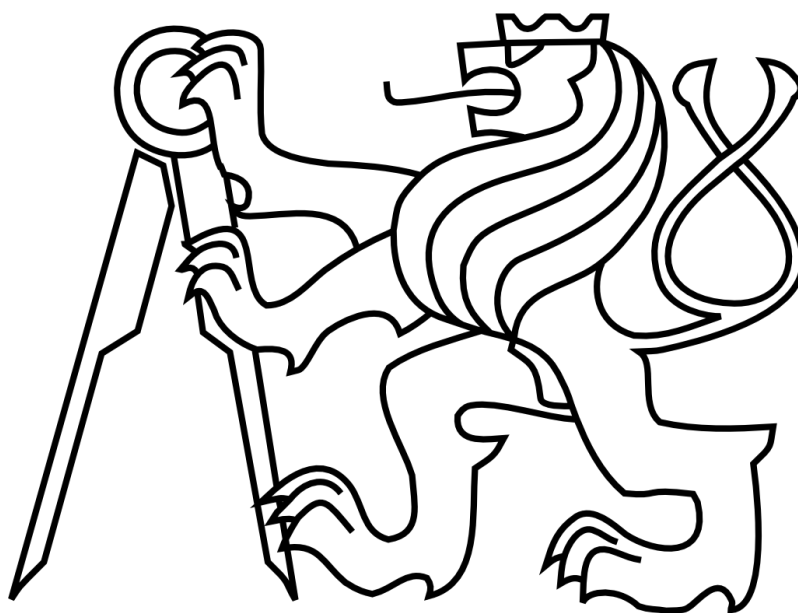


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ FAKULTA STAVEBNÍ**
Katedra technologie staveb



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nástin progresivních trendů ve stavební technologii s
možným využitím ve strategii Stavebnictví 4.0

Ivanilov Artemii

2018

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Kovařík

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze 1. 5. 2018.

.....

Artemii Ivanilov

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Michalu Kováříkovi za cenné rady, odborné připomínky a podporu, Ing. Vyacheslavu Usmanovovi, PhD. za poskytnutí odborné konzultace ke zpracování v praktické části a mým rodičům a kamarádům za skvělé podmínky a zázemí.

Rámcový obsah práce:

- Úvodní část
 - Charakteristika odvětví stavebnictví ČR
- Teoretická část
 - Historie. Vývoj výrobních a informačních technologií
 - Stavebnictví 4.0
 - Klasifikace progresivních oblastí stavebních technologií
- Praktická část
 - Technologický postup robotického zdění
 - Porovnání projektů
 - Vyhodnocení výsledků praktické části
 - Naznačení kroků přechodu na Stavebnictví 4.0.
 - Ověření směru přechodu na Stavebnictví 4.0
- Závěr
- Seznám použité literatury
- Seznám použitých obrázků:
- Seznám použitých grafů a diagramů
- Seznám použitých příloh

Anotace:

Cílem této práce je prozkoumání možností, které dávají stávající dostupné technologie pro realizaci strategie Stavebnictví 4.0 s cílem ověřit možné směry a technická řešení a napomoci tak přechodu na tuto dle autora další nevyhnutelnou fázi stavebnictví. Na základě předpokladu, že koncept Stavebnictví 4.0 bude z velké části vycházet z pětivrstvé architektury, autor stanovil perspektivní oblasti stavebních technologií, které budou základem Stavebnictví 4.0. Průzkumem progresivních technologií, dostupných na trhu k datu sepsání práce, autor vytipoval ty, které se jeví jako perspektivní prvky v koncepci Stavebnictví 4.0 a provedl jejich shrnutí a klasifikaci včetně porovnání výhod a nevýhod s konvenčními technologiemi. Na základě této analýzy autor naznačuje možné trendy stavebnictví směrem k přechodu na Stavebnictví 4.0.

Klíčové slova:

Stavebnictví 4.0, robotizace a automatizace, digitální fabrikace, roboty, automatické a autonomní zařízení, Building Information Model

Annotation:

The aim of this work is to explore the possibilities of existing available technologies for the implementation of the Construction 4.0 strategy to verify possible directions and technical solutions to help to bridge the transition to the next inevitable phase of construction. Based on the assumption that the Construction 4.0 concept will largely be based on five-layer architecture, the author has determined the promising areas of construction technologies to be the basis of Construction 4.0. By exploring progressive technologies available on the market at the time of writing, author outlined those that appeared to be a promising element of the concept Construction 4.0 and made a summary and classification, including a comparison of advantages and disadvantages with conventional technologies. Based on this analysis, the author suggests possible trends in the construction industry towards the transition to Construction 4.0.

Key words:

Construction 4.0, robotics and automation, digital fabrication, robots, automatic and autonomous equipment, Building Information Model

OBSAH

1. Úvodní část	1
1.1. Charakteristika oblasti stavebnictví ČR.....	1
2. Teoretická část	9
2.1. Historie, vývoj výrobních a informačních technologií	9
2.2. Stavebnictví 4.0	12
2.2.1. Stavebnictví a jeho pozice v průmyslu	13
2.2.2. Průmysl 4.0.	12
2.2.3. Koncepte Stavebnictví 4.0:	16
2.3. Klasifikace perspektivních technologií koncepce Stavebnictví 4.0.....	21
2.3.1. BIM.....	21
2.3.2. Digitální fabrikace.....	25
2.3.3. Jednoúčelové roboty, automatická a autonomní zařízení	35
2.3.3.1. Robotická staveništní logistika.....	36
2.3.3.2. Roboty na zemní práce a zakládání	38
2.3.3.3. Roboty na výrobu a umístění výztuže	40
2.3.3.4. Roboty na betonářské práce	42
2.3.3.5. Robotické pokládání dlažeb a obklad	44
2.3.3.6. Robotické svařování	45
2.3.3.7. Robotické zdění	47
2.3.3.8. Roboty na fasádní práce.....	49
2.3.3.9. Roboty na interiérové dokončovací práce.....	51
2.3.4. Progresivní nástroje monitorování a sledování procesu výstavby	53
2.3.4.1. Řízení bezpečnosti	53
2.3.4.2. Řízení kvality	54
2.3.4.3. Materiálový management.....	54
2.3.4.4. Sledování realizace staveb a nákladový controlling.....	54
2.3.5. Výhody a nevýhody uplatnění stavebních robotů na staveništi	55
3. Praktická část	57
3.1. Projekt dvoupodlažního rodinného dvojdomu Strašín	58
3.2. Popis a charakteristika technologie robotického zdění	59
3.3. Technologický postup realizace svislých konstrukcí	62
3.3.1. Základní identifikační údaje.....	62
3.3.1.1. Identifikační údaje stavby.....	62
3.3.1.2. Vymezení předmětu řešení.....	62

3.3.1.3.	Vstupní materiály a výrobky	62
3.3.1.4.	Výpis materiálů	63
3.3.1.5.	Zásady manipulace, dopravy a skladování materiálů	64
3.3.1.6.	Metody kontroly kvality materiálů a kvality provedených prací	65
3.3.2.	Pracovní podmínky	66
3.3.2.1.	Připravenost staveniště	66
3.3.2.2.	Struktura pracovní čety	66
3.3.2.3.	Okolní podmínky při práci	67
3.3.2.4.	Stroje, přístroje a pracovní pomůcky	67
3.3.2.5.	Technologický postup doplněný postupovým diagramem	67
3.3.2.6.	Technologický normál	70
3.3.3.	Jakost provedených prací	71
3.3.4.	BOZ a PO	72
3.3.4.1.	Konkrétní vymezení jednotlivých opatření pro zajištění BOZ a PO PO ...	72
3.3.4.2.	Vymezení odpovědnosti za dodržování těchto podmínek	73
3.3.4.3.	Vliv na životní prostředí	74
3.4.	Porovnání jednotlivých projektů	75
3.4.1.	Orientační ekonomické porovnání	75
3.4.2.	Časové porovnání	77
3.4.3.	Bezpečnost	78
3.5.	Vyhodnocení výsledků praktické části	82
3.6.	Naznačení kroků přechodu na Stavebnictví 4.0.	84
3.7.	Ověření směru přechodu na „Stavebnictví 4.0“.	84
4.	Závěr	86
5.	Seznám použité literatury	88
6.	Seznám použitých obrázků	92
7.	Seznám použitých grafů	94
8.	Seznám použitých diagramů	94
9.	Seznám použitých tabulek	95
10.	Seznám použitých příloh	97

1. Úvodní část

Tato kapitola se věnuje především charakteristice odvětví stavebnictví v národním hospodářství ČR – pozice v ekonomice státu, specifika „transformace“ odvětví v ČR a vlivy na současný stav stavebního procesu. Je nastíněna krátká analýza aktuální problematiky produktivity, kvality a bezpečnosti ve stavebnictví a předpoklad možného řešení těchto problémů a postup průzkumu nabízeného řešení.

1.1. Charakteristika oblasti stavebnictví ČR

Stavebnictví v České republice patří mezi hlavní národohospodářská odvětví a je považováno za jeden z pilířů české ekonomiky. Tvoří značnou část HDP – 5,6 %¹, zaměstnává 13 %¹ osob pracujících v civilním sektoru. Stavebnictví se vyznačuje vysokou mírou mezispotřeby. Tento fakt má velký vliv na řadu dalších odvětví hospodářství. *„To lze 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.“* [1]

Je třeba si uvědomovat specifiku související s transformací stavebnictví po 1989 v ČR. Na rozdíl od většiny států Evropské unie (EU) od roku 1948 až do roku 1989 byla Československá socialistická republikasoučástí zemí tzv. sovětského bloku a od toho se odvíjela také struktura národního hospodářství ČSSR. Byla zavedena centrálně plánovaná ekonomika, která je charakteristická absencí trhu a přítomností plánu, který vypracovává stát. *„Motivace v podobě naplňování plánu byla nedostatečná a ve svém konečném důsledku vedla k technickému zaostávání, ztrátě dynamiky růstu efektivnosti, a tím ke ztrátě konkurenceschopnosti s okolním světem.“* [2]

Po změně vlády v roce 1990 se začala měnit i ekonomika státu – z centrálně plánované na tržní. Stavebnictví patřilo mezi odvětví ekonomiky, na kterých se změny projevíly nejvýrazněji. V odvětví stavebnictví můžeme v průběhu transformačního

¹ SPS a ÚRS PRAHA a.s. *Stavebnictví v kostce 2017*. Praha, 2017. ISBN 978-80-7369-681-8.

procesu vysledovat čtyři hlavní faktory, které měly zásadní vliv na utváření jeho nové struktury. Těmito faktory jsou [2]:

- privatizace bývalých státních podniků,
- zakládání nových firem, které umožnil vznik soukromého vlastnictví,
- nárůst státních zakázek jako důsledek deficitu budování infrastruktury,
- globalizace odvětví jako důsledek vstupu do EU a širšího zapojení do mezinárodní spolupráce.

Otevření hranic po listopadu roku 1989 s sebou přineslo nové stavební technologie a příliv zahraničního kapitálu. Ten znamenal příchod zahraničních firem a levné pracovní síly. Rovněž to způsobilo zvýšení developerské činnosti. Dalším výrazným faktorem ovlivňujícím stavebnictví byla celosvětově probíhající globalizace. Po počátečním přechodovém období spojeném s poklesem hospodářství dochází od roku 2000 k růstu ekonomiky a taktéž i k růstu tempa stavebnictví. Ve stavebnictví dochází k neustálému zlepšování příznivých výsledků. Nárůst počtu podniků od roku 2000 činil 20 %. Produktivita práce se meziročně zvýšila v průměru o 11,8 % a oproti roku 2000 dokonce o 56,3 %. Stavební produkce se zvýšila o 20 %. Velký vliv na odvětví stavebnictví měla také ekonomická krize 2008–2012. V roce 2008 lze mluvit o prvním projevu recese – stagnaci, jevu, který se projevil nejen dříve než v jiných odvětvích, ale i dříve než se o krizi (recesi) začalo obecně mluvit. Krizové příznaky se v ukazateli objemu stavební produkce projeví ostřeji v dalších dvou letech meziročním poklesem, který se postupně prohloubil z 1,0 % v roce 2009 na výrazných 7,6 % v roce 2010. [3]

V současné době je stavebnictví charakterizováno rostoucí složitostí výrobků, vysokými požadavky na kvalitu a na rychlost výstavby. [32] Stavebnictví ve státech EU vykazuje po roce 2000 negativní zaostávání v růstu produktivity oproti ostatním odvětvím hospodářství (viz graf 1). Toto zvětšující se zaostávání stavebnictví je způsobeno řadou faktorů. Zásadním faktorem je skutečnost, že stavební výroba je charakterizována vysokým podílem ruční práce. Využívání výrobních technologií a strojů ve stavebnictví se od 80. let snížilo, zatímco užívání lidské práce se zvyšuje. [5] To vyvolává i řadu dalších negativních vlivů. Výkon lidské pracovní síly není 100% definovatelný, předvídatelný

a spočitatelný, a představuje tak vysokou rizikovost a závisí na povětrnostních podmínkách, velikosti a kompetenci pracovní skupiny, složitosti úkolu, intenzitě koordinace atd. [5]. Stavební výroba vykazuje i díky vysokému podílu ruční práce vysokou úrazovost (viz diagram 1). Přítok levné pracovní síly po 1989 a náročnost práce v tomto odvětví způsobily nízký zájem o obor stavebnictví u mladých generací a nedostatek kvalifikovaných zaměstnanců. Podíl zaměstnaných v těchto profesích dlouhodobě pozvolna klesá a podle prognóz vývoje zaměstnanosti lze do roku 2020 očekávat pokračování tohoto trendu (viz graf 4 a tabulka 1). Vzhledem k vysoké míře ruční práce není možné v reálném čase provádět přesné plánování a monitorování práce, materiálů a stavebních výrobků. Důsledkem toho je nízký stupeň digitalizace (viz graf 4). Projektování, plánování a realizace staveb 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. [33]

“Nedostatečný rozvoj výrobních technologií znamená, že organizační formy, které umožňují efektivní výrobu složitých dílů bez zbytečných nákladů a materiálů, není možné realizovat. Organizace a management by se pak musely zaměřit spíše na problémy vyplývající ze skutečnosti, že lidská pracovní činnost není 100% definovatelná, předvídatelná a spočitatelná z hlediska času, nákladů, kvality a rychlosti. Počítačové systémy a nástroje byly poslední dobou vyvinuty v oblasti designu, projektování a inženýrství, sledování a monitorování dat, informačních a výpočetních technologií, simulace stavebních procesů, RFID – řízení výstavby atd. Dá se však dospět k závěru, že ve stavebnictví formy integrované počítačové podpory jsou v současné době neuskutečnitelné kvůli vysokému podílu ruční práce a malému využití automatizace samotného stavebního procesu. Odvětví stále spoléhá na softwarové nástroje jenom v designu a inženýrství. Kromě toho dodavatelé projektů 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, která jsou řízena v poměru 1:1–1 operátor ku 1 stroji.” [5]

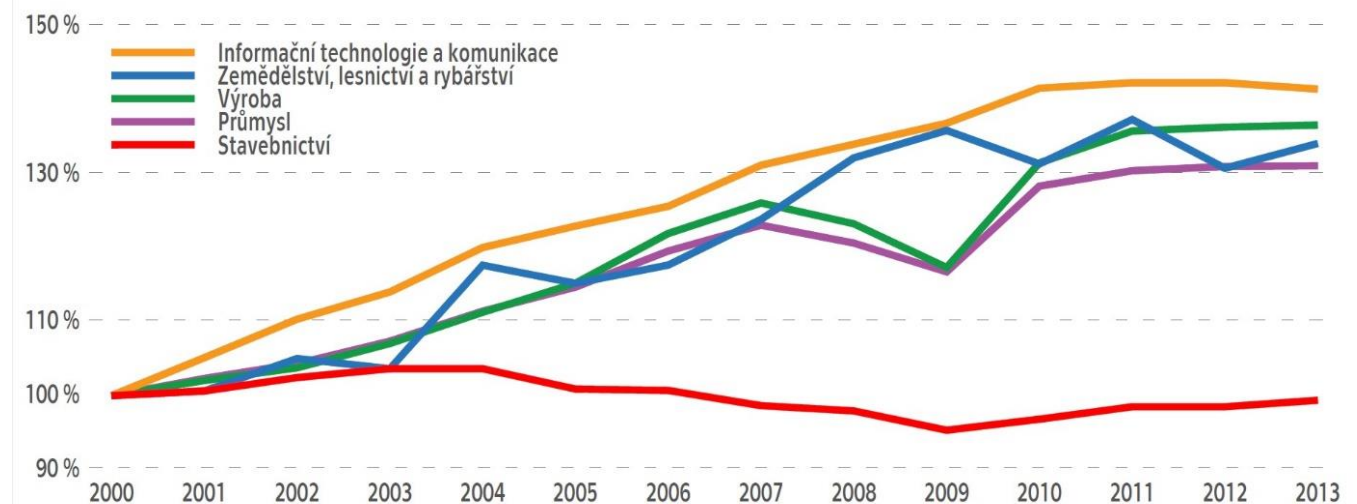
Stavebnictví je také charakteristické velmi nízkými výdaji na vědu a výzkum, což zpomaluje vědecký výzkum a zavedení inovačních stavebních technologií do stavební

výroby (viz diagram 2). Patří mezi relativně konzervativní odvětví, a to se významně projevuje v jeho schopnosti investovat prostředky do inovací v oblasti informačních technologií. Je třeba také zmínit, že toto odvětví je velmi neefektivní ve využívání surovin – obrovská spotřeba materiálů a energie (viz graf 2) a víc než 50 % materiálu započteného do nákladů stavebních děl činí odpad. [5] Současné stavební metody a materiály nejsou šetrné k životnímu prostředí. [20] Dá se však dospět k závěru, že v současné době je vlivem problémů a faktorů již popsanych výše odvětví stavebnictví v krizové situaci. Vlivem těchto faktorů se prodlužuje doba výstavby, vznikají zbytky materiálů a odpady, zvyšují se náklady, vyskytuje se nízká kvalita dílů, nízká marže atd., a to má vliv nejen na jednotlivá odvětví, ale na rozvoj celého hospodářství ČR. Současný stav odvětví stavebnictví představuje výzvu, pro kterou konvenční stavební technologie v současnosti nemají řešení. [4] To platí i ve vysoce rozvinutých zemích, kde řada stavebních projektů trpí nedostatkem času, kvality a nákladů. Stavebnictví v ČR i v EU patří k odvětvím, kde produktivita práce stagnuje (viz graf 1). Lze předpokládat, že je to zapříčiněno nejen rostoucí komplikovaností staveb a jejich konstrukcí, reagujících na různé energetické, ekologické a další požadavky, ale i rozsáhlým uplatněním lidské pracovní síly s nižší produktivitou.

Na základě výzkumu problematiky stavebnictví a možných řešení autor této práce předpokládá, že řešením výše nastíněných problémů může být přechod na koncepci „Stavebnictví 4.0“. Tato koncepce navazuje na průmyslový koncept „Průmysl 4.0“, neboli 4. průmyslová revoluce, který je založen na digitalizaci celého životního cyklu výrobků a hyper-flexibilních a na intenzivně automatizovaných výrobních systémech, v nichž vysoce autonomní, flexibilní a distribuované, avšak stále propojené automatizované a robotizované systémy společně spolupracují na produkci individuálních a složitých produktů v reálném čase s trvale udržitelnou produktivitou. [10] Koncepce „Stavebnictví 4.0“ obecně vychází z usnesení vlády ČR k iniciativě „Průmysl 4.0“ (viz [10]), ale v ČR ucelená vize neexistuje ani na úrovni akademické sféry, ani na úrovni státní. Proto si na základě vlastní hypotézy, že koncepce „Stavebnictví 4.0“ je schopna řešit řadu problémů odvětví stavebnictví spojených s nízkým růstem produktivity, obrovskou spotřebu surovin a energie, významným množstvím odpadů, vysokou mírou nebezpečí práce atd., autor stanovil tyto cíle bakalářské práce:

- definovat koncepci „Stavebnictví 4.0“,
- prozkoumat možnosti, které dávají stávající dostupné technologie pro realizaci strategie „Stavebnictví 4.0“ s cílem ověřit možné směry a technická řešení, a napomoci tak přechodu na další fázi ve stavebnictví,
- průzkumem progresivních technologií dostupných na trhu k datu sepsání práce posoudit aspekty jedné vybrané technologie z koncepce „Stavebnictví 4.0“ na reálném příkladu použití v praxi,
- na základě výzkumu teoretické části a výsledků praktické části ověřit možné trendy stavebnictví směrem k přechodu na „Stavebnictví 4.0“ a naznačit kroky pro uskutečňování této koncepce.

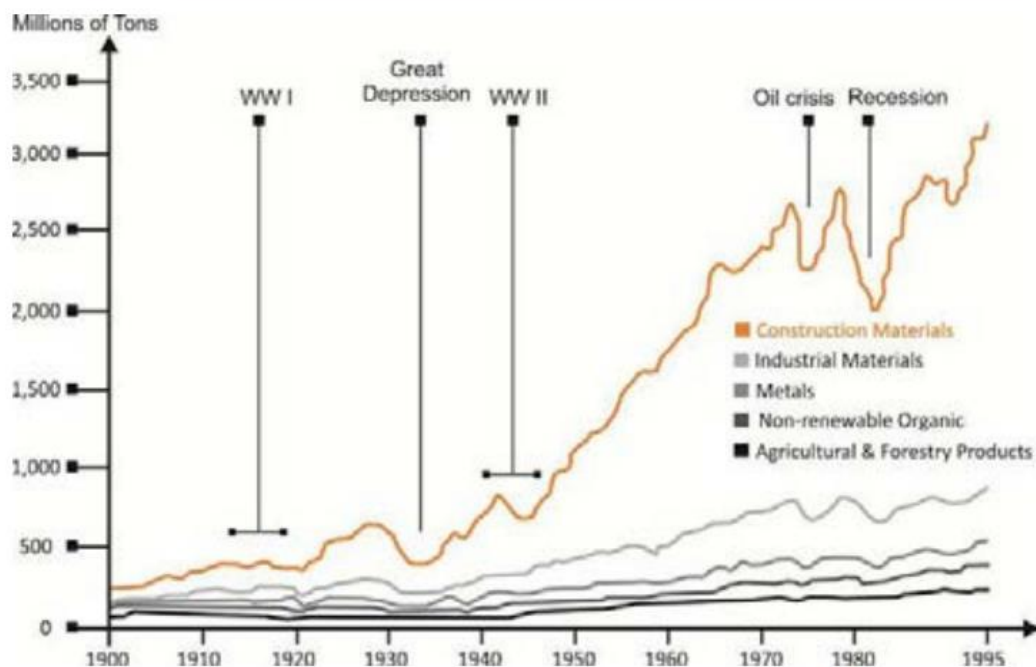
„Jedním z nejvýraznějších problémů, které se na hospodářských výsledcích ČR v minulých letech podepsaly, je situace ve stavebnictví. Negativně ji ovlivnila zejména příliš pomalá výstavba inženýrské infrastruktury. Dlouhodobě je v této oblasti Česká republika mezi evropskými státy jedna z nejméně efektivních, proto musí pokračovat systémové kroky i manažerská opatření směrem k akceleraci rychlosti výstavby. Od počátku ekonomické krize v roce 2008 klesal objem stavební produkce a rozdíl s vyspělou Evropou se nesnižoval, ale naopak zvyšoval. Mezi 19 zeměmi EU, členy Euroconstructu, bylo české stavebnictví svými výsledky za konjunkturální období 2000–2008 na 6. místě, za období 2008–2015 kleslo na 15. místo.“ [1]



Graf 1 - Vývoj produktivity ve vybraných odvětvích hospodářství EU mezi lety 2000 až 2013, upraveno Ing. Michalem Kovářkem. zdroj: [31]

Řemeslný obor ve stavebnictví	Počet absolventů 2005	Počet absolventů 2015
Zedník	705	482
Pokrývač	74	25
Podlahář	31	18
Instalatér	1070	874
Malíř a lakýrník	135	105
Kameník	11	2

Tabulka 1 - Počet absolventů učebních oborů se zaměřením na stavebnictví 2005 x 2015, ČR, zdroj: ČSU



Graf 2 - Graf spotřeby surovin a energie v různých odvětvích hospodářství, USA, zdroj: [5]

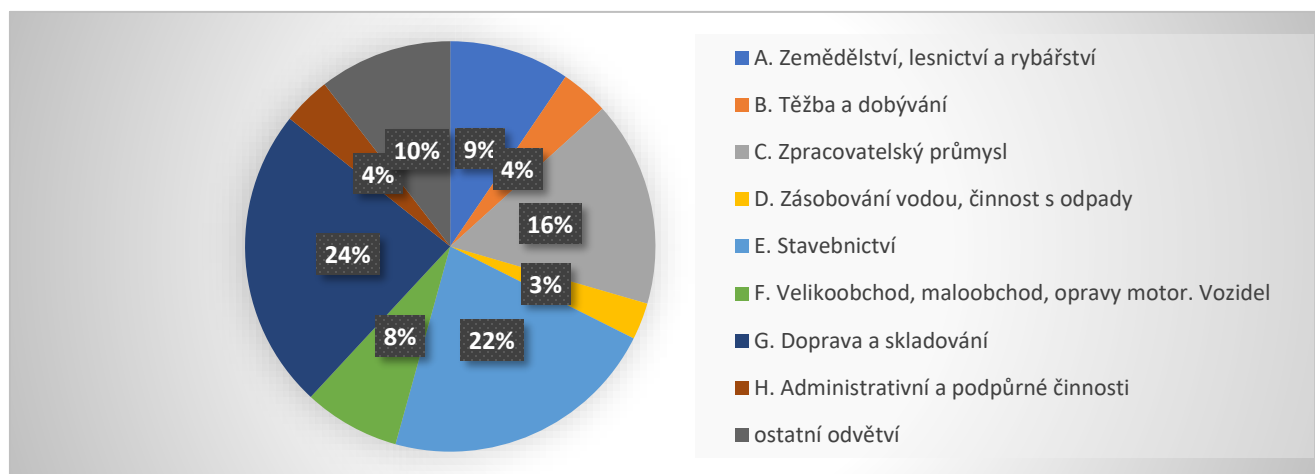
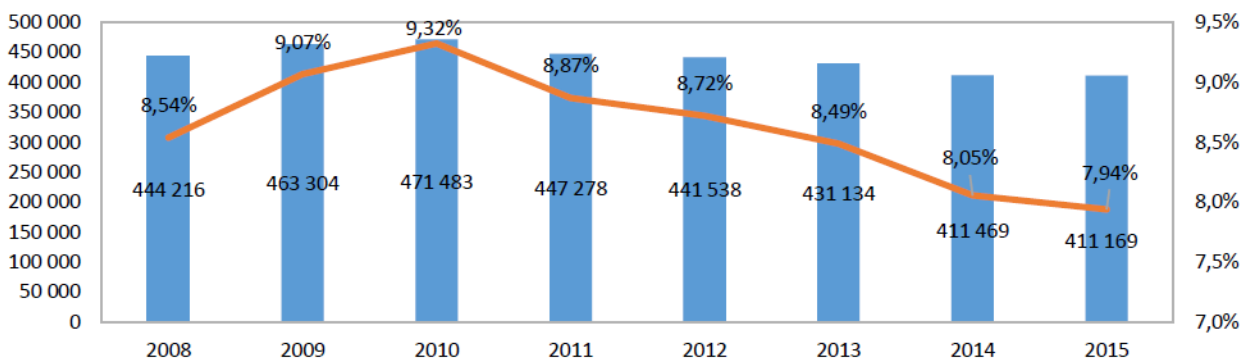


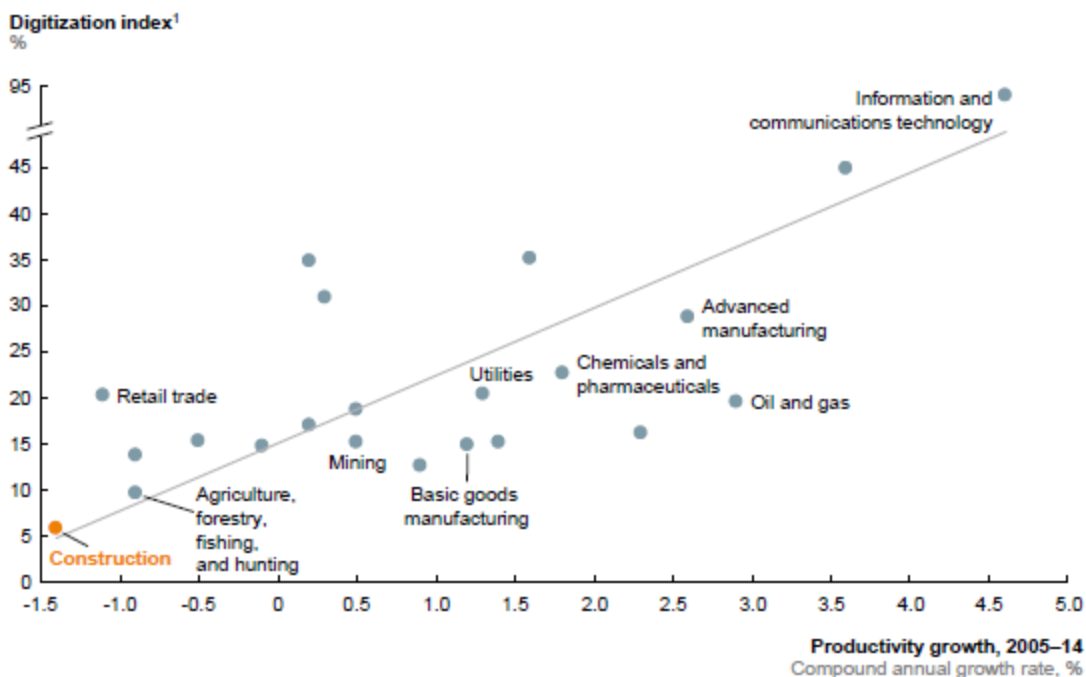
Diagram. 1 - Smrtelná pracovní úrazovost v odvětvích ČR, 2016, zdroj: ČSÚ

Zaměstnané osoby a podíl zaměstnaných osob stavebnictví na celé ekonomice dle národních účtů



Graf 3 - Zaměstnané osoby a podíl zaměstnaných osob stavebnictví na celé ekonomice, 2016, ČR, Zdroj: [6]

Lower digitization in construction relative to other industries has contributed to the productivity decline



¹ Based on a set of metrics to assess digitization of assets (8 metrics), usage (11 metrics), and labor (8 metrics); see technical appendix for full list of metrics and explanation of methodology.

Graf.4. Stupeň digitalizace ve stavebnictví a ostatních odvětvích hospodářství, 2015, Němcko, USA Zdroj: [7]

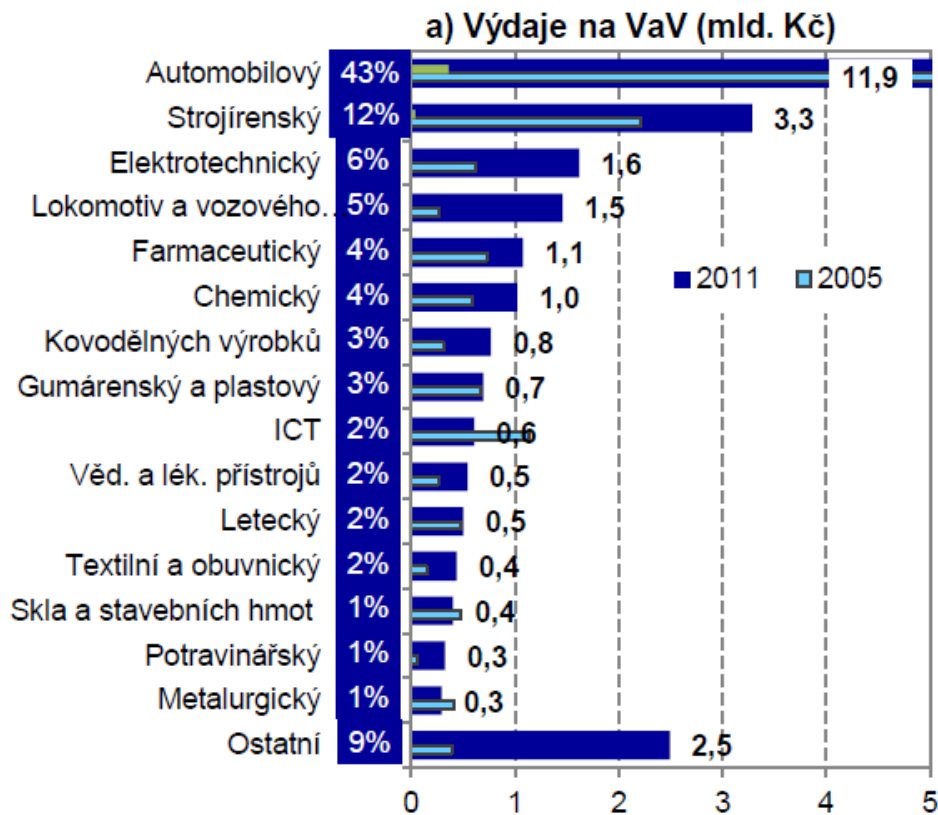
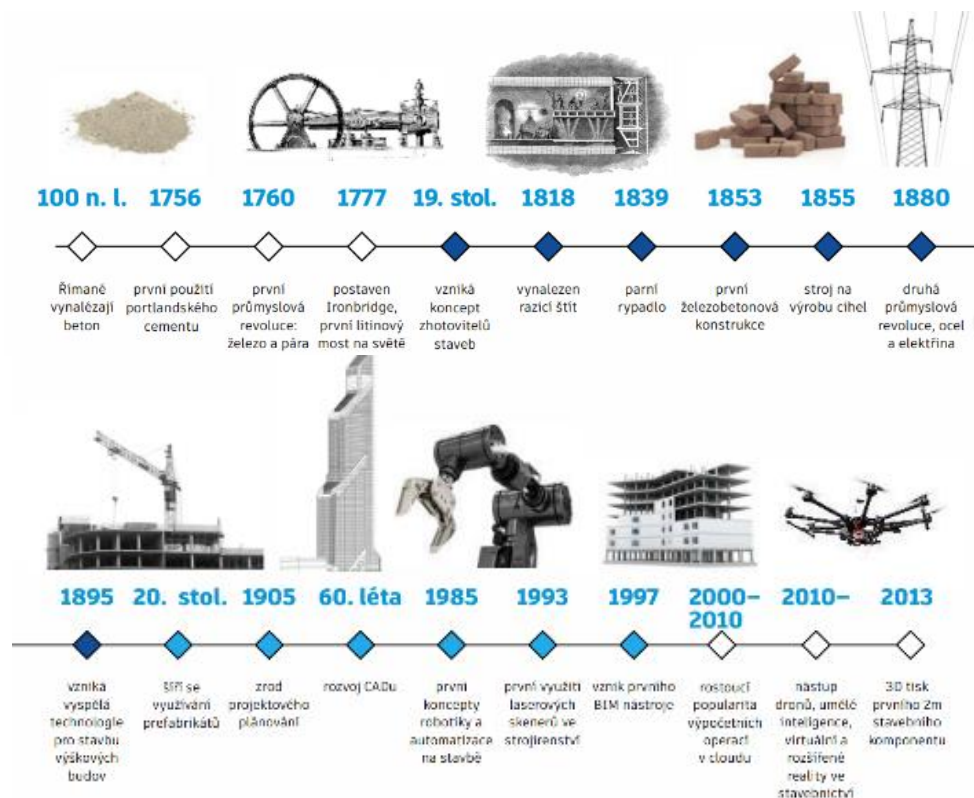


Diagram 2 - Výdaje na vědu a výzkum, 2015/2011 (stavebnictví patří do kategorie "Ostatní"), ČR. Zdroj: ČSÚ

2. Teoretická část

Tato kapitola se věnuje především stanovení koncepce „Stavebnictví 4.0“ a vytipování směrů a progresivních technologií této koncepce. V kapitole bude vytvořeno jejich shrnutí a klasifikace včetně popisu přínosů do procesu výstavby, opatření při implementaci do technologického procesu a budoucího rozvoje technologie. V podkapitole 2.1 Historie, vývoj výrobních a informačních technologií bude ukázána cesta vývoje výrobních a informačních technologií vedoucí ke vzniku koncepce 4. průmyslové revoluce a vliv tohoto vývoje na situaci ve stavebnictví. V podkapitole 2.2 Stavebnictví 4.0 bude popsána pozice odvětví stavebnictví v průmyslu a následně naznačen vztah mezi stavebnictvím a průmyslem v rámci 4. průmyslové revoluce a stanovena koncepce „Stavebnictví 4.0“. V podkapitole 2.3 Klasifikace progresivních technologií koncepce „Stavebnictví 4.0“ bude představována klasifikace progresivních technologií v rámci tří základních směrů koncepce „Stavebnictví 4.0“, a to včetně popisu.

2.1. Historie, vývoj výrobních a informačních technologií.



Obrázek.1. Vývoj výrobních a informačních technologií. Zdroj: [8]

Do konce 18. století byla jak při řemeslné výrobě, tak i při stavební převážně využívána ruční práce, která byla v určitých případech doplněna mechanickým zařízením poháněnými lidskou nebo přírodní silou. Na konci 18. století nastala první průmyslová revoluce, která způsobila hodně změn v ekonomických, politických a sociálních oblastech států: industrializace, výstavba železnic, nahrazování těžké fyzické práce parními stroji atd. Ve stavebnictví to znamenalo začátek používání mechanického zařízení poháněného parním motorem (parní rypadlo, stroj na výrobu cihel) a železniční dopravy. Začátkem 20. století nastala druhá průmyslová revoluce. Jejími hlavními přínosy jsou masová produkce typizovaných výrobků díky vynálezu pásové výroby, individualizace dopravy díky vynálezu spalovacího motoru, rozšíření elektřiny do výroby a domácností, Bessemerův konvertor. Ve stavebnictví – pásová výroba prvků HSV i PSV, prefabrikace, rozšíření výstavby ŽB skeletů s prefabrikovanými prvky, rozšíření strojů na stavbě (rypadla, nákladní auta, elektrické jeřáby, pneumatická kladiva, vrtačky atd.) [9]. Výsledky zavedení technologií 1. a 2. průmyslové revoluce do významných odvětví průmyslů lze vidět níže (viz tab. 2).

	Textilní průmysl	Automobilový průmysl	Letecká výroba	Ražba tunelů
Období zavedení	1805	1913	1930-1945	1980s
Technologie	Žakárový stroj	Taylorism + Montážní linka	Taylorism + Montážní linka	TBM
Rychlost výroby	od 2 řádků tkaniny až po 48 řádků tkaniny 24násobné zlepšení	zkrácení doby od 10 dnů do 1 dne 10násobné zlepšení	snížení doby trvání z několika měsíců na několik dní 10násobné zlepšení	snížení doby od 10 let na 1 rok 10násobné zlepšení
Snížení lidské práce	1 stroj nahrazuje 2-4 tkalců	od několika aut na jednoho pracovníka / rok až po stovky aut / na jednoho pracovníka / rok	z méně než jedno letadlo / pracovníka / rok na několik letadel / pracovníka / rok	Od stovek až po 20 pracovníků neustále na místě

Tabulka 2 - Přechod průmyslových odvětví od tradiční výroby na strojní výrobu. Rychlost výroby a snížení lidské práce. Zdroj: [5]

V 70. letech minulého století hledali inženýři způsob, jak popsat realitu a technické problémy, které v sobě obsahují obrovské množství neznámých a velké objemy dat, které člověk není schopen efektivně zpracovat a vyřešit v rozumném čase. Řešením je převod na matematický model, který je přesně definován. Proto došlo k rozvoji počítačových systémů – strojů, schopných zpracování ohromného množství dat a řešení složitých matematických úloh [9]. Zavedení počítačů – moderních prostředků na zpracování a přenos informací – do různých oblastí činnosti sloužilo jako začátek přechodu na informační společnost a třetí průmyslovou revoluci nebo digitální revoluci. Tato revoluce je charakterizována příchodem mikroprocesorů, důsledkem toho je rozšíření využití počítačů, automatizace jednotlivých výrobních linek, nástup široké digitalizace a robotizace. Ve stavebnictví dochází k rozvoji Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided engineering (CAE), Computer-Aided Manufacturing (CAM), první koncepce robotizace a automatizace na stavbě, digitální geodezie a prvního využití laserových skenerů. [9]

Výsledkem digitální revoluce je nástup digitalizace, robotizace a vynález internetu – horizontální sítě. Pokud zkoumáme vývoj technologií od první až ke třetí průmyslové revoluci, pak můžeme zvýraznit tento charakteristický trend – stálý rozvoj automatizačních systémů a systémů řízení. Ve druhé polovině 19. století a na počátku 20. století se s vynálezem elektřiny objevily možnosti organizace výrobního procesu. Jako přirozený důsledek tohoto procesu se v pozdních čtyřicátých letech objevila kybernetika – vědecký směr, specializující se na řízení informace. V šedesátých letech se s příchodem počítačů stávají systémy technologického a organizačního řízení důležitým procesem. Na konci 20. století se role řídicích systémů stala srovnatelnou s hodnotou technologií, kterou tyto systémy řídí. Revoluce snímačů, která byla zahájena od senzorů RFID, počítačových sítí, sběru a shromažďování dat o médiích a dalších technologií, umožnila řídicím systémům získat prakticky veškeré informace o okolním světě. Bylo získáno tolik údajů, že se začalo hovořit o Big Datach. V rámci německé státní Hi-Tech iniciativy byla předložena dne 8. dubna 2013 na veletrhu v Hannoveru finální zpráva agendy 4. průmyslové revoluce neboli „Průmysl 4.0“. [34]

„Průmysl a celá ekonomika prochází zásadními změnami způsobenými zaváděním informačních technologií, kyberneticko-fyzikálních systémů a systémů umělé inteligence do výroby, služeb a všech odvětví hospodářství. Dopad těchto změn je tak zásadní, že se o nich mluví jako o 4. průmyslové revoluci.“ [10]

Přesná definice a popis koncepce „Průmysl 4.0“ a vliv tohoto konceptu na odvětví stavebnictví budou popsány v kapitole 2.2 „Stavebnictví 4.0“.

2.2. Stavebnictví 4.0

2.2.1. Stavebnictví a jeho pozice v průmyslu

Agenda „Stavebnictví 4.0“ je částí jednoho ustanovení, a to „Aliance Společnost 4.0“, pod touto aliancí by měly vzniknout pracovní-koordinační výbory pro jednotlivé „4.0“ agendy (jak „Průmysl 4.0“, tak i „Stavebnictví 4.0“). Koncept „Průmysl 4.0“ byl vytvořen a rozvíjen převážně pro průmyslovou výrobu. [10] Strategie přechodu stavebnictví na čtvrtou průmyslovou revoluci („Stavebnictví 4.0“) se teprve začíná tvořit. Kromě jiného má stavebnictví oproti průmyslové výrobě několik důležitých specifik, která ovlivňují technologické, organizační a ekonomické fungování podniků. Rozdíly stavebnictví a průmyslové výroby je vidět v následujícím porovnání:

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 3 - Rozdíly stavebnictví a průmyslové výroby. Zdroj: [11]

² neplatí pro prefabrikaci a pro závěrečné fáze výstavby

Vzhledem ke specifickým vlastnostem stavebnictví se dá toto odvětví hospodářství považovat za zvláštní oblast výrobní činnosti a přímo implementovat nástroje 4. průmyslové revoluce do stavebnictví nebude podle autora možné. Proto je třeba prozkoumat nástroje „Průmyslu 4.0“ a vzhledem k specifikům stavební výroby adoptovat tyto nástroje do konceptu „Stavebnictví 4.0“.

2.2.2. Průmysl 4.0

“Průmysl a celá ekonomika prochází zásadními změnami způsobenými zaváděním informačních technologií, kyberneticko-fyzikálních systémů a systémů umělé inteligence do výroby, služeb a všech odvětví hospodářství. Dopad těchto změn je tak zásadní, že se o nich mluví jako o 4. průmyslové revoluci. Průmysl 4.0 transformuje výrobu ze samostatných automatizovaných jednotek na plně integrovaná automatizovaná a průběžně optimalizovaná výrobní prostředí. Vzniknou nové globální sítě založené na propojení výrobních zařízení do kyberneticko-fyzických systémů – CPS (angl. Cyber – Physical Systems). CPS budou základním stavebním prvkem “inteligentních továren“, budou schopny autonomní výměny informací, vyvolání potřebných akcí v reakci na momentální podmínky a vzájemné nezávislé kontroly. Senzory, stroje, dílce a IT systémy budou vzájemně propojeny v rámci hodnotového řetězce přesahujícího hranice jednotlivé firmy. Takto propojené CPS na sebe budou pomocí standardních komunikačních protokolů na bázi internetu vzájemně reagovat a analyzovat data, aby mohly předvídat případné chyby či poruchy, konfigurovat samy sebe a v reálném čase se přizpůsobovat změněným podmínkám.” [10]

„Průmysl 4.0“ se zakládá na 12 technologických trendech (viz obr. 4):

1. *kybernetická bezpečnost* – bezpečnostní opatření k zajištění důvěrnosti, celistvosti a dostupnosti dat v oblasti průmyslové automatizace a průmyslových komunikačních sítí pro potřeby jednoho podniku i jejich řetězců,
2. *kvalitní komunikace a komunikační infrastruktury*, spolehlivé a bezpečné vysokorychlostní komunikace, prostřednictvím pevných, bezdrátových i družicových sítí,

3. *rozšířená realita* – propojení fyzického a virtuálního světa, přidávání vizuálních informací na skutečné fyzické objekty,
4. *Big Data* – zpracování a analýza velkých dat,
5. *autonomní roboty* – autonomní, flexibilní propojené, automatizované a robotizované systémy,
6. *digitální fabrikace* – umožňující přímou výrobu digitálních modelů do fyzických výrobků prostřednictvím výrobních zařízení umožňujících číslicové řízení počítačem (CNC) a virtuálních modelů výrobků (CAD, BIM, mračno bodů) [33],
7. *senzory* – nástroj pro měření, snímání a zobrazení informací pro člověka nebo jiný stroj,
8. *simulace* – počítačový program, který se pokouší simulovat abstraktní model určitého systému pro zadaná vstupní data,
9. *systémová integrace* – proces spojování různých softwarových komponent a subsystémů v jeden fungující celek,
10. *Cloud počítání* – velké množství dat (např. GPS/GNSS data pohybů materiálů na staveništi) může být uloženo a zpracováno vzdáleně na serverech pomocí cloudových servisů,
11. *Internet věcí* – síť fyzických zařízení, vozidel, domácích spotřebičů a dalších zařízení, která jsou vybavena elektronikou, softwarem, senzory, pohyblivými částmi a síťovou konektivitou, která umožňuje těmto zařízením propojit se a vyměňovat si data,
12. *kybernetika a umělá inteligence* – teoretické principy organizace, řízení, rozhodování a učení se ve složitých systémech. [10]

Z tohoto popisu vyplývá, že základní charakteristiky, které bude mít “inteligentní továrna“ lze shrnout následně:

- výrobní procesy jsou optimalizovány v rámci celého hodnotového řetězce díky vertikálně i horizontálně integrovaným IT systémům,
- izolované výrobní jednotky jsou nahrazeny plně automatizovanými a vzájemně propojenými výrobními linkami,
- fyzické prototypy, výrobní prostředky a výrobní procesy jsou virtualizované,

- vzájemně komunikující roboty, výrobní zařízení a výrobky činí autonomní rozhodnutí v reálném čase a výrobní zařízení se samo optimalizují v závislosti na parametrech produktu. [10]

Podle předpokladů autora by bylo zjednodušené, kdybychom došli k závěru, že strategie 4. průmyslové revoluce znamená digitalizaci celého životního cyklu výrobku, využívající 4 hlavní principy:

- *robotizace*, případně zavádění nové generace autonomních a inteligentních robotů, které budou vzájemně propojené, schopné konfigurovat a optimalizovat výrobu dle specifikace produktu a rozhodovat v reálném čase. (tj. *autonomní roboty, digitální fabrikace*),
- *informatizace*, případně rychlý sběr, automatické zpracování, vizualizace informace a ochrana těchto informací ve všech fázích životního cyklu výrobku (tj. *kybernetická bezpečnost, rozšířená realita, Big Data, senzory, simulace, Cloud vypočítání*),
- *komunikatizace*, případně propojené kyberneticko-fyzické systémy vybavené prvky umělé inteligence, které budou ve výrobním procesu autonomně zabezpečovat vybrané činnosti či systém komunikace mezi autonomními a inteligentními roboty prostřednictvím sebrané a zpracované informace (tj. *komunikace a komunikační infrastruktury, systémová integrace, Internet věcí, kybernetika a umělá inteligence*),
- *socializace či customizace*, případně výroba unikátních výrobků v rámci masové výroby. Díky vývoji digitálních a autonomních systémů bude narůstat stupeň customizace, decentralizovaná a personální fabrikace.

2.2.3. Koncepce Stavebnictví 4.0

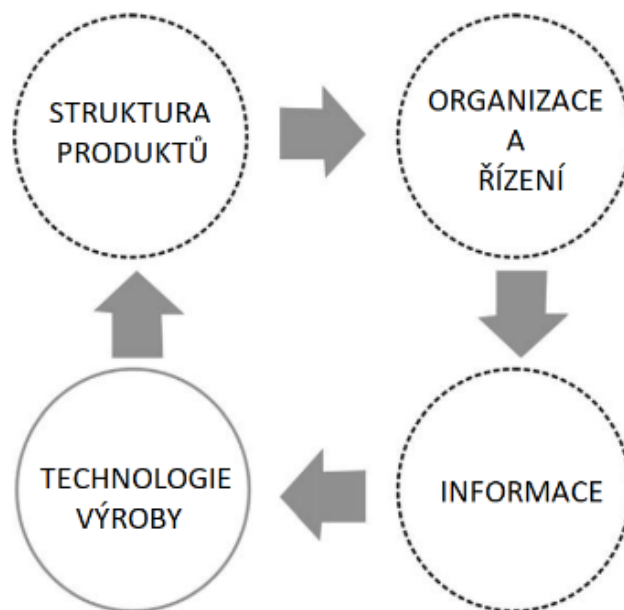
V ČR se ucelená strategie přechodu stavebnictví na 4. průmyslovou revoluci teprve začíná tvořit.

“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.” [27]

Vize "Stavebnictví 4.0" se týká 4. průmyslové revoluce a představuje zásadní výzvu pro celé odvětví stavebnictví. Jak bylo výše ukázáno, pokud jde o automatizovanou výrobu a úroveň digitalizace, je stavební výroba stále výrazně za jinými odvětvími. Vzhledem k specifikům stavební výroby (viz. 2.2.1 Stavebnictví a jeho pozice v průmyslu) si autor klade za cíl adoptovat hlavní principy strategie „Průmysl 4.0“ a na základě toho definovat koncepci „Stavebnictví 4.0“. V průmyslu existuje interakce 4 základních principů výroby (viz obr. 2):

- *technologie výroby*, případně strojírenské technologie, nedostatek strojních technologií by neumožnil efektivní práci hodnotového řetězce ve výrobě,
- *informace*, případně rychlý sběr, automatické zpracování, vizualizace informace a ochrana této informace ve všech fázích životního cyklu výrobku,
- *organizace a řízení*, případně kontrola a řízení výrobních prostředků (materiál, stroje a lidé) během transformace životního cyklu výrobku,
- *struktura produktu* synchronizuje požadavky uživatelů s požadavky výrobce a řídí schopnost zpracovávat a měnit produkt po celou dobu životnosti od plánování až po výrobu a používání.

Tato interakce je klíčem k automatizované výrobě produktů a stálému zvyšování efektivity, kvality a složitosti výrobků. [5]



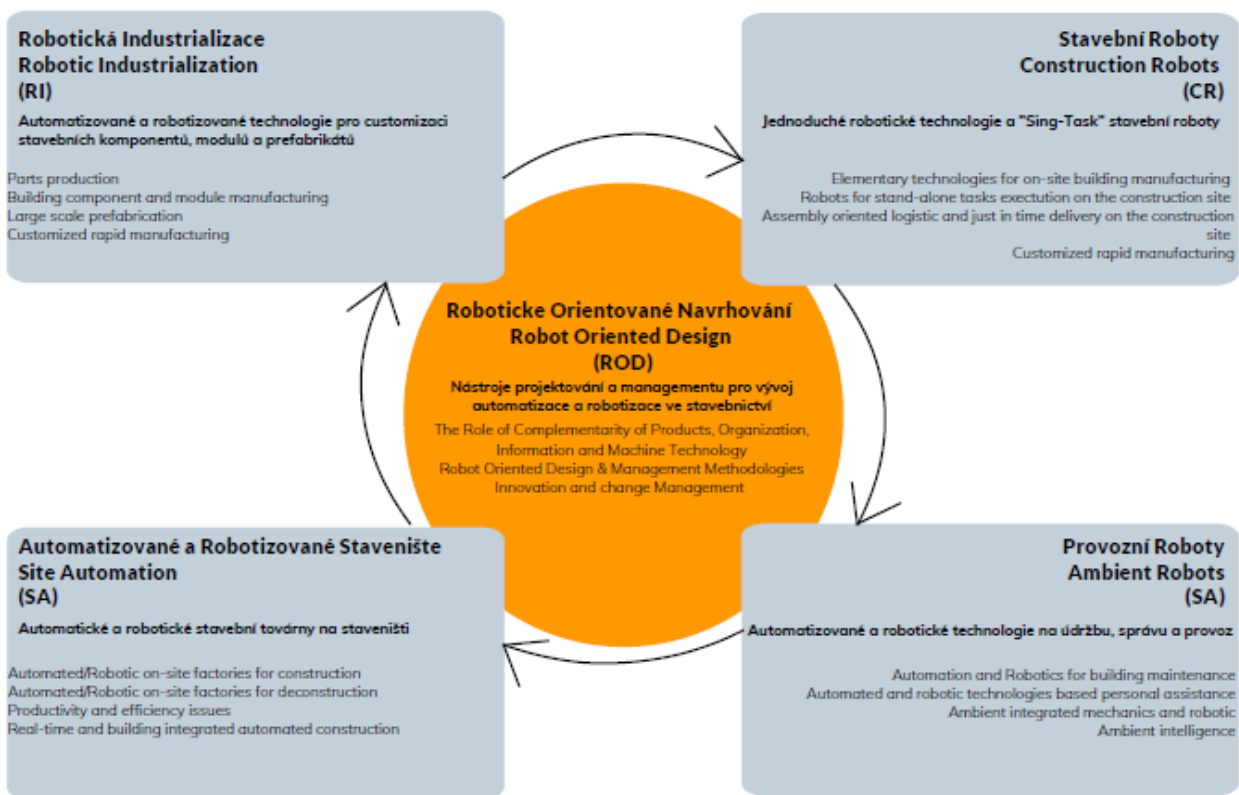
Obrázek. 2 Interakce 4 základních principů výroby v průmyslu; Zdroj: [5]

Z uvedeného lze předpokládat, že interakce 4 základních principů výroby odpovídá 4 hlavním principům, které využívá 4. průmyslová revoluce. To opakovaně dokazuje, že koncepce „Průmysl 4.0“ úplně mění zásady průběhu výrobního procesu ze samostatných izolovaných automatizovaných jednotek na plně integrovaná automatizovaná a průběžně optimalizovaná výrobní prostředí.

Ve stavebnictví funguje tato interakce rovněž, ale vzhledem k specifikům odvětví stavebnictví bude mít jinou formu. *Technologie výroby* hraje tedy ústřední roli v popsané interakci jako hlavní části stavebních výrobních procesů. Aktuální stav stavebnictví ukazuje, že systémy *organizace a řízení* stavebních aktivit se zaměřují především na lidskou práci. Nové organizační tendence (např. Just-in-Time a Just-in – Sequence, BIM 4D/BIM 5D, iBIM, RFID materiálové řízení atd.) vyžadují spolehlivý a počítačově řízený výrobní systém. Nedostatek výrobních technologií znamená, že nové organizační formy, které umožňují výrobu vysoce složitých výrobků efektivně, nelze realizovat. *Informace* lze považovat za základní prvek plánování, výroby a provozu produktu. V průmyslu hrají obecně významnou roli počítačově řízené výrobní systémy, které jsou schopné rychle sbírat, automaticky zpracovat, vizualizovat informaci ve všech fázích životního cyklu výrobku. Současný stav vývoje ukazuje, že ve stavebnictví jsou počítačové systémy a nástroje doposud rozvíjeny a nasazovány především v oblasti designu, projektování a inženýrství. Ve stavebnictví existují formy integrované počítačové podpory, například CIM, nebo jiné formy počítačové podpory, například sledování a monitorování dat, informačních a výpočetních technologií, simulace stavebních procesů, RFID – řízení výstavby, BIM, Big Data, cloud vypočítání, prediktivní analytika atd., ale nejsou v současné době realizovatelné kvůli pracovnímu a nízkoprofilovému charakteru samotného realizačního procesu, který vyžaduje trvalý přechod od digitálních po analogové a manuální postupy. Ani *struktura produktu* (příp. *socializace*; např. modulární konstrukce staveb atd.), ani nové *organizační strategie* (příp. *komunikatizace* např. JIT, JIS, BIM 4D/BIM 5D, iBIM, RFID materiálové řízení atd.) nebo *informace* (příp. *informatizace* např. CAD / CAM nebo CIM, sledování a monitorování dat, informačních a výpočetních technologií, simulace stavebních procesů, RFID – řízení výstavby, BIM, Big Data, cloud vypočítání, prediktivní analytika atd.) nemohou rozvinout svůj plný potenciál bez *výrobních technologií* (příp. *robotizace* např. autonomní roboty, digitální fabrikace). [22]

Proto hraje robotizace a automatizace centrální roli v koncepci “Stavebnictví 4.0” a v této práci. Koncepce „Stavebnictví 4.0“ neboli Automated Construction [22] sestává z pěti základních technologických trendů (viz. obr.3), které se uplatní během celého životního cyklu stavby. Centrální částí této struktury je Robotické orientované navrhování

(ROD), což jsou nástroje pro navrhování a řízení automatizačních a robotizačních systémů ve stavebnictví. ROD je klíčem pro realizaci a implementaci vyspělých robotických koncepcí a technologií ve stavebnictví. Zabývá se souběžnou adaptací stavebních výrobků, procesů, organizace či socializace, robotizace, informatizace a komunikativizace, řízení a automatizované nebo robotické technologie tak, aby se takováto technologie stala použitelnou, jednodušší nebo efektivnější. Zabývá se také metodologií řízení technologií a inovací a vytváření názorů zaměřených na životní cyklus související s využíváním vyspělých technologií ve stavebních kontextech. Robotická industrializace je automatizace a robotické technologie pro přizpůsobení komponent, modulů a prefabrikaci budov. Construction Robots – Elementary Technologies neboli jednoúčelové stavební roboty byly vyvinuty převážně pro práce přímo na staveništi a jsou určeny pro provádění jedné konkrétní stavební úlohy. Provozní roboty neboli robotické systémy a další technologie mikrosystémů se spojují se zabudovaným prostředím, které se stávají vlastními prvky budov, stavebních komponent a stavebního nábytku[22].



Obrázek 3 - Klíčové koncepce automatizace a robotizace stavebnictví. Zdroj: [23]

Hlavní nástroje konceptu „Průmysl 4.0“ a “Stavebnictví 4.0” (viz Obr.4 a Obr.5).
Část nástrojů konceptu “Stavebnictví 4.0” bude popsána v dalších kapitolách:



Obrázek 4 - Technologické trendy tvořící se koncepte Průmysl 4.0. Zdroj: autor



Obrázek 5 - Technologické trendy tvořící se koncepte Stavebnictví 4.0. Zdroj: autor

2.3. Klasifikace perspektivních technologií koncepce Stavebnictví 4.0.

Tato kapitola bude obsahovat, podle předpokladu autora, klasifikaci progresivních technologií v rámci tří základních směrů konceptu „Stavebnictví 4.0“ – Roboticky orientované navrhování (*angl. Robot Oriented Design*) na příkladu BIM (možný podklad pro robotické navrhování). Další kapitolou je digitální fabrikace (*angl. Digital Fabrication*), tato kapitola bude se lišit od pětivrstvé architektury, z důvodu že metody digitální fabrikace najdou uplatnění jak v robotická industrializaci (*angl. Robotic Industrialization*), tak i v ostatních směrech koncepce „Stavebnictví 4.0“. Poslední kapitolou klasifikace je stavební roboty (*angl. Construction Robots*) (rozdělení viz 2.3.3 Stavební roboty). V rámci klasifikace bude popsán princip práce z organizačního, informačního a technologického hlediska, výhody technologie s ohledem na konvenční technologie, možná rizika, předpoklady a směry budoucího vývoje technologie.

2.3.1. BIM

„Zavedení metody BIM uspoří náklady na pořizování a rekonstrukce staveb a jejich provozování. Díky zavedení metody BIM do dosud nedigitalizovaného sektoru stavebnictví bude stát jako dobrý hospodář za stejné peníze schopen postavit a udržovat více staveb než dosud.“ [13]

Informační modelování staveb (BIM) lze vnímat jako jeden ze základních pilířů „Stavebnictví 4.0“. Metodika BIM je jedním z předpokladů zavádění inovací do stavebnictví. BIM je jedním z efektivních nástrojů pro naplnění principů udržitelné výstavby v celém životním cyklu stavby, a to jak ve fázi koncepčního návrhu, tak při výstavbě, provozování i po dožití stavby. 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“.

“Mnohem vyšší efektivity při použití metody BIM je možné dosáhnout, 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.” [13]

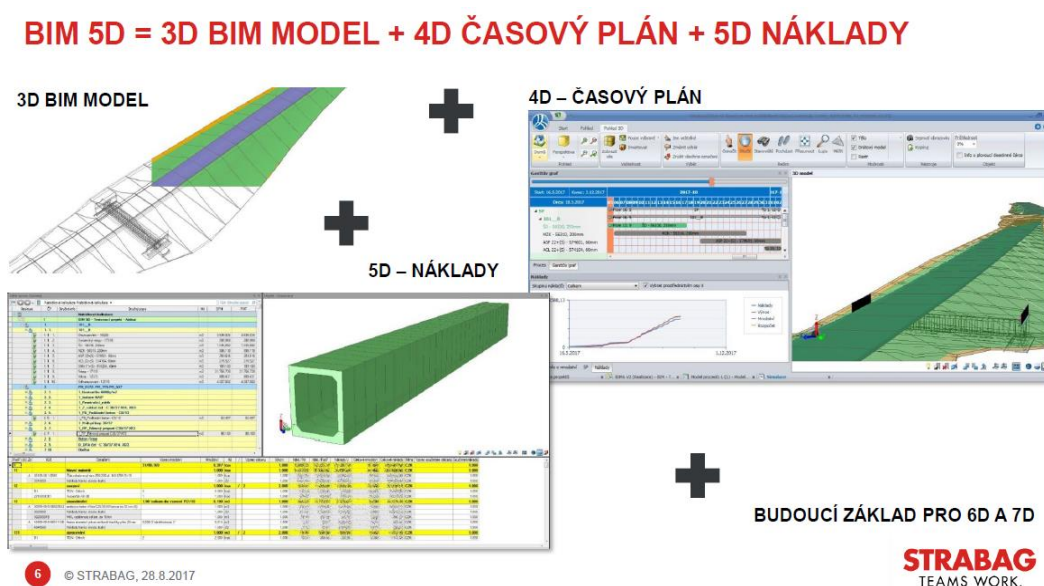
Dle the National BIM je standard BIM obecně “... *digitálním znázorněním fyzických a funkčních vlastností zařízení a zdrojem aktuálních informací o zařízení, který tvoří spolehlivý základ pro rozhodování během životního cyklu zařízení – od počátku až po demolicí*”. [14]

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 demolicí, včetně ekologické likvidace stavby a uvedení prostoru do původního stavu. [13] Presentace těchto informací může být uskutečněna několika způsoby: geometrické údaje ve formě 3D modelu a negeometrické. Negeometrické a doplňující informace (používá se označení parametry, atributy, vlastnosti) jednotlivých prvků, z nichž je 3D model složen, mohou obsahovat konstrukční, materiálové a užité vlastnosti (tomuto stupni podrobností se říká BIM 2D–3D), pozice v harmonogramu výstavby, jednotkovou cenu, harmonogram kontrol a výměn, investiční a provozní náklady a další (tomuto stupni podrobností se říká BIM 4D–5D). CDE (Common Data Environment) je technickou základnou celé technologie BIM. Zahrnuje v sobě jak 3D model a jeho negeometrické informace, tak i komunikaci mezi účastníky řízení stavebního projektu - veškeré dokumenty, které jsou součástí dokumentace. [34]

Dalším krokem vývoje informačního modelování staveb je takzvaný iBIM (nebo BIM 6D) a BIMcloud. Jde o synchronizovanou symetrickou spolupráci, sdílení dat v reálném čase mezi propojenými zařízeními a plnou integraci životního cyklu stavby do prostředí založeného na cloudovém prostředí. Tato data mohou obsahovat informace o výrobci zařízení nebo části stavby, datu instalace, požadované údržbě, údajích o životnosti a nutných revizích a podrobnosti o tom, jak by měla(o) být část stavby(zařízení) konfigurována(o) a provozována(o) pro optimální výkon a energetickou náročnost. V reálném čase bude k dispozici přístup přesných dat – prostřednictvím RFID-snímačů, termokamer nebo 3D laserového skenování – tato data budou zpracována na Big Data

a integrována přímo do BIM modelu, tím mohou správci budovy nepřetržitě monitorovat a provádět prediktivní údržbu. [15]

V rámci pilotního projektu “BIM 5D – I/9 OBCHVAT DUBÁ” spoluprací STARBAG a.s. a VALBEK-EU a.s. byl vytvořen dopravní BIM 5D projekt. Do BIM 5D byla zpracována část hlavní trasy v km (0,110 – 0,600), propusti a mostní objekt SO 201. Při projektování, plánování a rozpočtování bylo použito softwarového vybavení: společné programové vybavení od RIB Software SE, STARBAG - RIB iTWO 5D, VALBEK – RIB iTWO Civil, společný datový formát cpxxml pro předávání 3D modelu včetně dodatečných informací o objektech.



Obrázek 6 - BIM 5D. STARBAG. Zdroj: [16]

Při projektování vynikly nedostatky běžně používaných programů pro projektování: rozhraní ploch a kolize konstrukcí. Důsledkem těchto nedostatků jsou nesprávný výpočet množství pro soutěžní soupis práce, nutnost “doprojektování” v rámci soutěžní lhůty, časová a personální náročnost. Následným krokem po projektování je prověření kvality dat a vytvoření podkladů pro plánování a rozpočtování – soupis práce. Pak je na základě soupisu práce pomocí ASTA Powerproject vytvořen 4D – časový plán (harmonogram) a kalkulace 5D. Náklady jsou stanoveny jak podle 3D modelu, tak i na základě 4D modelu. Výhodou řešení BIM 5D je názornost daná pomocí 3D modelu, plánování průběhu výstavby, předávání měsíčních hlášení o vykonaném množství v případě compatibility

formátů, controlling a zjednodušení procesu schvalování změn. Rovněž se objevily nějaké nedostatky – rozhraní ploch a kolize konstrukcí při projektování, což ovlivní přesnost výkazu výměr, a bez národní databáze s atributy, resp. propojení 3D prvků na položky bude v případě pilotních projektů nutné zohlednit větší časovou náročnost pro zpracování nabídky a harmonogramu. [16]

Základním cílem metody BIM je sdružení všech účastníků podílejících se na přípravě, realizaci a následném provozu do jednoho spolupracujícího celku. Shrnutí hlavních přínosů využití BIM podél projektového managementu je uvedeno v tabulce:

PLANOVÁNÍ	PROJEKTOVÁNÍ	REALIZACE	PROVOZ
Zobrazení skutečného stavu stavby - komunikace, zapracování požadavků a změn			
Rychlé ocenění a rozhodování			
3D Planování			
3D Koordinace a Kontrola			
Nástroj pro projektování a rychlou vizualizaci			
Vytváření energetické analýzy			
Vytváření analytického modelu			
Vytváření energetických simulací			
Časový a finanční controlling (plán x skutečnost)			
Automatické vytvoření soupisu stavebních prací, dodávek a služeb a další řízení, klasifikace stavebních prvků			
Podklad digitální prefabrikace			
Přesné množství materiálů a nižší produkce odpadu			
			Plný aktuální informační podklad pro údržbu a správu budovy
			Možnost rozšíření modelu o specifická dynamická data pro FM

Tabulka 4 - Přínosy BIM podél projektového managementu. Zdroj: Autor

Building Information Modeling (BIM) je vhodný nástroj pro vizualizaci. Zajistí trojrozměrné virtuální znázornění budovy. 3D plánování a rozpočtování v BIMu může být

spuštěno ihned po vytvoření 3D modelu, pomáhá výrazně omezit konstrukční chyby a lépe pochopit práci, kterou je třeba učinit. BIM model může být podkladem pro *digitální fabrikaci*, a jakmile jsou schváleny podrobnosti, mohou být výrobky vyrobeny prostřednictvím nástrojů digitální fabrikace. Rovněž je vhodným nástrojem pro *3D koordinaci a monitorování*. V kombinaci s RFID – snímačem, 3D laserovém skenováním nebo kamerou lze pomocí BIM modelu sledovat tok materiálů, pracovníky, mechanizaci a provedené práce. [16] Dá se shrnout, že výsledkem BIM modelování stavby je digitalizace celého životního cyklu výrobku (tj. stavby) obsahující komplexní virtuální databázi informací o budově prostřednictvím geometrických charakteristik – trojrozměrné prvky, a negeometrické informace o fyzikálních, statických, tepelně technických, ekonomických i technologických vlastnostech objektů. Současně umožňuje tato technologie komplexní multioborové posouzení projektu, simulaci procesů, eliminaci chyb, účinnou projektovou a realizační koordinaci v reálném čase a efektivní správu ve fázi provozování budovy, proto bude většina projektů v budoucnu vypracována v digitální podobě. [13] Spolu s rozvojem BIM modelování se začínají objevovat i další způsoby digitalizace určitých fází projektu, např. tzv. parametrické a generativní navrhování. [36] Díky těmto technologiím je možno navrhovat jakékoli volné architektonické či konstrukční prvky. [37] Nicméně „... řada návrhů je vzhledem k ceně a technologickým omezením přesto nerealizovatelná. V době, kdy je veškerá architektura navrhována digitálně, výrobní metody zaostávají a bude tedy nutno vyvinout řešení, která tento nesoulad odstraní. Jedinou cestou, jak digitálně navržené tvary vyrobit ekonomicky, je digitalizace výrobních metod a s ní spojená robotizace stavebnictví“. [33]

2.3.2. Digitální fabrikace

Od 50. let minulého století se začala častěji objevovat aplikace CAD technologií jako součásti výrobních procesů fyzikálních modelů a prototypů prostřednictvím digitálních technologií CAM (Computer – Aided Manufacturing) a výrobních zařízení CNC (Computer Numerical Control). Digitalizované technologie vytvořily postupem času samostatnou skupinu výrobních metod zvanou digitální fabrikace. [38] Tyto pokročilé výrobní nástroje přinášejí možnost přesné fyzické interpretace virtuálních modelů/výrobků (CAD, BIM, mračno bodů), která by byla zvláště u složitých tvarů velmi

obtížně realizovatelná ruční výrobou. Fyzická realizace výrobků s přesností danou limity stroje je v digitální fabrikaci možná prostřednictvím digitálních výrobních CNC zařízení s využitím technologie CAM (počítačem podporovaná výroba). [33] Digitální fabrikace je výrobní proces, ve kterém předem naprogramovaný počítačový software (např. CAM) určuje pohyb obráběcích nástrojů a umožňuje přímý vztah mezi digitálním modelem a fyzickým výrobkem. Tento proces lze použít k řízení celé řady složitých úkolů – od broušení a frézování až po svařování a tváření 3D tisku, montáže, skladování atd. CNC obrábění umožňuje v podstatě předem naprogramovat rychlost a polohu obráběcích strojů a spustit je přes software v opakovaných a předvídatelných cyklech a nastavit další parametry ovlivňující proces výroby, a optimalizovat tak celý proces s cílem levně eliminovat případné chyby. Celý proces probíhá s malou účastí operátorů. Informačním zdrojem při využití tohoto procesu je 2D nebo 3D CAD výkres (i BIM), který je poté přeložen do počítačového kódu pro spuštění CNC systému. Po zadání programu prověří provozovatel zkušební chod, aby nedošlo k chybám v kódování. V dnešních CNC protokolech je produkce dílů prostřednictvím předprogramovaného softwaru většinou automatizovaná. [39]



Obrázek 7 - CNC stroj – Průmyslový robot s koncovkou. Zdroj: [25]

Příklady využití technologie digitální fabrikace ve stavebnictví jsou uvedeny v tabulce níže:

METODA CNC TECHN.	TYP CNC STROJŮ	PROVADĚNÉ OPERACE VÝHODY x NEVÝHODY	ZPŮSOBY UPRAVY POVRCHU	VYUŽITÍ VE STAVEBNICTVÍ	PŘÍKLADY VYUŽITÍ
Subtraktivní výroba	2D CNC (3 stupně volnosti pohybu) 3D CNC – Průmyslový robot s koncovkou (6 stupňů volnosti pohybu)	Počítačově řízené odebírání materiálů: <ul style="list-style-type: none"> Řezání Vrtání Frézování Výhody: <ul style="list-style-type: none"> vysoká kvalita povrchu Nevýhody: <ul style="list-style-type: none"> vysoká spotřeba materiálů – vznik odpadů nutnost vícenásobného upínání dvojitá práce omezená práce 	2D CNC řezací plottery (kovové nástřiky vodní paprsek, laser) Průmyslové roboty s obráběcími nástavci Speciální CNC obráběcí centra	Dřevěné konstrukce Kovové konstrukce Sklo Frézování polystyrenu Frézování základu Frézování drážek a prostupů	Vytváření ocelových dílů https://www.youtube.com/watch?v=txCMvRF4Bm8 Obrábění a montáž dřevěných konstrukcí ETH Zurich https://www.youtube.com/watch?v=LpUvhWKnCTs
Formativní výroba	2D CNC (3 stupně volnosti pohybu) 3D CNC – Průmyslový robot s koncovkou (6 stupňů volnosti pohybu)	Počítačově řízené tvarování materiálu za studena nebo za tepla <ul style="list-style-type: none"> Ohýbání Lisování Ražba Výhody: <ul style="list-style-type: none"> vysoká výrobní přesnost vysoká rychlost Nevýhody: <ul style="list-style-type: none"> nutnost vícenásobného upínání dvojitá práce omezená práce 	Průmyslový robot s nástavci Speciální ohýbací s až 6 osami otáčení	Ohýbání plechu Ohýbání trubek	Ohýbání plechu https://www.youtube.com/watch?v=Nrea-6JYXmM Tvarování gumového bednění https://vimeo.com/162310028 Tvarování betonové směsi https://www.youtube.com/watch?v=BI2LOj4oxcw
Aditivní výroba	2D CNC (3 stupně volnosti pohybu) 3D CNC – Průmyslový robot s koncovkou (6 stupňů volnosti pohybu))	Počítačově řízené vytváření objektů s volnými formami prostřednictvím aplikací vrstveného/ liniového/ bodového ukládání materiálu <ul style="list-style-type: none"> 3D tisk vytlačováním 3D tisk spojováním práškového lože Výhody: <ul style="list-style-type: none"> neomezená volnost tvarů 100 % spotřeba materiálů Úspora práce Nevýhody: <ul style="list-style-type: none"> menší kvalita výrobku u 	Konstrukce CNC stroju: Rámová konstrukce Portálová konstrukce Konstrukce s robotickou rukou Materiál: Malty na bázi cementu, geopolymery, keramika, napálená hlína, kov, sklo, plast, stavební recyklát, kompozitní materiály	Designové interiérové high-end prvky s velmi vysokým rozlišením Prvky designových kompletačních konstrukcí s vysokým rozlišením, schopných skladby do větších celků Svislé a vodorovné betonové konstrukce	3D tisk robotická ruka keramikou http://www.3ders.org/articles/20121019-fabclay-exploring-important-parameters-of-robotic-3d-printing.html 3D tisk vytlačováním cementové malty https://www.youtube.com/watch?v=GUDnrnjT5Q Plastové konstrukce https://www.branch.technology/projects/ http://3dprintcanalhouse.com/ http://www.emergingobjectts.com/portfolio/

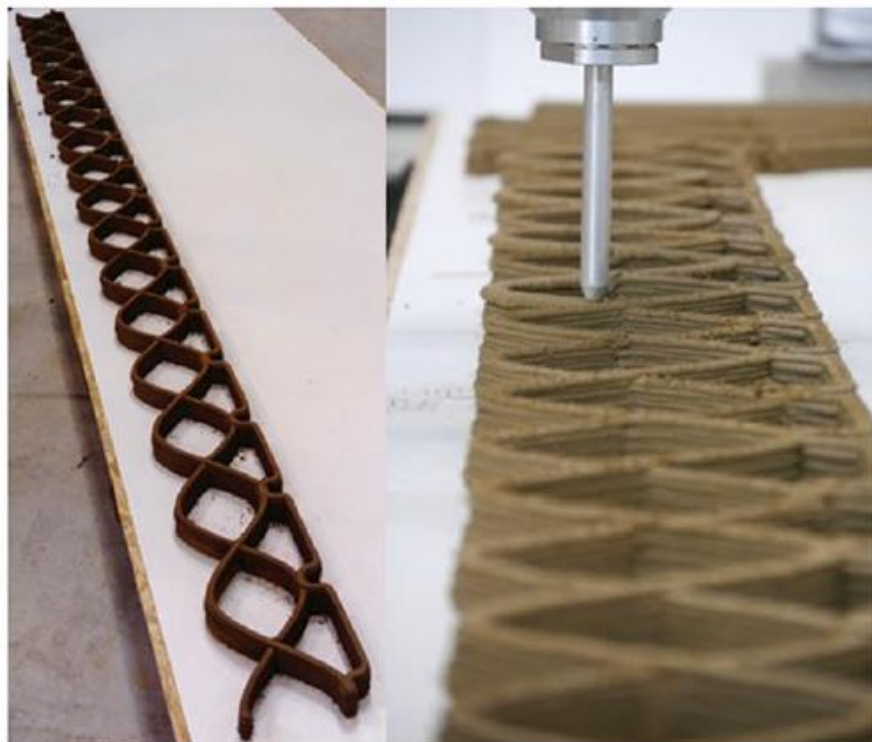
		<p>některých technologií</p> <ul style="list-style-type: none"> • u některých technologií nutnost tisku podpor • zatím velmi nákladně • malá rychlost výroby <p>Výhody a nevýhody použití 3D tisku pro vytváření nosných konstrukcí budovy budou uvedené dolo</p>			
--	--	--	--	--	--

Tabulka 5 - Metody a příklady využití CNC strojů. Zdroj: [38]

Ve většině případů je nosnou konstrukcí stavby monolitická železobetonová konstrukce. Navzdory často vertikálně nebo horizontálně se opakujícím betonovým konstrukcím, které tvoří strukturální základ betonových staveb, je proces výstavby těchto staveb s in situ betonem vysoce náročný na pracovní sílu, představuje velké množství celkových nákladů na stavbu a staví (na in-situ) na zakázku postavený nebo jiný systém bednění. Na základě těchto faktorů je aditivní fabrikace/3D tisk perspektivnějším nástrojem digitální fabrikace současně.

Dle Roberta Bogue je 3D tisk „... *automatizovaný, aditivní výrobní proces vytvoření 3D pevných objektů z digitálního (tj. CAD) modelu. Jinými slovy bude v 3D tiskovém procesu 3D CAD model krájen do série 2D vrstev, které budou později uloženy tiskárnou při vytištění výrobku (viz obr. 8)*“. [10]

Metodika výroby produktů pomocí 3D tisku se skládá z určitých kroků. Prvním krokem je návrh produktu prostřednictvím CAD systémů. Digitální model reprezentuje tvar budoucího výrobku a musí splňovat základní předpoklady pro transformaci modelu do fyzické podoby. [19]



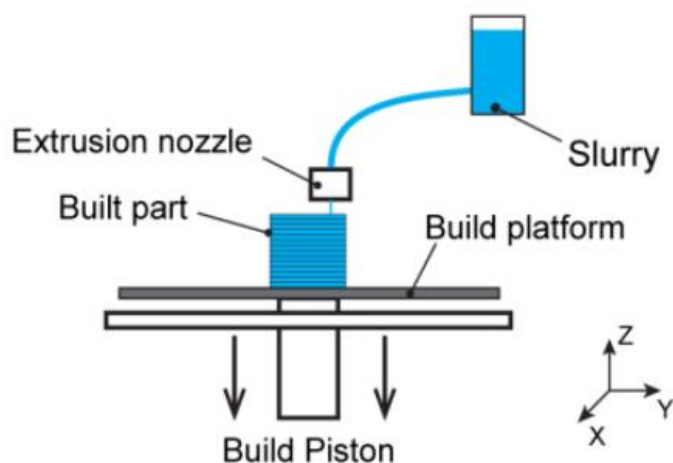
Obrázek 8 - Long wall print Zdroj: [24]

Model musí mít jednoznačně stanoveny své hranice, je nutné jej navrhnout tak, aby se dal rozdělit na jednotlivé horizontální souvrství, a jasně musí být oddělena také vnitřní a vnější část modelu. Druhým krokem je nutnost převést CAD formát do formátu – 3D, tiskárny nepodporují výstupní formát CAD programů, proto je 3D model nutné převést do STL (standardní formát, který může používat většina strojů aditivní výroby). Program při převádění dat zpracovává model do polygonů a matematicky popisuje tvar daného objektu, pak tento objekt řeže na homogenní 2D vrstvy, takže každá vrstva může být vytištěna postupně. Poté je nutno ověřit, zda soubor odpovídá požadovanému tvaru a vlastnostem modelu. Každá vrstva je pak odeslána do stroje a dalším krokem je samotná výroba, která je celá automatizována a řízena softwarem. Výsledkem je 3D produkt. [19]

Zatímco technologie 3D tisku byly úspěšně použity v celé řadě průmyslových odvětví, jako jsou např. letecký a automobilový průmysl, její aplikace v betonových konstrukcích je stále ještě na začátečnické úrovni. 3DCP (3D concrete printing) může umožnit betonáž bez použití drahého bednění, což má proti tradičnímu způsobu odlití betonu do bednění velkou výhodu. [20]

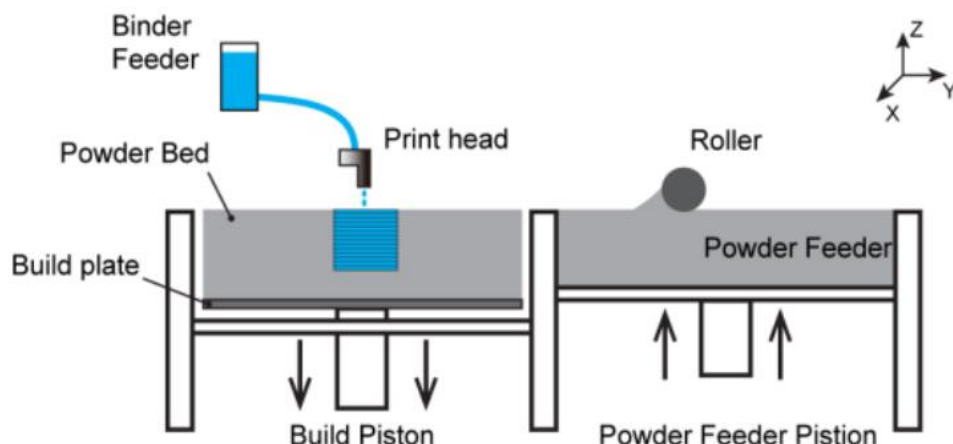
Poslední dobou byly vyvinuty různé technologie 3DCP, které mají přijmout aditivní výrobu pro betonové konstrukce. Tyto technologie jsou založeny především na dvou metodách – vytlačování a spojování práškového lože. [20]

Metoda vytlačování je podobná metodě modelováním taným nanášením (FDM), která vytlačuje cementový materiál z trysky namontované na portálu jeřábu nebo 6osé robotické ruky pro tisk vrstvy po vrstvě (viz obr. 9.). Tato technologie je zaměřena na realizaci na staveništi, jako např. ve velkém stavebním objektu se složitou geometrií a má potenciál mít významný a příznivý přínos ve stavební prefabrikaci. [20]



Obrázek 9 - Schéma metody vytlačování. Zdroj: [20]

Metoda spojování práškového lože je dalším typickým procesem aditivní výroby, která vytváří přesné struktury se složitou geometrií selektivním ukládáním pojivové kapaliny do práškového lože, aby se navázalo na prášek tam, kde působí na lože. (viz obr. 10) Tato technologie je externím procesem určeným k výrobě prefabrikovaných součástí [20]. V tabulce níže uvedeny současné metody a technologie ve stavebnictví a jejich příklady využití (viz. tab. 6):



Obrázek 10 - Schéma metody spojování práškového lože. Zdroj: [20]

Metoda	Technologie	Proces vytištění	Využití ve stavebnictví
Vytlačování	Contour Crafting	Tato technologie využívá techniku založenou na vytlačování dvou linií cementové směsi pro vytvoření vertikálního betonového bednění. Na zakázku se vyztužovací vazby ručně vkládají mezi vrstvy (každých 30 cm vodorovně a 13 cm vertikálně), zatímco stroj CC neustále vytlačuje vrstvy. Technologie spojuje aditivní a formativní výrobu	Betonová konstrukce stěn zhotovená strojem CC se zhotovenými vyztužnými vazbami ručně vkládanými mezi vrstvami
	Concrete Printing	Tato technologie využívá rovněž techniky založené na extruzi a do jisté míry je podobná technologii CC. Nicméně technologie Beton Printing byla vyvinuta pro zachování 3D svobody a má menší rozlišení ukládání, což umožňuje větší kontrolu vnitřní a vnější geometrie	Plnohodnotná lavička vyráběná betonovým tiskem s funkčními dutinami a vyztuží
	CONPrint3D: Concrete On-Site 3D Printing	Hlavní výhodou technologie CONPrint3D je vysoká geometrická flexibilita, používání běžně používaných stavebních strojů a nízká závislost na kvalifikovaných pracovnících	Svislé železobetonové konstrukce
	Large-Scale 3DCP using Ultra-High-Performance Concrete	Vyvinutá technologie využívá techniku založenou na vytlačování pro ukládání vrstev UHPC vrstvou přes extruzní tiskovou hlavu namontovanou na 6-osé robotické rameno.	Multifunkční stěnový prvek. Dvoupatrová vila vytištěná společností Huashang Tengda První 3D vytištěný modulární železobetonový nosník o délce asi 3 m Struktura 3 m vysoké jeskyně [18] On-site "3D tištěný dům Apis Core [19]
Spojování práškového lože	D-shape	Technologie tvaru D vyvinutá společností Enrico Dini využívá techniku na bázi prášku pro selektivní vytvrzení velkého pískového lůžka nanesením pojiva. Jako stavební materiál a pojivo se používá	(a): pavilon Radiolaria [20] a (b): dům Ferreri [20] tištěný tvarem D

		cementu z písku a hořčíku (také známého jako Sorel cement)	
	Emerging Objects	Technologie rozvíjejících se objektů vyvinutá v USA využívá techniku na bázi prášku pro selektivní vytvrzení vlastního cementového složeného složení ukládání pojiva	(a): Bloom [21] a (b): Shed [22] vytištěný objevujícími se objekty
	Powder-based 3DCP	Technika na bázi prášku je schopna vyrábět stavební prvky s jemnými detaily a složitými tvary. V oblasti stavebnictví existuje poptávka po takových komponentech, které mohou být vyrobeny pouze drahými bedněnými s aktuálně dostupnými konstrukčními systémy. Technika na bázi prášku má schopnost vyrábět robustní a trvanlivé součásti při rozumné rychlosti, aby tento průmyslový požadavek uspokojila.	3D tiskové struktury s použitím geopolymerního prášku

Tabulka 6 - Metody a technologie 3D tisku ve stavebnictví. Zdroj: [20]

Ve srovnání s konvenčními konstrukčními metodami může mít aplikace 3D tiskové technologie v betonových konstrukcích následující výhody:

- snížení nákladů eliminací bednění;
- snížení rizik úrazu tím, že eliminuje nebezpečné práce např. práce ve výškách;
- snížení doby výstavby;
- minimalizace šance na chyby a nepřesnosti;
- zvyšování udržitelnosti při výstavbě snížením odpadů;
- zvýšení architektonické svobody, které by umožnilo důmyslnější návrhy pro strukturální a estetické účely;
- umožnění multifunkčnosti pro konstrukční/architektonické prvky využitím komplexnější geometrie. [20]

3D tisk však není izolované řešení, které dokáže vyřešit všechny problémy ve stavebnictví. V roce 2014 využila společnost WinSun v rámci výstavby dvoupodlažní vily (viz obr. 11) a pětipodlažní bytové stavby technologii 3DCP. Tyto projekty demonstrovaly možnosti využití 3DCP technologie ve výstavbě velkých budov, i když bylo zjištěno mnoho praktických překážek, včetně následujících:

- Nepřímý proces. Podobně jako u prefabrikovaných betonových konstrukcí byly stavební díly vytištěny ve speciálních výrobnách, pak transponovány na stavbu a instalovány na staveništi.

- Pevnost. Tiskový materiál nedosahuje pevnostních charakteristik, aby mohl být vytištěn jako nosný prvek, který bude umístěn vodorovně, jako např. stropní deska nebo schodiště. Nicméně při použití v nosných konstrukcích může být materiál vytištěn jako ztracené bednění.
- Vyloučení otvorů pro TZB. TZB systémy, jako jsou např. silnoproud a slaboproud, vodovod, kanalizace nebyly integrovány do procesu 3D tisku.

Pro shrnutí lze dojít k závěru, že 3D tisk lze použít s omezením pro tisk velkých stavebních konstrukcí k dosažení ekonomických, environmentálních a dalších výhod. Použití 3D tisků ve stavebnictví je závislé na přesnosti tiskových dat, dostupnosti a vlastnostech tiskových materiálů a tiskáren, nákladů na tisk, procesu tisku a času tisku, složitosti geometrie konstrukce atd. Ve stavebnictví je však po automatizovaných výrobních procesech menší poptávka než v jiných odvětvích hospodářství, proto nachází zatím technologie 3D tisku málokde své uplatnění. Navíc je třeba materiály (např. beton) zlepšit z hlediska pevnosti tak, aby nosné prvky, které se ukládají vodorovně, mohly být také použity v konstrukcích. [21]

Budoucí vývoj technologie 3D tisku ve stavebnictví dle práce Peng Wua, JunWangb, XiangyuWangb záleží na 3 trendech:

- 3D tisk a informační modelování budov (BIM oproti běžným 2D a 3D CAD výkresům poskytuje přesnější informaci o konstrukčním prvku – geometrická informace, materiálové řešení, geometrické prostorové vztahy a výrobní informace),
- 3D tisk a masová customizace (odvětví stavebnictví je charakterizováno nízkým stupněm customizace – technologie 3D tisku dává široké možnosti customizace stavebních prvků a budoucnost této technologie záleží na poptávce customizace stavebních prvků),
- 3D tisk a náklady životního cyklu (v krátkodobé perspektivě může být snížení nákladů dosaženo využitím 3D tisku, v dlouhodobé je třeba provést studii, která by zkoumala finanční výkonnost 3D tisku), [21]



Obrázek 11 – 3D vytištěná vila, WinSun, 2014, Zdroj: [21]

2.3.3. Jednoúčelové roboty, automatická a autonomní zařízení

Jednoúčelové stavební roboty (*angl.* Single-Task Construction Robots) byly vyvinuty převážně pro práce přímo na staveništi a jsou určeny pro provádění jedné konkrétní stavební úlohy. Díky tomu jsou tyto roboty velmi flexibilní a přinesou do stavebního procesu řadu pozitivních vlivů. V této kapitole bude provedena klasifikace jednoúčelových stavebních robotů:

Dle způsobu řízení robotů [9]:

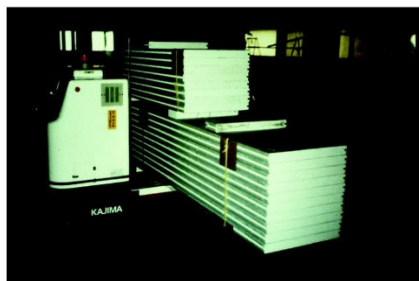
1. konvenční STCR – neinterpretují CAD model,
2. STCR s využitím metod digitální fabrikace – interpretují CAD model.
3. Hybridní technologie – kombinace konvenčních STCR a digitální fabrikace

Dle typu prováděných prací [22]:

1. robotická staveništní logistika,
2. roboty na zemní práce a zakládání,
3. roboty na výrobu a umístění výztuže,
4. roboty na betonářské práce,
5. robotické pokládání dlažeb a obkladů,
6. robotické svařování,
7. robotické zdění,
8. roboty na fasádní práce,
9. roboty na interiérové dokončovací práce,
10. automatizované technologie monitorování staveniště a sledování procesu výstavby.

V klasifikaci bude uveden typ robotů, výrobce, způsob práce a oblast využití ve stavebnictví, taktéž bude na konci představena krátká analýza přínosů a rizik využití a budoucí rozvoj stavebních jednoúčelových robotů.

2.3.3.1. Robotická staveňištní logistika



Obr. 12. AVG for Construction Site



Obr. 13. Automated H/V On-Site Log. Sys
Zdroj: [22]



Obr. 14. Rail – Guided Overhead Log. Sys.

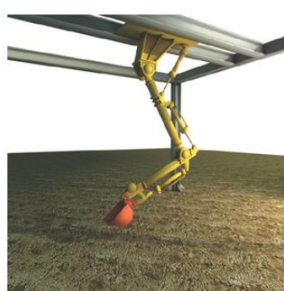
Logistické operace na stavbách jsou časově náročné a vyžadují tvrdou fyzickou práci. Nicméně nemají velký vliv na finální produkt. Většinou jsou to podpůrné operace, a proto by měla být jejich nutnost snížena na minimum. Mezi výrobními subjekty by měl být zajištěn rychlý a nepřetržitý tok materiálů prostřednictvím dodávek materiálů JIT (Just-In-Time) a JIS (Just-In-Sequence). Logistické operace zahrnují identifikaci materiálu, jeho sběr, vertikální a horizontální transportování a konečně dodání materiálu na určité místo na staveništi. [22] Mohou představovat jak konvenční STCR, tak i STCR s využitím metod digitální fabrikace – hybridní technologie. Některé typy robotů jsou popsány v tabulce dále (viz tab. 7):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
AGV for Construction Site (viz. obr.12)	Kajima Corporation	Vozíky AGV automatizují dodávku materiálu podle předem definovaných, pevných logistických tras – konvenční typ STCR. Skládá se z robotické mobilní platformy integrované do vysokozdvížného mechanismu. Podobně jako u ostatních AGV nebo robotických vysokozdvížných vozíků určených pro stavenišť, může být použit v pracovní oblasti pro automatizovanou dodávku materiálů ze skladovacího prostoru do konstrukčního výtahu nebo v rámci jednotlivého patra do oblasti práce. Systém může být informačně spojen s ostatními automatizovanými zařízeními a STCR systémy na staveništi, aby bylo možné vytvářet	Horizontální/vertikální transport materiálů

		lepší manipulaci s materiálem a řetězec dodávek materiálu.	
Automated Horizontal/Vertical On-Site Logistics System (viz. obr.13)	Takenaka Corporation	Automatizovaný horizontální/vertikální logistický systém je schopen automatizovat logistické operace na stavebních trasách. Skládá se z automatizovaného skladovacího systému integrovaného do robotických vysokozdvížných vozíků. Robotické vysokozdvížné vozíky zachycují materiál uložený na standardních paletách a vkládají ho do automatického výtahu. Výtah přenáší materiál na požadovanou podlahu, kde ho zvedají další robotické vysokozdvížné vozíky. Robotické vysokozdvížné vozíky se skládají z mobilní platformy, která je schopna samostatně navigovat po předem naprogramovaných trasách – konvenční typ STCR.	Horizontální/vertikální transport materiálů
Rail-Guided Overhead Logistics System (viz. obr.14)	Fujita Corporation	Tento logistický systém mostových jeřábů slouží k přepravě stavebních materiálů vodorovně. Systém se skládá z kolejnic instalovaných podél logistických cest, po nichž se pak může materiál pohybovat. Kolejnice jsou instalovány na strop již postavených pater nebo na jakoukoli dočasnou konstrukci sloužící tomuto účelu. Logistická jednotka obsahuje jak mechanismus vertikálního zvedání materiálu přes zvedák, tak i horizontální pohyb po kolejích na požadované místo. Břemeno, které má být přepravováno, je ručně svázáno s hákem. Zvedání materiálu logistickou jednotkou a pohyb po kolejích lze provádět dálkově automaticky.	Vertikální/horizontální jeřábová transportace materiálů

Tabulka 7 - Robotická stavební logistika. Zdroj: [22]

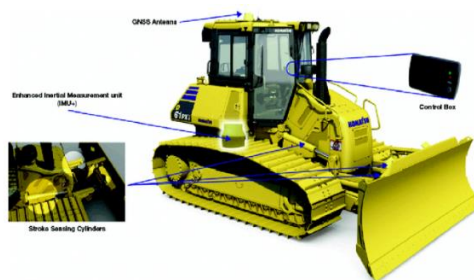
2.3.3.2. Roboty na zemní práce a zakládání



Obr. 15. R-G Dig Robot



Obr. 16. Auto. Dig. and Soil Rem. System
Zdroj: [22]



Obr. 17. Autonomous Construction Equipment

Zemní a základové práce jsou základním typem práce, kterou je třeba provést pro jakýkoli typ konstrukce. Jedná se tedy o pracovní proces, který se projevuje ve značném množství a je zároveň procesem, který může zahrnovat mnoho opakujících se dílčích činností (např. výkopové práce, sejmutí ornice atd.). Vzhledem k tomu, že se jedná o ideální základ pro automatizaci, pokusy v této oblasti (vývoj a nasazené systémy) jsou početné: od nivelování a výkopových prací až po základové práce a zhutňování. [22] Mohou představovat jak konvenční STCR s určitým počtem naprogramovaných činností, tak i STCR s využitím metod digitální fabrikace, kde může být jako informační podklad 3D model a GPS neboli laserem zpřesněné GNSS – hybridní technologie. Některé typy robotů jsou popsány v tabulce (viz tab. 8):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
Overhead Rail-guided Digging Robot (viz. obr.15)	Shiraishi	Robot je instalován do železničních systémů nebo do posuvných jeřábů, díky tomu se může pohybovat nad pracovní plochou. Robotická ruka může být vybavena jakýmkoli koncovým efektem pro provádění výkopových prací. Robotický systém byl vytvořen jako víceúčelový	Hloubení rýh a jam
EM 320 S Robot for Digging Vertical Shafts	Shimizu	Systém se využívá pro velké stavební práce, jako např. přehrady, základy mostů a mrakodrapů, podzemní stěny atd. Jedná se o vysokovýkonný kopací robot pro vertikální vrtání, který může vykopat šířku až 3,2 metru v hloubce 150 metrů. Celý kopací systém SSS-G pro hloubkové zemní práce je tvořen speciálním lešením s vestavěným automatickým systémem řízení, systémem	Hlubinné výkopy a vertikální vrtání

		pro separaci a recyklaci těžkých zemin a automatickým analyzátořem. Vykopávací robot EM-320S má hmotnost 45 tun a skládá se z hloubkových vrtáků, čtyř bubnových fréz, dvou kroužků a dvou křídlových bitů. Lze jej aplikovat na různé typy půd.	
Automatic Digging and Soil Removing System (viz. obr.16)	Tokyu Construct Co., Ltd.	V systému automatického kopání a odstraňování půdy může kvalifikovaný pracovník obsluhovat výkopové zařízení z bezpečného odstupu tím, že ho ovládá vzdáleně. Nouzový vypínač je k dispozici pro zastavení všech funkcí robota v případě jakéhokoliiv nouzového nebo bezpečnostního problému. Jde o kompaktní kopací robot o rozměrech 1,75 m × 1,19 m, vážící 2130 kilogramů. Vykopávací robot obsahuje dva manipulátory. Jeden manipulátor je vybaven koncovým efektem pro kopání půdního materiálu. Druhý manipulátor je vybaven výsypnou lopatkou (s kapacitou 0,025 m ³).	Těžce dostupná místa při výkopových pracích a hlubinných výkopech
Volvo Construction Equipment concept machines	Volvo CE	Futuristická kloubová koncepce – Centaur – bude vysoce modulární a umožní rychle přepnout funkci stroje. Volvo představuje koncept budoucího kompaktního, lehkého bagru. Koncepce přivádí obsluhu do centra a optimalizuje ergonomii a kontrolu. Stejně jako běžné ovládání stroje lze rypadlo ovládat vzdáleně pomocí tabletového počítače. Gryphin je futuristický koncept modelu Volvo pro extrémní kolový nakladač. Elektrické motory jsou integrovány do každého kola – což umožňuje nezávislé třírozměrné posunutí prvků kola, takže je stroj extrémně pružný a vhodný pro téměř jakýkoli terén.	Modernizace bagrů, rypadel, dozerů, nákladových aut
Autonomous Construction Equipment (viz. Obr.17)	Komatsu Ltd.	Společnost Komatsu vybavila dozer D61EXi / PXi-23 inteligentním systémem řízení «blade». Anténa GPS systému, zdokonalená IMU a válce snímání zdvihu umožňují stroji vytvořit obraz situace na místě a inteligentně optimalizovat pohyb listu, aby se zvýšil výkon a minimalizovaly škody.	Dozery
Add-On Modules for Upgrading	Autonomous	Společnost Autonomous Solutions, Inc. (ASI) převádějí konvenční stavební vozidla na bezpilotní robotické vozy. Automatizační	Nakladače, nákladní

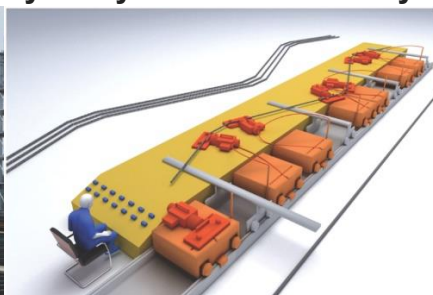
Conventional Construction Vehicles with Robotic Functionality	Solutions, Inc.	sada ASI se skládá z obou hardwarových komponent, jako je robotický kroužek, aktivátory a široká škála senzorů, stejně jako ovládací a ovládací software Mobius®. Ovládací software Mobius® poskytuje snadno použitelné uživatelské rozhraní, které umožňuje jednomu operátorovi dohlížet na celou flotilu vozidel. ASI nabízí svou automatizační sadu k dispozici pro své zákazníky a pro ty, kteří nemají potřebné znalosti, nabízí také integraci jejich soupravy do zařízení. Sada ASI může být použita k modernizaci konstrukčních vozidel, jako jsou kolové nakladače, nákladní automobily, dozery a bagry pro bezpilotní vozidla.	auta, dozery, bagry
---	-----------------	--	---------------------

Tabulka 8 - Roboty na zemní práce a zakládání. Zdroj: [22]

2.3.3.3. Roboty na výrobu a umístění výztuže



Obr.18. Robot pro umístění výztuž. tyčí



Obr.19. Robot Systems for On-Site Shaping
Zdroj: [22]



Obr.20. Reinf. Bar Fabric. Robot

Armování je operace zahrnující řezání a ohýbání výztuží, přesné uspořádání prutů, vazby výztuží a konečné polohování prutu nebo síťoviny do podlahy. U zdravotních pojišťoven se armování na pracovišti související s výstupem a výrobou a polohováním výztuže považují za práce s vysokým krátkodobým i dlouhodobým rizikem. Automatizované systémy snižují rizika a dopad na zdraví pracovníků a zvyšují kvalitu výztuže, zejména u velkých stavebních projektů, jako jsou elektrárny a budovy s vysokým zdvihem [22]. Technologie představují konvenční typ STCR, některé typy robotů jsou popsány v tabulce (viz tab. 9):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
Robot for Positioning of Heavy Reinforcing Bars (viz. obr.18)	Kajima Corporation	U těžkých betonových prací, jako jsou např. velké železobetonové základy, je nutné před betonáží umístit do konkrétních míst těžké výztužné tyče. Robot se skládá z pásové mobilní plošiny a manipulátoru s 5 stupni volnosti (DOF) a koncovým efektozem pro manipulaci se sadou ocelových tyčí. Robot může mít na palubě 20 vozíků a umístit je na požadovaná místa po jednom. Trvá přibližně 1 minutu, než se jeden pruh umístí na určené místo.	Umístění výztuže
Reinforcing Bar Fabrication Robot (viz. obr.19)	Taisei Corporation	Tento robot byl vyvinut pro výrobu prefabrikátů z ocelových výztuží na místě. Uspodňuje výrobu výztuže a šetří potřebnou pracovní sílu. Robot (rozměry: H 1,70 m × L 8,50 m × W 1,50 m) označuje průsečnice třmínků na podélných tyčích, umístí třmínky na určených místech a rozestupech a upevní je pomocí vázacích drátů. Systém pak lokalizuje spodní části podélných tyčí a zajistí je pomocí spojovacího drátu na místech označených na třmenech. Nyní je ocelová výztuž připravena k zvednutí a může být umístěna do bednění.	Výroba prefabrikátů pro armování
Robot Systems for On-Site Shaping of Reinforcing Bars (viz. obr.20)	Obayashi Corporation	Robot byl vyvinut pro tvarování ocelových tyčí o větším průměru ohýbáním 10°– 20° v šesti možných místech. Výrobní jednotka sloupu, která sloup zpevňuje, má pět propojených podpěrných ramen, základnu, hydraulické jednotky, řídicí jednotku a dva ramenové jeřáby pro snadnou manipulaci s těžkými ocelovými tyčemi. Jakmile byly zadány vstupní údaje pro zpevnění a tvarování tyče v nastavovacím stroji v ohýbací jednotce, pracuje současně všech šest hydraulických ohýbačů ohýbací jednotky.	Ohýbání výztuže

Tabulka 9 - Roboty na výrobu a umístění výztuže. Zdroj: [22]

2.3.3.4. Roboty na betonářské práce



Obr.21. Robot na distribuci betonu



Obr.22. Robot na hutnění betonu



Obr.23. Robot na vyrovnání betonu; Zdroj: [22]

Distribuce a lití, vibrace a zhutňování, vyrovnávání a konečné úpravy betonu jsou nebezpečné a na těžkou práci náročné operace, vyžadují velkou kvalitu a přesnost provedení. Zároveň s tím mohou zahrnovat mnoho opakujících se dílčích činností. Technologie představují konvenční typ STCR. Vzhledem k tomu, že se jedná o ideální základ pro automatizaci, jsou pokusy a v této oblasti vyvinuté robotické systémy uvedeny v tabulce [22] (viz tab. 10):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
Stationary Concrete Distribution Robot (viz. obr.21)	Obayashi and Mitsubishi	Robot může zjednodušit distribuci a lití betonu na staveništi. Dále lze využít robota k zvedání a přepravě materiálů. Robotický systém se skládá ze tří částí: základní část, která zajišťuje stabilitu robota na podkladu, střední část sestávající ze čtyř spojů a kloubů, které zajistí pohyb jednotlivých částí robota, a vrchní části, kterou je koncový efektor pro nalévání betonu nebo koncový efektor pro zvedací materiál.	Betonáž vodorovných či svislých konstrukcí, přeprava materiálů po staveništi (funkce jeřábu)
DB Robo Concrete Distributor	Takenaka Corporation	Robot na distribuci betonu DB Robo je malý (5,05 m × 3,60 m × 1,69 m) a poměrně lehký, může se pohybovat na jednotlivých podlažích a distribuovat beton automaticky předem naprogramovaným způsobem. Robot se skládá z pohyblivé základny, hadice, přes kterou se čerpá beton, manipulátoru, který přivádí hadici (která je vedena přes manipulátor) do polohy a koncového efektoru, který ovládá konečnou polohu hadice. Manipulátor umožňuje odvzdušnit hadici, a tím distribuovat beton v	Lití roznášecí vrstvy podlahy (např. betonová mazanina)

		určitému tvaru kolem robota. Kvůli kompaktnosti těchto systémů lze paralelně použít několik robotů na jedné podlaze, aby se betonářské práce urychlily.	
Concrete Floor Compaction System	Takenaka Corporation	Robotický systém zhutňování betonových podlah se skládá z hlavního tělesa, kterým se dvě desky aktivují a vytvářejí pohyb, umožňující robotu pohybovat se přes oblast předem vylitého betonu. Dvě desky navíc vytvářejí mírné vibrace a tím působí na povrch. Robot tak může vytlačit vodu z betonu, zhutnit ho a podpořit proces vytvrzování. Robot je efektivní z hlediska počtu požadovaných osob, kvality a času potřebného k dokončení úkolu.	Vyrovnávací a zhutňovací práce
Screeding Robot LOM 110 (viz. obr. 22)	Lomar SRL	Robot se skládá z mobilní pásové základny s připojitelným / odnímatelným manipulátorem. Tento manipulátor obsahuje konečný efekt stírání a část laserového systému, který je základem pro nastavení výšky a pohybu manipulátoru. Manipulátor provádí jednoduchý, ale robustní a přesný boční pohyb. Pásová mobilní platforma je zodpovědná za pohyb manipulátoru a koncového efektoru dopředu. Součástí robotového systému je samostatný chodník s laserovým naváděcím systémem, který lze umístit do místnosti, ve které má robot pracovat, a který poskytuje externí referenční bod pro navigaci a výškové nastavení manipulátoru.	Vyrovnávací a zhutňovací práce
Mobile Concrete Floor Finishing Robot Flat-KN (Obr. 23)	Shimizu Corporation	Plochý KN se skládá ze tří sad koncových efektorů umístěných kolem mobilní robotické platformy, řídicího systému, který umožňuje roboty buď ručně, nebo dálkově ovládat, a zařízení proti kolizím. Lžice jsou připevněny na konci každé výsuvné konstrukce ramene. Podpěrné nože proti podlaze lze nastavit v závislosti na tvrdosti povrchu, který má být dokončen. Systém je vybaven přenosným řídicím rozhraním, které je bezdrátově připojeno k robotu a umožňuje obsluze řídit dálkově provozní rychlost a orientaci robota.	Vyrovnávací a zhutňovací práce

Tabulka 10 - Roboty na betonářské práce. Zdroj: [22]

2.3.3.5. Robotické pokládání dlažeb a obklad



Obrázek.24. Automatické kladení dlažby Zdroj: VCES

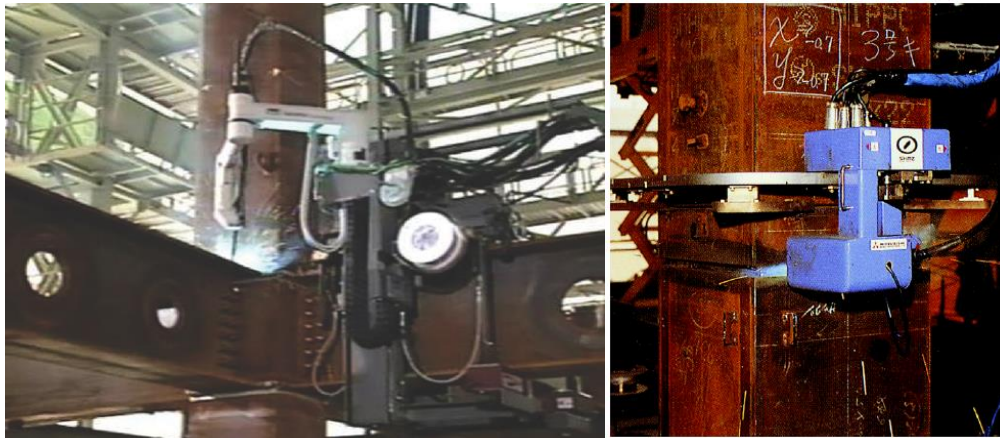
Budovy všech druhů jsou často obloženy dlaždicemi a obklady odolnými vůči specifickým klimatickým či vnitřním podmínkám jak uvnitř, tak i venku. Dlaždice jsou poměrně malé prvky ve srovnání s celkovou plochou budovy a obrovské množství dlaždic musí být položeno stejným, opakovaným způsobem. Tento proces zahrnuje logistiku materiálů, nanášení malty a polohování dlaždic či obkladů, což tvoří perfektní předpoklad pro využití robotů. [22] Představuje STCR s využitím metod digitální fabrikace, kde jako informační podklad může být 3D model převedený do formátu, s kterým pracuje robot (viz tab. 11):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
The brick-road-laying Tiger Stone	Vanku B. V./ Tiger-Stone	Robot může automaticky pokládat cesty z venkovní kamenné dlažby. Maximální možná šířka pro dlážděnou cestu je 6 m. Robot mohou obsluhovat jeden nebo dva operátoři, kteří v podstatě potřebují pouze pokládat dlaždice do zásobníku na horní straně stroje. Robot automaticky třídí kameny a uspořádá je do předdefinovaného vzoru. Maximální výrobní produktivita činí až 500 m ² /den. Stroj je kompaktní a může být snadno dopravován na místo prostřednictvím dodávkového	Pokládání venkovní kamenné dlažby
Automatické kladení dlažby	Bouygues Construction	Robot umí pokládat dlaždice o rozměru od 30×30 cm do 60×60 cm. Robota má smysl využít na plochy větší než 300 m ² .	Pokládání interní dlažby

(viz. obr.24 vlevo)			
Robot for the Installation of Tiles to Wall (viz. obr.24 prostřední)	Hazama Ando Corporation and Komatsu	System automatizuje proces instalace obkladů na vnější stěny budov. System se skládá z hlavní jednotky pro nastavení prvků (s mechanismem pro ukládání prvků, ukládání a nanášení malty a umístění dlaždic) a portálového mechanismu orientovaného podél stěny, která posune obkladové jednotky vertikálně a horizontálně. Robotický koncový efektor umístí a stlačuje dlaždice postupně po nanesení vrstvy malty na zadní straně každé dlaždice. System může obsluhovat jeden pracovník a může dosáhnout přesnosti ± 1 milimetr. Robot může zpracovávat obklady o rozměrech 227x60 milimetrů a s tloušťkami od 8 do 15 milimetrů.	Obkládání vnějších stěn
Robot for Paving Floors with Ceramic Tiles (viz. obr.24 vpravo)	Corporation and Komatsu	System se skládá z pěti klíčových subsystémů: mobilní platforma, která umožňuje pohyb systému, robotický manipulátor, koncový efektor se sacím zařízením pro manipulaci s více dlaždicemi, dočasnou palubní paměťovou plochu a palubní řídicí a napájecí systém.	Pokládání interní dlažby

Tabulka 11 - Robotické pokládání dlažeb a obkladů Zdroj: [22]

2.3.3.6. Robotické svařování



Obrázek 25 - Steel Beam Welding Robot Zdroj: [22]

Konstrukce větších budov, které používají oceli jako primárního materiálu pro nosnou konstrukci, vyžadují zejména velké množství svařovacích prací. Pokud konstrukce sloupů a nosníků umožňuje snížit množství svařovacích linek, stává se

svařování vysoce se opakujícím operátem vhodným pro automatizaci. Navíc konvenční svařování na pracovišti – zejména pokud je poskytováno vybavení nízké kvality - může mít vážné nepříznivé účinky na zdraví pracovníků. Svařování je potenciálně nebezpečná práce a jsou vyžadována opatření, aby se zabránilo popálení, poškození zraku, vdechnutí jedovatých plynů a výparů a vystavení intenzivnímu ultrafialovému záření. Kromě toho musí být práce prováděna s vysokou přesností, často v nepohodlných pracovních pozicích. Automatizované svařování dokáže lépe řídit a zaručit kvalitu spojení mezi svařovanými součástmi. [22] Představuje konvenční STCR s určitým počtem naprogramovaných činností (viz tab. 12):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
Steel Beam Welding Robot (viz. obr.25 vlevo)	Obayashi Corporation	Obayashi původně vyvinul tento systém jako podsystém svého automatizovaného stavebního systému (ABCS, viz také 4. díl) pro automatizaci svařování nosníků na sloupy. V rámci systému ABCS umístí systém OM na nosník přilehlý k sloupu.	Svařování nosníků
Steel Column Welding Robot (viz. obr.25 vpravo)	Shimizu Corporation	Systém se používá pro automatizované svařování vodorovných spojů ocelových sloupů. Systém snižuje ruční práci i svářecí nedostatky vzniklé lidskou chybou. Systém se skládá z mobilního vozíku, který nese napájecí systém / napájecí zdroj (a který může prostřednictvím sady kabelů dodat několik svařovacích robotů připojených k různým sloupům), vodící lišty pro robota, který je dočasně připevněn ke sloupu, a svařovacího robota samotného.	Vodorovné spoje ocelových sloupů

Tabulka 12 - Robotické svařování. Zdroj: [22]

2.3.3.7. Robotické zdění



Obrázek 26 - Robotické zdění, 2017, Zdroj: [24]

Současně je ve stavebnictví celkem rozšířena výstavba ze zděných prvků. Vzhledem k velkému počtu úrazů, nízkému stupni robotizace a vysokému rozsahu přemístění těžkých břemen lidskou silou během stavby je realizace robotického zednického systému velmi aktuální. Přestože existují výhody v prefabrikování cihelných zdí, zůstává nadále velmi důležité i vzdívání přímo na staveništi. Tento způsob v sobě zahrnuje mnoho opakujících se dílčích činností (např. odebrání z palety, nanášení malty, pokládání cihel). To tvoří ideální základ pro algoritmizaci, což může být základem pro automatizaci. Robotický zednický systém dokáže technicky realizovat celý proces zdění. [22] Představuje STCR s využitím metod digitální fabrikace, kde jako informační podklad může být 3D model převedený do formátu, s kterým pracuje robot (viz tab. 13):

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
On-site Brickwork Laying Robot, SMAS	Japanese Research Institute	Robotický systém umísťuje, vyrovnává a upevňuje bloky. Systém se sestává z mobilní základny, manipulátoru, koncového efektoru, systému dodávání palet. Robot se přesune na paletu, zachycuje stavební blok, přenáší ho do určeného místa a umístí ho.	Umístění, zarovnání, upevnění cihelných bloků
On-site Brickwork Laying Robot, BRONCO (viz. obr.26 vpravo)	Institute of Control Technology for Machine Tools and Manufacturing Systems at the University of Stuttgart	Robotový systém se skládá z pásové mobilní základny, 7-DOF manipulátoru instalovaného na vrchu této základny, koncového efektoru určeného pro uchopení cihel a plošiny připojené k mobilní základně. Koncový efektor je vybaven vakuovým sacím systémem a snímači vzdálenosti a sklonu. Cihly dodává do robotického systému standardních palet, umístí je na multifunkční technologickou	Celý proces zdění

		jednotku, kde se měří cihla, na cihlový prvek se nanáší malta a cihla je nakonec centrována a přenáší se do určeného místa a tam se umístí. Robotický systém automaticky generuje výrobní schéma z dat CAD. Celý systém může být vzdáleně, nebo přímo řízen prostřednictvím ručního ovládání.	
SAM100: The Semi-Automated Mason	Construction Robotics	Robot je schopen provádět opakující se úkol kladení cihel efektivně, bezpečně, přesně a předvídatelně. Systém se skládá z kompaktního, mobilního hlavního modulu (obsahuje systémy pro podávání materiálu pro malty a cihly, robot, bezpečnostní systémy, které zastavují robot při srážkách s lešeními nebo lidskými operátory, zařízení pro dávkování malty a mobilní plošinu pro horizontální pohyb); a zvedací plošiny (zvedací hlavní modul a lidské pohony); a kontrolní a softwarový systém.	Celý proces zdění
Hadrian X (viz. obr.26 prostřední)	Fastbrick Robotics Limited, Australian	Australská společnost Fastbrick Robotics vyvinula 3D automatizovaný robotický zednický systém. Standardní palety jsou umístěny v zásobníku na stroji, kde tři portálové manipulátory přivádějí cihly do řetězového logistického systému. Tento logistický systém dopravuje cihly přes výložník stroje až do koncového efektoru, který cihly umístí. Koncový efektor je klíčovým prvkem systému. Mechanismus nanáší maltu na cihly a dává je do manipulátoru, který provádí konečné umístění a fixaci. Laserový naváděcí systém umožňuje autonomní navigaci a polohování a zajišťuje přesné umístění.	Celý proces zdění
KUKA robot na zdění (viz. obr.26 vlevo)	ČVUT	V robotickém systému pro zednictví bude použit speciálně vyvinutý software, který převede potřebná data matematického modelu z prostředí BIM do formátu KUKA pro průmyslové roboty KRC4 a provede optimální návrh pohybů robotického ramene. Výsledkem bude vývoj funkčního modelu robotického zednického systému včetně technologie (depaletizace, řízení pohybu, řezání a lepení cihel na vazbu); Software pro migraci dat (IFC -> KRC4),	Pokládání cihel

		technické vybavení (přilnavost, nanášení malty/lepidla, řezné cihly, řídicí systémy); řídicí systém včetně optimalizačních procesů (energie, čas, spotřeba materiálu).	
--	--	--	--

Tabulka 13 - Robotické zdění. Zdroj: [22]

2.3.3.8. Roboty na fasádní práce

Fasádní práce zahrnují velké množství typů činností – instalace fasádních prvků, povrchové úpravy, následující údržba atd. Fasádní instalace pokrývají umístění a nastavení oken, celých fasádních prvků nebo stěn obvodového pláště. Jsou to složité operace, které zahrnují přesné umístění těžkých částí nebo prvků v místech, která jsou obtížně přístupná (např. ve vysokých výškách). To zahrnuje riziko úrazu (a tím i rozsáhlých bezpečnostních opatření) a poškození drahých prvků. Navíc umístění a uspořádání prefabrikovaných fasádních prvků vyžaduje přesnost a nízké tolerance. Proto implementace robotických systémů do oblasti fasádních instalačních a montážních prací bude schopna zlepšit bezpečnost na staveništi, kvalitu a přesnost provedených prací a jejich rychlost. Zároveň byly roboty na fasádní povrchové úpravy vyvinuty tak, aby zjednodušily malbu fasád budov, která je dost obtížná. Fasády vysokých budov se obzvláště obtížně natírají nebo přebarvují během výstavby i během provozu. Roboty pro lakování fasády mají obzvláštní výhodu při udržování konstantní kvality. Hlavní výhodou malby robotů je skutečnost, že pracovníci nejsou vystaveni škodlivým nátěrovým látkám. [22]

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
Facade Element Installation Robot	Kajima Corporation	Robot má kompaktní konstrukci a je pohyblivý, což umožňuje jeho snadné přemístování na místo a požadovanou polohu pomocí běžných stavebních výtahů na místě. Robot se skládá z mobilní platformy, která může zvednout a spouštět manipulátor a koncový efektor, který může zvednout, držet a spouštět fasádní panely mechanismem navijáku. Robot tak umožňuje zvednout prvky do požadované polohy a udržet je přesně v této poloze, dokud ji pracovník neupevní na svém místě.	Montáž fasádních panelů

Facade Concrete Panel Installation Robot	Kajima Corporation	Robot je vybaven specializovaným koncovým efektem pro zvedání, přepravu a umístění srovnatelně malých fasádních panelů. Robotový systém umožňuje jedinému pracovníkovi provést instalační proces ručním dálkovým ovládním systému. Robotový systém se skládá z pohyblivého základního rámu, 4-DOF manipulátoru a koncového efektoru. Koncový efektor se skládá z uchopovací jednotky vybavené zařízením pro vakuové odsávání a spouštěcím zařízením navijáku, které umožňuje, aby byl panel spuštěn na určené místo.	Montáž fasádních betonových panelů
Ceiling Glass Installation Robot	Hanyang University and Samsung	Robotický systém se skládá ze čtyř hlavních částí: (1) vozidlo vybavené zdvihacím mechanismem (max. užitečné zatížení = 2000 kg), (2) pracovní plošina, kterou může tento zdvihací mechanismus umístit, (3) průmyslový manipulátor s více zařízenými DOF umístěný na pracovní plošinu a (4) koncový efektor vybavený zařízením HRI (Human Robot Interface), které umožňuje pracovníkovi řídit prvek, který je obsluhován průmyslovým manipulátorem.	Montáž oken
Robot for Painting Exterior Walls	Taisei Corporation	Robotický systém umožňuje vyšší efektivitu, přesnost a snížení rizika při provedení prací. Natírání a malba fasád prostřednictvím ruční práce v extrémních výškách je velmi obtížná a riziková. Robot se skládá ze tří hlavních částí; mobilní jednotka s řízenou kolejnicí (vertikální pohyb podél fasády, rychlost 8 m / min sestupná, vzestupná rychlost 16 m/min), vybavená mechanismem, kterým pohybuje skutečný zářový koncový efektor horizontálně, který je zavěšen na robotové jednotce (tato jednotka také integruje řídicí kabinu, stejně jako nádrže pro uložení kalichového / protahovacího materiálu) a součást dodávající barvu, která dopravuje barvu z nosiče střechy do robotické jednotky. Robot se pohybuje vertikálně po čele budovy podél vodítek, které byly předtím integrovány do fasády	Nátěry a malba fasád

		budovy. Barevný koncový efektor robota je umístěn uvnitř vyhrazeného oddělení tak, aby nezbyla žádná přebytečná barva. Osm rotujících stříkacích pistolí typu airless typu koncového efektoru aplikuje barvu přesně a efektivně. Tloušťka aplikovaného nátěru/povlaku může být přesně řízena a nastavena.	
Facade Diagnostics, Cleaning, and Painting Robot	Tokyu Construction Co., Ltd.	Tohoto robota lze použít nejen k lakování, ale může být také vybaven koncovými efektorů pro čištění a revizi stěnových dlaždic. Robot může být instalován na jakémkoliv velkém stavebním povrchu a hlavní těleso je zavěšeno podél dvou lan, která mu umožňují pohybovat se svisle podél povrchu budovy pomocí automatizovaného navijáku. Jakmile je robot přiveden do správné polohy navijákem, je dočasně připevněn ke stěně pomocí sacího systému. Jakmile je namalován jeden vertikální pruh budovy, robot se automaticky přesune do dalšího pruhu. Změnou připojené koncové efektorové hlavy může robot přepínat mezi dříve zmíněnými úkoly. Systém může být provozován automaticky podle programu, nebo vzdáleně pomocí dálkového ovladače.	Nátěry a malba, čištění a inspekce fasád

Tabulka 14 - Roboty na fasádní práce. Zdroj: [22]

2.3.3.9. Roboty na interiérové dokončovací práce

Dokončení interiérů je z hlediska ergonomie i produktivity nepříznivá práce, protože jsou zřídka použity jeřáby nebo jiné stroje používané k zvedání a umístění dílů a součástí. Výzkum a vývoj však pokračovaly a nejnovější přístupy ukazují, že pokroky v oblasti robotiky a integrace STCR s programovým vybavením pro plánování práce jsou konečně schopny produkovat robotický systém, který je proveditelný a nákladově efektivní alternativou konvenční konstrukce. Systémy v této kategorii zahrnují širokou škálu zařízení, jako jsou mobilní platformy vybavené manipulátorem, které se používají k manipulaci a umístění stěnových panelů; roboty, které pomáhají nebo jsou schopny plně automatizovat instalaci stropních prvků; roboty, které pomáhají při instalaci velkých instalatérských nebo provzdušňovacích systémů; systémy pro nanášení tapet, desek

nebo membrán; systémy pro aplikaci malty/omítky na stěny; a roboty pro automatické vrtání otvorů do stěn a stropů. Díky velkému množství úkolů spojených s dokončením interiéru byly některé systémy dokonce navrženy jako modulární sestavy, které lze přizpůsobit nebo rychle přizpůsobit různým podmínkám a úkolům.

Technologie	Výrobce	Způsob práce	Využití ve stavebnictví
Ceiling Panel Positioning and Nailing Robot and Drilling Robot	Hazama Ando Corporat	Stropní desky jsou naloženy (např. vysokozdvíhým vozíkem) do "plošiny pro uložení desek" a poté zvednuty do požadované výšky. Každá stropní deska se pak automaticky posouvá vodorovně ke koncovému efektoru. Koncový efektor je automaticky řízen nebo řízen lidským pracovníkem a umožňuje umístit, nastavit a upevnit (přes integrované více hřebíček děl) panely.	Montáž podhledu
Wallpapering Robot	Komatsu	Robot se pohybuje podél stěny na mobilní plošině a automaticky instaluje tapetu, svislý řez vertikální částí. Robot se přizpůsobuje cílené oblasti stěn pomocí systému senzorů vzdálenosti, který dokáže skenovat okolí a identifikovat pracovní plochu. Válcový systém na předním konci robota pomáhá udržovat pevnou vzdálenost systému od stěny.	Vytapetování
Mobile and Modular Interior Finishing Robot Kit	Lindner/TUM	Systém byl navržen v modulární robotové sadě, která umožňuje, aby byla robotická základna vybavena řadou snímačů a pracovních modulů/koncových efektorů a aby byla přizpůsobena velkému množství úkolů při dokončování interiéru a individuálních podmínkách na místě. Systém se skládá z mobilní platformy, rámu umožňujícího spouštění/zvedání a umístění pracovního modulu a výměnného rámce pracovního modulu. Rámy pracovních modulů mohou být vybaveny řadou nástrojů a koncových efektorů, které umožňují automatizaci úkolů, jako je instalace stropních/stěnových panelů, hřebování a čištění. Pracovní moduly mohou být přizpůsobeny určitým podmínkám na místě a změna pracovních modulů může být provedena během několika minut, aby bylo možné změnit pracovní režim robota. Pásová	Interiérové dokončovací práce

		<p>mobilní platforma řídí pohyb a orientaci robota v daném prostředí a obsahuje modulární oddíly, které mohou být v závislosti na úkolu, který má robot provádět, vybaveny senzory, jako jsou detekční senzory založené na laseru, infračervené a ultrazvukové systémy.</p>	
--	--	---	--

Tabulka 15.- Roboty na interiérové dokončovací práce. Zdroj: [22]

2.3.4. Automatizované technologie monitorování staveniště a sledování procesu výstavby

Robotické systémy se stále častěji vyvíjejí a používají v kontextu stavby pro úkoly, jako je sledování staveniště či prováděných práci, provoz zařízení a sledování lidí či materiálů, postup výstavby, nákladový controlling, bezpečnosti na staveniště; inspekce ploch, budov a fasád; a kontrola či údržba budov. Takové roboty používají metody laserového skenování, fotogrammetrie, RFID čipy jako informační podklad ve většině případů je použit BIM.

2.3.4.1. Řízení bezpečnosti

Technologie	Způsob práce	Výrobce	Využití ve stavebnictví
Human Condition Safety	Human Condition Safety (HCS) vytváří sadu nástrojů, které pomáhají zaměstnancům, stavbyvedoucím a koordinátorem BOZP předejít zranění předtím, než k nim dojde. Sada produktů je určena pro odvětví stavebnictví, která mají nejvyšší riziko pro pracovníky, včetně výroby, skladování, dopravy, montáže a realizace, a to včetně nositelných zařízení, umělé inteligence, informačních modelů budov a cloud computingu.	HCS's technology	Řízení BOZP na staveništi, eliminace rizik
BIM nástroje	Automatizované ergonomické posouzení rizik založené na 3D vizualizaci. Použití BIM pro automatické plánování lešení a pro analýzu rizik na stavbách;	-	Posouzení možných rizik, plánování a analýza rizik Sledování a řízení rizik

Tabulka 16 - Automatizované řízení bezpečnosti. Zdroj: [22]

2.3.4.2. Řízení kvality

Technologie	Způsob práce	Výrobce	Využití ve stavebnictví
Smartphone aplikace	Vývoj aplikace Smartphone pro rozpoznávání rudy v reálném čase. Smartphony jsou vybaveny vysoce pixelovou kamerou a výkonným procesorem. Aplikace pro Android, která dokáže rozpoznat ostrost z oceli.	-	detekce koroze
VR/AR	AR (rozšířená realita) založené 3D modelování pracovních prostorů pro posuzování kvality s využitím na stavbě v rekonstrukci Přístup založený na rozšířené realitě (AR) pro dosažení optimálního uspořádání stránek ve stavebních projektech		Vizualizace budoucích konstrukcí, vizualizace projektů, označení vad a rizikových míst
BIM	Použití BIM pro automatizaci generování informací pro montáž lešení		Optimální a správný návrh lešení
Quicabot	Robot dokáže skenovat celou místnost, aby zjistil závady podle norem, a potom nahrál své údaje do BIM. To znamená, že všechny vady budou automaticky zaznamenávány jejich vizuálními a detailními měřeními, k nimž mohou inspektoři a majitelé budov přistupovat	Singapore's Nanyang Technological University	Kontrola kvality provedených prací

Tabulka 17- Automatizované řízení kvality. Zdroj: [22]

2.3.4.3. Materiálový management

Technologie	Způsob práce	Výrobce	Využití ve stavebnictví
RFID a BIM	Sledování materiálu v reálném čase v rámci dodavatelského řetězce. RFID čip může být přidělen každému jednotlivému konkrétnímu kusu materiálu či prefabrikátu. Pak je lze sledovat stav prvku: výroba, transport, kontrola kvality, montáž a provoz – implementovat tuto informace do BIM	-	Sledování toku materiálů a provedených prací

Tabulka 18 - Automatizovaný materiálový management. Zdroj: [22]

2.3.4.4. Sledování realizace staveb a nákladový controlling

Technologie	Způsob práce	Princip práce	Využití ve stavebnictví
3D laserové skenování	Metoda se využívá laserové paprsky pro měření vzdálenosti. Mohou být umístěny na terénu, je přesnější metodou, a letecká metoda, která má větší rozsah.	-	Skenování budov a systémů budovy, kontrola kvality provedení, nákladový controlling, dokumentace skutečného provedení
Drony	Mohou využívat pro laserové skenování nebo fotogrammetrie.	-	Sestavení map, dokumentace skutečného provedení, monitorování, kontrola bezpečnosti, nákladový controlling

Tabulka 19 - Sledování realizace staveb a nákladový controlling. Zdroj: [22]

2.3.5. Výhody a nevýhody uplatnění stavebních robotů na staveništi

Systémy STCR jsou systémy, které podporují pracovníky na staveništi při provádění konkrétních stavebních procesů nebo úkolů (např. kopání, vyrovnávání betonu, zdění cihel, logistika, malba atd.) nebo úplně nahradí fyzickou práci. Procesy a úkoly, které STCR provádějí, jsou ve většině případů specifické a úzce zaměřené. Navíc vyžadují procesy a úkoly s vysokým počtem opakovaných činností. Dle provedeného průzkumu STCR technologií autor vyznačil následující charakteristiky:

- STCR jsou vyvinuty převážně pro použití přímo na staveništi,
- STCR jsou velmi specifické a úzce zaměřené,
- STCR dosahují vyšší produktivity ve srovnání s konvenčními technologiemi:

- pozitivní dopad na kvalitu přesným řízením funkcí a operací a umožnění sledování a kontroly práce v reálném čase,
- zlepšení pracovních podmínek: snížení nebezpečné a těžké fyzické práce,
- různé provozní režimy: automatické senzorové fungování, automatické předprogramování, dálkové ovládání, metody digitální fabrikace
- pozitivní dopad na spotřebu materiálů a energie přesným automatickým řízením [5]

STCR jsou z technologického hlediska a s ohledem na zlepšení produktivity související se specifickými stavebními úkoly obrovským zlepšením. Z většího organizačního hlediska, které uvažuje celý proces výstavby, může být aplikace a integrace STCR do realizačního procesu stále považována za produkce výrobku s jednotlivými a pouze volně spojenými výrobními a ve většině případů izolovanými jednotkami. Jak bylo uvedeno výše, jeden z hlavních nápadů dosažení hlavních principů 4: průmyslové revoluce je vzájemná interakce výrobních jednotek, analýza a sběr velkého množství dat a následující automatizované nastavení organizační strategie výroby, proto budoucnost STCR systémů je spočívá v přívodu izolovaných výrobních STCR jednotek na automatizovanou in situ inteligentní továrnu (angl. Integrated Automated/Robotic On-site Factories) [5].

3. Praktická část

V rámci této práce se autor pokusil získat datovou základnu o využití progresivních technologií mezi českými firmami formou ankety s cca 20 otázkami (viz příloha 6). Takový souhrn informací od hlavních firem na trhu by byl velmi cenným výchozím dokumentem, umožňujícím vysledovat trendy, které komerční sféra považuje za perspektivní, a dá se tedy předpokládat jejich důležitost i v konceptu „Stavebnictví 4.0“. Jako výsledek dostal autor informaci, že v současné době většina velkých stavebních firem a výrobců stavebních materiálů implementuje do svých podniků technologie z koncepce „Stavebnictví 4.0“, ale většina informací o těchto technologiích je součástí firemního know-how a poskytování těchto informací nebylo bohužel z důvodu ochrany podnikání oslovenými formami umožněno.

Pro posouzení výše nabízeného řešení, že koncepce „Stavebnictví 4.0“ je schopna řešit řadu problémů stavebnictví jako: vysoký podíl ruční práce a nízký stupeň automatizace, tím pádem malá intenzita přírůstu produktivity; vysoká úrazovost a vysoký podíl konstrukčních vad, obrovská spotřeba surovin a energie; velké množství odpadů atd. (viz 1.1 Charakteristika oblasti stavebnictví ČR) – použil autor této práce projekt rodinného dvoupodlažního dvojdomu Strašín s celkovou zastavěnou plochou 325 m². Investorem projektu rodinného dvojdomu byla Alcatraz, s.r.o., projektantem – ABCD Studio, s.r.o. Jako technologii z koncepce „Stavebnictví 4.0“ vybral autor model zdicího robota, který byl vyvinut na Katedře technologie staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze Ing. Vyacheslavem Usmanovem, PhD., Ing. Michalem Bruzlem, doc. Ing. Pavlem Svobodou a Ing. Rostislavem Šulcem, PhD. Na základě technické informace, kterou autor dostal při průzkumu dané technologie, bude tato kapitola obsahovat v první části technologický postup při realizaci svislých konstrukcí technologií robotického zdění s využitím průmyslového robota, v druhé části bude představeno porovnání progresivní technologie robotického zdění a konvenční technologie vyzdívání prostřednictvím ruční práce podle časových, ekonomických a bezpečnostních parametrů. Technologie robotického zdění, která je vyvíjena na K122, je zmenšeným modelem robotické soustavy - 1:3, neumožňuje zdění běžnými cihelnými bloky, ale pouze se speciálními, lehkými tvarovkami. Pro účely této práce si autor nahradil model robota KUKA Agilus

plnohodnotným robotem KR QUANTEC ultra K a zvětšil tak rozměry a dosah robotické soustavy pro využití na reálném projektu. Robotické zdění na Katdře technologie staveb je jedinou technologií, k níž byl autor schopen sehnat technické informace. Všechna vstupní data jako rychlost zdění, cena za provoz stroje apod. jsou čerpána z konzultací s Ing. Usmanovem, Ph.D. nebo z technických listů, a protože uplatnění této technologie v praxi nebylo realizováno a tato data nejsou veřejná, většina informací je orientační.

3.1. Projekt rodinného dvojdomu Strašín

Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepený objekt rodinného dvojdomu obdélníkového půdorysu zastřešený sedlovými střechami. Konstrukční výška podlaží je 3,25 m, světlá výška je 2,80 m. Dům je založen na základové desce tl. 200 mm s obvodovými základovými pasy. Ochrana základové spáry (před nepříznivými klimatickými vlivy) se doporučuje vrstvou podkladního betonu tl. 100 mm, vyztuženou sítěmi KARI. Svislá nosná konstrukce objektu je zajištěna obvodovými nosnými stěnami a vnitřní nosnou stěnou z keramických tvarovek (ref. v systému Porotherm). Obvodové stěny jsou navrženy z tvarovek Porotherm 44 Profi ($U=0,26\text{W/m}^2\text{K}$) na tenkovrstvou zdící maltu, oboustranně omítané cementovápennou štukovou omítkou. Překlady nad otvory v obvodových stěnách jsou navrženy cihelné Porotherm KP 7, zatepleny min. 120 mm EPS stejně jako veškeré železobetonové konstrukce (věnce). Vnitřní nosné stěny jsou navrženy z tvarovek Porotherm 30 Profi na tenkovrstvou zdící maltu, oboustranně omítané cementovápennou štukovou omítkou. Vodorovné nosné konstrukce jsou tvořeny keramobetonovými stropními nosníky POT a cihelnými vložkami MIAKO zmonolitněnými železobetonovou deskou tl. min. 60 mm., která bude na stěně zároveň tvořit železobetonový skrytý věnec, tepelný most v místě balkonu bude přerušen isonosníkem, balkonová deska bude železobetonová. Zděné příčky jsou navrženy z cihel Porotherm 11,5 AKU, P10 na MVC 10, oboustranně omítané jádrovou vápenocementovou omítkou tl. 15 mm a vrchní štukovou omítkou tl. 4 mm. Objekt je zastřešen sedlovými střechami. Hřeben střechy leží v úrovni +8,850=413,050 m.n.m. a tvoří tvar písmene H. Střechy se štítů kolmými na přilehlou komunikaci mají sklon 35°, spojovací střecha má sklon 23°. Zastřešení je navrženo vaznicovou soustavou se dvěma středními vaznicemi, které jsou ztuženy kleštinami pod vrcholem a v úrovni stropu 2.NP. Vaznice jsou podepřeny

ocelovými sloupky. Pozednice bude kotvena závitovými tyčemi do železobetonového věnce po celém obvodu domu. Tepelné izolace jsou navrženy pro následující části stavby: svislé konstrukce pod terénem XPS 100 mm – kotveno mechanicky, svislé zateplení a dilatace mezi domy XPS 100 mm - kotveno mechanicky, šikmá střecha minerální izolace mezi krokvi 360 mm, podlahy budou zatepleny podlahovým polystyrenem 120 mm. Obě části dvojdomku tvoří obytné prostory 5+1. V 1. NP se nachází WC, ve 2. NP se nachází 2x koupelna spojená s WC (viz příloha 1, příloha 2, příloha 3, příloha 4).

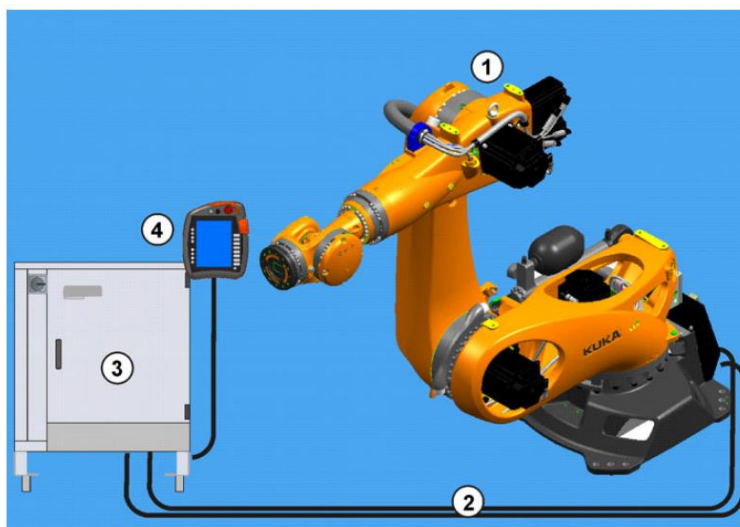


Obrázek 27 - Rodinný dvojdom Strašín, 2017, Zdroj: Century 21

3.2. Popis a charakteristika technologie robotického zdění.

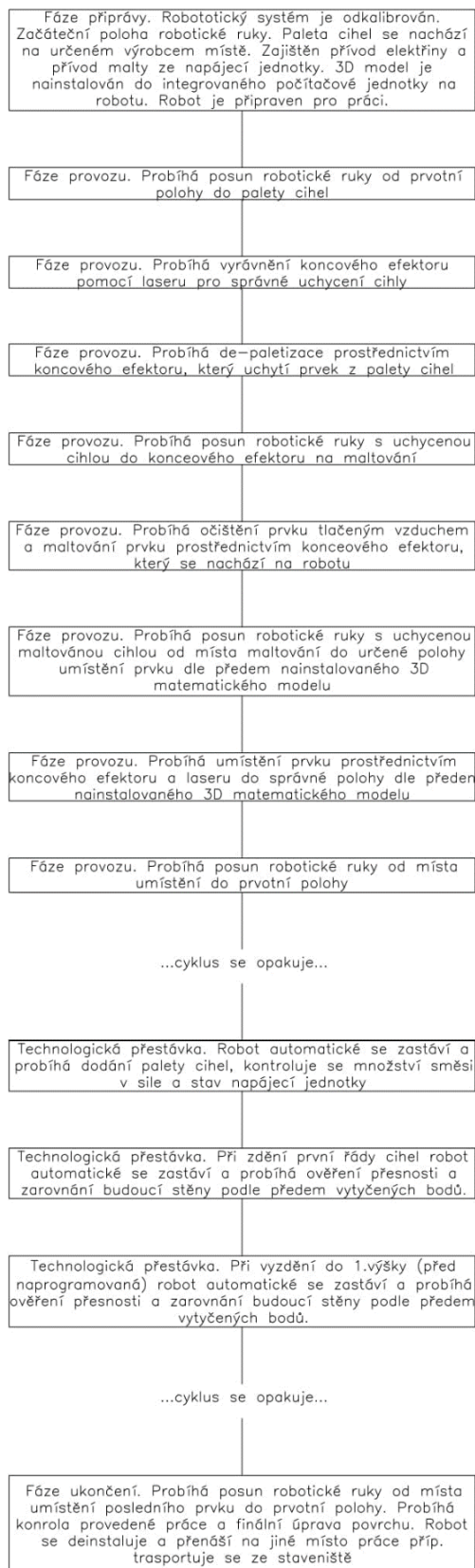
Pro realizaci projektu zvolil autor technologii robotického zdění vyvinutou na Katedře technologie staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze (viz kapitola 2.3.3.7), kde byl původní model robotické ruky KUKA Agilus nahrazen plnohodnotným robotem KR QUANTEC ultra K. Robot se skládá ze tří hlavních částí: koncové efekty pro uchycení a umístění zdicích prvků a nanášení malty či lepidla; robotická ruka KR QUANTEC ultra K s 6 stupni volnosti pohybu pro přemísťování zdicího prvku na délku do určitého místa a správné polohy (maximální dosah robotické ruky tohoto typu 3.9 m a únosnost na

konci ramena je 120 kg, pro automatizované a trvalé zdění v rámci projektu by délka dosahu měla být maximálně 6.6 m, proto je třeba použít nástavec na zvětšení délky dosahu); počítačová operační jednotka, která zajistí ovládání celou robotickou soustavou - umístění materiálů, pohyb robotické ruky a programování koncových efektorů (obr. 28). Průměrná hmotnost robotického systému je 1198 kg, dosah (s nástavcem) – 6.6 m, únosnost na konci ramena – cca. 40 kg, celý robotický systém je chemicky kotven do železobetonové desky. (viz [28])



Obrázek 28 - Model robotické systémy na zdění. Zdroj: [28]

Vstupními daty při práci s robotem je výkresová dokumentace objektu (např. BIM), vlastnosti konstrukčních prvků (rozměry, hmotnost atd.), technické parametry a omezení. Dalším krokem je zpracování vstupních dat – konverze dat (RVT. do KUKA KPL), programování pohybu robotické ruky, programování koncového efektoru. Na výstupu dostaneme optimální pohyb robotické ruky, optimální provoz koncových efektorů a analýzu spotřeby energie a materiálů, času a kvality. Přívod malty do koncového efektoru je zabezpečen přes napájecí jednotku – pneumatický dopravník CEMIX s kontinuální míchačkou CEMIX ze sila umístěného na staveništi s uskladněnou suchou směsí CEMIX (viz. příloha 5). Materiál na zdění bude se nacházet v určitém místě v oblasti dosahu ramena, dodání materiálu bude probíhat pomocí autojeřábu. Algoritmus fungování robota je uveden níže:



Obrázek 29 - Algoritmus fungování robotu na zdění. Zdroj: konzultace Usmanov

3.3. Technologický postup realizace svislých konstrukcí

3.3.1. Základní identifikační údaje

3.3.1.1. Identifikační údaje stavby

Stavba dvoupodlažního rodinného dvojdomu o půdorysných rozměrech 18 × 14,75 m, založeného na základových pásech vyztužených základovou deskou. Zdění nosných obvodových a vnitřních stěn je zajištěno technologií robotického zdění. Sedlová střecha objektu je pevně ukotvena na ztužující věnec. (viz příloha 1, příloha 2, příloha 3, příloha 4).

3.3.1.2. Vymezení předmětu řešení

Pro posuzování technologie robotického zdění bude použito zdění nosné obvodové a vnitřních stěn v 1.NP. Pro realizaci obvodových a vnitřních zděných konstrukcí hrubé stavby je použita technologie robotického zdění. Plně automatizovaná soustava zařízení je poháněna strojem s ramenem, na kterém jsou počítačem ovládané koncové efekторы, které nejdříve stlačeným vzduchem očistí cihlu, nanášejí maltu na cihlu a pak ji umístí na přesné místo. Přesnost zdění je zajištěná laserem a udávaná výrobcem ± 0,06 mm. [28] Další části výrobní soustavy se skládají ze sila s připraveným uskladněným materiálem a napájecí jednotky s kontinuální míchačkou.

3.3.1.3. Vstupní materiály a výrobky

<i>Prvky pro technologie robotické zdění</i>	<i>Množství materiálů [m²]</i>	<i>Pevnost v tlaku [MPa]</i>	<i>Hmotnost jedné cihly [kg]</i>	<i>Spotřeba celoplošné malty pro tenké spáry (l/m²)</i>	<i>Spotřeba cihel na 1 m² [ks]</i>	<i>Počet kusů na paletě [ks]</i>	<i>Objemová hmotnost [kg/m³]</i>
<i>Nosné obvodové steny Porotherm 44 Profi</i>	148,35	10	20.4	3.1	16	60	780
<i>Nosné obvodové steny Porotherm 30 Profi</i>	121,48	10	15.7	2.1	16	80	800
<i>Celkem</i>	269,83						

Tabulka 20 - Vstupné materiály a výrobky: Prvky pro technologie robotického zdění. Zdroj: příloha 4

Malta	Množství mokré směsi [l]	Vydatnost při zpracování – množství čerstvé malty [kg/l]	Množství suché směsi [kg]	Pevnost v tlaku [MPa]	Nasákavost [kg/(m ² min0,5)]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
Zdicí malta CEMIX 10 MPa	715	1,85	1323	10	≤ 0,40	1800

Tabulka 21 - Vstupní materiály a výrobky: Malta. Zdroj: příloha 4

Překlady Porotherm	Množství materiálů [ks]	Rozměry š x v x d [mm]	Hmotnost jednoho překladu [kg]	Počet kusů na paletě [ks]	Cihelné tvarovky	Beton třídy	Výztuž
4 x Porotherm KP 7 - 1250 [mm]	10	70x238x1250	43,75	20	UZ 238/70	C 25/30	KARI drát
4 x Porotherm KP 7 - 1500 [mm]	4	70x238x1500	52,5	20	UZ 238/70	C 25/30	KARI drát
4 x Porotherm KP 7 - 2750 [mm]	2	70x238x2750	96,25	20	UZ 238/70	C 25/30	KARI drát
4 x Porotherm KP 7 - 1750 [mm]	2	70x238x1750	61,25	20	UZ 238/70	C 25/30	KARI drát
4 x Porotherm KP 7 - 1000 [mm]	2	70x238x1000	35	20	UZ 238/70	C 25/30	KARI drát
4 x Porotherm KP 7 - 2500 [mm]	2	70x238x2500	87,5	20	UZ 238/70	C 25/30	KARI drát
IPE 200	2	100x250x2820	63.17	-	-	-	-

Tabulka 22 - Vstupné materiály a výrobky: Překlady. Zdroj: příloha 4

3.3.1.4. Výpis materiálů

Materiál pro zdění se na stavbu bude dodávat na paletách, množství palet je 65 kusů. Celková plocha zdění 269,83 m². Nosné obvodové stěny budou z cihel Porotherm 44 Profi; nosné vnitřní stěny – z cihel Porotherm 30 Profi. Jako malta bude použita zdicí

malta CEMIX 10 MPa v celkovém objemu 715 l, materiál se bude dodávat v zásobníku objemem 7,5 m³ na nákladním autě, a to množství 1323 kg. Malta bude uskladněná v síle a bude se připravovat prostřednictvím kontinuální míchačky a bude se transportovat do robotického koncového efektoru pomocí pneumatickému dopravníku. Překlady typu Porotherm KP 7 v počtu 88 kusů se osazují do maltového lože tloušťky cca 10 mm z malty pro celoplošnou spáru.

<i>Materiál</i>	<i>Množství</i>	<i>Spotřeba</i>	<i>Objednávka</i>
<i>Nosné obvodové steny Porotherm 44 Profi</i>	148,35 [m ²]	16 [ks/m ²]	40 palet po 60 ks
<i>Nosné obvodové steny Porotherm 30 Profi</i>	121,48 [m ²]	16 [ks/m ²]	25 palet po 80 ks
<i>Zdicí malta POROTHERM Profi</i>	715 [l]	3.1/2.1 [l/m ²]	Silo objemem 7,5 m ³
<i>Porotherm KP 7 - 1250 [mm]</i>	40 [ks]	4 [ks/otvor]	2 palety po 20 ks
<i>Porotherm KP 7 - 1500 [mm]</i>	16 [ks]	4 [ks/otvor]	1 paleta po 16 ks
<i>Porotherm KP 7 - 2750 [mm]</i>	8 [ks]	4 [ks/otvor]	1 paleta po 8 ks
<i>Porotherm KP 7 - 1750 [mm]</i>	8 [ks]	4 [ks/otvor]	1 paleta po 8 ks
<i>Porotherm KP 7 - 1000 [mm]</i>	8 [ks]	4 [ks/otvor]	1 paleta po 8 ks
<i>Porotherm KP 7 - 2500 [mm]</i>	8 [ks]	4 [ks/otvor]	1 paleta po 8 ks

Tabulka 23 - Výpis materiálů. Zdroj: příloha 4

3.3.1.5. Zásady manipulace, dopravy a skladování materiálů

Palety s cihlami HELUZ (platí i pro palety s překlady) se ukládají na zpevněný, nerozštědlý, rovný a odvodněný povrch (např. asfalt, beton a jiné zpevněné plochy) (viz příloha 5). Ucelené palety s cihlami se ukládají maximálně 2 na sebe – maximální

staveništní kapacita palet s prvky je 35. Pokud je na paletách sníh či námraza, nelze na ně uložit další vrstvu palet, aby nedošlo k jejich sklouznutí. Pro manipulaci s paletami se používají paletovací vozíky a autojeřáb. Při manipulaci se zavěšenou paletou s cihlami dbáme na to, aby závěsy byly při zdvihání palety řádně vystředěny, aby nedošlo k poškození okolních palet při zhoupnutí zvedané zavěšené palety. Při nakládce/vykládce dbáme také na to, aby vidle manipulačních prostředků nepoškodily zboží na paletě. Palety s cihlami se ukládají na volnou a rovnou ložnou plochu dopravního prostředku. Při nakládání palet s cihlami na dopravní prostředek musí být zabezpečen dostatečný přístup k ložné ploše vozidla. Palety se ukládají vysokozdvížnými vozíky těsně vedle sebe. Palety s cihelnými prvky je zakázáno po úložné ploše dodatečně posouvat (případ, kdy vysokozdvížný vozík posouvá tlačení jedné palety další palety na ložné ploše vozidla), případně nelze vyžadovat na obsluze vysokozdvížného vozíku několikeré (opakované) najíždění do palety. Při nakládce a vykládce palet jeřábem musí být použity závěsy na palety. V žádném případě není možné manipulovat s paletami pouze podvlečením lany. Palety musí být na ložné ploše dopravního prostředku zajištěny proti pohybu. Je nutné zabránit poškození cihelných bloků neopatrnou jízdou při přepravě na dopravním prostředku [29]. Suchá směs se dováží z centrální výroby a skladuje se v zásobnících silech na stavbě. Malta se vyrábí přímo na staveništi smícháním suché směsi, umístěné v zásobním síle, s potřebnou dávkou vody přes kontinuální míchačku CEMIX a dodá do koncového efektoru pomocí pneumatického dopravníku. Silo se na stavbu dopravuje speciálním transportním nákladním vozidlem a umístí na zpěněnou plochu.

3.3.1.6. Metody kontroly kvality materiálů a kvality provedených prací

Vedoucí pracovník zkontroluje po dodání podle dodacího listu množství a technický stav palet a sila s uskladněným materiálem. Technický stav se kontroluje také těsně před začátkem přípravy malty. Stroj na přípravu malty je plně automatizován. Dále je nutné zkontrolovat počet dodaných překladů. Vizuálně zkontrolovat mechanické poškození jednotlivých prvků, palety nebo jiného balení. V průběhu zdění je dbáno na zásady, které je nutné dodržet, a jejichž porušení lze snadno odhalit při vizuální prohlídce zdiva. Zprvce jsou to ložní spáry. Malty a lepidla se mají nanášet na zdicí prvky celoplošně, žádné mezery nejsou přípustné. Zadruhé jsou to styčné spáry. V případě, že

se jedná o prosté zdivo, platí stejné zásady jako pro ložné spáry. [30] Při kontrole půdorysné polohy konstrukcí je nutno řídit se podle ČSN 73 0205 - Geometrická přesnost ve výstavbě, jsou doporučeny následující hodnoty odchylek bez povrchových úprav: ± 15 mm pro $H \leq 8$ m. Při kontrole svislosti zdiva je nutno se řídit podle ČSN 73 0205 - Geometrická přesnost ve výstavbě, jsou doporučeny následující hodnoty odchylek bez finálních povrchů: ± 25 mm pro $4 \text{ m} < L \leq 8 \text{ m}$. Hodnotou L se rozumí vzdálenost konstrukcí podle projektu.

3.3.2. Pracovní podmínky

3.3.2.1. Přípravenost staveniště

Stavební objekt je ve fázi dokončení základových konstrukcí, v místech stěn a příček jsou nataveny asfaltové pásy. Nosné konstrukce jsou vytyčeny. Na staveništi je zabezpečen přívod vody a elektřiny. V tomto konkrétním případě je na stavbě umístěna rozvodná skříň na napětí 380 [V]. V příštím interiéru budovy je umístěn robot na zdění. Instalace robota bude probíhat pomocí autojeřábu AD 20 TATRA, kotvení bude zajištěno pomocí chemické kotvy do základové desky, před instalací je musí být proveden statický výpočet na únosnost základové desky pro umístění robota. V blízkosti stavby je také jednotka na automatickou přepravu malty, silo a materiál pro zdění. Před začátkem osazování překladů je nutné ověřit stav zděných stěn a zajistit, že odpovídají toleranci. (viz příloha 5)

3.3.2.2. Struktura pracovní čety

Pracovní četa se skládá z odborného pracovníka, který absolvoval školení pro práci s danou technologií a disponuje technickými znalostmi pro práci s CAD softwarem a softwarem robota na zdění, dvou pomocných pracovníků, kteří budou připravovat a kontrolovat stav zařízení a množství vody a suché směsi na přípravu směsi na maltování, umísťovat palety s cihlami na určená místa, provádět finální úpravy povrchu a osazovat překlady. Autojeřáb s jeřábníkem bude přenášet robotickou soustavu před instalací a po deinstalaci a bude zabezpečovat trvalé dodávání palet cihel. Pro montáž lehkého pojízdného lešení budou čety doplněny o 2 další pracovníky.

3.3.2.3. Okolní podmínky při práci

Použití robota na zdění vyžaduje specifické povětrnostní podmínky. Teplota vzduchu musí být větší než 10 °C a menší než 55 °C, relativní vlhkost nesmí překročit 80 % a také nesmí pršet. Riziko způsobuje i vítr, jehož rychlost by neměla být větší než 19 m/s. [28]

3.3.2.4. Stroje, přístroje a pracovní pomůcky

Robotická ruka KR QUANTEC ultra K, silo s uskladněným materiálem CEMIX, napájecí jednotky – pneumatický dopravník s kontinuální míchačkou CEMIX, autojeřáb AD 20 TATRA, vázací prostředky, špachtle, hliníkové pojízdné lešení STABILO 50, pomůcky BOZP, kladivo, velká úhlová bruska, špachtle, vodováha, ochranné oděvy, přilby, vodováhy, latě, gumovou palička, skládací dvoumetr, rotační laserový nivelační přístroj

3.3.2.5. Technologický postup doplněný postupovým diagramem

Den před zahájením prací je nutné ujistit se o vyhovujících povětrnostních podmínkách, zkontrolovat hydroizolaci pod budoucími stěnami, připravit zpevněnou plochu pro instalaci sila, napájecí jednotky a robotické ruky. Na staveništi musí být přepraven materiál – cihly a silo se suchou maltou (maximální kapacita na staveništi 35 palet a umístění sila 7,5 m³ viz příloha 5). Další den se autojeřáb a robotická soustava přepraví na staveniště. Montáž robotické soustavy do pracovního prostoru 1. etapy probíhá pomocí autojeřábu, pomocní pracovníci kotví robotickou ruku do železobetonové desky prostřednictvím chemických kotev, montuje se silo a souběžně se montuje soustava na automatickou přípravu malty – pneumatický dopravník s kontinuální míchačkou. Odborný pracovník osadí a nainstaluje celou soustavu, připojí ji na přívod malty a elektřiny 380 V. Pak se počítačová jednotka spojí s robotickou rukou a probíhá kalibrace stroje. Dalším krokem je nainstalování 3 D modelu budoucí budovy pomocí USB flash disku do integrovaného počítače, spojeného s na robotem. Dále dodají pomocní pracovníci a autojeřáb 1. paletu cihel na určené místo a zabezpečují trvalé dodávání palet, během technologických přestávek kontrolují stav napájecí jednotky malty a zabezpečují trvalé dodávání směsi do robotické soustavy. Během toho druhý pomocný

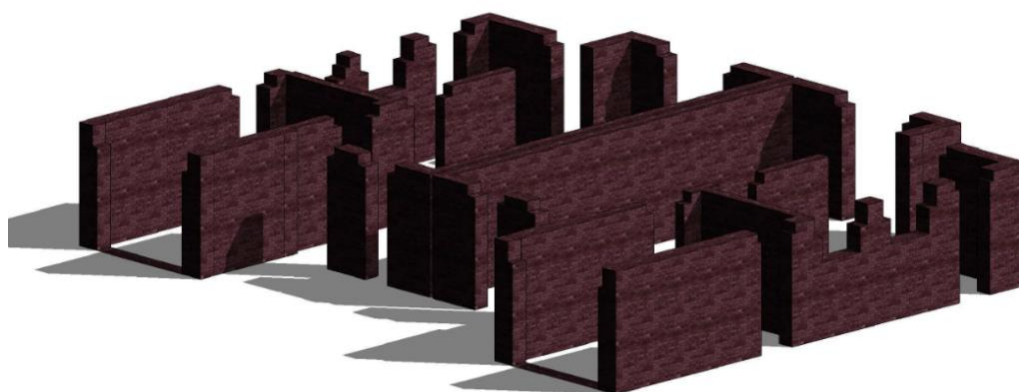
pracovník připraví maltové loží pro založení první řady zdiva, která umožní vyrovnání nerovností podkladu. Nyní je již vše připraveno a může se začít zdít. Zdění bude probíhat formou přesného zdění, to znamená, že cihly budou mít vždy stejný rozměr a vazba cihel bude navržena takovým způsobem, že budou použity celé prvky (bez řezání). První řada stěny bude provedena z cihel Porotherm 44 Profi. Postupový diagram robotického zdění bude vypadat takto:



Obrázek 30 - Postupový diagram zdění robotickým systémem. Zdroj: konzultace Usmanov

Při zdění první řady cihel je nutné ověřit přesnost a zarovnání budoucí stěny podle předem vytyčených bodů. Robot sleduje přesnou trajektorii řadu po řadě a po pár minutách jsou viditelné kontury budoucí budovy. Během zdění je na staveništi nutná

přítomnost odborného pracovníka, a to pro případnou podporu a řešení vzniklých problémů či při změně povětrnostních podmínek, a pomocní pracovníci, kteří zarovnají maltu podél stěny, dodávají palety cihel na určené místo, kontrolují množství suché směsi v silu, provoz pneumatického dopravníku s kontinuální míchačkou a sledují kvalitu zděné stěny. Celý proces zdění je naprogramován tak, aby se práce ve výšce 1,5 m stěny automaticky zastavila. Po dokončení 1. výšky se kontroluje stav zařízení, provedené práce a množství zbylého materiálů a pak se cyklus opakuje. Další technologickou přestávkou je okamžik, kdy se robot automaticky zastaví a probíhá dodání palety cihel, kontroluje se množství směsi v silu a stav napájecí jednotky. Tento proces je nutné zopakovat vždy po dokončení práce se zděním. Po dokončení zdění celého 3 D modelu robot automaticky zastaví a odborný a pomocný pracovník provádí kontrolu půdorysné polohy a svislosti stěn. Vzhledem ke stavební konstrukci je proces robotického zdění rozdělen na 6 etap (viz příloha 5 a obr. 30). Po dokončení každé etapy pomocí autojeřábu a pomocných pracovníků se robotická ruka deinstaluje z předchozí etapy a instaluje do následující. Proces zdění opět začíná. Během zdění následující etapy se v pracovním prostoru předchozí etapy montuje pojízdné lehké lešení a pomocný pracovník provádí finální úpravu – zarovná maltu pomocí špachtli a opraví nedodělky. Během 3. etapy se na stavbu dodává dalších 30 palet cihel a probíhá vložení extrudovaného polystyrenu jako dilatační spáry v tl. 100 mm. Tento proces se opakuje až do 6. etapy, pak se celá robotická soustava deinstaluje a odváží ze staveniště. Po odvozu zařízení se do určitých míst (která robot vynechal) osadí do maltových loží pomocí autojeřábu a pomocných pracovníků keramické překlady. Výsledkem práce je zděná konstrukce zobrazena na schématické 3 D vizualizaci na obr. 31.



Obrázek 31 - 3 D vizualizace nosných konstrukcí zděných robotem, Zdroj: autor

3.3.2.6. Technologický normál

Vzhledem k tomu, že využití robotického zdění zatím nenašlo v praxi uplatnění, není možné zajistit přesný výkon stroje. Proto autor stanovil na základě pracovního cyklu stavebního stroje (viz obr. 29), rychlosti pohybu robotické ruky - 2 m/s a vzdálenosti, kterou prochází robotická ruka (viz příloha 5), předpokládanou hodnotu normy pracnosti zdění 1 m² (dle technického listu výrobce cihel 1 m² tvoří 16 prvků [29]) robotem podle následujícího vzorce

$$Sh = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8) * 16}{3600}, \text{ kde}$$

t₁ – čas potřebný na posun ruky od prvotní polohy do palety cihel [s],

t₂ – čas potřebný na vyrovnání koncového efektoru [s],

t₃ – čas potřebný na de-paletizaci [s],

t₄ – čas potřebný na posun ruky s uchycenou cihlou od palety cihel do efektoru na maltování [s],

t₅ – čas potřebný na čištění cihly stlačeným vzduchem a maltování [s],

t₆ – čas potřebný na posun ruky s uchycenou cihlou od maltování do místa pokládání cihly [s],

t₇ – čas potřebný na umístění cihly [s],

t₈ – čas potřebný na posun robotické ruky od místa pokládání cihly do prvotní polohy [s].

Ze vzorce autor stanovil, že předpokládaná norma pracnosti potřebná pro zdění 1 m² robotickou soustavou se rovná 0.111 Sh. Z tohoto plyne, že předpokládaný teoretický výkon zařízení je 9 m²/h.

Na základě těchto dat a získané informace na konzultacích s Ing. Usmanovem, Ph.D. autor vypracoval technologický normál zdění nosných svislých konstrukcí

robotickou metodou. V tabulce dále je technologický normál provedených prací. (viz tab. 24) V součte budou stavební práce s robotickým systémem trvat 7 dní. Robotická soustava bude v provoz 30 hodin. Časoprostorový graf provedených prací bude popsán v kapitole 3.4.2. Časové porovnání.

č.	Sled činností (prací)	m.j.	Množství	Celk. Pracnost	směnost	počet pracovníků	čty	čas.fond	Stroje a zařízení	Doba Trvání	Doba trvání Uprav.
1	Instalace a kolibrace robotické soustavy do pracoviště 1. etapy	kpl	1	2	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.083333	0.1
2	Robotické zdění z cihel Porotherm 44 Profi a Porotherm 30 na výšku 3 [m], 1 etapa	m2	30.4	3.3716	8	3	2,3	8	Robot na zdění	0.421453	0.4
3	Deinstalace robotické soustavy z pracoviště 1. etapy a instalace a kolibrace robotické soustavy do pracoviště 2. etapy	kpl	1	3	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.125	0.2
4	Montážpojízdňého lehkého lešení v. 1,5 m.	m2	2.4	0.72	8	2	4	16	-	0.045	0.05
5	Finální úprava povrchu, 1 etapa	m2	60.8	1.215	8	1	3	8	-	0.151875	0.2
6	Robotické zdění z cihel Porotherm 44 Profi a Porotherm 30 na výšku 3 [m], 2 etapa	m2	42.8	4.7486	8	3	2,3	8	Robot na zdění	0.593573	0.6
7	Deinstalace robotické soustavy z pracoviště 2. etapy a instalace a kolibrace robotické soustavy do pracoviště 3. etapy	kpl	1	3	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.125	0.2
8	Finální úprava povrchu, 2 etapa	m2	85.6	1.7112	8	1	3	8	-	0.2139	0.2
9	Robotické zdění z cihel Porotherm 44 Profi a Porotherm 30 na výšku 3 [m], 3 etapa	m2	61.8	6.8554	8	3	2,3	8	Robot na zdění	0.85692	0.9
10	Deinstalace robotické soustavy z pracoviště 3. etapy a instalace a kolibrace robotické soustavy do pracoviště 4. etapy	kpl	1	3	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.125	0.2
11	Finální úprava povrchu, 3 etapa	m2	124	2.4704	8	1	3	8	-	0.3088	0.3
12	Vložení dilatační spáry mezi jednotlivými částmi dvojdomu	m2	36	0.72	8	1	3	8	-	0.09	0.1
13	Robotické zdění z cihel Porotherm 44 Profi a Porotherm 30 na výšku 3 [m], 4 etapa	m2	30.4	3.3716	8	3	2,3	8	Robot na zdění	0.421453	0.4
14	Deinstalace robotické soustavy z pracoviště 4. etapy a instalace a kolibrace robotické soustavy do pracoviště 5. etapy	kpl	1	3	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.125	0.2
15	Finální úprava povrchu, 4 etapa	m2	60.8	1.215	8	1	3	8	-	0.151875	0.2
16	Robotické zdění z cihel Porotherm 44 Profi a Porotherm 30 na výšku 3 [m], 5 etapa	m2	42.8	4.7486	8	3	2,3	8	Robot na zdění	0.593573	0.6
17	Deinstalace robotické soustavy z pracoviště 5. etapy a instalace a kolibrace robotické soustavy do pracoviště 6. etapy	kpl	1	3	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.125	0.2
18	Finální úprava povrchu, 5 etapa	m2	85.6	1.7112	8	1	3	8	-	0.2139	0.2
19	Robotické zdění z cihel Porotherm 44 Profi a Porotherm 30 na výšku 3 [m], 6 etapy	m2	61.8	6.8554	8	3	2,3	8	Robot na zdění	0.85692	0.9
20	Deinstalace robotické soustavy z pracoviště 6. etapy a odvoz ze staveniště	kpl	1	3	8	3	1,2,3	24	Autojeřáb	0.125	0.2
21	Finální úprava povrchu, 6 etapa	m2	124	2.4704	8	1	3	8	-	0.3088	0.3
22	Demontážpojízdňého lehkého lešení v. 1,5 m.	kpl	1	0.3	8	2	4	16	-	0.01875	0.05
23	Montážprefabrikovaných překladů	ks	60	10.2	8	2	1,3	16		0.6375	0.7

Tabulka 24 - Technologický normál: robotické zdění. Zdroj: příloha 12

3.3.3. Jakost provedených prací

Přesnost zdění je zajištěna laserem (viz. obr. 32) a udávaná výrobcem je $\pm 0,06$ [mm] [28]. Po dokončení nosných stěn je třeba ověřit jejich rovinnost, která musí být v délce každého metru ± 6 mm, rovněž se vodováhou zkontroluje svislost, která může být v toleranci ± 20 mm, nutností je zkontrolovat i stavební otvory a jejich pravoúhlost.



Obrázek 32 - Laser zabezpečující polohu koncového efektoru. Zdroj: konzultace Usmanov

3.3.4. BOZ a PO

3.3.4.1. Konkrétní vymezení jednotlivých opatření pro zajištění BOZ a PO

Při práci na stavbě musí být splněny základní podmínky bezpečnosti práce, se kterými musí být všichni dělníci na stavbě obeznámeni. Stejně tak musí být seznámeni s technologickými postupy. Všechny tyto předpisy BOZP jsou dělníci povinni dodržovat. během provádění stavby totiž mohou snadno přijít k úrazu nebo újmě na zdraví – při nesprávné manipulaci s materiálem si mohou přivodit úraz.

- *Zákon č. 309/2006 Sb.* - Kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) - tímto zákonem je zřízen koordinátor bezpečnosti práce na stavbě.

- *Nařízení vlády č. 362/2005 Sb.* - O bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky (+ přílohy)

- Nařízení vlády č. 591/2006 Sb. - O bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích (+ přílohy)

Zabezpečení pracovního prostoru, v němž se průmyslová ruka pochybuje, bude provedeno pomocí laserů (viz. obr. 33), které budou umístěny podél dosahu robotické ruky. V případě překročení hranice laserového pole, zastaví robotická soustava automaticky práci. Na vstupu do pracovního prostoru budou umístěné varovné značky (viz příloha 5). Pro posouzení rizika úrazu během provedení práce je třeba provést zvláštní hodnotící tabulku míry rizika (viz. kapitola 3.4.3.1).



Obrázek 33 - Laser zabezpečující bezpečnost oblasti činnosti. Zdroj: konzultace Usmanov

3.3.4.2. Vymezení odpovědnosti za dodržování těchto podmínek

Za dodržování podmínek BOZP je plně zodpovědný zhotovitel, který je povinen zaměstnancům zajistit všechny ochranné prostředky potřebné pro jednotlivé stavební činnosti. prací koordinátora BOZP je dávat podněty, doporučovat technická řešení, poskytovat odborné konzultace. Dále koordinuje jednotlivých zhotovitelů, zúčastní se kontrolních prohlídek stavby a navrhuje termíny kontrolních dní.

3.3.5. Vliv na životní prostředí

Pokud budou dodrženy předepsané nebo doporučené požadavky na skladování materiálů, nemělo by dojít k únikům materiálu do půdy, vod a atmosféry. Materiály jsou chemicky stabilní a neměly by vznikat žádné nebezpečné reakce. Při manipulaci s materiály a provádění práce je třeba dodržovat základní pravidla bezpečnosti práce a omezení vlivu na životní prostředí.

- hospodaření a zacházení s odpady dodrží v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb. - Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů, zákonem č. 477/2001 Sb. - Zákon o obalech a o změně některých zákonů a vyhláškou č. 93/2016 Sb. - Vyhláška o Katalogu odpadů
- prašnost způsobena v důsledku stavebních prací nepřesahuje limity uvedené ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby
- povolená hladina hluku během stavební činnosti je 65 dB. Během stavební činnosti na stavbě se neobjeví stroj, který tuto hladinu překročí. Stavební práce budou prováděny tak, aby z hlediska hluku byly v podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- při manipulaci s břemeny pomocí jeřábu nevznikají žádné možnosti poškození podzemních vod, které budou řízené podle zákon č. 254/2001 Sb. - Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) a zákon 334/1992 Sb. Zákon o ochraně zemědělského půdního fondu
- při manipulaci s břemeny pomocí jeřábu nevznikají žádné možnosti poškození flory a fauny. Zákon č. 17/1992 Sb. - Zákon o životním prostředí Zákon č. 114/1992 Sb. - Zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny Zákon č. 100/2001 Sb. - Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí).

3.4. Porovnání projektů

Jako základní podklad pro ekonomické, časové a BOZP porovnání progresivní technologie robotického zdění a konvenční technologie vyzdívání prostřednictvím ruční práce sloužila orientační ekonomická kalkulace na hrubou stavbu nosných konstrukcí spolu se softwarem pro oceňování a řízení stavební výroby Callida – euroCALC a podklad s orientačními časovými ukazateli prací a dodávek dostupný ze stránek Katedry technologií Stavební fakulty ČVUT a získané informace na konzultacích s Ing. Usmanovem, Ph.D. K jednotlivým stavebním procesům byla přiřazena jednotková pracnost, pracovní četa a v technologickém normálu byly chronologicky seřazeny a podle návaznosti jednotlivých stavebních procesů a jejich doby trvání byl dále vypracován prostoročasový graf pro konvenční technologii i robotickou technologii.

3.4.1. Orientační ekonomické porovnání

Orientační ekonomická kalkulace byla vytvořena za základě databáze softwaru Callida – euroCALC a firemních cenových katalogů výrobce materiálů a zařízení. Pro účely porovnání, orientační kalkulace je rozdělená do dvou skupin: materiál a montáž. V případě konvenční technologie do skupiny materiál byla zařazena dodávka materiálů a ztratné 5% (Callida – euroCALC), do skupiny montáž byly zařazeny mzdy pracovníkům (Callida – euroCALC) a ceny pronájmu zařízení (firemní cenové katalogy). V případě robotické technologie do skupiny materiálu byla zařazena pouze dodávka materiálů bez započítání ztratných nákladů (Callida – euroCALC), jelikož kalkulace bude provedena na základě BIM modelu a realizace bude provedena prostřednictvím robotické technologie, tím se snižuje možnost výskytu nadměrné spotřeby materiálu a konstrukčních či materiálových vad. Do skupiny montáž byla zařazeny náklady při využití robotické soustavy na zdění (robotická ruka, počítačová jednotka, koncové efekторы, silo a pneumatický dopravník s kontinuální míchačkou), mzdy pomocným pracovníkům a operátorům (Callida – euroCALC) a ceny pronájmu ostatního zařízení (firemní cenové katalogy). Náklady využití robotické soustavy na zdění byly spočítané na základě průměrné ceny – 4 000 000 Kč. Robotická soustava patří do 2 odpisové skupiny, což při rovnoměrném odpisování na 5 let denně činí 11 000 Kč. Taktéž do nákladu při využití robotické soustavy patří doprava, začáteční instalace, finální

deinstalace a odvoz – jednorázově činí 10 000 Kč, servis denně činí 410 Kč, spotřeba energie robotu je cca 20 kWh, což denně bude stát 744 Kč. Robotická soustava bude v provozu 5 dnů, celkové náklady využití robotické soustavy budou činit 24 015 Kč. Informace o nákladech jsou čerpány z konzultací s Ing. Usmanovem, Ph.D. Celková orientační kalkulace je uvedena níže v tab.25.

	Robotické zdění	Ruční zdění	Úspora
MATERIÁL	373,624.06 Kč	391,110.08 Kč	4.47%
MONTÁŽ	83,173.69 Kč	97,860.00 Kč	15.01 %
CELKEM	456,797.75 Kč	488,970.08 Kč	6.58%

Tabulka 25. Rekapitulace: Konvekční metoda x Robotická metoda. Zdroj: příloha 7

Celková cena stavebního díla s využitím robotické soustavy na zdění je 456,797.75 Kč, což představuje ve srovnání s využitím konvekční metody pokles o skoro 7 % (viz. tab 25). Největší zásluhu na úsporách nese automatizace a snížení potřeby lidské síly při výstavbě. Eliminuje se možnost výskytu nadměrné spotřeby materiálu a konstrukčních či materiálových vad. V případě konvenční technologie na staveništi budou trvalé 6 lidí, což bude stát 89 760 Kč. V případě využití robotické technologie na staveništi budou trvale 4 lidí, což bude stát 19 360 Kč (viz příloha 8 a příloha 9). Tento fakt je nejzřejmější při nákladech na realizaci obvodových a vnitřních nosných stěn. Orientační položková kalkulace je přiložená k práci (viz. příloha 7).

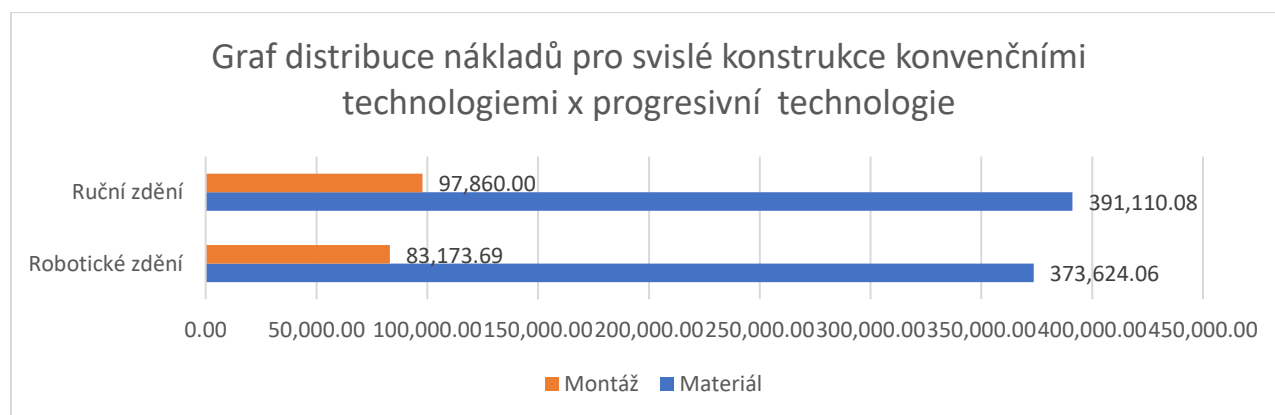
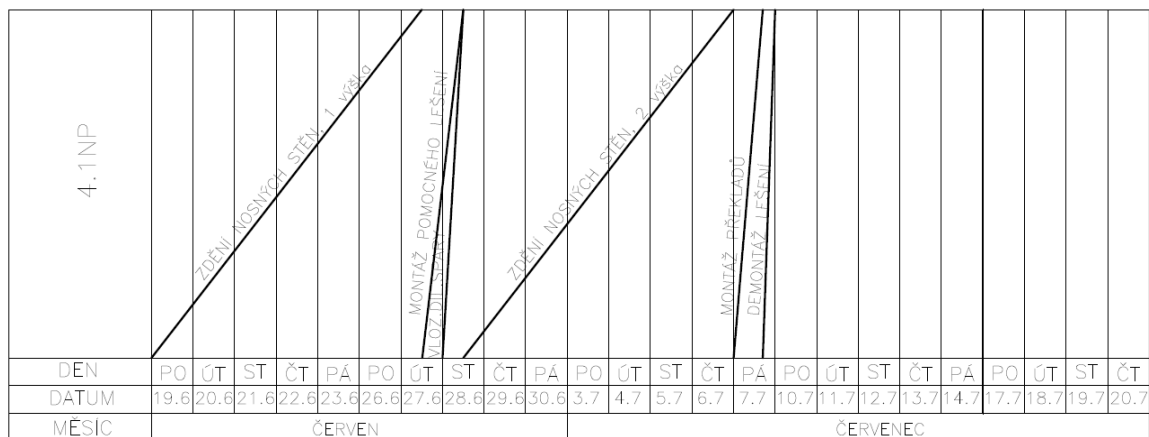
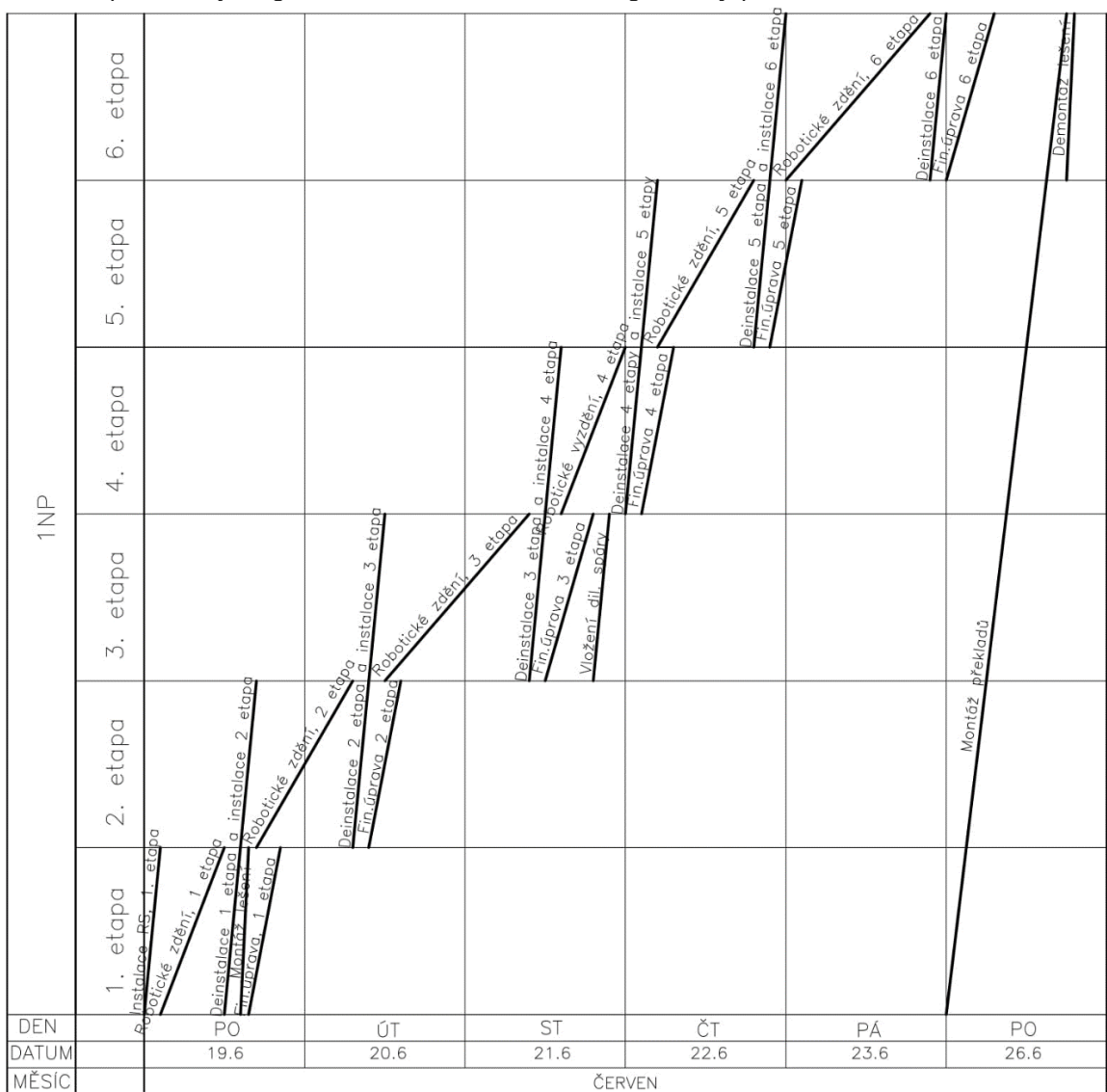


Diagram 3 - Diagram distribuce nákladů pro svislé konstrukce konvenčními technologiemi x progresivní technologie. Zdroj: autor

3.4.2. Časové porovnání



Graf 5 - Časoprostorový diagram zdění konvekční technologií. Zdroj: příloha 8



Graf 6 - Časoprostorový diagram zdění robotickou technologií. Zdroj: příloha 9

Proces zdění pomocí robotické soustavy bude trvat celkem 5 dní, celková doba stavění nosných zedních konstrukcí se zkrátí o 8.5 dnů (viz graf 5 a graf.6). Při realizaci robotickou soustavou je hlavní časovou náročností instalace a deinstalace robotické soustavy během plnění technologických etap. Kdyby byl dosah robotické ruky větší o 2 m, lze dosáhnout úspory jednoho dne. Výrazně zmenší celkový počet lidí na stavbě o 33 %. Těžkou fyzickou prací budou plnit jenom 2 pomocné pracovníci, což ve srovnání s konvenční technologií představuje pokles lidské práce o 67 % (viz příloha 8 a příloha 9). V původním projektu se časová náročnost na jednotlivé stavební procesy při svislých konstrukcích zobrazila i v součtu normohodin řemeslných pracovníků a pomocných sil v celkovém čase 370 hodin (viz příloha 10). V upraveném projektu činí součet normohodin a strojhodin robotického systému na zdění 178 hodin (viz příloha 11). Budování stěn robotickou rukou je sezónní a náročné na povětrnostní podmínky. Při silném větru, teplotách pod 5 °C nebo srážkách by se práce musely pozastavit.

3.4.3. Bezpečnost

Jako podklad pro vypracování tabulky rizik a opatření byl použit registr rizik a opatření vytvořený společností GrentZvacek, který je zpracován v souladu se Zákoníkem práce. Zhotovitel je povinen vyhledávat rizika, zjišťovat jejich příčiny a zdroje a přijímat opatření k jejich odstranění. Míra rizika se poté počítá, jakou součin následujících ukazatelů: pravděpodobnost (P), závažnost následků (Z), názor hodnotitelů (N):

Významnost rizika	Celková hodnota
Bezvýznamné riziko	0 - 3
Akceptovatelné riziko (akc)	4 – 10
Mírné riziko	11 - 50
Nežádoucí riziko	51 - 100
Nepříjatelné riziko	101 - 125

Tabulka 26 - Významnost rizika. Zdroj: GrentZvacek – registr rizik a opatření

Níže představeny tabulky rizik a opatření pro jednotlivé technologie progresivní a konvekční:

POSUZ OBJ.	ČIN.	RIZIKA	VYHODNOCENÍ ZÁVAŽNOSTI RIZIKA					OPATŘENÍ K ELIMINACI RIZIK
			P	Z	N	R	MÍRA RIZIKA	
Stavba pracovní ci	Ruční nářadí	* sečné, řezné, bodné, tržné rány, přimáčknutí, otlaky, odřeniny, zhmožděniny, podlitiny, při nežádoucím (všeobecná nebezpečí pro všechny druhy nářadí); * pád nářadí ze zvýšených pracovišť, naražení, zhmožděniny, tržné a bodné rány; zasažení pracovníka nářadím	2	1	3	6	akc.	* používání vhodného druhu typu, velikosti nářadí; * zajištění možnosti výběru vhodného nářadí; dodržování zákazu používání poškozeného nářadí; * neukládání nářadí do blízkosti volných okrajů podlah lešení, zvýšených pracovišť, podest, konstrukcí apod.; * udržování dostatečné vzdálenosti mezi pracovníky; * zajišťování nářadí proti pádu používání poutek, brašen apod. při práci ve výšce;
Stavba – pracovní ci	Ruční manipulace	* pád břemene na pracovníka, zasažení pracovníka pádem břemene * pád skladovaného a manipulovaného materiálu na pracovníka,	2	2	3	12	mírné	* zajištění stabilní polohy materiálu, jeho uložení na širší plochu; * zajištění materiálu vhodnými pomůckami, které vyloučí sesunutí nebo pád a převržení; * při ručním ukládání kusového materiálu pravidelných tvarů jej skladovat jen do výše ramen popř. hlavy (max. výše 2 m), při zajištění jeho stability provázáním

Stavba – pracovníci	Ruční manipulace	* přiskřípnutí prstů, přiražení ruky pracovníka	1	2	3	12	akc	* předměty, které na sebe při skladování těsně doléhají a nemají části umožňující bezpečné uchopení (oka, držadla apod.), ukládat na podkladech. (jako podkladů nepoužívat kulatiny);
Stavební stroje	Opravy, údržba vozidel – mechanismů	* přitlačení a zachycení osoby pohybem částí mechanismu; * zachycení a vtažení končetiny pohybující se částí mechanismu při opravách a seřizování hydraulického systému za chodu; * pád pracovníka z výšky při opravách, údržbě a čišění otočného ramene výložníku ve výšce;	1	3	3	9	akc	* údržbu a čišění provádět jen za klidu a vyloučení nežádoucího, předčasného spuštění chodu stroje (po vyjmutím klíčku ze spínací skříňky v kabině podvozku vozidla i kabině svršku) (zvýšená opatrnost při nutné práci na hydraulickém systému za chodu, práce dvou osob vzájemně se dorozumívajících se smluvenými znameními; *

Tabulka 27 - Rizika a opatření robotické zdění. Zdroj: GrenťZvacek – registr rizik a opatření

POSUZ. Obj.	ČIN.	RIZIKA	VYHODNOCENÍ ZÁVAŽNOSTI RIZIKA					OPATŘENÍ K ELIMINACI RIZIK
			P	Z	N	R	MÍRA RIZIKA	
Stavba - pracovníci	Zděné konstrukce	* pád zdícího materiálu na pracovníka a přiražení pracovníka	3	3	3	27	mírné	* stanovení a dodržování technologických resp. pracovních postupů
Stavba - pracovníci	Zděné konstrukce zdění	* zborcení, zřícení zděných konstrukcí	2	3	3	18	mírné	* stanovení a dodržování technologických resp. pracovních postupů

Stavba - pracovníci	Úpravy povrchů stěn a stropů	* práce v nefyziologických polohách, v kleče, poškození zdraví - pohybového aparátu; * práce v nepřirozené poloze těla nebo jeho částí, vynucené polohy;	2	3	3	18	mírné	* bezp. přestávky * používání specifických OOPP;
Stavba - pracovníci	Ruční manipulace	* přiskřípnutí prstů, přiřazení ruky pracovníka	2	2	3	12	mírné	* předměty, které na sebe při skladování těsně doléhají a nemají části umožňující bezpečné uchopení (oka, držadla apod.), ukládat na podkladech. (jako podkladů nepoužívat kulatiny);
Stavba - pracovníci	Ruční manipulace	* pád břemene na pracovníka, zasažení pracovníka pádem břemene * pád skladovaného a manipulovaného materiálu na pracovníka, zasažení pracovníka materiálem v důsledku ztráty stability	2	2	3	12	mírné	* zajištění stabilní polohy materiálu, jeho uložení na širší plochu; * zajištění materiálu vhodnými pomůckami, které vyloučí sesunutí nebo pád a převržení;

Tab.28. Rizika a opatření ruční zdění. Zdroj: GrentZvacek – registr rizik a opatření

Dle technologického postupu a časoprostorového grafu (viz. podkapitola 3.3.2.5. a příloha 9) je zřejmé, že podíl těžké lidské práce během provedení zdění robotem je menší než u ručního zdění o 67 %, znamená i to, že pravděpodobnost vzniku ohrožení zdraví klesá. Vzhledem k tomu, že většina práce u robotického zdění je spojená s obsluhou robotu, tj. přeprava materiálů, instalace a deinstalace zařízení atd. nevyšší míra rizika se vyskytla u manipulace s břemeny buď ručně nebo pomocí jeřábu. Při správném provedení zhotovitelem opatření uvedených v tab.27 toto riziko bude eliminováno.

3.5. Vyhodnocení výsledků praktické části

Pro vyhodnocení výsledků praktické části auto vytvořil souhrnnou tabulku výsledků, v které budou uvedené hlavní kritéria, dle kterých bylo provedeno porovnání:

Kritéria	Robotické zdění	Ruční zdění
Orientační náklady	432,826.20 Kč	468,792.42 Kč
Časová náročnost	6 dnů	15 dnů
Míra rizika ohrožení zdraví	Akceptovatelná	Mírná
Vznik odpadů a zbytků mat.	Minimální	Střední
Vznik materiálových a konstrukčních vad	Minimální	Střední
Podíl ruční práce	Minimální	Maximální
Náročnost provádění	Vyšší	Střední
Stupeň digitalizace	BIM	CAD
Stupeň automatizace	Ano	Ne

Tabulka 29. Tabulka výsledků porovnání. Zdroj: autor

Na základě tabulky výsledků porovnání dvou technologií bylo vytvořeno autorem vlastní vyhodnocení progresivní technologie koncepce Stavebnictví 4.0. Je představena níže.

Oblast ovlivnění	Stupeň ovlivnění	Zdůvodnění
1. Podíl lidské práce	mírně nižší	těžká pracovní síla na staveništi je snížena, ale se zvyšuje pracnost při vypracování 3D modelu a programování robotu
1.1. Architekti, projektanti a inženýři	výrazně vyšší	potřeba školení pro přizpůsobení nových technologií a metod projektování, navrhování a řízení práce
1.2. Pracnost při montáži	mírně nižší	autonomní robotická soustava, takže je zapotřebí menšího dohledu, ale je nutná trvalá dodávka materiálů
2. Automatizace	výrazně vyšší	úroveň automatizace na staveništi se zvyšují s využitím robotického zdění
3. Změny v materiálu, vznik odpadů a spotřeba energie	mírně nižší	materiál pro robotické zdění se nezmění, ale díky využití při rozpočtování 3D modelu a při realizaci automatizované systémy se snižuje možnost vzniku zbytku materiálů nebo odpadů, spotřeba energie se zvyšuje
4. Logistika	komplikovanější	nutnost dopravy a instalace robotické soustavy, trvalá dodávka materiálů do pracovní oblasti
5. Technologická náročnost	komplikovanější	robot má velkou hmotnost a malý dosah robotické ruky, nutnost rozdělení do záběrů a posouzení statické únosnosti podkladu, neautomatizovaná dodávka materiálů
6. Časová náročnost	výrazně nižší	výkon robotické soustavy je definovatelný, předvídatelný a spočítatelný, vyšší než u lidské pracovní síly, při automatizované dodávky materiálů je schopen pracovat nepřetržitě, nutnost se vyhnout se zpožděním spojeným s dodávkami materiálů a koordinací robotického stroje
7. Orientační montážní náklady	mírně nižší	značnou část nákladů tvoří náklady na robotickou soustavu, ale díky malému využití lidské síly a menším zbytku materiálů

8. Environmentální dopad	mírně nižší	vyhýbání se odpadům a snížené potřebě materiálů
9. Projektová rizika	mírně nižší	technologická rizika (např. přerušení), ale méně zásahů souvisejících s pracovní silou, poskytováním a koordinací
10. Úrazy a bezpečnostní riziko	mírně nižší	menší počet rizika úrazu a jeho míra díky autonomnímu procesu s malým zapojením lidí a využití laserového pole zabezpečující pracovní prostor
11. Kvalita	výrazně vyšší	robotické zdění je hybridní technologie, která zahrnuje metody digitální výroby a konvenční STCR, tím je zvýšená přesnost robotické skladby

Tabulka 30 - Výsledné vyhodnocení progresivní technologie. Zdroj: autor

3.6. Naznačení kroků přechodu na Stavebnictví 4.0.

Na základě provedeného výzkumu při napsání teoretické a praktické části tyto práce autor naznačil hlavní kroky přechodu na Stavebnictví 4.0: které jsou níže uvedeny:

1. Státní regulace a iniciativy
2. Přehodnocení projektových a inženýrských procesů
3. Zefektivnění dodavatelského řetěze
4. Zefektivnění staveništní logistiky a výroby
5. Zvýšení podílu výdajů na výzkum a vývoj v oblasti digitálních technologií, nových materiálů a progresivních stavebních technologií.
6. Státní podpora startup projektů v oblasti progresivních technologií ve stavebnictví
7. Zvýšení kvalifikace pracovníků

3.7. Ověření směru přechodu na „Stavebnictví 4.0“.

Čtvrtá průmyslová revoluce a s ní související agenda „Stavebnictví 4.0“ znamená digitalizace celého životního cyklu výrobku či stavby prostřednictvím 4 hlavních principů – robotizace, informatizace, komunikace a customizace. Výše uvedené progresivní technologií jsou části koncepce Stavebnictví 4.0., ale většinou představují izolované jednotky. Základem dosažení hlavních principů 4: průmyslové revoluce je vzájemná interakce výrobních jednotek, analýza a sběr velkého množství dat a následující automatizované nastavení organizační strategie výroby. Jako jeden z hlavních směru rozvoje koncepce „Stavebnictví 4.0“ podle předpokladu autora je přechod z tradičního staveniště na automatizovanou in situ inteligentní továrnu (*angl.* Integrated

Automated/Robotic On-site Factories)[5]. Je nutné inspirovat průmyslovou výrobou, v které organizace, informace, výrobní technologie a struktura produktů spolupůsobí jako celek. V rámci takové inteligentní továrny hlavní technologické trendy tvořící se koncepcí „Stavebnictví 4.0“ (viz. obr. 5) tvoří nejefektivnější interakci a lze dosáhnout vysokou stupeň digitalizace, vzájemně propojený automatizovaný a robotizovaný systém, lepší komunikaci a organizaci výroby, rychlý sběr a analýzu velkého množství dat, zefektivnění dodavatelského řetězce, zvýšení produktivity práce, lepší kvalitu produktu a štíhlou výrobu [5].

4. Závěr

V první části této práce byla představena krátká analýza aktuální problematiky produktivity, kvality a bezpečnosti ve stavebnictví a stanovena hypotéza, že řešením výše nastíněných problémů může být přechod na koncepci „Stavebnictví 4.0“.

Ve druhé části práce je představena definice koncepce „Stavebnictví 4.0“ a klasifikaci progresivních technologií v rámci tohoto konceptu. V rámci klasifikace je popsán princip práce z organizačního, informačního a technologického hlediska, výhody technologie s ohledem na konvenční technologie, možná rizika, předpoklady a směry budoucího vývoje technologie.

Třetí část práce je praktickou částí, v které autor posoudil aspekty jedné vybrané technologie z koncepce „Stavebnictví 4.0“ – technologie robotického zdění – na reálném příkladu použití v praxi. Na základě výsledků praktické části autor udělal vyhodnocení progresivní technologie ve srovnání s konvenční technologií. Naznačil kroků přechodu na Stavebnictví 4.0. a ověřil směry přechodu na tuto koncepci.

Z výsledků této práce vyplývá, že vývoj robotických technologií v stavebnictví má své opodstatnění. V praktické části se na příkladu robotického zdění ukázalo, že se tímto způsobem dala zkrátit doba provádění a také snížit finanční prostředky na výstavbu. Další výhodou je výrazné snížení podílu lidské práce a tím i snížení rizika pracovních úrazů a zvýšení kvality provedených prací. Naproti vzniká i řada opatření, např. při projektování modelu a programování robotu je vyžadována větší pracnost a nutnost speciálního školení. Taktéž logistika a technologická náročnost je ve srovnání s tradiční technologií je komplikovanější, protože je nutná doprava a instalace robotické soustavy, trvalá a pravidelná dodávka materiálů a rozdělení procesu do jednotlivých etap. Vzhledem k tomu, že robotické technologie jsou stále ve fázi vývoje, je obtížné odhadnout konkrétní problémy, které bude nutno vyřešit k jejich masivnímu rozšíření do reálné stavební výroby, stejně tak jako je obtížné odhadnout dobu, kdy toto masivní využití nastane, dá se nicméně očekávat, že tento vývoj je pouze otázkou času. V souvislosti s světovým trendem úbytku zručných řemeslníků se digitalizace a robotizace zdají být vhodnou odpovědí. V současné době se roboty a digitální technologie stávají uživatelsky

přívětivějšími, méně nákladnými, přizpůsobitelnými úkoly, menšími, více distribuovanými a bezproblémovou integrací do pracovních procesů. Pravděpodobnost zavedení těchto technologií ve velkém měřítku je ale závislá na mnoha faktorech, a to hlavně vysokých počátečních nákladech a zvýšení kvalifikované pracovní síly.

5. Seznám použité literatury:

[1] **SPS a ÚRS PRAHA a.s.** *Stavebnictví v kostce* 2017. Praha, 2017. ISBN 978-80-7369-681-8.

[2] **PŘIKRYLOVÁ, Marie.** *Důsledky restrukturalizace stavebnictví ČR na jeho konkurenceschopnost v Evropské unii.* Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Dana Dobešová. Brno 2009.

[3] **ČSU.** *5.5 Stavebnictví* [Online] [Citace 6.4.2018]
https://www.czso.cz/csu/czso/13-1131-05-casova_rada-5_5_stavebnictvi

[4] **BOOK, Thomas.** *Construction Robotics Enabling Innovative Disruption and Social Supportability* [Online] [Citace 6.4.2018]
http://www.iaarc.org/publications/2015_proceedings_of_the_32st_isarc_oulu_finl_and/construction_robotics_enabling_innovative_disruption_and_social_supportability.html

[5] **LINNER, Thomas.** *Automated and Robotic Construction: Integrated Automated Construction Sites.* München, 2013. Disertační práce. Lehrstuhl für Baurealisierung und Baurobotik, Fakultät für Architektur der Technischen Universität München. Vedoucí práce Thomas Bock.

[6] **MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU,** *Stavebnictví české republiky 2016* [Online] [Citace 7.4.2018]
<https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/informace-z-odvetvi/2017/3/Stavebnictvi-2016.pdf>

[7] **MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE,** *Reinventing construction: a route to higher productivity 02/2017* [Online] [Citace 7.4.2018]
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.aspx

[8] **AUTODESK,** *Digitální technologie: Revoluce ve stavebnictví* [Online] [Citace 7.4.2018]
http://www.bimfo.cz/getattachment/Aktuality/Menime-navrhovani,-realizaci-a-provozovani-staveb/Revoluce_stavebnictvi.pdf.aspx

[9] **KOVAŘÍK, Michal.** *Robotizace ve stavebnictví – prezentace, předmět 122YZS*

[10] **MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU,** *Iniciativa Průmysl 4.0.* [Online] [Citace 7.4.2018]
<https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>

- [11] **ČÁSENSKÝ, Martin**. *Přehled stavebnictví a stavebních podniků v České republice*. [Online]. [Citace 8.4.2018].
<http://slideplayer.cz/slide/2015231/>
- [12] **Construction Industry Handbook**. *Construction Industry Handbook 2012 [research report]*. Tokyo: Japan Federation of Construction Contractors, 2012.
- [13] **MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU**, *Koncepce zavádění metody BIM v České republice, září 2017* [Online]. [Citace 8.4.2018].
<https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf>
- [14] **NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES**, *National BIM Standard-United States, říjen 2017* [Online] [Citace 8.4.2018].
https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/Docs/NIBS_Factsheet_IRT_BIM.pdf
- [15] **THE BOSTON CONSTRUCTION GROUP**, *Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Model, březen 2016* [Online] [Citace 8.4.2018].
<http://futureofconstruction.org/content/uploads/2016/09/BCG-Digital-in-Engineering-and-Construction-Mar-2016.pdf>
- [16] **STARBAG A.S.**, *Prezentace - BIM 5D – I/9 OBCHVAT DUBÁ*
- [17] **AUTODESK CAM**, *Fundamentals of CNC Machining, 2014* [Online] [Citace 8.4.2018].
<https://www.autodesk.com/campaigns/cnc-handbook>
- [18] **BOGUE, Robert** (2013) "3D printing: the dawn of a new era in manufacturing?", *Assembly Automation*, Vol. 33 Issue: 4, pp.307-311,
<https://doi.org/10.1108/AA-06-2013-055>
- [19] **BUSWELL, Richard et al.** *Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction Zborník Automation in construction, 2007*. [Online] [Citace 9.4.2018].
<https://dspace.lboro.ac.uk/2134/9925>
- [20] **Behzad Nematollahia , Ming Xiab and Jay Sanjayanc**, *Current Progress of 3D Concrete Printing Technologies, 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017)* [Online] [Citace 9.4.2018].
<http://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC2017-Paper035.pdf>

- [21] **Peng Wua, JunWangb, XiangyuWangb**, *A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry* [Online] [Citace 9.4.2018].
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580516300681>
- [22] **Thomas Bock, Thomas Linne**. *Construction Robots Elementary Technologies and Single-Task, Construction Robots, Únor 2017*, ISBN: 9781107075993
- [23] **THOMAS BOCK, THOMAS LINNE**. *Robot-Oriented Design, Construction Robots, Březen 2015*, ISBN: 9781139924146
- [24] **ING. VYACHESLAV USMANOV, ING. MICHAL BRUZL, DOC. ING. PAVEL SVOBODA, CSC, ING. ROSTISLAV ŠULC, PH.D.** *Modelling of industrial robotic brick system, ISARC 2017*
- [25] **JEAN-BAPTISTE IZARD, ALEXANDRE DUBOR, PIERRE-ELIE HERVE, EDOUARD CABAY, DAVID CULLA, MARIOLA RODRIGUEZ, MIKEL BARRADO**, *Large-scale 3D printing with cable-driven parallel robots, ISARC 2017*
- [26] **ACHIM MENGES, TOBIAS SCHWINN AND OLIVER, DAVID KRIEG**, *Landesgartenschau Exhibition Hall - Advances in Robotic Fabrication in Timber Construction, October 2015*) [Online] [Citace 23.4.2018].
https://www.researchgate.net/publication/293826957_Landesgartenschau_Exhibition_Hall
- [27] **CZBIM**, *BIM DAY 2016: Stavebnictví 4.0, 26. října 2016* [Online] [Citace 24.4.2018]
<http://www.czbim.org/1-5088-aktuality-bim-day-2016-stavebnictvi-40.aspx>
- [28] **KR QUANTEC K ultra, Specification**, *KUKA Roboter GmbH, Zugspitzstraße, 140 D-86165 Augsburg, Germany* [Online] [Citace 1.5.2018]
<https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-quantec-ultra>
- [29] **Porotherm 44 Profi**, *Wieneberger, Technický list* [Online] [Citace 6.5.2018]
<https://wienerberger.cz/produkty/porotherm-44-profi#collapse-collapse1366232729722>
- [30] **ČSN EN 1996-2 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zdiva**
- [31] **EUROPEAN COMMISSION: Report on Single Market Integration and Competitiveness in the EU and its Member States: Upgrading the Single Market: More Opportunities for People and Business** [Online]. Brussels, 2015,

28.10.2015 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z:
http://publications.europa.eu/resource/cellar/93a2b2cc-7d5a-11e5-b8b7-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_2

[32] **Roberto Soares, PhD., D.Sc., AIC, PE:** *Reengineering Management of Construction Projects*, College of Computing Engineering and Construction University of North Florida, Florida, 2013 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z:
http://ijbssnet.com/journals/Vol_4_No_7_July_2013/1.pdf

[33] **Michal Kovářik, Pavel Svoboda, Petr Štemberk:** *Přehled dostupných technologií 3D tisku z cementových malt. Review of available 3D printing technologies using cement mortar, 2018, Fakulta stavební ČVUT v Praze, Česko*

[34] **Mehmet F. Hergunsel:** *Benefits of Building Information Modeling for construction managers and BIM based scheduling. Worcester Polytechnic Institute (WPI), USA.* Diplomová práce. Vedoucí práce: Professor Guillermo Salazar, Worcester 2011.

[35] **Andreas Hirschi.** *The Fourth Industrial Revolution: Issues and Implications for Career Research and Practice, University of Bern, Switzerland. Research Publication* [Online] [Citace 15.5.2018]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/320716464_The_Fourth_Industrial_Revolution_Issues_and_Implications_for_Career_Research_and_Practice

[36] **WOODBURY, R.** *Elements of parametric design. 3rd. London: Routledge, 2010. ISBN 04-157-7986-3*

[37] **CASTAÑEDA, E., LAURET, B., LIROLA, J. M., OVANDO, G.** *Free-form architectural envelopes: Digital processes opportunities of industrial production at a reasonable price.* In: *Journal of Facade Design and Engineering.* 2015, Vol. 3, No. 1, p. 1–13 [Online] [Citace 15.5.2018]. DOI: 10.3233/FDE-150031. ISSN 2213302X

[38] **DUNN, N.** *Digital fabrication in architecture.* London: Laurence King Publishing, 2012. p.88–89. ISBN 9781780672113

[39] **Autodesk, Inc.** *Fundamentals of CNC Machining, A Practical Guide for Beginners.* United States of America 2014, Document Number: 060711 ISBN-13: 978-0-615-50059-1; ISBN-10: 0615500595

6. Seznám použitých obrázků:

Obrázek 1 - Vývoj výrobních a informačních technologií. Zdroj: [8]

Obrázek 2 - Interakce 4 základních principů výroby v průmyslu; Zdroj: [5]

Obrázek 3 - Klíčová koncepce automatizace a robotizace stavebnictví. Zdroj: [23]

Obrázek 4 - Technologické trendy tvořící se koncepce Průmysl 4.0. Zdroj: Autor

Obrázek 5 - Technologické trendy tvořící se koncepce Stavebnictví 4.0. Zdroj: Autor

Obrázek 6 - BIM 5D. STARBAG. Zdroj: [16]

Obrázek 7 - CNC stroj – Průmyslový robot s koncovkou. Zdroj: [25]

Obrázek 8 - Long wall print Zdroj: [24]

Obrázek 9 - Schéma metody vytlačování. Zdroj: [20]

Obrázek 10 - Schéma metody spojování práškového lože. Zdroj: [20]

Obrázek 11–3 D vytištěná vila, WinSun, 2014, Zdroj: [21]

Obrázek 12 - AVG for Construction Site, Zdroj: [22]

Obrázek 13 - Automated H/V On-Site Log. Sys, Zdroj: [22]

Obrázek 14 - Rail – Guided Overhead Log. Sys, Zdroj: [22]

Obrázek 15–R-G Dig Robot; Zdroj: [22]

Obrázek 16 - Auto. Dig. and Soil Rem. System; Zdroj: [22]

Obrázek 17 - Autonomous Construction Equipment Zdroj: [22]

Obrázek 18 - Robot pro umístění výztuž. tyčí Zdroj: [22]

Obrázek 19 - Robot Systems for On-Site Shaping. Zdroj: [22]

Obrázek 20 - Reinf. Bar Fabric. Robot. Zdroj: [22]

Obrázek 21 - Robot na distribuci betonu, Zdroj: [22]

Obrázek 22 - Robot na hutnění betonu, Zdroj: [22]

Obrázek 23 - Robot na vyrovnání betonu; Zdroj: [22]

Obrázek.24 - Automatické kladení dlažby Zdroj: VCES

Obrázek 25 - Steel Beam Welding Robot Zdroj: [22]

Obrázek 26 - Robotické zdění, 2017, Zdroj: [24]

Obrázek 27 - Rodinný dvojdům Strašín, 2017, Zdroj: Century 21

Obrázek 28 - Model robotické systémy na zdění. Zdroj: [28]

Obrázek 29 - Algoritmus fungování robotu na zdění. Zdroj: konzultace Usmanov

Obrázek 30 - Postupový diagram zdění robotickým systémem. Zdroj: konzultace Usmanov

Obrázek 31 - 3 D vizualizace nosných konstrukcí zděných robotem, Zdroj: autor

Obrázek 32 - Laser zabezpečující polohu koncového efektoru. Zdroj: konzultace Usmanov

Obrázek 33 - Laser zabezpečující bezpečnost oblasti činnosti. Zdroj: konzultace Usmanov

7. Seznám použitých grafů:

Graf 1 - Vývoj produktivity ve vybraných odvětvích hospodářství EU mezi lety 2000 až 2013, upraveno Ing. Michalem Kovářikem. zdroj: [31]

Graf 2 - Graf spotřeby surovin a energie v různých odvětvích hospodářství, USA, zdroj: [5]

Graf 3 - Zaměstnané osoby a podíl zaměstnaných osob stavebnictví na celé ekonomice, 2016, ČR, Zdroj: [6]

Graf.4. Stupeň digitalizace ve stavebnictví a ostatních odvětvích hospodářství, 2015, Němcko,USA Zdroj: [7]

Graf 5 - Časoprostorový diagram zdění konvekční technologií. Zdroj: příloha 8

Graf 6 - Časoprostorový diagram zdění robotickou technologií. Zdroj: příloha 9

8. Seznám použitých diagramů:

Diagram. 1 - Smrtná pracovní úrazovost v odvětvích ČR, 2016, zdroj: ČSÚ

Diagram 2 - Výdaje na vědu a výzkum, 2015/2011 (stavebnictví patří do kategorie "Ostatní"), ČR. Zdroj: ČSÚ

Diagram 3 - Graf distribuce nákladů pro svislé konstrukce konvenčními technologiemi x progresivní technologie. Zdroj: autor

9. Seznám použitých tabulek:

Tabulka 1 - Počet absolventů učebních oborů se zaměřením na stavebnictví 2005 x 2015, ČR, zdroj: ČSU

Tabulka 2 - Přejechod průmyslových odvětví od tradiční výroby na strojní výrobu. Rychlost výroby a snížení lidské práce. Zdroj: [5]

Tabulka 3 - Rozdíly stavebnictví a průmyslové výroby. Zdroj: [11]

Tabulka 4 - Přínosy BIM podél projektového managementu. Zdroj: Autor

Tabulka 5 - Metody a příklady využití CNC strojů. Zdroj: [38]

Tabulka 6 - Metody a technologie 3D tisku ve stavebnictví. Zdroj: [20]

Tabulka 7 - Robotická staveništní logistika. Zdroj: [22]

Tabulka 8 - Roboty na zemní práce a zakládání. Zdroj: [22]

Tabulka 9 - Roboty na výrobu a umístění výztuže. Zdroj: [22]

Tabulka 10 - Roboty na betonářské práce. Zdroj: [22]

Tabulka 11 - Robotické pokládání dlažeb a obkladů Zdroj: [22]

Tabulka 12 - Robotické svařování. Zdroj: [22]

Tabulka 13 - Robotické zdění. Zdroj: [22]

Tabulka 14 - Roboty na fasádní práce. Zdroj: [22]

Tabulka 15.- Roboty na interiérové dokončovací práce. Zdroj: [22]

Tabulka 16 - Automatizované řízení bezpečnosti. Zdroj: [22]

Tabulka 17- Automatizované řízení kvality. Zdroj: [22]

Tabulka 18 - Automatizovaný materiálový management. Zdroj: [22]

Tabulka 19 - Sledování realizace staveb a nákladový controlling. Zdroj: [22]

Tabulka 20 - Vstupné materiály a výrobky: Prvky pro technologie robotického zdění. Zdroj: příloha 4

Tabulka 21 - Vstupní materiály a výrobky: Malta. Zdroj: příloha 4

Tabulka 22 - Vstupné materiály a výrobky: Překlady. Zdroj: příloha 4

Tabulka 23 - Výpis materiálů. Zdroj: příloha 4

Tabulka 24 - Technologický normál: robotické zdění. Zdroj: příloha 12

Tabulka 25. Rekapitulace: Konvekční metoda x Robotická metoda. Zdroj: příloha 7

Tabulka 26 - Významnost rizika. Zdroj: GrentZvacek – registr rizik a opatření

Tabulka 27 - Rizika a opatření robotické zdění. Zdroj: GrentZvacek – registr rizik a opatření

Tabulka 28 - Rizika a opatření ruční zdění. Zdroj: GrentZvacek – registr rizik a opatření

Tabulka 29. Tabulka výsledků porovnání. Zdroj: autor

Tabulka 30 - Výsledné vyhodnocení progresivní technologie. Zdroj: autor

10. Seznám použitých příloh:

- Příloha 1 – Rodinný dvojdům Strašín: půdorys 1.NP
- Příloha 2 – Rodinný dvojdům Strašín: řez AA
- Příloha 3 – Rodinný dvojdům Strašín: řez BB
- Příloha 4 – Rodinný dvojdům Strašín: technická zpráva
- Příloha 5 – Rodinný dvojdům Strašín: zařízení staveniště
- Příloha 6 – Anketa
- Příloha 7 – Orientační kalkulace
- Příloha 8 – Časoprostorový graf konvekční technologie
- Příloha 9 – Časoprostorový graf progresivní technologie
- Příloha 10 – Normál konvekční technologie
- Příloha 11 – Normál progresivní technologie