvhodnější podmínky pro implementaci. Technologie chytrých stavebních dílců má obrovský potenciál pro další výzkum a vývoj. Vzhledem k faktu, že veškeré odvětví směrují ke konceptu průmysl 4.0, jelikož tento koncept optimalizuje výrobu automatizací a zpracováním obrovského množství dat, ať tak či onak stavebnictví k tomu přijde také. Technologie BIM a RFID, případně chytré stavební dílce, má podstatnou pozici v této koncepci. Jedná se o podklad pro internet věcí (Internet of Things). Zavedení a rozšíření digitalizace je můstkem a prvním krokem směrem k zavedení a rozšířeni robotizace a přechod na Stavebnictví 4.0.

Seznam použitých zdrojů

[1] **THE BOSTON CONSTRUCTION GROUP**. *Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Model*, USA, *March 2016* [Online] [cit. 2019-11-30]. Dostupný z: http://futureofconstruction.org/content/uploads/2016/09/BCG-Digital-in-Engineering-and-Construction-Mar-2016.pdf

[2] **SPS A ÚRS PRAHA A.S.** *Stavebnictví v kostce* 2017. Praha, Česká Republika, 2017, ISBN 978-80-7369-681-8.

[3] **SOARES PhD,** Roberto**.** *Reengineering Management of Construction Projects,* College of Computing Engineering and Construction University of North Florida, Florida, 2013 [Online] [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: http://ijbssnet.com/journals/Vol_4_No_7_July_2013/1.pdf

[4] **LINNER,** Thomas. *Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites*. Disertační práce. Vedoucí práce Thomas Bock, München, 2013. [Online] [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: https://mediatum.ub.tum.de/doc/1131018/1131018.pdf

[5] **KOVÁŘÍK, SVOBODA, ŠTEMBERK.** *Přehled dostupných technologií 3D tisku z cementových malt. Review of available 3D printing technologies using cement mortar,* Beton TKS, Duben 2019

[6] **MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE.** *Reinventing construction: a route to higher productivity,* USA, Únor 2017 [Online] [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx

[7] **GROH, DUBIK.** *BIM as a tool to implement circular economy into construction projects life-cycle,* Aalborg, Denmark, 2018, Diplomová práce. Vedoucí práce Kjeld Svidt [Online] [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: https://projekter.aau.dk/projekter/en/studentthesis/bim-as-a-tool-to-implement-circular-economy-into-construction-projects-lifecycle(b7ec3bbe-45b1-47e5-82d7-1729c18062b3).html

[8] **SACKS, EASTMAN, LEE, TEICHOLZ.** *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, New Jersey, 2018

[9] **BOOK.** *Construction Robotics Enabling Innovative Disruption and Social Supportability,* München, 2013 [Online] [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: http://www.iaarc.org/publications/2015_proceedings_of_the_32st_isarc_oulu_finland/construction_robotics_enabling_innovative_disruption_and_social_supportability.html

[10] **ČÁSENSKÝ**. *Přehled stavebnictví a stavebních podniků v České republice,* Praha, Česká Republika, 2018 [Online] [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: http://slideplayer.cz/slide/2015231/

[11] **EY DIGITAL SURVEY**. *How are engineering and construction companies adapting digital to their businesses?* New York, US, 2018 [Online] [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Digital-survey/$File/EY-Digital-survey.pdf

[12] **PRIYANKAR.** *HDB Singapore partners with local universities to leverage big data and smart technology in planning, designing and building public housing*, New York, US, 2018 [Online] [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://www.opengovasia.com/hdb-singapore-partners-with-local-universities-to-leverage-big-data-and-smart-technology-in-planning-designing-and-building-public-housing/

[13] **SU-WON YOON**. *Application Model of RFID Technology on Progress Measurement and Management of Construction Works,* ISARC, 2006 [Online] [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB12386.pdf

[14] **AKINCI, PATTON, ERGEN.** *Utilizing Radio Frequency Identification on Precast Concrete Components – Supplier's* Perspective, ISARC, 2002 [Online] [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB12996.pdf

[15] **CZBIM**. BIM DAY 2016, Stavebnictví 4.0, Praha, Česká Republika, Říjen 2016 [Online] [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://www.czbim.org/1-5088-aktuality-bim-day-2016-stavebnictvi-40.aspx

[16] **IVANILOV.** *Nástin progresivních trendů ve stavební technologii s možným využitím ve strategii Stavebnictví 4.0*, Květen 2018, Praha, Česká Republika [Online] [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/78237/F1-BP-2018-Ivanilov-Artemii-text.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

[17] **IKA DATA.** *Koncepce zavedení BIM pro ČSOB,* 2017, Praha, Česká Republika [Online] [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: https://www.bim-point.com/uzitecne-soubory-zdarma-ke-%20stazeni/koncepce-zavedeni-bim-pro-csob

[18] **GERST, BUNDUCHI, GRAHAM***, Current issues in RFID standardization,* 2005 [Online] [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: https://www.semanticscholar.org/paper/Current-issues-in-RFID-standardisation-Gerst-Bunduchi/9243387f70682cc17331244ade2048a86412f18e

[19] **MAZÁNEK, PECHAČ, VRBA**. *Základy antén, šíření vln a mikrovlnné techniky.* Praha, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03997-7.

[20] **GS1 CZECH REPUBLIC**. *RFID a globální standard EPC,* Praha, Czech Republic, GS1, 2018. [Online] [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://www.gs1cz.org/media/volne-dostupne- brozury/publikace-epc-rfid.pdf

[21] **CEEC RESEARCH S. R. O.** *Veřejní investoři - studie digitalizace ve stavebnictví*. Praha, 2019. [Online] [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: https://www.czbim.org/uploads/Studie_digitalizace_ve_stavebnictvi_2019.pdf

[22] **ATKINSON, W.**, *Tagged the risks and rewards of RFID technology*. Risk Management Magazine, 2004

[23] **ERABUILD**, *Review of current state or RFID technology, its use and potential future in Construction (RFID in Construction),* February 2010, [Online] [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: http://www.ebst.dk/file/5520/rfid_in_construction.pdf

[24] **IRIZARY, MEADATI, AKHNOUKH.** *BIM and RFID integration: A pilot study,* Cairo, Egypt, September 2002, [Online] [cit. 2019-12-25] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228962800_BIM_and_RFID_integration_A_pilot_study

[25] **JONGCHUL, CARL, CARLOS, ESIN, BURCU.** *Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects,* Department of Civil Engineering, University of Texas at Austin, Austin, March 2005

[26] **NATIONAL BIM STANDARD-UNITED STATES COMMITTEES**. [Online] [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: http://www.nationalbimstandard.org/faqs

[27] **NATIONAL BUILDING INFORMATION MODELING STANDARD (NBIMS).** February 2010 [Online] [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: http://www.wbdg.org/pdfs/NBIMSv1_p1.pdf

[28] **PREZENTACE - PERI BIM BASICS.** Praha, Česko**,** February 2019 [Online] [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: https://www.peri.com/en/knowledge/bim-building-information-modeling.html

[29] **JASELSKIS, ANDERSON, JAHREN, RODRIGUEZ, NJOS.** *Radio-Frequency Identification Applications in Construction Industry,* 1995

[30] **MOON, YANG.** *Effective Monitoring of the Concrete Pouring Operation in an RFID-Based Environment*.

[31] **TSAI.** *Developing a precast production management system using Yin S.Y., Tserng H.P., Wang RFID technology*, 2009;18:677–691

[32] **SONG, HAAS, CALDAS, ERGEN, AKINCI.** *Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects,* 2006;15:166–177.

[33] **SONG, HAAS, CALDAS.** *Tracking the Location of Materials on Construction Job Sites,* 2006;132:911–918

[34] **KAREN, FURLANI AND LAWRENCE.** *Automated tracking of structural steel members at the construction site,* Construction Metrology and Automation Group National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, USA, 2010

[35] **MOTAMEDI, HAMMAD.** *RFID-Assisted Lifecycle Management of Building Components Using BIM Data* [Online] [Citace: 25. 12 2019.] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/229036044_RFID-Assisted_Lifecycle_Management_of_Building_Components_Using_BIM_Data

[36] **AIMGLOBAL.** *What is RFID*, [Online] [Citace: 25. 12 2019.] Dostupné z: http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/what_is_rfid.asp

[37] **POOLE.** *Newnes Guide to Radio and Communications Technology*. Oxford: Newnes, 2003. ISBN 0-7506-5612-3.

[38] **KARMAKAR.** *Handbook of Smart Antennas for RFID systems*. Hoboken : John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-38764-1.

[39] **VOLF.** *Možnosti využití technologie RFID ve stavebním průmyslu* DIPLOMOVÁ PRÁCE, 2019, Praha, Czech Republic. Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Kovářík [Online] [Citace: 25. 12 2019.] Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81122/F1-DP-2019-Volf-Jakub-DP_Volf_RFID_Text.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

[40] **LI, BECERIK-GERBER.** *Life-Cycle Approach for Implementing RFID Technology in Construction: Learning from Academic and Industry Use Cases,* 2011

[41] **STANDARDS** [online]. *International Organization of Standardization, 2018* [Citace: 25. 12 2019.] Dostupné https://www.iso.org/standards.html

[42] **FERNANDES, Maria et al.** *Study of Material Interference in a RFID Tag Reading,* Universidade de Aveiro, 2009. [Online] [Citace: 25. 12 2019.] Dostupné z: http://www.av.it.pt/conftele2009/Papers/55.pdf

[43] **FUNG, Ms Ada.,** *Application of BIM and RFID in Public Housing Projects, Prezentace CICID 10th Anniversary Conference,* May 2013, [Online] [Citace: 25. 12 2019.] Dostupné z: http://www.civil.hku.hk/cicid/3_events/130/S2/1-Ada_Fung.pdf

Seznam tabulek, grafů a obrázků

Tabulky Strana

Tabulka 1: Specifika stavebnictví vs. jiné průmyslové odvětví, Zdroj, [10] **10**

Tabulka 2: Přínosy BIM, Zdroj [17].....**26**

Tabulka 3: Rozdíly mezi různými druhy štítků dle zdroje energie, Zdroj: [40]...**33**

Tabulka 4: Rozdíly mezi různými druhy štítků dle frekvence, Zdroj: [40].....**34**

Tabulka 5: Funkcionalita Zdroj: [39] **34**

Tabulka 6: Přehled využití technologie RFID v pozemním stavitelství,

Zdroj: [autor].....…. **50**

Tabulka 7: Vývoj projektové dokumentace, Zdroj [autor].....**56**

Tabulka 8: Specifikace RFID štítku, Zdroj [autor] **82**

Tabulka 9: Specifikace RFID čtečky, Zdroj [autor].....**82**

Tabulka 10: Přehled všech SW a HW dle hlavních účelů, Zdroj [autor].....**83**

Tabulka 11: Přehled všech odpovědných osob a technického vybavení,

Zdroj [autor].....**82**

Tabulka 12: Cenová nabídka, Zdroj [autor] **91**

Tabulka 13: SWOT, Zdroj [autor].....**92**

Tabulka 14: Zabránění vzniku vad při realizaci modulových fasád, Zdroj [autor]**94**

Tabulka 15: Řízení reklamačních závad při provozování TZB, Zdroj [autor].....**96**

Tabulka 16: Kroky při implementaci, Zdroj [autor].....**98**

Tabulka 17: Bariéry při implementace, Zdroj [autor] **100**

Obrázky Strana

Obrázek 1: Stupeň digitalizace ve stavebnictví a ostatních odvětvích hospodářství, 2015, Německo, USA Zdroj: [6] **2**

Obrázek 2: Vývoj produktivity ve vybraných odvětvích hospodářství EU mezi lety 1950–2010, Zdroj: [6] **2**

Obrázek 3: Diagram hodnot marže ve vybraných odvětvích, Zdroj: [6] **3**

Obrázek 4: Porovnání toku a ztrát informace podél životního cyklu projektu, Zdroj [8]: **5**

Obrázek 5: Možnost a vliv změn během životního cyklu projektu, Zdroj [8]: **6**

Obrázek 6: Přehled základních digitálních technologií podél životního cyklu projektu, Zdroj [1]: **8**

Obrázek 7: Přehled základních digitálních technologií podél životního cyklu projektu, Zdroj [1]..... **9**

Obrázek 8: Adopce digitálních nástrojů v odvětví stavebnictví, Zdroj: [11]..... **11**

Obrázek 9: Přehled digitálních technologií podél životního cyklu projektu, Zdroj [1]:.....**12**

Obrázek 10: Strom problémů, Zdroj [autor] **13**

Obrázek 11: Koncepce Smart Building Components, Zdroj [12] **14**

Obrázek 12: Digitalizace staveniště, Zdroj [14] **17**

Obrázek 13: Strom cílů, Zdroj [autor] **19**

Obrázek 14: Technologické trendy tvořící se koncepce Průmysl 4.0. Zdroj: [16].....**21**

Obrázek 15: Technologické trendy tvořící se koncepce Stavebnictví 4.0. Zdroj: [16]:.....**21**

Obrázek 16: Technologické trendy tvořící se BIM v koncepci Stavebnictví 4.0. Zdroj: [16] **22**

Obrázek 17: Technologické trendy tvořící se RFID v koncepci Stavebnictví 4.0. Zdroj: [16] **29**

Obrázek 18: Kategorie RFID štítků podle zdroje energie, Zdroj: [39] **31**

Obrázek 19: RFID čtečka v kombinaci s tabletem/smartphone, Zdroj: zebracom **36**

Obrázek 20: Klasifikace RFID čtecích zařízení, Zdroj [39] **36**

Obrázek 21: Technická struktura technologie chytrých stavebních dílců, Zdroj [autor] **43**

Obrázek 22: Komunikace čtečky a štítku, čtečky a počítačových systémů, Zdroj [24] **43**

Obrázek 23: Příklad trvalého vkládání/aktualizace informace o komponentu pomocí RFID čtečky, Zdroj [43] **44**

Obrázek 24: Příklad využití RFID při provozu TZB zařízení, Zdroj [35] **44**

Obrázek 25: Zvedací háky s protokoly kvality, Zdroj [autor] **46**

Obrázek 26: RFID čtečka ve výrobně PERI, Zdroj [autor] **46**

Obrázek 27: Výstupní protokol kvality, Zdroj [autor] **47**

Obrázek 28: Druhy senzorů, Zdroj [28] **47**

Obrázek 29: RFID technologie v obchodu, Zdroj [28] **48**

Obrázek 30: Modulová fasáda, Zdroj [autor] **54**

Obrázek 31: Prvek prefabrikovaného TZB rozvodu, Zdroj [autor] **55**

Obrázek 32: Komunikace softwarových a hardwarových složek systému, Zdroj [autor] **82**

Obrázek 33: Datová struktura RFID štítku, Zdroj [autor] **86**

Obrázek 34: Datová struktura BIM databáze – LOP/TZB, Zdroj [autor] **87**

Obrázek 35: Datová struktura BIM model – LOP, Zdroj [autor].....**87**

Obrázek 36: Datová struktura BIM model – TZB, Zdroj [autor].....**88**

Seznam příloh

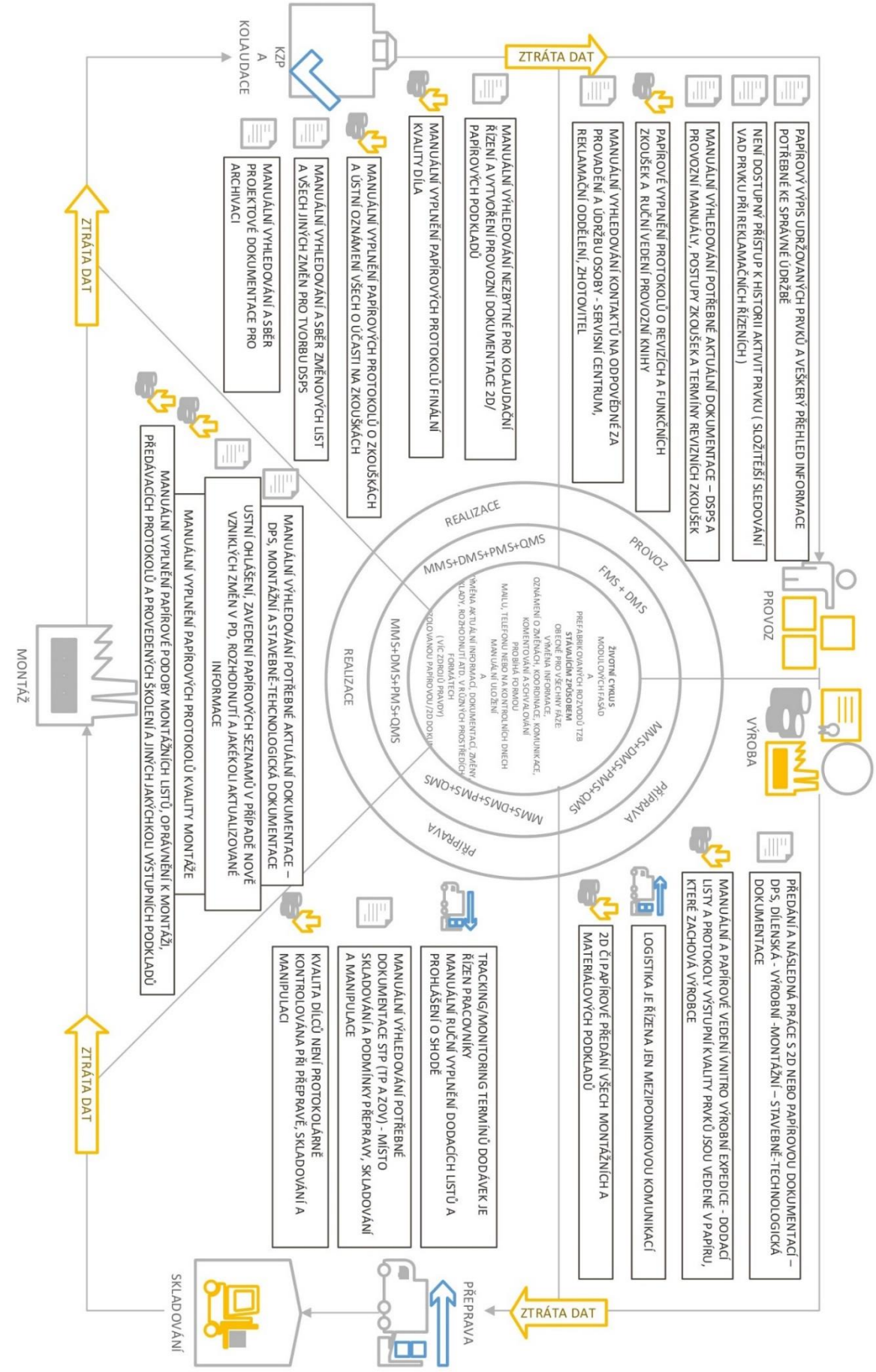
Příloha č.1: ……Shrnutí stavu stávajícího postupu – schéma

Příloha č.2: ……Shrnutí stavu stávajícího postupu – tabulka

Příloha č.3: ……Shrnutí návrhu nového postupu – schéma

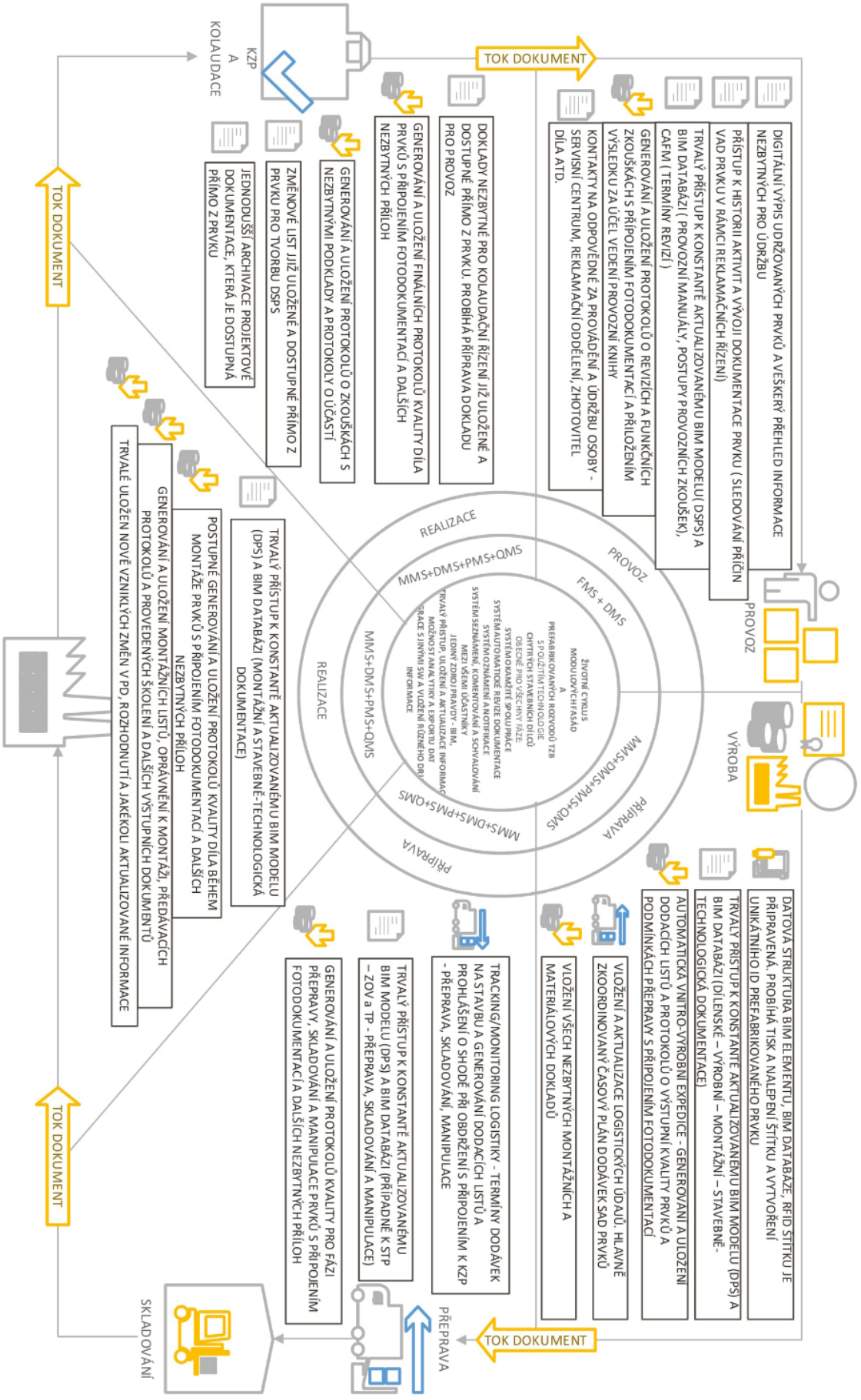
Příloha č.4: ……Shrnutí návrhu nového postupu – tabulka

PŘÍLOHA Č.1 DIPLOMOVÉ PRÁCE – MOŽNOSTI IMPLEMENTACE CHYTRÝCH STAVEBNÍCH DÍLCŮ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ, IVANILOV, 2020



PŘÍLOHA Č.2 DIPLOMOVÉ PRÁCE – MOŽNOSTI IMPLEMENTACE CHYTRÝCH STAVEBNÍCH DÍLCŮ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ, IVANILOV, 2020

PŘÍLOHA Č.3 DIPLOMOVÉ PRÁCE – MOŽNOSTI IMPLEMENTACE CHYTRÝCH STAVEBNÍCH DÍLCŮ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ, IVANILOV, 2020



PŘÍLOHA Č.4 DIPLOMOVÉ PRÁCE – MOŽNOSTI IMPLEMENTACE CHYTRÝCH STAVEBNÍCH DÍLCŮ V POZEMNÍM STAVITELSTVÍ, IVANILOV, 2020