ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Problematika robotického zdění

Bc. František Kott

2019

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Polák, PhD.

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kott Jméno: František Osobní číslo: 423152

Zadávající katedra: Katedra technologie staveb (k122)

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Problematika robotického zdění

Název diplomové práce anglicky: The problematics of robotic brick laying

Pokyny pro vypracování:

1) Historie a současný stav problematiky
2) Fakultní projekt - Modelování průmyslového robotického zdicího systému
3) Technologické porovnání metod postupu výstavby a zobrazení na konkrétním příkladu

Seznam doporučené literatury:

1. BOOK, Thomas. Construction Robotics Enabling Innovative Disruption and Social Supportability
2. Ing. V. Usmanov, Ing. M. Bruzl, Doc. Ing. P. Svoboda, CSc, Ing. R. Šulc, Ph.D.: Modelling of industrial robotic brick system

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Karel Polák, PhD.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2018 Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[redacted]

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

3.10.2018 [redacted]

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracoval samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou konzultací poskytnutých vedoucím diplomové práce.

V Praze, 6.1.2019

.....

Bc. František Kott

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Karlu Polákovi, PhD. za pomoc, cenné rady a trpělivost při jejím zpracování. Dále pak Ing. Vjačeslavovi Usmanovovi, PhD. za poskytnuté konzultace. Poděkování patří také firmě VMS projekt s.r.o. za poskytnutí projektové dokumentace objektu, která je využita v praktické části této práce.

Anotace

Diplomová práce se zabývá robotizací a automatizací stavebnictví, konkrétně robotickým zděním. Zaměřuje se na překážky a předpoklady jeho dalšího vývoje. V práci jsou charakterizovány doposud vyvinuté systémy pro robotické zdění, které jsou následně porovnávány s tradičním způsobem zdění při využití na stavbě konkrétního objektu. Součástí práce je závěrečné vyhodnocení vybraných technologií zdění.

Klíčová slova

automatizace, BIM, digitalizace, robotické zdění, robotizace, Stavebnictví 4.0, technologie, porovnání

Annotation

The diploma thesis focuses on robotizing and automation of the construction sector, particularly robotic bricklaying. The aim is on the obstacles and assumptions of its further development. The thesis describes today‘s systems for robotic bricklaying, which are later compared with conventional bricklaying when used for construction of a particular building. The final part of the work is the evaluation of chosen bricklaying technologies.

Keywords

automation, BIM, comparasion, Construction 4.0, digitalization, robotic bricklaying, robotization, technology

Obsah

Úvod **12**

1 Historie a současný stav problematiky **13**

1.1 Historie **13**

1.1.1 Historie zednictví 13

1.1.1.1 Zdivo 13

1.1.1.2 Zdicí prvky 14

1.1.1.3 Pojiva 15

1.1.1.4 Vazba zdiva 17

1.1.2 Historie robotiky 18

1.1.3 Historie robotizace a automatizace stavebnictví 24

1.1.3.1 Období 1920 – 1970 24

1.1.3.2 Období 1970 – současnost 25

1.1.3.3 Historie robotického zdění 28

1.2 Specifika stavebnictví **31**

1.2.1 Jedinečnost výrobku 31

1.2.2 Výroba in situ 31

1.2.3 Vliv vnějšího prostředí 32

1.2.4 Těžká manuální práce 32

1.2.5 Vysoká úrazovost 33

1.2.6 Nízké výdaje na výzkum a vývoj 34

1.2.7 Velká spotřeba surových materiálů 35

1.3 Předpoklady pro rozvoj automatizace a robotizace ve stavebnictví **35**

1.3.1 Oblasti použití robotů 36

1.3.2 Stavebnictví 4.0 39

1.3.3 Digitalizace 41

1.3.4 Personální krize 42

2 Současní roboti pro zdění **44**

2.1 Hadrian X **44**

2.1.1 Vzhled a technické řešení 45

2.1.2 Princip fungování systému ... 45
2.1.3 Používané materiály ... 46
2.1.4 Pohyblivost ... 47
2.1.5 Rychlost práce ... 47
2.1.6 Náklady ... 47
2.2 SAM 100 ... 47
2.2.1 Vzhled a technické řešení ... 48
2.2.2 Princip fungování systému ... 48
2.2.3 Používané materiály ... 48
2.2.4 Pohyblivost ... 49
2.2.5 Rychlost práce ... 50
2.2.6 Náklady ... 50
2.3 Fakultní projekt – KUKA – Modelování průmyslového robotického zdicího systému ... 50
2.3.1 Vzhled a technické řešení ... 51
2.3.2 Princip fungování systému ... 52
2.3.3 Používané materiály ... 52
2.3.4 Pohyblivost ... 52
2.3.5 Rychlost práce ... 53
2.3.6 Náklady ... 53
3 Technologické porovnání tradičního způsobu zdění s robotickým zděním na projektu Alzheimer centrum Plzeň ... 54
3.1 Základní identifikační údaje ... 55
3.1.1 Popis území stavby ... 55
3.1.2 Popis řešeného objektu ... 55
3.1.3 Vymezení předmětu řešení ... 58
3.2 Vstupní materiály a výrobky ... 59
3.2.1 Výpis materiálu ... 59
3.2.1.1 Bloky VAPIS QUADRO tl. 175 mm (LP25-2) ... 59
3.2.1.2 VAPIS vyrovnávací bloky ... 60
3.2.1.3 VAPIS Překlad (175) L ... 60
3.2.1.4 Tenkovrstvá malta VAPIS ... 61

3.2.2 Výpočet množství materiálu 61
3.2.3 Zásady dopravy, manipulace a skladování materiálu 63
3.3 Pracovní podmínky 64
3.3.1 Připravenost pracoviště 65
3.3.1.1 Tradiční způsob zdění 65
3.3.1.2 Hadrian X 65
3.3.1.3 SAM 100 65
3.3.1.4 KUKA 66
3.3.2 Struktura pracovní čety 66
3.3.2.1 Tradiční způsob zdění 66
3.3.2.2 Hadrian X 66
3.3.2.3 SAM 100 67
3.3.2.4 KUKA 67
3.3.3 Bezprostřední podmínky pro práci 67
3.3.3.1 Tradiční způsob zdění 67
3.3.3.2 Hadrian X 68
3.3.3.3 SAM 100 68
3.3.3.4 KUKA 68
3.3.4 Stroje a přístroje, pracovní pomůcky 68
3.3.4.1 Tradiční způsob zdění 69
3.3.4.2 Hadrian X 70
3.3.4.3 SAM 100 70
3.3.4.4 KUKA 70
3.3.5 Technologický postup 71
3.3.5.1 Tradiční způsob zdění 72
3.3.5.2 Hadrian X 76
3.3.5.3 SAM 100 77
3.3.5.4 KUKA 79
3.4 Postup prací v rámci objektu 80
3.4.1 Tradiční způsob zdění 80
3.4.2 Hadrian X 81
3.4.3 SAM 100 81
3.4.4 KUKA 83

3.5 Doba výstavby ... 84
3.5.1 Tradiční způsob zdění ... 85
3.5.2 Hadrian X ... 86
3.5.3 SAM 100 ... 86
3.5.4 KUKA ... 87
3.6 Řešení zařízení staveniště ... 89
3.6.1 Tradiční způsob zdění ... 91
3.6.2 Hadrian X ... 92
3.6.3 SAM 100 ... 93
3.6.4 KUKA ... 94
3.7 Náklady ... 94
3.7.1 Tradiční způsob zdění ... 95
3.7.2 Hadrian X ... 95
3.7.3 SAM 100 ... 97
3.7.4 KUKA ... 98
3.8 Jakost provedení ... 100
3.8.1 Metody kontroly jakosti výsledného provedení, možnosti oprav vad a nedodělků ... 100
3.8.2 Závazné kvalitativní parametry, referenční hranice ... 102
3.9 BOZP ... 103
3.9.1 Tradiční způsob zdění ... 107
3.9.2 Hadrian X ... 108
3.9.3 SAM 100 ... 111
3.9.4 KUKA ... 113
3.10 Vliv na životní prostředí ... 115
3.10.1 Ochrana proti hluku ... 115
3.10.2 Ochrana proti znečišťování ovzduší výfukovými plyny a prachem ... 116
3.10.3 Nakládání s odpady ... 116
3.11 Porovnání technologií zdění ... 117
3.11.1 Přizpůsobivost k odlišným místním podmínkám ... 117
3.11.2 Počet a kvalifikace potřebných pracovníků ... 118

3.11.3 Potřebná mechanizace 119
3.11.4 Univerzálnost z hlediska použitých materiálů..... 120
3.11.5 Porovnání rychlosti výstavby..... 121
3.11.6 Porovnání nákladů 121
3.11.7 Porovnání z hlediska BOZP 122

4 Celkové hodnocení využití technologie robotického zdění 123

4.1 Tradiční způsob zdění..... 123

4.2 Hadrian X..... 123

4.3 SAM 100 124

4.4 KUKA..... 124

Závěr 126

Seznam použité literatury.....128

Úvod

Stavebnictví je jedním z tradičních průmyslových odvětví s dlouhou historií. Velká část státních investic putuje právě do již zmíněného odvětví, což zdůrazňuje jeho strategickou důležitost. Stavebnictví je specifické odvětví, a proto je modernizace stávajících technologií komplikovaná. Jeho produktivita dlouhodobě stagnuje. Ve vývoji a výzkumu spíše jen reaguje na pokroky v ostatních odvětvích.

Robotika je naopak moderním oborem, jehož význam neustále roste a více či méně zasahuje už do všech průmyslových odvětví. Je jen otázkou času, kdy se jeho potenciálu začne využívat více i ve stavebnictví. V současnosti již můžeme pozorovat pokusy o inovace spojených s automatizací stavební výroby. Stavitelé jsou však stále k využívání moderních technologií a robotů skeptičtí. Robotizace stavebních procesů by přitom mohla pomoci vyřešit více problémů najednou, např. stagnující produktivitu práce, velkou míru kazovosti, vysokou úrazovost nebo nedostatek kvalifikované pracovní síly.

Zdění je jednou z náročnějších stavebních prací, neboť vyžaduje jistou dávku zručnosti a zároveň fyzickou zdatnost. Zedníci jsou navíc často nuceni pracovat ve výškách na lešení nebo ve výkopech, kde se vyskytují vysoká bezpečnostní rizika. Jedná se přitom o proces, který je pro robotizaci vhodný, neboť jde o soubor činností, které se cyklicky opakují.

Cílem této práce je nejprve zmapovat historický vývoj robotizace a automatizace stavebnictví a stanovit hlavní překážky a předpoklady pro jejich další rozvoj. Dalším cílem je provést rešerši současných robotů vyvinutých pro zdění a následně je z technologického hlediska porovnat s tradičním způsobem zdění při využití na stavbě konkrétního objektu. V závěru práce bude provedeno hodnocení robotických technologií zdění při využití v praxi.

1 Historie a současný stav problematiky

1.1 Historie

V této kapitole je popsán historický vývoj zednictví a robotiky. Zednictví je řešeno hlavně z materiálového hlediska, robotika spíše z hlediska revolučních vynálezů a celkového pokroku. V závěru kapitoly jsou charakterizovány počátky robotizace a automatizace ve stavebnictví.

1.1.1 Historie zednictví

1.1.1.1 Zdivo

Zdivo je označení pro stavební strukturu, vzniklou spojením zdicích prvků pojivem. Od pradávna se ke zhotovení zdí používal především kámen, který byl zprvu spojovaný na sucho. Postupně vzrůstal požadavek na přesnější tvar zdicích prvků. Vznikly tak například sušené cihly (vepřovice), které jsou známé již 10 tisíc let. Rozvoj stavby ze zdicích prvků byl umocněn objevem pálené cihly (cca 3 tisíce let př. n. l.) a také počátkem používání cementu v Řecku (cca 200 let př. n. l.). [1, 2, 3]

Historicky se zdění liší typem a materiálem použitého zdicího prvku, pojiva a techniky zdění. Zednické řemeslo hrálo velkou roli při budování velkolepých staveb po celém světě. Napříč historií se také formoval vztah mezi architektem a zedníky. Ve středověku byli architekti považováni za mistry zednictví a pracovali se zedníky bok po boku. Italská renesance však nabídla architektům možnost dosáhnout ve společnosti vyššího statusu. Ti se od řemeslníků distancovali a začali se soustředit spíše na reprezentaci budovy a její samotný návrh. U zedníků tak dnes již není požadována taková úroveň dovednosti, jako tomu bylo v dávných dobách. [4]

V dnešní době lze zdivo podle materiálu rozdělit na:

- kamenné,
- cihelné,
- smíšené,

- tvárnicové,
- betonové,
- z rovnaného dřeva. [5, 6]

1.1.1.2 Zdicí prvky

Zednické práce jsou od počátku pevně spjaty také s výrobou zdicích prvků. V současnosti jsou zdicí prvky vyráběny ve vyspělých zemích v továrnách, tzn. v automatizované hromadné a levné výrobě, čímž se od samotné stavební výroby značně liší.

Stavební řád z roku 1886 předepisoval míru 450 mm jako minimální tloušťku obvodové stěny v nejvyšším, tj. v pátém nadzemním podlaží, s hloubkou traktu do 6,5m. Od toho se odvíjel rozměr vyráběných cihel, který odpovídal násobku nebo zlomku modulu 150 mm. Skladebný rozměr plné cihly byl tedy 300x150x75 mm, jmenovitý rozměr byl pak o 10 mm menší. [7]

Zděné konstrukce se musely začít postupně přizpůsobovat rostoucím požadavkům. Tyto požadavky se týkaly nejen pevnosti a trvanlivosti, ale i jejich tepelně a zvukově izolační funkce, které nebyly v minulosti prioritou. Více se začala řešit také rozměrová přesnost a rozměrová stabilita vyráběných zdicích prvků.

Skladebné rozměry dnešních děrovaných cihel jsou násobky základního modulu 100 mm, přičemž někdy i jeho poloviny nebo čtvrtiny. Jmenovité rozměry se liší podle typu pojiva a tím pádem i tloušťky styčných a ložných spár. Při použití obyčejné nebo lehké malty je ložná spára tradičně 10 až 12 mm. V současnosti existuje i technologie tzv. přesného zdění. Tvarovky jsou v horních a dolních plochách zabrušovány a díky tomu je snížena tloušťka vrstvy pojiva. Zároveň je minimalizován tepelný most v samotné spáře. V tomto případě je tloušťka ložné spáry 1 až 3 mm. [7]

Dle ČSN EN 1996-1-1 (73 1101) jsou dnes rozlišovány tyto druhy zdicích prvků:

- pálené (cihlářské) a vylehčené zdicí prvky,
- vápenopískové cihly a kvádry,

- betonové tvárnice s hutným nebo lehkým kamenivem,
- pórobetonové tvárnice,
- lícové betonové tvárnice,
- kamenné kvádry. [8]

1.1.1.3 Pojiva

Nejstaršími používanými pojivy byly hlíny s vysokým obsahem plastických jílových minerálů (se zrny do 0,002 mm). Jejich tvrdnutí probíhalo vysycháním a následným smršťováním, při kterém vznikaly trhliny. Mezi nevýhody patřily hlavně nízká pevnost v tlaku (cca 0,4 MPa), nestálost v důsledku působení vnějších vlivů a z toho vyplývající krátká životnost. [9]

Později se začaly vyrábět tepelným zpracováním sádra a vápno. Nejstarší nález těchto materiálů byl ve zbytcích staveb v Sýrii, které byly datovány do roku 7000 let př. n. l. Jako pojivo kvádrů byla sádra použita později při výstavbě Cheopsovy pyramidy 2650 let př. n. l. Sádra vzniká odvodněním sádrovce. Koncový produkt je tedy rozpustný ve vodě a tím nevhodný k použití do exteriéru. Později se tak začalo používat jako pojivo spíše vápno. Nejprve jen jako vzdušná maltovina. Následně odlišné kultury nezávazně na sobě zjistily, že přídavkem dalšího materiálu (Féničané cihelnou moučku, Řekové lávovou hlínu, Římané sopečný popel) vznikne pojivo, které má v konečném stavu větší pevnost a nabývá pevnosti i pod vodou. Na území dnešní ČR se vápno začalo používat až v 10. století. [9]

První použití římského sopečného popela, který je přírodním hydraulickým cementem, je datováno roku 200 př. n. l. Tento materiál je nazýván jako pucolán. Díky tomuto druhu pojiv se podařilo vystavět spoustu významných inženýrských staveb po celém Středomoří. Se zánikem západořímské říše šel ruku v ruce konec éry používání hydraulických pojiv. Až anglický inženýr J. A. Smeaton se postaral o obnovu používání těchto pojiv, když za jejich pomoci roku 1756 vystavěl maják v Eddystonu. Zatvrdlá maltovina se barevně podobala stavebnímu kameni z okolí města Portland a právě odtud pochází název křemičitanového cementu – portlandský. [9, 10]

V polovině 19. století se začal vyrábět struskový cement a nastal i velký rozvoj vápenictví. Suroviny byly zpracovávány ve velkých závodech umístěných blízko jejich výskytu. Ve 20. století probíhal spíše vývoj strojního zařízení a způsobu zpracování. Základními stavebními pojivy této doby byly vzdušné a hydraulické vápno a cementy na bázi křemičitanového a hlinitanového slinku. [9]

V současnosti jsou využívány tradiční malty pro zdění: vápenocementová a cementová malta připravovaná na stavbě. Vápenocementovou maltu lze připravit jako směs suchých složek v poměru 6 dílů písku : 1 díl cementu : 1 díl vápenného hydrátu. Tato malta je používána již od konce 19. století. Cementovou maltu lze připravit jako směs suchých složek v poměru 4 díly písku : 1 díl cementu. Tato malta je vhodnější pro více namáhané zdivo, jelikož větší podíl cementu obecně zvyšuje jeho pevnost. Množství přidané vody závisí na požadované konzistenci malty. Malta je pak podle typu zdicího prvku nanášena buď celoplošně, nebo v pruzích. Hlavní nevýhoda staveništní malty spočívá v nepřesnosti dávkování množství jednotlivých složek a tím pádem i nezaručené kvality výsledného produktu. Díky příznivé cenové relaci si však staveništní malta stále udržuje svou oblíbenost. Dalšími možnostmi je využití prefabrikovaných mokrých malt nebo továrně vyráběných suchých maltových směsí. Právě průmyslově vyráběné malty postupně vytlačují staveništní zdicí malty kvůli rostoucímu tlaku na kvalitu staveb. Stále populárnější jsou dnes lepidla a polyuretanové pěny, které umožňují zdění s velmi tenkými spárami. [6, 7, 11]

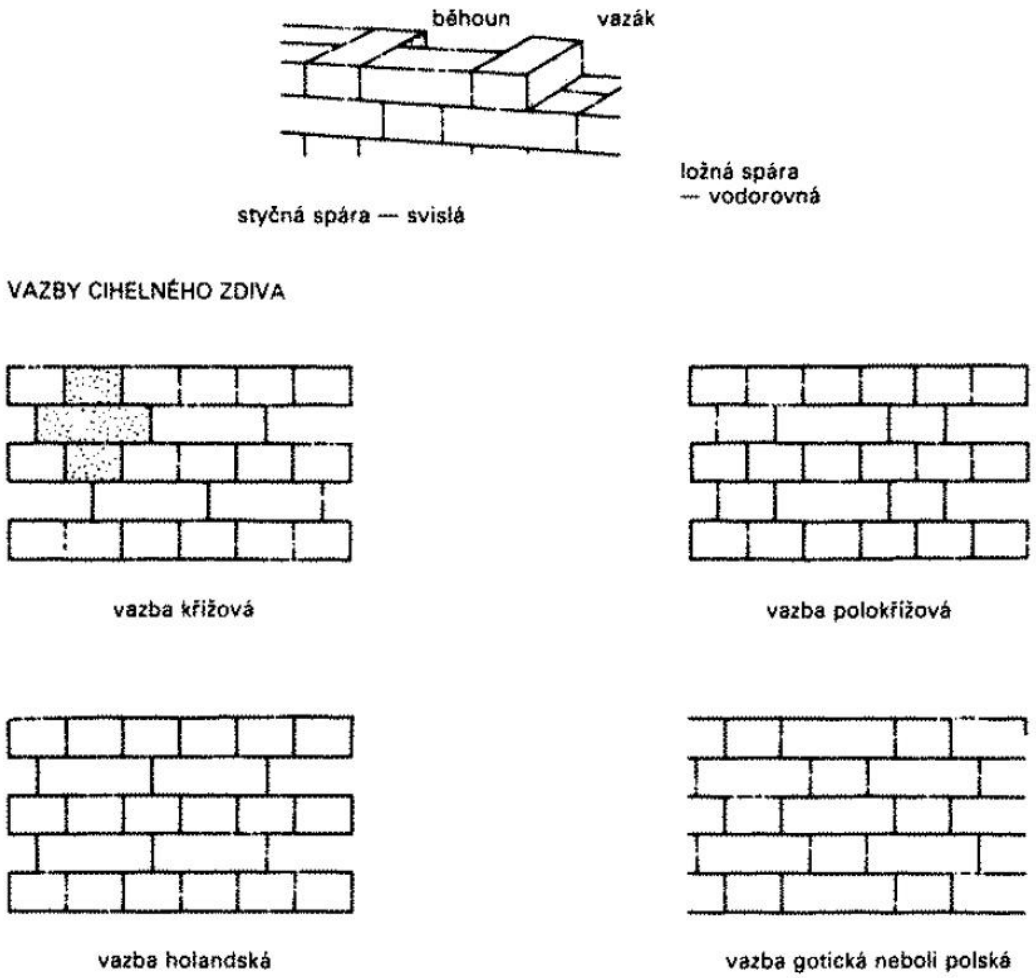
Současné malty pro zdění jsou dle ČSN EN 998-2 rozděleny:

- podle záměru výroby:
    - návrhová – výrobce volí složení a postup výroby, aby byly zajištěny předepsané vlastnosti;
    - předpisová – vlastnosti se posuzují podle použitého poměru složek;

- podle vlastností nebo použití:
  - obyčejné – nejsou předepsány speciální vlastnosti;
  - pro tenké spáry – zrnitost kameniva menší nebo rovna 2 mm:
    - lepidlo,
    - polyuretanová pěna;
  - lehké – objemová hmotnost v suchém stavu menší než 1300 $kg.m^{-3}$;
- podle způsobu výroby:
  - průmyslově vyráběná:
    - suchá maltová směs – na stavbu dodána v pytlích nebo do sila, zamíchána na místě stavby s vodou;
    - prefabrikovaná mokrá malta – kompletně zamíchána s určitou dobou zpracovatelnosti (běžně 36 hodin);
  - zčásti průmyslově připravená – zamíchána na staveništi podle pokynů výrobce, zpravidla průmyslově umísená vápenopísková směs, na staveništi zamíchána s cementem a vodou;
  - staveništní malta – kompletně zamíchána na staveništi. [6, 7]

1.1.1.4 Vazba zdiva

Důležitou vlastností zdiva je jeho vazba. Vazbou je zajištěno spolupůsobení všech prvků tak, aby se stěna chovala jako jeden ucelený nosný prvek. V minulosti byla používána řada druhů vazeb (příklady viz obr. 1), přičemž všechny jsou tvořeny lichou a sudou vrstvou. Hlavní zásadou je, aby se spáry v liché a sudé vrstvě nepřekrývaly, a přitom byl minimalizován počet dělených cihel. Řezáním cihel je zvyšována pracnost, množství vzniklého odpadu a spotřebu malty. [6, 12]



Obr. 1: *Běhoun a vazák - použití ve vazbě; označení spár; příklady typů vazeb; zdroj: [13]*

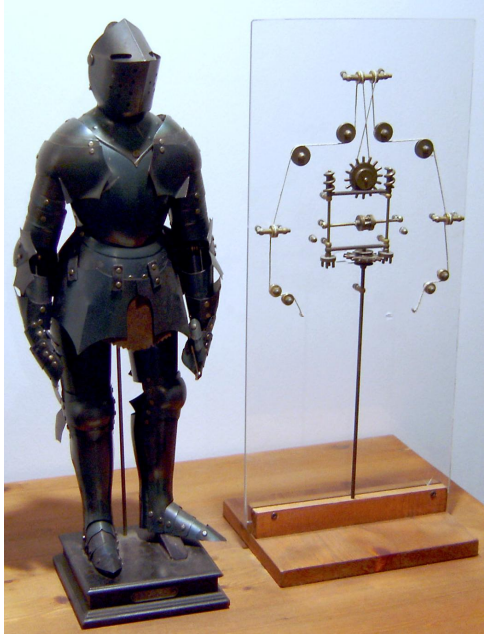
1.1.2 Historie robotiky

Termín robot byl poprvé použit v roce 1921 v divadelní hře R.U.R. od Karla Čapka a svůj původ má ve slově robota. Označuje samočinně pracující stroj, který nahrazuje lidskou práci, ačkoli vzhledem lidskou bytost nemusí připomínat nebo úkol plní jiným způsobem než lidé. Robotika je pak inženýrským oborem, který se zabývá návrhem a konstrukcí robotů. [14]

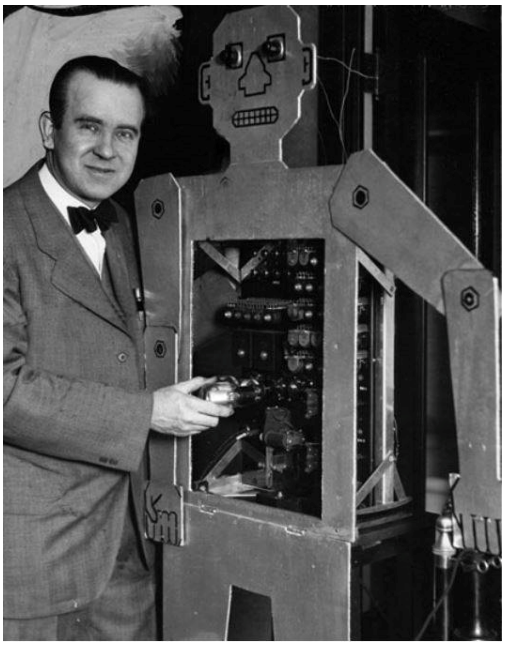
Ve starých legendách je zmíněno mnoho vynálezů, které svojí charakteristikou odpovídají definici slova robot. Nicméně autorem prvního ověřeného návrhu „robota“ byl Leonardo da Vinci. Přibližně v roce 1495 představil mechanického rytíře v brnění, který byl schopen udělat několik pohybů – sednout si, mávat pažemi, hýbat hlavou a čelistmi (viz obr. 2). [15]

Rozvoj robotiky, jak ji známe dnes, začal až ve 20. století. V roce 1927 byl Royem Wensleyem patentován robot zvaný „Televox“ (viz obr. 3). Tento

robot fungoval jako ovládací panel. Byl schopný zvednout telefonní sluchátko a následně splnit některý z jednoduchých úkolů na základě výšky tónu hlasu (např. vypnout a zapnout světla). O rok později byl představen první japonský robot, Gakutensoku, který byl schopen podle požadavku napsat několik předem naprogramovaných zpráv zabudovaným perem. [15]



Obr. 2: *Model robota sestrojený na základě nalezených výkresů Leonarda da Vinci; zdroj: [16]*



Obr. 3: *R. Wensley a robot Televox; zdroj: [17]*

Roku 1942 formuloval Isaac Asimov tři zákony robotiky, které jsou v poslední dekádě hodně diskutovány v souvislosti s rozvojem umělé inteligence. Tyto zákony znějí:

1. Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby člověku bylo ublíženo.
2. Robot musí uposlechnout příkazů člověka, kromě případů, kdy jsou tyto příkazy v rozporu s prvním zákonem.
3. Robot musí chránit sám sebe před zničením, kromě případů, kdy je tato ochrana v rozporu s prvním nebo druhým zákonem. [18]

Na konci 50. let byly položeny Georgem Devolem základy moderní průmyslové robotiky. Vytvořil totiž prvního robota s mechanickou rukou, který byl digitálně programovatelný a ovladatelný. Unimate (viz obr. 4) se stal

prvním sériově vyráběným robotem a od roku 1961 ho začala využívat firma General Motors k přesouvání žhavých ocelových dílů, čehož nebyl člověk jednoduše a bez ohrožení na zdraví schopen. Z toho vyplývá, že roboti z počátku byli do výrobního průmyslu zavedeni nejen kvůli urychlení výrobních procesů a zvýšení produktivity práce. [18]

Obr. 4: *Unimate – první robot, používaný v průmyslové tovární výrobě, zdroj: [19]*

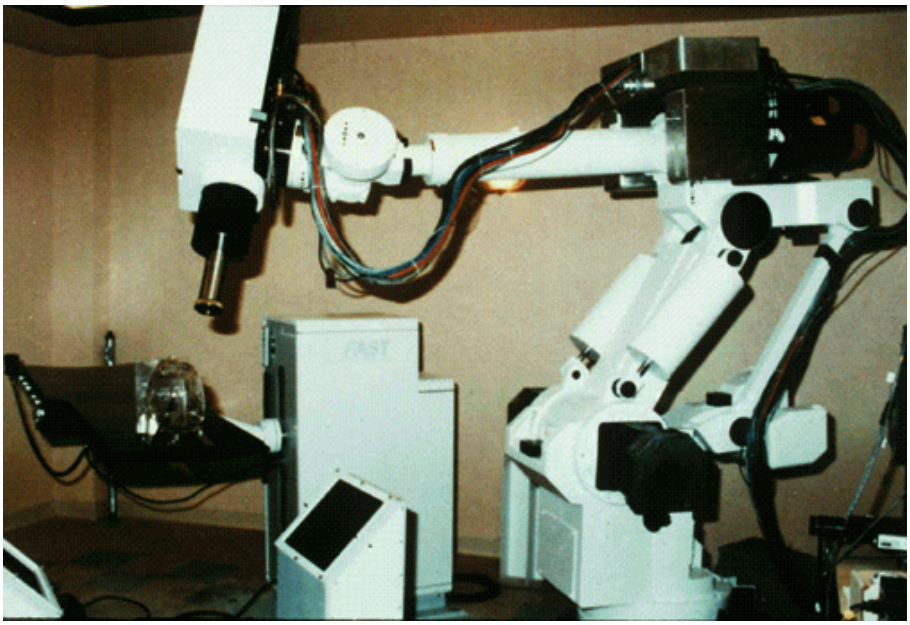
V 60. letech se začali roboti stávat součástí výrobního průmyslu i v Japonsku. V USA v té době pronikli i do jiných než jen průmyslových sektorů. Důkazem je např. „Rancho Arm“, který pomáhal handicapovaným pacientům ve zdravotnickém zařízení v Kalifornii. Vývoji a výzkumu se více začala věnovat také americká armáda a NASA, což znamenalo velký přísun financí do tohoto odvětví. [18]

Na začátku 70. let byla robotika ovlivněna válečným konfliktem ve Vietnamu a vývoj byl soustředěn hlavně v oblasti armádní techniky a zbraní. Jednalo se zejména o teplem nebo laserovým paprskem naváděné střely a bomby. Touto dobou byl vyroben v Japonsku první android. Android je označení pro robota, který je podobný vzhledem a chováním člověku. Ten dokázal pomocí zabudovaných senzorů zjišťovat vzdálenosti a směry k objektům v jeho okolí, díky tomu uchopit předmět a přenést na požadované místo. Byl schopný dokonce komunikovat v omezeném rozsahu v japonštině s operátorem. [24, 20]

Tovární sériová výroba byla kvůli její jednotvárnosti ideálním polem pro uplatnění robotů. Na konci 70. let a v 80. letech tak byli vyráběni zejména

roboti, kteří měli za úkol odvést lidskou práci a tím zlevnit výrobu. To se týkalo hlavně robotických rukou. Výrobci stále zdokonalovali jejich senzorické vnímání a počet os, kolem kterých se mohla ruka otáčet. [18]

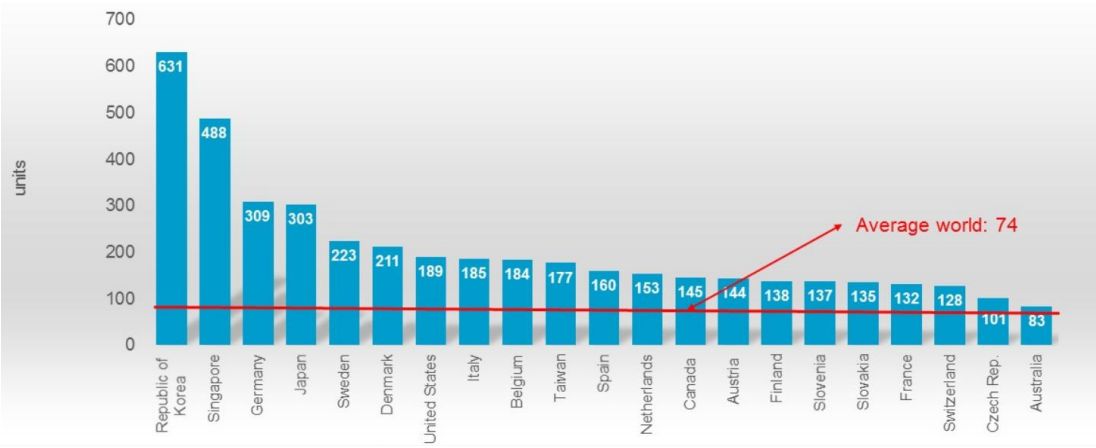
Dalším milníkem ve vývoji robotiky byl rok 1994, kdy proběhla první chirurgická operace, při které asistoval robot – Cyberknife (viz obr. 5). Tento robot dokázal během operace pořizovat průběžně rentgenové snímky a reagovat na ně svojí činností – ozařování tumoru na plicích za neustálého pohybu při dýchání. Zastal tak práci, kterou by člověk tak přesně nikdy nedokázal vykonat. Díky této události bylo poukázáno na velký potenciál robotiky v oblasti zdravotnictví. [18]



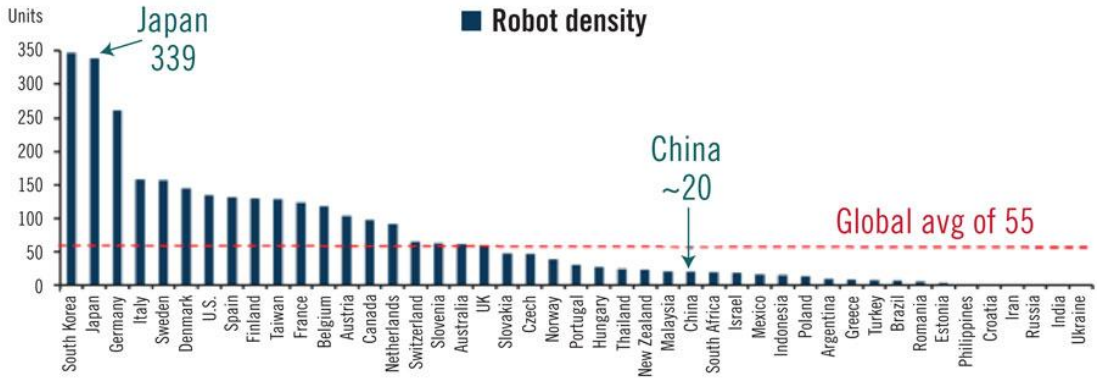
Obr. 5: *Robot Cyberknife v roce 1994 ve Stanfordu, zdroj: [21]*

Oblastí, do které začala robotika pronikat na přelomu tisíciletí stále více, byl vesmírný výzkum. Robot Sojourner byl vytvořen v roce 1997 pro misi Mars Pathfinder, která měla za úkol prozkoumat povrch Marsu. Byl schopný přizpůsobit své chování a trasu pohybu neočekávaným událostem. Vzhledem k podmínkám dopravy musel být velmi lehký, vážil pouhých 10,5 kg. Později na něj navázali Canadarm2, který byl v roce 2001 vypuštěn na oběžnou dráhu k pozdějšímu připojení k Mezinárodní vesmírné stanici (ISS) nebo Robonaut 2, který jako první android ve vesmíru sloužil na misi STS 133 jako pomocník astronautům. [18]

Dnes lze roboty uplatnit téměř ve všech oborech lidské činnosti. Sektorem, ve kterém je největší uplatnění robotů, zůstává výrobní průmysl. Mezinárodní federace robotiky (IFR) uvádí, že v roce 2016 na 10 tisíc zaměstnanců ve výrobním průmyslu připadalo ve světě průměrně 74 robotů (viz graf 1). Evropa je v tomto srovnání na vrcholu s průměrnou hustotou 99 robotů, následuje Severní Amerika s průměrnou hustotou 84 robotů. Asie je až na třetí příčce s průměrnou hustotou 63 robotů na 10 tisíc zaměstnanců. Asie má však na prvních čtyřech místech hned tři své zástupce: Jižní Korea, Singapur a Japonsko. Ti patří v robotice v současnosti ke světové špičce. Graf 2 zobrazuje to samé srovnání, ale v roce 2011. Celosvětový průměr byl tehdy 55 robotů na 10 tisíc zaměstnanců. Je zde patrný velký skok, kdy se jen za pět let zvedl světový průměr o 19 robotů na 10 tisíc zaměstnanců. [22]



Graf 1: *Počet robotů ve výrobním průmyslu připadající na 10 tisíc zaměstnanců v jednotlivých státech v roce 2016; zdroj: [22]*



Graf 2: *Počet robotů ve výrobním průmyslu připadající na 10 tisíc zaměstnanců v jednotlivých státech v roce 2011; zdroj: [22]*

Dalšími oblastmi, kde se dnes můžeme s roboty setkat, jsou například:

- průzkumy a manipulace v nehostinných nebo těžko přístupných podmínkách:
    - záchranářské práce,
    - vojenské operace,
    - vesmír;
- zdravotnictví:
    - operační asistence,
    - protetika;
- doprava. [23]

Setkat se s nimi je možné už i v běžné domácnosti. Příkladem je robotický vysavač, který lze pořídit za pár tisíc korun. Dalším, už ne tak levným příkladem, jsou automobily. U těch rozlišujeme, o jak velkou míru automatizace řízení se jedná (stupeň 0 až 5). V současnosti už existují samořízená vozidla, která uživatele dokáží dovézt do zadaného cíle bez řidiče. Problémy pro rozvoj automatizace automobilové dopravy představují legislativa, která není připravena a nehody, které se v době testování vozidel staly. Tyto dva problémy však komplikují implementaci robotů téměř ve všech odvětvích. [24]

Současné roboty lze rozdělit podle účelu, vzhledu, schopností a dalších faktorů. Jedním ze základních faktorů je míra autonomie, která udává, jak je stroj/robot samostatný a jakou míru lidské obsluhy potřebuje/dovoluje. Podle míry autonomie vypadá rozdělení strojů/robotů takto:

- řízený – stroj; je přímo vedený člověkem bez interakce s okolím; např. výtah, který se pohybuje jen při stisknutém tlačítku;

- ovládaný – stroj; vykonává činnost podle zadaného pokynu s logickou rozhodovací schopností; např. výtah, který zastaví až v požadovaném patře;
- regulovaný – stroj/robot; dosahuje cíle předem určeným způsobem za různých podmínek a různými cestami; např. výtah se během jízdy při volbě další cílové stanice s ohledem na aktuální polohu rozhoduje, zda zde zastaví po cestě, nebo se sem vrátí později;
- autonomní – robot; dosahuje cíle způsobem, který si zvolí (metoda volby je však stále předepsána); ověřuje nejpřímější cestu a v případě výskytu překážek hledá novou cestu;
- inteligentní – robot; sám si volí cíle a člověka nepotřebuje; hraniční výsledek oboru umělé inteligence. [23]

1.1.3 Historie robotizace a automatizace stavebnictví

Tato kapitola se zabývá počátky implementace robotiky a automatizace do stavebnictví. Vývoj je rozdělen do dvou období: od roku 1920 do roku 1970 a od roku 1970 po současnost. Následuje samostatná podkapitola věnující se počátkům robotického zdění.

1.1.3.1 Období 1920 – 1970

Po první světové válce byli někteří stavitelé fascinováni industrializací a začali se snažit, aby stavební průmysl nezůstal pozadu. Jedním z tehdejších nápadů Němce Adolfa Sommerfelda bylo využití velkých portálových jeřábů, za pomoci kterých se stavěly obří lodě (např. Titanic), také ke konstrukci budov. Důležitou součástí tohoto nápadu bylo napojení staveniště na železniční infrastrukturu z důvodu optimalizace dodávky materiálu. Touto metodou proběhla např. výstavba bytových domů v Bad Dürrenbergu, kde v letech 1927-1931 vzniklo cca 1000 bytů (viz obr. 6). Z fotografie jsou patrné velké odstupy jednotlivých bytových domů, které jsou vcelku nízké. Důvodem je využití výše zmíněných jeřábů. Při výstavbě byly použity výhradně standardizované prefabrikované prvky. To vše kvůli snížení doby výstavby na minimum. [25,26]

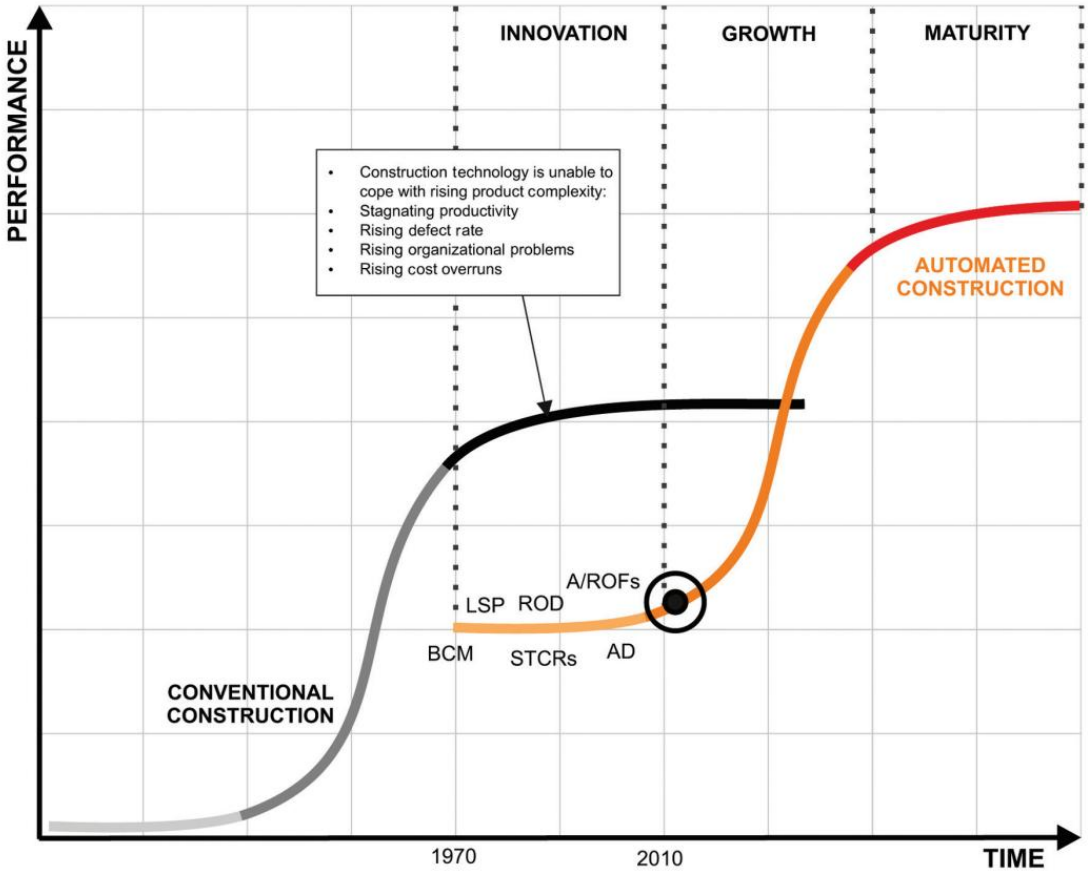
Obr. 6: *Pohled na sídliště v Bad Dürrenbergu, architekt Alexander Klein; zdroj: [27]*

Ve 40. letech začal mít, v souvislosti se zvýšením produktivity ve stavebnictví, velký vliv také Sovětský svaz. Stavební výroba se vyznačovala používáním velkého množství prefabrikátů, čímž se většina práce přesunula do továren, kde se produktivita neustále zvyšovala. Na staveništích byly používány speciálně vyvinuté koncovky jeřábu, spoje atd. pro používané prefabrikáty. Tento způsob výstavbu značně urychloval, ale na staveništích nikdy nebyl dosažen požadovaný stupeň automatizace. [25]

V 60. letech byly představeny první stroje, které bylo možné naprogramovat podle potřeby. Díky pokrokům ve vývoji výpočetní techniky začaly být stroje více flexibilní a multifunkční. Stavební stroje však zůstaly touto modernizací téměř nedotčeny. [25]

1.1.3.2 Období 1970 – současnost

Vývoj tradičních stavebních metod a automatizovaných procesů ve stavebnictví od 70. let 20. století do současnosti, lze popsat na takzvané S – křivce životního cyklu technologií (viz graf 3).



Graf 3: *S-křivka znázorňující vývoj stavebnictví a jeho technologií; zdroj: [25]*

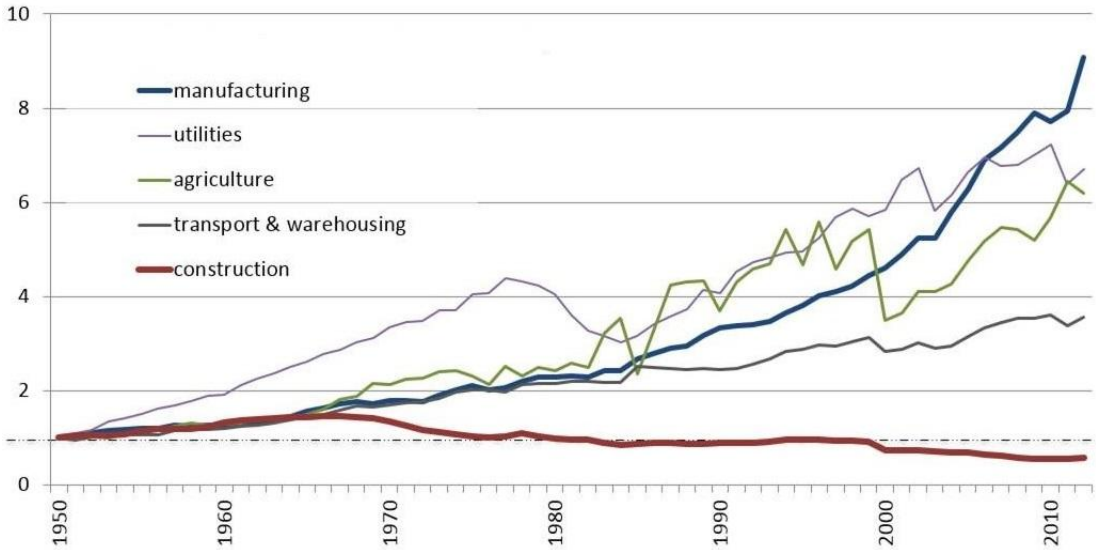
S-křivka zobrazuje vývoj technologie v čase. Osa x na grafu reprezentuje čas, osa y reprezentuje výkon/produktivitu. Každou křivku lze rozdělit do tří fází:

- fáze A (innovation): žádné znalosti a zkušenosti, velké výdaje na výzkum a vývoj, nízký nebo žádný zisk, technologické a organizační problémy, vývoj prototypů;
- fáze B (growth): růst znalosti a zkušenosti; překonávání technologických a organizačních problémů; budování doplňkové infrastruktury, produktů a služeb; nové obchodní modely; přijetí klienty;
- fáze C (maturity): technologie dosahuje technických, organizačních a ekonomických hranic; nastává stagnace. [25]

Odstíny šedé v grafu 3 reprezentují fáze tradičního způsobu výstavby, oranžová až červená reprezentují fáze automatizované výstavby. Z grafu 3 je patrné, že konvenční technologie stavebnictví se nachází v poslední fázi C

(černá křivka): technologie již nevyhovují výstavbě složitých objektů, stagnuje produktivita sektoru, zvyšuje se výskyt vad, zvyšuje se počet organizačních problémů. Oproti tomu automatizované stavebnictví se nachází v první fázi „A“ (světle oranžová křivka): objevují se nové prototypy strojů a technologií, postupně získává na důvěře a důležitosti. Zatím se ale automatizovanému stavebnictví nedaří, kvůli technickým, organizačním a ekonomickým překážkám, přesunout se do další fáze vývoje. V grafu 3 jsou vyznačeny pod zkratkami inovace, které charakterizují toto období: BCM = automatizovaná výroba stavebních prvků (např. výroba cihel); LSP = prefabrikace velkých prvků; STCRs = počátek výzkumu a vývoje robotů zaměřených na jednu konkrétní činnost. [25]

V 70. letech 20. století byl zaznamenán významný pokles růstu produktivity ve stavebnictví. Oproti tomu výrobní průmysl byl v této době na vzestupu díky postupné automatizaci výrobních linek (viz graf 4). [25]



Graf 4: *Produktivita práce v různých odvětvích od roku 1950 do roku 2012 (1950 = index 1,0); stavební průmysl je označen hnědou křivkou, výrobní průmysl modrou křivkou; zdroj: [28]*

Stagnace produktivity stavebnictví v 80. letech pokračovala a složitost staveb se zvyšovala (např. díky výstavbě výškových budov). Výzkum možností automatizace ve stavebnictví se zintenzivňoval, ale nešel v tomto odvětví, kvůli jeho specifičnosti (viz kapitola 1.2), použít stejný postup implementace robotů, jako u výrobního průmyslu. Pro příklad je představena situace v Japonsku, kde se touto dobou ekonomice dařilo a stavebnictví se

značnými obtížemi dokázalo uspokojit poptávku. Pro mladé nebyla práce na stavbě atraktivní (byla nebezpečná, špatně placená) a nedostatek lidí v tomto sektoru byl dán také rychlým stárnutím populace. V reakci na to byly použity značné výdaje na vývoj systémů, které by dokázaly nahradit lidskou práci a zároveň zvýšit produktivitu. Byla vytvořena široká škála robotických strojů např. k ukládání betonu, svařování nebo výmalbu. Roky vývoje a spousta peněz bylo investováno do vytvoření automatizované in situ výrobny se stavebními procesy řízenými za pomoci 3D modelů. Vysoké investice na automatizační systémy a roboty se nevyplácely, neboť generace prvních robotů nedokázala nahradit lidskou práci tak snadno, jak tomu bylo ve výrobním průmyslu a nebyla schopna přizpůsobit se neustále měnícím se staveništím. Ukázalo se, že pro úspěšnou náhradu člověka na stavbě by musel robot disponovat schopností vnímání a určité reakce, což bylo v té době výpočetně a finančně nedosažitelné. Problém s nedostatkem pracovníků ztratil prioritu v okamžiku, kdy Japonsko ovládla hospodářská krize v roce 1990. Rozpočty na výzkum a vývoj se rychle ztenčily a už nebyl prostor ani na export a další vývoj technologií vyvinutých v tomto období. [25, 29]

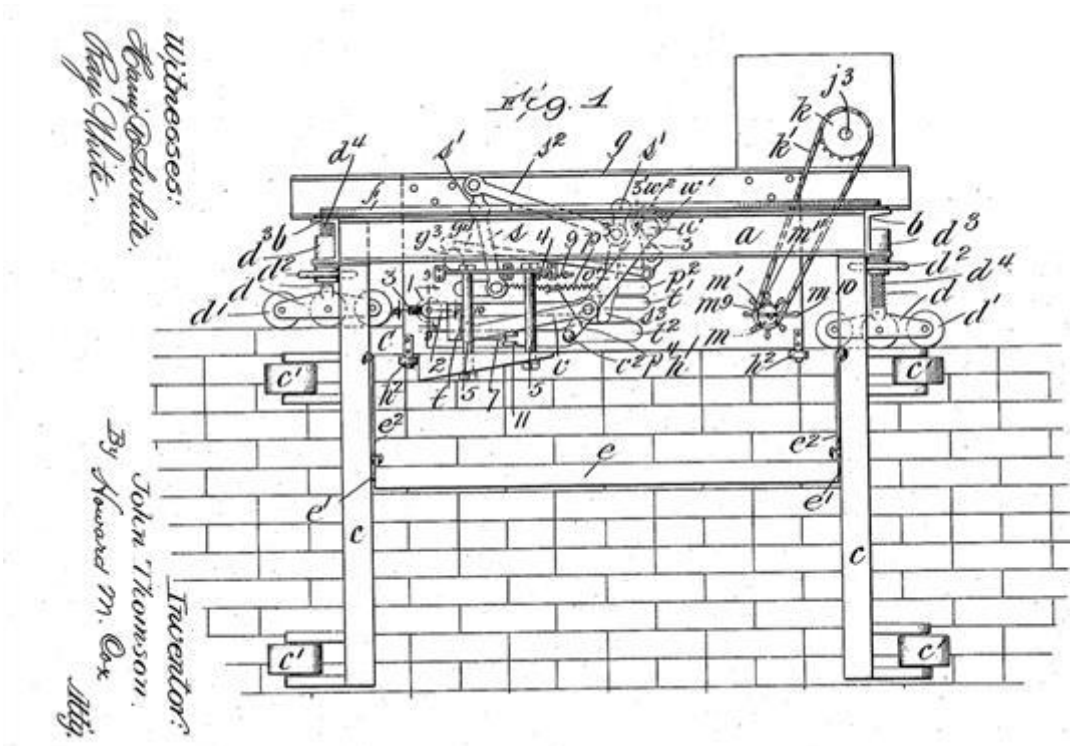
Přestože automatizované stavebnictví v období od počátku 70. let do současnosti zůstalo do značné míry ve fázi experimentů, doprovázeno technickými, organizačními, ekonomickými problémy a malou důvěrou dodavatelů stavebních prací, lze toto období označit jako typickou fázi A (viz výše). Tyto nedostatky a překážky tak nelze chápat jako negativní jevy, neboť jsou pro tuto fázi typické. Tuto fázi lze označit také jako období, kdy jsou zjišťovány silné a slabé stránky různých alternativních přístupů k výstavbě. [25]

1.1.3.3 Historie robotického zdění

Zdění je práce, která vyžaduje jistou dávku dovednosti a zkušenosti. Už naši předkové si však všimli, že se jedná o sérii neustále se opakujících činností a snažili se o jejich usnadnění.

V roce 1904 si nechal Američan John Thomson patentovat zařízení, které bylo prapředkem všech robotů pro zdění a nemělo téměř nic

společného s dnešními prototypy (viz obr. 7). Mělo s nimi však společný cíl, zrychlit práci a snížit potřebné úsilí zedníka. Ani k jednomu však využití tohoto zařízení nevedlo. [30]



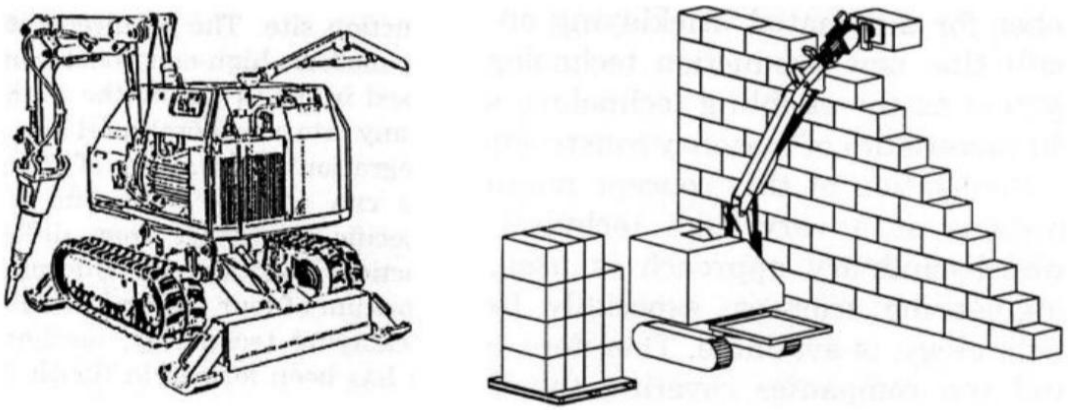
Obr. 7: *Zařízení na zdění patentované J. Thomsonem v roce 1904, zdroj [30]*

V pořadí dalším strojem, jehož návrh nezůstal jen na papíře, je „Motor Mason“ („motorový zedník“) z roku 1967 (viz obr. 8). Tento stroj už dokázal pracovat zčásti automatizovaně a k jeho provozu byli zapotřebí dva pracovníci. Jeden do stroje doplňoval cihly a maltu, druhý zednickou lžící začišťoval spáry. Stroj se pohyboval po kolejnicích umístěných vedle stavěné stěny a automaticky dávkoval maltu a pokládal cihly. Podle propagačního videa to zvládal pětkrát rychleji než obyčejný zedník. Problém ale byl, že dokázal stavět jen rovné zdi a potřeboval kolem sebe spoustu místa. Pro použití v praxi nebyl tedy příliš praktický a z toho důvodu zůstal jen inspirací pro další vynálezce. [30]

Obr. 8: *„Motor Mason“ z roku 1967 při práci se zedníky; zdroj [30]*

Systém ROCCO (viz obr. 9) z roku 1994 měl o dost větší šanci na využití v praxi. Součástí systému měl být mobilní robot, který měl mít zabudovaný počítač a senzory, díky kterým měl dokázat opravit případné vlastní chyby. Předpokládalo se, že bude schopný převést zdi nakreslené v CAD výkresech na jednotlivé zdicí prvky a díky tomu je správně natočit a umístit. Tento projekt však zůstal ve fázi konceptu a nebyl vytvořen žádný prototyp. [31]

Současným moderním robotům pro zdění se zabývá kapitola 2.



Obr. 9: *Schéma konceptu robotického zdicího systému ROCCO z roku 1994; zdroj: [31]*

1.2 Specifika stavebnictví

V této kapitole jsou vyjmenována a popsána specifika, která brání snadnému rozvoji automatizace a robotizace ve stavebnictví. Jsou také zmíněny rozdíly oproti výrobnímu průmyslu.

1.2.1 Jedinečnost výrobku

V období socialistického realismu se nejen na území dnešní ČR stavěly typizované stavby. Používání prefabrikátů (viz kapitola 1.2.2) bylo pro toto období typické. Charakteristickým příkladem jsou panelové bytové domy, u kterých byl požadavek hlavně na funkčnost a rychlost výstavby, estetická stránka nebyla příliš řešena. Výjimky tvořily monumentální státní budovy. [32]

V dnešní době je spíše snaha o návrh originálních objektů a tím je snížena možnost využití výhod opakování a standardizace. Stavebnictví tak prošlo v moderní historii značnou změnou. Protikladem je v tomto ohledu výrobní průmysl, který je typický produkcí velkého množství stejných nebo podobných výrobků a zůstal v tomto ohledu nezměněn.

1.2.2 Výroba in situ

Výrobní průmysl a stavebnictví se zásadně liší lokací výroby. V továrně se výrobek pohybuje po výrobní lince, pracovníci a stroje konají svou práci na jednom místě. Na druhou stranu ve stavebnictví je hlavní část výroby situována na staveništi. Stavěný objekt je pevně spojen s pozemkem, na kterém je umístěn, a tím pádem jsou nuceni pohybovat se pracovníci a stroje.

V současné době pozorujeme rozvoj modulární architektury a častější využívání prefabrikátů. Prefabrikace znamená hromadnou výrobu konstrukčních prvků ve stavebních továrnách, odkud jsou poté dovezeny na staveniště a hrubá stavba probíhá formou montáže těchto dílů. Tento způsob výroby pozitivně ovlivňuje rychlost, cenu a efektivitu výstavby. Využitím prefabrikátů se přesouvá určitá část výroby do továrny, kde jsou stálé podmínky. Výrazný podíl dalších stavebních procesů a technologických

etap však není vhodné nebo nelze řešit tímto způsobem, a proto zůstává výroba in situ charakteristickým znakem stavebnictví. [33]

Místo výroby ovlivňuje počet vad a nedostatků, které vzniknou na finálním produktu. Stavebnictví se vyznačuje nemalou mírou kazovosti, která je mimo jiné ovlivněna také špatně odvedenou prací, nedostatečnou dovedností nebo nedorozuměním pracovníků. [34]

Stavba dosahuje značných rozměrů, takže na ní probíhá zpravidla více prací současně. Z toho důvodu je náročná také koordinace výroby. [34]

1.2.3 Vliv vnějšího prostředí

Velký vliv mají také přírodní podmínky v místě výstavby. Jsou jimi zejména:

- základové poměry,
- počasí,
- střídání ročních období. [34]

Základové poměry mají vliv na dobu výstavby a rozpočet celého objektu. Zbylé dva faktory pak ovlivňují hlavně technologický postup a načasování některých stavebních procesů. Nevhodné klimatické podmínky znemožňují provádění některých prací v souladu s technologickými předpisy či technickými normami, a to má za důsledek posouvání termínů dokončení. Tyto faktory lze odhadovat a předpokládat, nelze je však žádným způsobem ovlivnit.

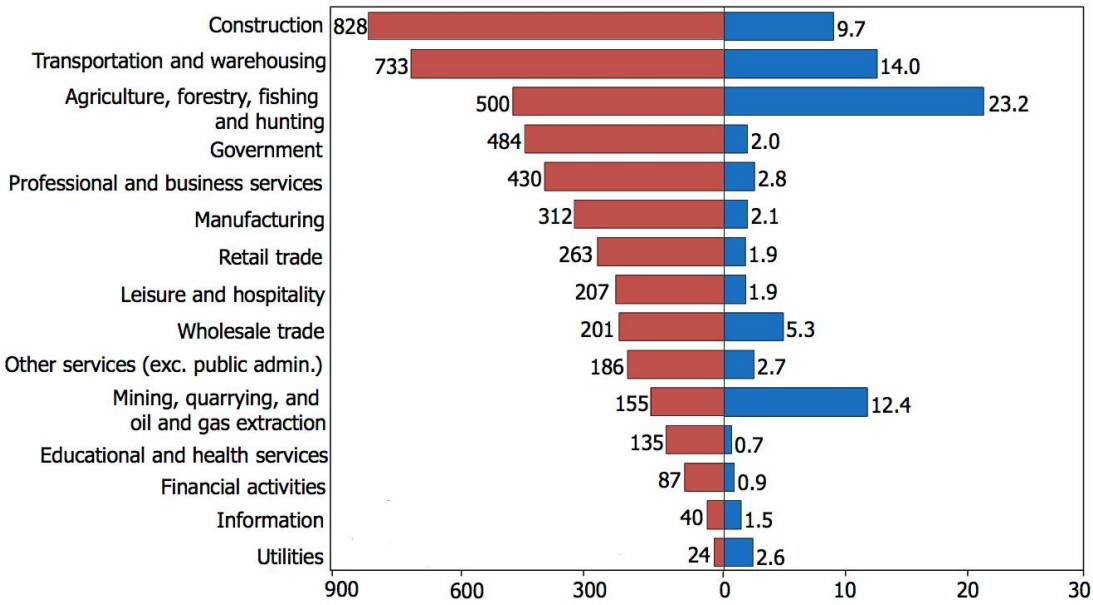
1.2.4 Těžká manuální práce

Stavebnictví je obecně málo mechanizované a automatizované odvětví. Téměř na každém staveništi se vyskytuje problém se špatnou dostupností nebo stísněným prostorem v místě výkonu práce. Těžká manuální práce tak tvoří velký podíl všech procesů na staveništi. Některé práce jsou někdy vykonávány ručně jen z důvodu nižších nákladů nebo nedostupné mechanizace. V tomto směru stavebnictví zaostává obzvláště za strojírenstvím a automobilovým průmyslem. [34]

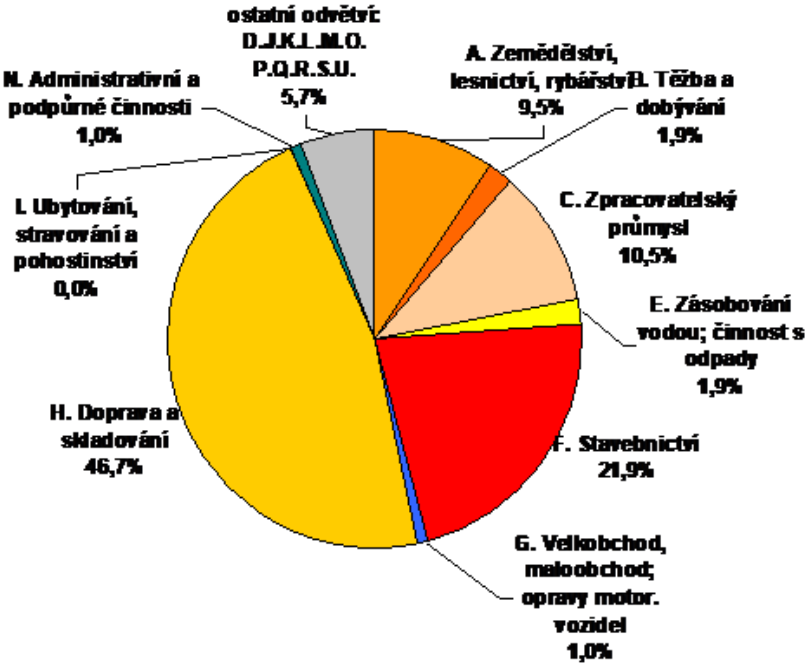
Dlouhodobá fyzická zátěž způsobuje únavu, nepozornost a špatný úsudek, tím pádem má negativní vliv i na celkovou produktivitu práce a kvalitu odvedené práce. S množstvím manuální práce přímo souvisí množství pracovních úrazů. [25]

1.2.5 Vysoká úrazovost

V posledních letech je zaznamenána větší snaha o prevenci pracovních úrazů (zřízení koordinátora BOZP, školení BOZP, povinnost používání OOPP apod.). I přesto však v počtu úrazů stavebnictví ostatní průmyslové sektory nepříznivě převyšuje, a to hlavně v počtu smrtelných pracovních úrazů (viz graf 5 a graf 6). Graf 5 ukazuje, že při práci ve stavebnictví zemřelo v roce 2013 celosvětově 828 osob. Graf 6 zobrazuje tuto statistiku v roce 2016 v ČR, kde je na druhém místě s podílem 21,9 % na všech pracovních smrtelných úrazech v ČR. Nejhorší úrazy jsou způsobeny zejména při: pracích ve výškách, výkopových pracích nebo přemisťování těžkých břemen. [36]



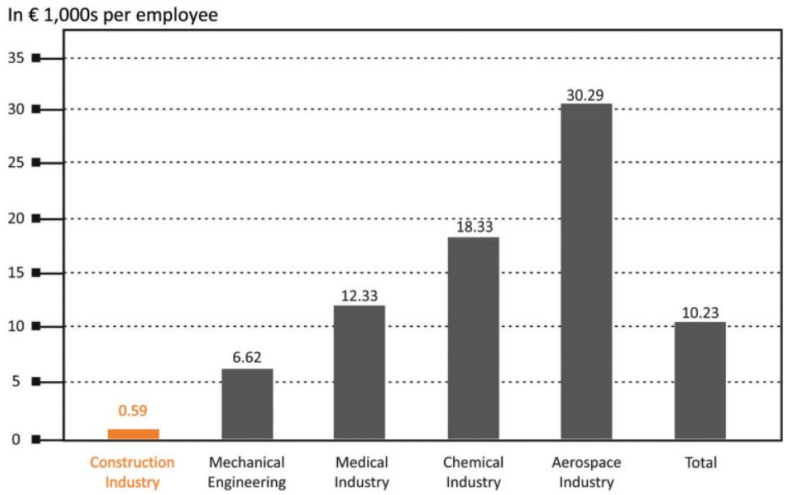
Graf 5: *Počet smrtelných pracovních úrazů (červeně)/počet smrtelných pracovních úrazů připadajících na 100 tisíc pracovníků (modře) v jednotlivých odvětvích průmyslu ve světě v roce 2013; zdroj: [35]*



Graf 6: *Podíl počtu smrtelných pracovních úrazů podle odvětví zaměstnání v ČR v roce 2016; zdroj: [36]*

1.2.6 Nízké výdaje na výzkum a vývoj

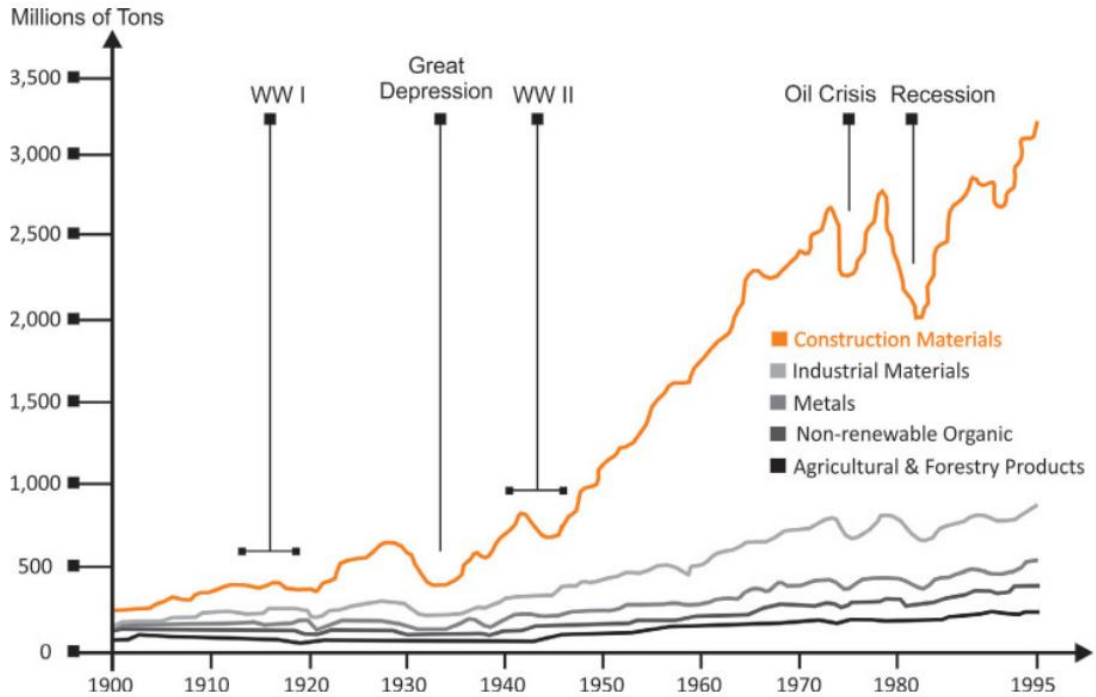
Stavebnictví je jedním z průmyslových odvětví, ve kterém směřuje nejméně peněz na výzkum a vývoj. Například v Německu investují stavební společnosti ročně v průměru jen 590 € v přepočtu na jednoho zaměstnance, což je výrazně pod průměrem 10 230 € na zaměstnance (viz graf 7). Investice do vědy a výzkumu ve stavebnictví v Německu odráží situaci ve vyspělých státech po celém světě. [25]



Graf 7: *Investice do výzkumu a vývoje ve vybraných odvětvích v přepočtu na jednoho zaměstnance (v tisících €); zdroj: [25]*

1.2.7 Velká spotřeba surových materiálů

Ve stavebním průmyslu nejsou materiály využívány příliš efektivně. Graf 8 zobrazuje spotřebu surových materiálů v USA ve 20. století. Ukazuje, že spotřeba stavebních materiálů se od roku 1950 ztrojnásobila a stále stoupá. V Evropě je dnes přibližně 65 % produkovaného kameniva a 20 % vyrobených kovů spotřebováno ve stavebnictví. Beton, kamenivo a cihly přitom tvoří 90 % (hmotnostně) všech používaných stavebních materiálů. Mnoho firem usiluje o redukci množství materiálu a energie potřebné na vstupu nejen z ekonomických důvodů, ale i kvůli stále aktuálnějším tématům: ekologii a trvale udržitelné výstavbě. Účinné využívání zdrojů však není tématem jen pro stavebnictví. [25, 37]



Graf 8: *Spotřeba surových materiálů v milionech tun ve Spojených státech amerických v letech 1900-1995; zdroj: [25]*

1.3 Předpoklady pro rozvoj automatizace a robotizace ve stavebnictví

Oblastí, kde lze roboty uplatnit, je mnoho. Mohli by dokonce umožnit výstavbu v nehostinných podmínkách (vesmír, moře, pouště, arktické oblasti). Robotizace může být pro stavebnictví přínosem z různých hledisek: zefektivnění výroby, zlepšení kvality výroby, levnější produkt, menší úrazovost nebo zmírnění negativního vlivu na životní prostředí.

Z dlouhodobého hlediska s sebou nese však také rizika jako: nezávislé rozhodování umělé inteligence, ztráta mnoha pracovních míst a tlak na zvýšení kvalifikace pracovníků. V této kapitole jsou nejprve popsány druhy robotů pro stavebnictví, možnosti jejich využití a jejich očekávaný vývoj do budoucna. V další části jsou rozebrány předpoklady pro digitalizaci stavební výroby, tzn. robotizaci. [34, 38]

1.3.1 Oblasti použití robotů

Roboty s možností použití ve stavebnictví lze rozdělit na:

- konvenční – automatizovaný provoz a ovládání, nepracují na základě CAD modelu, mohou využívat GPS, často na dálkové ovládání;
- pracující na bázi CAM technologie – využívají pokročilou automatizaci, přesně interpretují CAD model.

Konvenční roboti mohou být využíváni například pro demoliční práce. Dálkově ovládaný demoliční robot umožňuje operátorovi pohybovat se v bezpečné vzdálenosti. Roboti pracující na bázi CAM technologie se dále rozdělují podle technologie výroby:

- 2D technologie – CNC obrábění/řezání různými způsoby (kovové nástroje, vodní paprsek, laser);
- 2D technologie úprav povrchů – 2D tiskové plottery pro výmalby, nátěry, nástřiky;
- subtraktivní technologie – výroba odebíráním materiálu (řezáním, vrtáním, frézováním atd.), CNC ve 3D;
- formativní technologie – výroba tvarováním materiálu (ohýbáním, lisováním, ražbou atd.);
- aditivní technologie – výroba nanášením vrstev materiálu (3D tisk);
- robotická skladba – sestava stavebních prvků, které byly prefabrikovány jinými technologiemi (např. robotické zdění). [34]

Poslední trendy ukazují, jak by pravděpodobně mohla probíhat robotizace stavebnictví. První fází je automatizace stávajících technologií, počínaje jednoduššími procesy, jakými jsou například zemní práce. Automatizované stroje pro zemní práce (viz obr. 10) dokáží pracovat na základě digitálního modelu a GPS, s větší přesností a menšími náklady než stroje řízené lidmi. V České republice začíná s využíváním automatizovaných strojů pro zemní práce experimentovat např. stavební společnost Metrostav. Další fáze zahrnuje využívání kolaborativních robotů (tzv. COBOTů), robotů STCRs (single-task construction robots, tzn. roboti zaměření na jednu konkrétní činnost) a digitální fabrikaci. [38, 39]

Obr. 10: *Schéma staveniště s automatizovanými stroji pro zemní práce; zdroj: [38]*

Kolaborativní roboti (viz obr. 11) umožňují díky implementovaným bezpečnostním senzorům sdílet úkoly s lidmi. Robot vykonává úkoly náročné na přesnost, sílu atd. a na člověka zbývají kritické úkony na finálních úpravách. V tomto případě se tedy nejedná o celkovou náhradu lidské síly ve výrobě, ale spíše doplnění a přesun části úkonů na roboty. [38]

Obr. 11: *Kolaborativní robot (COBOT); zdroj: [34]*

Digitální fabrikací rozumíme aditivní výrobu – 3D tisk (viz obr. 12). Tak jako u předchozích technologií je spektrum využití velmi široké. Výhodou je tvarová volnost navrhovaných konstrukcí/výrobků a téměř 100% spotřeba materiálu. První pokusy se soustřeďují hlavně na hrubou stavbu ze směsí na bázi cementu, kde je překvapivá rychlost výstavby. Problémem se na druhou stranu jeví vyztužování takto stavěných konstrukcí. [38]

Obr. 12: *Vizualizace digitální fabrikace hrubé stavby malého domu, který je „vytisknutelný“ za 48 hodin; 3D tiskárna Vulcan; zdroj: [40]*

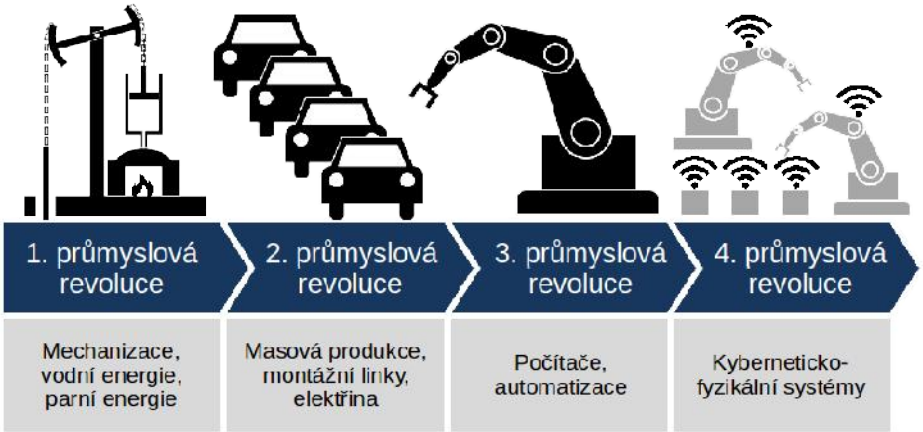
STCRs je označení pro skupinu robotů, které jsou určeny jen pro jeden určitý typ úkolu. Podobně jako u kolaborativních robotů jde opět o náhradu lidí jen při konkrétních pracích (svařování, pokládka obkladů a dlažeb, robotické zdění atd.). [38]

1.3.2 Stavebnictví 4.0

Stavebnictví 4.0 je součástí iniciativy Průmysl 4.0, neboli čtvrté průmyslové revoluce a je v současnosti ve vyspělých zemích velmi diskutovaným tématem.

První průmyslovou revolucí je označováno období v 18. století v Anglii, kdy byl objeven parní stroj a začaly se využívat nové zdroje energie. V tomto období probíhala industrializace neboli přechod od ruční výroby v manufakturách ke strojní velkovýrobě. Druhá průmyslová revoluce je spjata s elektrifikací a vznikem montážních linek. Třetí průmyslová revoluce souvisí zejména se zapojením elektroniky, informačních a automatizačních technologií do výrobních procesů. V současnosti prožíváme tzv. čtvrtou průmyslovou revoluci, která začala s rozšířením internetu a její plný průběh je očekáván do roku 2030. Její základ tvoří kyberneticko-fyzikální systémy. Díky senzorickému vnímání, autokonfiguraci a autodiagnostice by inteligentní zařízení měla začít místo lidí vykonávat řadu činností. Mezi věci, se kterými se v dnešní době už setkáváme, patří například: autonomní vozidla, drony, 3D tisk, roboti, chytré továrny atd. Průmysl 4.0 uvažuje s tím, že všechny výrobní stroje, produkty, osoby a ostatní systémy zapojené do procesu, budou spojeny do inteligentních sítí a budou tak schopny vzájemně komunikovat a kooperovat. [34, 41, 42]

Z předchozího popisu a charakteristických znaků průmyslových revolucí lze odvodit, že stavebnictví zatím nedospělo ani do konečné fáze třetí průmyslové revoluce, tzn. plné digitalizace a robotizace. Malá míra robotizace v tomto sektoru je dána především specifickými znaky stavebnictví zmíněnými v kapitole 1.2 a zůstává jednou z hlavních překážek přechodu na Stavebnictví 4.0. [34]



Obr. 13: *Čtyři průmyslové revoluce a jejich typické znaky; zdroj: [43]*

Iniciativa Stavebnictví 4.0 byla v ČR vyhlášena na BIM Days 2016 a vychází z rozhodnutí vlády podpořit iniciativu Průmysl 4.0. Komplexní vize v ČR však zatím neexistuje. Odborníci ze strany státu se soustřeďují jen na konkrétní témata, jakými jsou BIM (viz kapitola 1.3.3) a Smart Cities („chytrá města“). Některé stavební obory přitom mohou čerpat z vývoje ostatních „4.0“ odvětví (např. Doprava 4.0). Státu však nelze upřít v určitých směrech snahu o změnu. Začal ve stavebnictví více investovat do výzkumu a vývoje. Ministerstvo průmyslu a obchodu v dotačním programu „Aplikace“ rozdělí do roku 2020 přibližně 8,5 mld. Kč mezi podnikatele, kteří investují do experimentálního vývoje a o dotaci zažádají (výše dotace se pohybuje od 1 do 40 mil. Kč). Dalším důkazem je například výstavba Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky (CIIRC), který z většiny financoval právě stát. [34, 44]

Je třeba upřesnit, že Stavebnictví 4.0 neznamená jen používání BIM a digitalizaci, ale hlavně koncepční změnu v myšlení a vnímání stavebnictví jako celku. BIM lze však považovat za jeden z jeho základních pilířů. Dalšími úkoly Stavebnictví 4.0 je integrovat/inovovat následující oblasti:

- výrobní kapacity pro výrobu a přepravu stavebních hmot a komponent;
- robotizovaná výstavba;
- legislativní procesy (např. získání stavebního povolení);

- automatizace budov a jejich napojení na energetickou, dopravní a jinou infrastrukturu;
- procesy údržby budov. [42]

Možným řešením plně automatizované výstavby je koncept ROD (Robot – Oriented Design). V tomto případě je návrh přizpůsoben využití robotů a automatizace v celém procesu výstavby. Tzn. že umožňuje:

- automatizovanou nebo robotizovanou výrobu stavebních komponent a prefabrikaci,
- využívat konstrukční roboty k výstavbě,
- automatizovat procesy na staveništi,
- automatizaci podpůrných technologií. [25]

1.3.3 Digitalizace

Podmínkou pro nástup čtvrté průmyslové revoluce, a s tím spojené využívání kyberneticko-fyzikálních systémů, je plná digitalizace stavebnictví. Z pohledu životního cyklu stavby lze rozlišovat tyto stupně digitalizace:

1. digitalizace návrhu staveb,
2. digitalizace plánování stavební výroby,
3. digitalizace stavební výroby,
4. digitalizace provozu a správy staveb. [38]

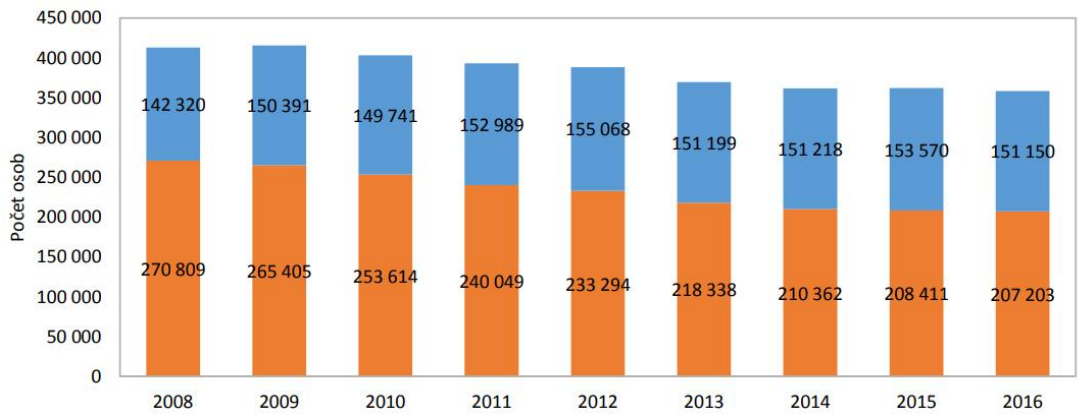
V současnosti je digitalizace nejrozšířenější v oblasti návrhu staveb. Důvodem jsou výhody, které s sebou digitalizovaný projekt přináší: sdílené aktuální podklady, snazší kooperace všech zúčastněných stran, přístupný odkudkoliv (i na staveništi). Státní správa v ČR je v tomto směru pozadu. Úřady zatím neakceptují dokumentaci v digitální podobě. [38]

BIM (Building Information Modelling) je proces vytváření a správy dat o budově během jejího životního cyklu. Někdy bývá pojmenování „BIM“ používáno chybně pro 3D model objektu. Je důležité upřesnit, že 3D model je jen jednou z mnoha informací, které BIM zahrnuje. BIM obsahuje totiž i tzv. parametry, což jsou různé negrafické informace např. materiálové vlastnosti,

pozici v harmonogramu výstavby, investiční náklady atd. V průběhu projekce do modelu všichni zúčastnění doplňují relevantní informace a případné kolize jsou tak snadno odhaleny. Model pak slouží k různým účelům v průběhu životního cyklu budovy: od návrhu, přes výstavbu, správu, případnou rekonstrukci, až po demolici budovy. Jak již bylo zmíněno, v ČR BIM zatím příliš rozšířen není. Překážkou je bezesporu legislativa, která není připravena. Vláda zatím schválila materiál „Koncepce zavádění metody BIM v České republice“, který obsahuje plán implementace v letech 2018-2027. Zásadní informací v této koncepci je uložení povinnosti použití BIM pro nadlimitní veřejné zakázky na stavební práce financované z veřejných rozpočtů od roku 2022. Zatím v ČR využívá BIM např. švédská společnost Skanska. Skandinávské země obecně jsou se zaváděním BIM oproti ostatním státům napřed. Například Finsko je jedním z prvních států, který začal využívání BIM vyžadovat a podporovat. Tamní vláda určila BIM jako podmínku pro veškeré nabídky pro státní správu už v roce 2007. Dalšími zeměmi, kde je využití BIM u určitých typů zakázek povinné, jsou: Velká Británie, Singapur, Norsko, Holandsko, Dánsko, USA, Austrálie. [45, 46, 47]

1.3.4 Personální krize

Zaměstnanost ve stavebnictví v ČR klesá (viz graf 9) a míra nezaměstnanosti je v současnosti dokonce nejnižší za posledních 22 let (viz graf 10). Pro mladé lidi je práce stavebního dělníka málo prestižní a kvůli fyzické náročnosti se poptávka zužuje spíše na muže. Problém se však vyskytuje i v kvalifikovanosti a dovednosti potenciálních zaměstnanců. [48]



Graf 9: *Vývoj počtu zaměstnaných osob ve stavebnictví v ČR; oranžově průměrný evidenční počet zaměstnanců, modře pracující majitelé; zdroj: [49]*

Graf 10: *Graf sledující míru nezaměstnanosti v ČR od roku 2010 po současnost, zdroj: [50]*

Ve výrobním průmyslu navíc firmy dávají zaměstnancům jistotu celoročního stálého příjmu. Kvůli sezónnosti stavebních prací zaměstnanci ve stavebnictví tuto jistotu postrádají.

Více než pětina stavebních dělníků je cizinců, nejvíce jich je z Ukrajiny. Mnoho z nich ale kvůli administrativním překážkám pracuje „načerno“ a jsou součástí tzv. šedé ekonomiky. Náklady na zahraniční pracovníky jsou pro firmy menší než na kmenové zaměstnance. Lze tedy předpokládat ještě větší podíl zahraničních pracovníků.

Všechny tyto faktory nasvědčují tomu, že najít kvalitní pracovní sílu pro stavebnictví bude stále obtížnější. Robotizace by mohla pomoci tuto krizi na trhu práce vyřešit.

2 Současní roboti pro zdění

V posledních dvou desetiletích se vývoj moderních technologií zaměřil i na problematiku robotického zdění. Proces zdění má předem daný technologický postup a je tak vhodný pro automatizaci. Ve skutečnosti však prozatím nebyl vyroben plně automatizovaný systém. U každého z doposud vyvinutých robotů je vyžadováno nastavení, ovládání, doplňování materiálu, popřípadě dohled nad jeho prací. Výzkumné projekty zdůrazňují význam prostředí při navrhování robota a shodují se v tom, že úroveň autonomie by měla odpovídat prostředí, ve kterém pracuje. Část projektů je zaměřena na návrh konkrétního automatizovaného systému. Vybraní roboti pro zdění jsou představeni v této kapitole. Záměrně byli vybráni roboti s odlišným technickým řešením a principem fungování systému, kvůli jejich porovnávání v praktické části této práce (viz kapitola 3).

U každého robota jsou sledovány hlavně tyto vlastnosti:

- vzhled a technické řešení,
- princip fungování systému,
- používané materiály,
- pohyblivost,
- rychlost práce,
- náklady.

2.1 Hadrian X

Prototyp Hadrian 105, vyvinutý australskou firmou Fastbrick Robotics, úspěšně demonstroval své schopnosti a možnosti technologie už v roce 2015. Následoval velký zájem investorů a po investici 45 mil. Kč, s opcí na dalších 180 mil. Kč, o kterou se postarala firma Caterpillar, byl v roce 2017 představen inovovaný model Hadrian X. [51, 52]

2.1.1 Vzhled a technické řešení

Hadrian X připomíná vzhledem popelářský vůz s 30 metrů dlouhým výložníkem (viz obr. 14). Robot je ovládán pomocí inteligentní sítě: počítače, které jsou propojené s kamerami a laserovými senzory. Senzory jsou umístěny jak na mobilní hlavě zařízení na konci výložníku, tak na více stabilních místech na staveništi. [51, 53]

Obr. 14: *Zdicí robot Hadrian X, zdroj: [51]*

2.1.2 Princip fungování systému

Tento robot zvládne celý proces zdění automatizovaně. Ještě před započetím práce je schopen převést nahraný 3D model na strukturu zdicích prvků a vypočítat, kolik materiálu bude pro stavbu potřeba. Na staveništi jsou v průběhu zdění do robota doplňovány palety se zdicími prvky (viz obr. 15), které dokáže sám podle potřeby nařezat. Řezání zdicích prvků probíhá uvnitř robota, tím je snížen produkovaný hluk a prach na minimum. Následně jsou zdicí prvky po výložníku dopravovány k hlavě zařízení, kde je na ně aplikováno pojivo a jsou ukládány na místo určené počítačem (viz obr. 16). Robot disponuje systémem DST (systém dynamické stabilizace), díky kterému je hlava zařízení schopna kompenzovat a reagovat na vnější vlivy (vítr, vibrace apod.), které by mohly snížit přesnost uložení zdicího prvku. [51]

Obr. 15: *Vizualizace doplňování palet se zdicími prvky, zdroj: [52]*

Obr. 16: *Vizualizace zdění, zdroj: [52]*

2.1.3 Používané materiály

Hadrian X je navržen pro práci se zdicími prvky různých materiálů (keramické, betonové atd.). Rozměry a hmotnost musí však být v těchto mezích:

- délka: od 115 mm do 490 mm,
- šířka: od 60 mm do 250 mm,
- výška: od 60 mm do 250 mm,
- hmotnost: max 22 kg. [53]

Jako pojivo je využíváno lepidlo na bázi polyuretanu, které dosahuje deklarované pevnosti již za 45 minut. Tvoří tenké spáry, které zlepšují tepelně technické a akustické vlastnosti zdiva. [51, 53]

2.1.4 Pohyblivost

Robot je součástí nákladního automobilu. Jeho mobilita je tedy závislá na člověku. Robot se při práci nachází vně stavěného objektu a v průběhu výstavby se nepředpokládá pohyb celého zařízení, ale jen dlouhého výložníku. Hlava zařízení disponuje stabilizačním systémem, který dokáže kompenzovat povětrnostní vlivy působící na dlouhý výložník a díky tomu je robot schopný umístit zdicí prvek s přesností na půl milimetru. [51]

2.1.5 Rychlost práce

Podle údajů zveřejněných výrobcem je schopen Hadrian X položit až 1000 cihel za hodinu (pro srovnání, zedník položí za den přibližně 500 cihel). To, ve spojení s možností pracovat 24 hodin denně, 7 dní v týdnu a bez jakýchkoli přestávek, znamená velký posun směrem nahoru v produktivitě při zdění. Model X se však zatím podrobil jen laboratorním testům, a proto nejsou tyto výkonnostní parametry potvrzeny použitím v praxi. [51]

2.1.6 Náklady

Prozatím ještě nebyl spuštěn komerční prodej tohoto robota. Odhadovaná cena se pohybuje kolem 2 mil. australských dolarů (cca 33,21 mil. Kč). Provozní náklady nejsou výrobcem uveřejněny. [51]

2.2 SAM 100

Prvním z produktů společnosti Construction Robotics z New Yorku byl MULE – stroj určený ke zvedání a manipulaci s těžkými břemeny na staveništi. Vývojem použitých technologií a specializací na zdění vznikl v roce 2015 zdicí robot SAM 100. V současnosti už existuje jeho vylepšená verze SAM 100 OS 2.0. Nový model pracuje rychleji, má menší rozměry a hmotnost. Tento robot byl využit už na 16 stavbách skutečných projektů

v USA. Ve všech případech byl využit ke zdění velkých ploch lícového zdiva. [54, 55, 56]

2.2.1 Vzhled a technické řešení

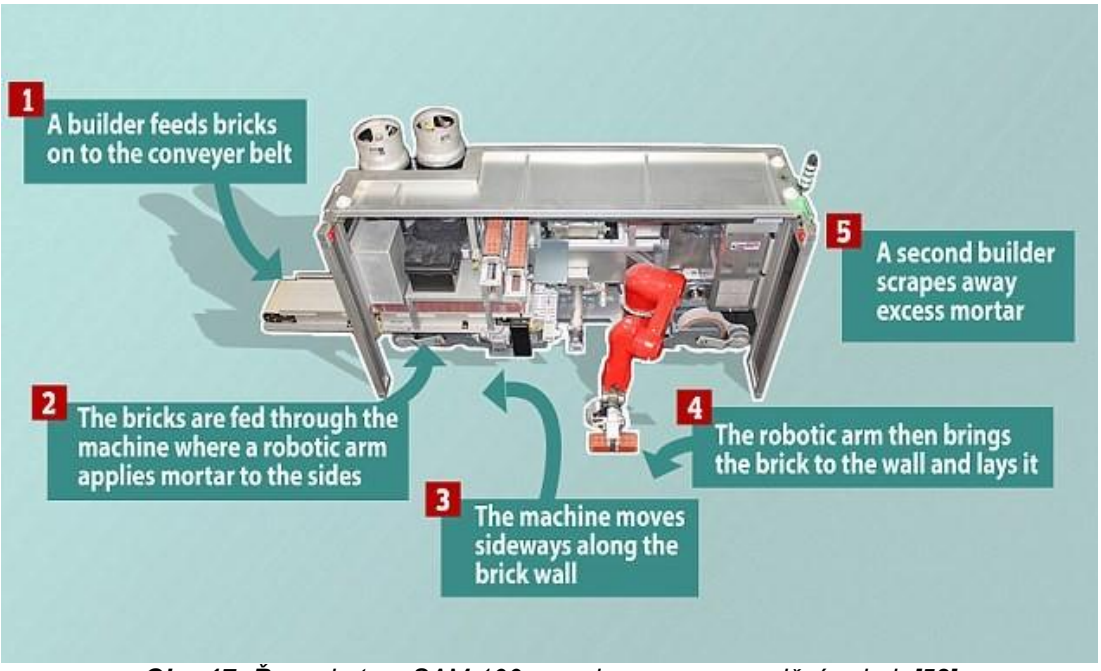
SAM 100 je přibližně 1,5 tuny vážící robot, pohybující se po speciální plošině s kolejnicemi. Jeho motor je poháněn propan-butanem. Nosnou konstrukci tvoří hliníkový rám, pod nímž se skrývají všechny části robota, které jsou díky opláštění (též z hliníku) chráněny před povětrnostními vlivy. Robot je sestaven z těchto komponent: sériově vyráběná robotická ruka s více klouby; pásový dopravník cihel; senzory měřící rychlost, sklon a směr; laser měřící vzdálenosti pro správné umístění cihly. Viz obr. 17. [57]

2.2.2 Princip fungování systému

Pomocí vyvinutého softwaru je z 3D modelu vytvořen kladečský plán, který je poté nahrán do robota. Zkratka SAM (semi-automated mason, „poloautomatický zedník“) napovídá, že robot nedokáže pracovat samostatně. Před spuštěním systému je třeba sestavit plošinu s kolejnicemi, po kterých se robot pohybuje a kalibrovat senzory pro lokalizaci otvorů. Při jeho provozu jsou zapotřebí dva dělníci. Jeden dělník pokládá cihly na pásový dopravník a doplňuje do zařízení maltu. Robotická ruka uchopí cihlu a nastaví ji k zařízení, které na cihlu aplikuje maltu. Ruka následně cihlu umístí na místo určené počítačem (viz obr. 18). Na konci celého procesu je druhý dělník, který začišťuje spáry a odstraňuje nadbytek malty. Druhý zedník musí také dozdívat rohy a otvory, protože to robot neumí a pouze tato místa vynechává. Schéma fungování robota viz obr. 17. [56, 57]

2.2.3 Používané materiály

Robot je určen pro zdění z lícových cihel, tzn. z cihel menších rozměrů. Do zařízení je doplňována již zamíchaná malta. [57]



Obr. 17: *Řez robotem SAM 100 s popisem procesu zdění; zdroj: [58]*

Obr. 18: *Zdicí robot SAM 100 ukládá cihlu na požadované místo; zdroj: [58]*

2.2.4 Pohyblivost

Robot se pohybuje horizontálně po plošině s kolejnicemi, kterou je nutné sestavit před spuštěním systému. Vertikální pohyb je zajištěn posunem celé plošiny nahoru, nebo dolů po sestavené konstrukci (viz obr. 19). Po skončení práce na jednom úseku, je nutný přesun robota jeřábem nebo paletovým nakladačem na další úsek (viz obr. 19). Robot je ideální pro zednické práce vně objektu, na přímé úseky dlouhé od 15 do 30 metrů. [56, 57]

Obr. 19: *Přesun robota pomocí nakladače na sestavenou konstrukci s plošinou; zdroj: [59]*

2.2.5 Rychlost práce

Výrobce udává, že robot je schopen položit 350 cihel za hodinu (opět pro srovnání: zedník položí přibližně 500 cihel za den). Časově náročnější je sestavení plošiny pro pohyb robota, přesun robota a jeho kalibrace po usazení na kolejnice. [54, 57]

2.2.6 Náklady

SAM 100 je prvním robotem, který se stal součástí komerčního prodeje. Jeho cena se pohybuje kolem 0,5 mil. amerických dolarů (v přepočtu cca 11,5 mil. Kč). Výrobce slibuje snížení nákladů na mzdy o polovinu při 3x až 5x vyšší produktivitě práce. Vypočítané náklady na položení jedné cihly jsou v přepočtu 1,1 Kč. [56, 60]

2.3 Fakultní projekt – KUKA – Modelování průmyslového robotického zdicího systému

Robotickým zděním se zabývají i lidé na Fakultě stavební ČVUT v Praze, konkrétně na Katedře technologie staveb. Tým tvořený Ing. Michalem Bruzlem, doc. Ing. Pavlem Svobodou, CSc., Ing. Vjačeslavem Usmanovem, Ph.D. a Ing. Rostislavem Šulcem, Ph.D. se zabývá návrhem funkčního modelu zdicího robota.

Na začátku projektu byl vytvořen koncept a určeny preferované materiály. Poté byly určeny technologické a ekonomické zákonitosti, požadavky. Nyní je projekt ve fázi, kdy existuje robot ve zmenšeném měřítku 1:3 se zdicími prvky nestandardních malých rozměrů, který je určený k laboratornímu testování. V současnosti je ve vývoji konvertor, který by měl být schopný transformovat data z modelu (BIM) na data určující pohyby a úkoly robota (podrobněji viz kapitola 2.3.2). Projekt tedy ještě z daleka není u konce, dalšími fázemi jsou:

- návrh a výroba robotického koncového zařízení (grip, aplikace malty/lepidla),
- návrh a výroba zařízení na řezání cihel,
- návrh a programování optimálních postupů a pohybu robota,
- ověření na funkčním modelu. [61, 62]

2.3.1 Vzhled a technické řešení

Základ tvoří sériově vyráběná řídicí jednotka KUKA KR C4 compact a robotická ruka KUKA KR10 R1100 sixx (technický list viz příloha G.1), která je pevně spojená s podkladem (v laboratoři s podstavcem vyrobeného z bednění PERI). Dalším potřebným technickým vybavením je PC stanice s programovacím prostředím WorkVisual a PLC sběrnice Beckhoff. [58, 63]

Parametry robotické ruky:

- mezní zátěž: 10 kg;
- max. dosah: 1101 mm;
- počet os: 6;
- přesnost opakování: ±0,03 mm;
- hmotnost: 54 kg;
- montážní polohy: podlaha, strop, zeď;
- stupeň ochrany: IP 54. [76]

Pro laboratorní testy je na konci ruky instalováno prozatím elektromagnetické uchopovací zařízení. [61]

2.3.2 Princip fungování systému

Vše začíná u konvertoru, který převádí data z BIM modelu do programovacího jazyku KRL, který využívá systém průmyslových robotů KUKA. Převod by měl probíhat v těchto dílčích krocích:

1) tvorba modelu (BIM);
2) export modelu do formátu IFC;
3) rozparsování IFC souboru – „extrakce“ potřebných souřadnicových bodů;
4) zpracování bodů – umístění robota, ověření dosahu robota, nastavení priority bodů, přidělení úkolů;
5) tvorba souborů .DAT/.SRC (KUKA KRL) – tyto soubory definují úkoly a pohyby robota;
6) import souborů do robota KUKA. [61]

Další částí je depaletizace, kdy robot vyjme cihlu z palety pomocí uchopovacího zařízení, kde je elektromagnet zapnutý nebo vypnutý, podle fáze pohybu a činnosti. Cihly jsou pro laboratorní testy osazeny magnetem, aby bylo možné jejich uchycení. Jak již bylo zmíněno výše, vývoj uchopovacího zařízení bude řešen až v další fázi projektu. Následně je cihla umístěna do kalibračního modelu, kam ji robot vloží, uvolní a znovu uchytí. Tímto jsou eliminovány nepřesnosti při prvotním uchopení cihly. Poté je cihla umístěna na místo určené softwarem (viz obr. 20). Aplikace pojiva bude řešena také až v další fázi projektu. [61]

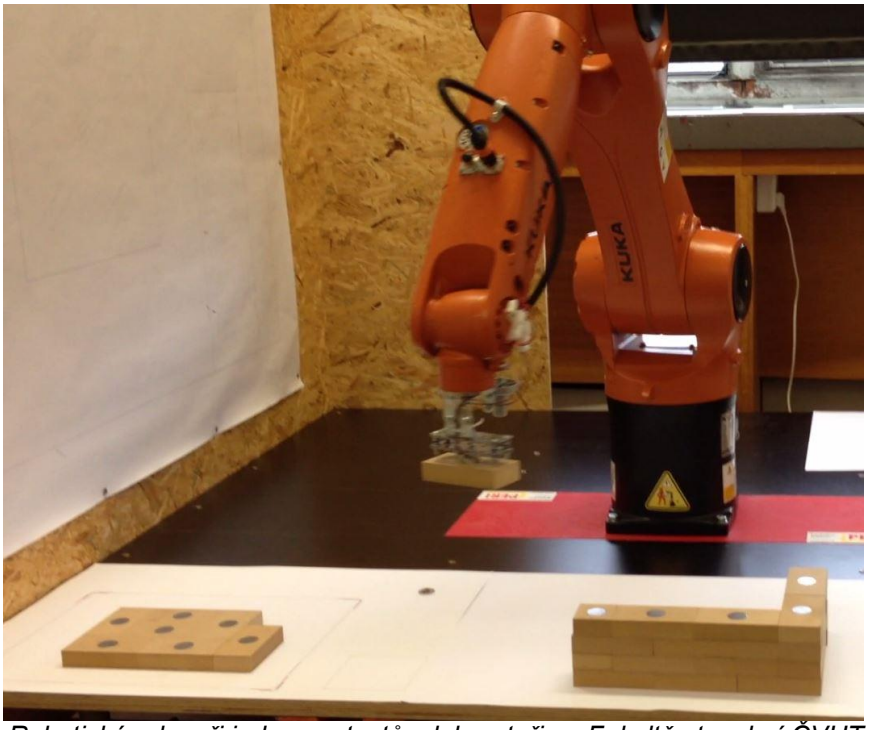
2.3.3 Používané materiály

Pro laboratorní testy jsou využívány zmenšené cihly půdorysných rozměrů 100 mm x 50 mm a 50 mm x 50 mm. Do budoucna je plánováno zdění z broušených cihel standardních rozměrů od firmy Porotherm a Heluz. Preferovaným spojovacím materiálem je polyuretanová pěna. [61, 62]

2.3.4 Pohyblivost

Robotická ruka je v laboratoři pevně spojena s podkladem. Na staveništi by měla být kotvena do svislých nebo vodorovných konstrukcí

stavěného objektu (podlaha/strop/stěna) podle potřeby. Nejvhodnější je stabilní umístění robotické ruky s dosahem na co nejvíce stavěných konstrukcí, následně musí být proveden přesun vhodným transportním prostředkem (např. jeřáb) na další stanoviště. [62]



Obr. 20: *Robotická ruka při jednom z testů v laboratoři na Fakultě stavební ČVUT v Praze; zdroj: [61]*

2.3.5 Rychlost práce

Rychlost práce robota je závislá na typu a rozměrech stavěného objektu, typu a rozměrech zdicích prvků atd. V současné době jsou k dispozici jen údaje z laboratorních testů od Ing. Usmanova, Ph.D., ze kterých lze predikovat rychlost práce dokončeného robota v měřítku 1:1 na skutečné stavbě. Na základě těchto údajů bude proveden výpočet rychlosti práce v praktické části této práce (viz kapitola 3.5.4).

2.3.6 Náklady

Pořizovací cena robotické ruky KUKA KR10 R1100 sixx včetně řídící jednotky KUKA KR C4 compact a příslušenství se pohybuje okolo 420 tis. Kč. [64]

3 Technologické porovnání tradičního způsobu zdění s robotickým zděním na projektu Alzheimer centrum Plzeň

Tato část práce je zaměřena na praktické využití robotů pro zdění. Technologické porovnání je provedeno na vybraném vhodném objektu, který je na začátku, spolu s předmětnými konstrukcemi, představen (viz podkapitola 3.1). Následně je srovnáván tradiční způsob zdění s roboty představenými v kapitole 2 z různých hledisek. Na konci této kapitoly je provedeno porovnání shrnující výhody a nevýhody použití těchto robotů.

Je důležité zmínit, že porovnání je založeno na údajích o výkonnosti zveřejněných výrobci robotů, které jsou často získané z testů v ideálních podmínkách a nejsou ověřené užitím robota v praxi. Výrobci také často neuvádějí překážky při využití těchto systémů: např. prostorová omezení, dobu potřebnou pro nastavení zařízení na výchozí pozici atd. a uvádějí jen zlepšení v produktivitě práce. Chybějící charakteristické vlastnosti jsou stanoveny nebo doplněny na základě konzultací s Ing. Usmanovem, Ph.D.

K porovnání je vhodný přízemní rozsáhlý objekt, jehož největší objem svislých konstrukcí tvoří zděné konstrukce a jeho výstavba je co nejméně limitována stísněnými prostorovými podmínkami. Tato kritéria podporují objektivní výsledek porovnání a závěr této práce. Z tohoto důvodu byl vybrán projekt Alzheimer centrum Plzeň, jehož projektová dokumentace byla poskytnuta firmou VMS projekt s.r.o.

Projekt se v současnosti nachází ve fázi rozpracovanosti dokumentace pro provedení stavby, kdy byl po konzultacích investora s dodavatelem změněn konstrukční systém hlavního objektu – pobytového zařízení. Původně měla být ramena objektu pobytového zařízení z modulárního systému buněk od firmy KOMA Modular, nyní jsou uvažovány svislé konstrukce těchto ramen jako zděné z vápenopískových bloků od firmy VAPIS. Z toho důvodu není výkres řezů objektem (viz příloha A.304.02) aktuální. Tento výkres je přiložen jen kvůli představě o výškách objektu, které zůstaly zachovány. V některých výkresech se vyskytují chyby – důležitou

opravou je pro účel této práce změna v legendě materiálů ve všech přílohách A., kde je chybně uvedena tloušťka příček VAPIS „175 mm“ místo „125 mm“.

3.1 Základní identifikační údaje

Všechna navrhovaná řešení popsaná v této kapitole jsou zakreslena ve výkresech, které jsou součástí přílohy A.

3.1.1 Popis území stavby

Stavební pozemek je situován v Plzni, katastrálním území Černice, u kruhového objezdu mezi komunikacemi K Cihelnám a V Hliníku, na parcelách č. 1655/3, 14, 16, 51. K objektu jsou navrženy dva nové vjezdy: jeden z komunikace K Cihelnám, druhý z komunikace V Hliníku. Navrhovaný objekt se nachází na pozemcích parc. č. 1655/3 a 1655/51, které jsou ve vlastnictví investora. Celková plocha pozemků je 7846 m^2. V katastru nemovitostí jsou pozemky definovány jako ostatní plocha. Pozemky dotčené navrhovaným objektem se nachází v převážně rovinatém území s mírným sklonem k severu a jsou nezasíťované.

V zájmovém území se nachází keřová zeleň a vzrostlejší stromy, které budou v rámci výkopových prací odstraněny.

K objektu jsou navrženy dvě veřejně přístupné účelové komunikace, které budou sloužit pro dopravní obsluhu novostavby ústavu sociální péče. Součástí návrhu je rovněž dopravní napojení na stávající komunikační síť. Návrh zahrnuje komunikaci „větev A“ v délkovém rozsahu 94,57 m, komunikaci „větev B“ v délkovém rozsahu 50,77 m, parkovací stání, chodníky pro pěší a doprovodné terénní úpravy. „Větev A“ je v rámci návrhu situována při severozápadní fasádě navrženého objektu, „Větev B“ při jihovýchodní.

3.1.2 Popis řešeného objektu

Novostavba ústavu sociální péče bude poskytovat péči především klientům s Alzheimerovou chorobou nebo s onemocněními podobného typu. Řešeným stavebním objektem je samotné Alzheimer centrum, zbylými stavebními objekty jsou: opěrná stěna a oplocení, akumulační jímka,

vodoměrná šachta, čerpací jímka splaškové kanalizace, vodojem, likvidace dešťových vod a komunikace.

Alzheimer centrum je tvořeno centrální dvoupodlažní hmotou a čtyřmi přízemními rameny, která z ní vybíhají. Objekt je navržen jako nepodsklepený s plochou střechou. Střední dvoupodlažní trakt, je navržen z části jako železobetonový sloupový skelet a z části ze zděného systému. Nad 1. NP se na severozápadní a jihovýchodní straně objektu nachází přesahující části, které zastřešují jeho hlavní vstupy. Jednotlivá ramena, ve kterých se nachází pokoje, jsou navržena také ze zděného systému.

V objektu se nachází 74 pokojů pro celkem 148 pacientů. Pokoje jsou typové (viz příloha B.). Podlahová plocha místností ve funkčních jednotkách je standardně:

- chodba 3,5 m^2,
- koupelna 5,5 m^2,
- pokoj 15,49 m^2,

celkem 24,49 m^2.

Plocha pozemků investora má celkovou rozlohu 7846 m^2. Zastavěná plocha (3737,5 m^2) tvoří 47,6 % plochy pozemků. Zpevněné plochy (2180 m^2) tvoří 27,8 % plochy pozemků. Zeleň (1928,5 m^2) tvoří 24,6 % plochy pozemků.

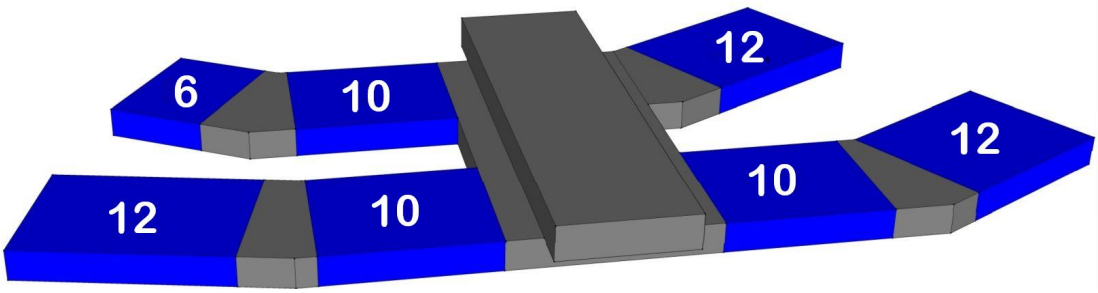
Pod ubytovacími prostory jsou navrženy základové pasy. Centrální dvoupodlažní trakt bude založen na vrtaných pilotách o průměru 600 mm, které vynáší základové pasy a sloupy. V ubytovacích prostorách jsou navrženy svislé konstrukce z vápenopískových bloků VAPIS QUADRO tl. 175 mm (LP 25-2,0), v centrálním traktu tl. 200 mm a 250 mm. V místě spojovacího středového „krčku“ jsou navrženy železobetonové prefabrikované sloupy, mezi nimiž jsou pnuty železobetonové prefabrikované průvlaky. Nad 1 .NP jsou v celém rozsahu navrženy železobetonové filigránové stropy tl. 190 mm. Přesahy stropů nad 1. NP jsou podepřeny 4 sloupy na severozápadní i jihovýchodní straně. Nad 2. NP jsou navrženy železobetonové prefabrikované předpjaté panely SPIROLL. Vnitřní dělící

konstrukce je tvořeno příčkovým zdivem z vápenopískových bloků VAPIS 8DF tl. 115 mm (LP 25-2,0), sádrokartonovými příčkami nebo příčkovým zdivem z pórobetonových tvarovek YTONG. Ploché střechy budou opláštěny hydroizolační folií PVC Fatrafol 810 tl. 1,5mm v minimálním spádu 2,0 % do střešních vpustí. Střešní atiky budou opláštěny pozinkovaným plechem s organickým povlakem. Vnější výplně otvorů budou plastové s izolačním trojsklem se zvýšenými požadavky na prostup tepla a bezpečnost. Výplně větších rozměrů např. ve středním traktu směrem do atria, budou hliníkové. Vnitřní výplně jsou bez požadavků na prostup tepla s jednoduchým zasklením. Vnitřní parapety budou plastové komůrkové. Parapety v sociálních zařízeních budou tvořeny keramickým obkladem. Vnitřní dveře budou dřevěné (výplň odlehčená dřevotříska) včetně dřevěných obložkových zárubní. Vstupní dveře budou navrženy jako automatické lineární odsuvné prosklené hliníkové dveře. Vodorovná izolace spodní stavby je řešena dvojicí živičných modifikovaných pásů celoplošně natavených na podklad. Z exteriérové části objektu je navržena svislá hydroizolace ze dvou živičných modifikovaných pásů vytažená do úrovně soklu. Fasáda objektu je řešena kontaktním zateplovacím systémem z minerální vlny s kolmým vláknem Isover NF 333 tloušťky 160 mm. Soklová část je řešena vytažením svislé hydroizolace spodní stavby a zateplením soklovou deskou EPS Perimetr tl. 160 mm. V podzemní části budou na hydroizolační pásy osazeny tepelně izolační desky z extrudovaného polystyrenu tl. 160 mm. Podlahové konstrukce na terénu v 1. NP budou izolovány pomocí stabilizované desky z pěnového polystyrenu tl. 140 mm. Zateplení ploché střechy je řešeno spádovými klíny ze stabilizovaných desek z pěnového polystyrenu EPS 100S se spádem minimálně 2%, tloušťky 20-220 mm a deskami EPS 100S s konstantní tloušťkou 220mm. Železobetonové a zděné konstrukce budou opatřeny tenkovrstvou sádrovou omítkou a malířským nátěrem ve dvou vrstvách. Na sádrokartonové stěny a stropy bude aplikován jen malířský nátěr. V sociálním zázemí objektu budou provedeny obklady do výšky podhledu. Nášlapné vrstvy podlah jsou řešeny dle předpokládaného využití jednotlivých prostor. Jedná se o zátěžový koberec, zátěžové PVC

a keramickou slinutou dlažbu. V hygienickém zázemí a místnostech typu kancelář jsou navrženy minerální kazetové podhledy rastru 600/600 mm.

3.1.3 Vymezení předmětu řešení

Pro technologické porovnání různých metod výstavby byly vybrány svislé zděné nosné konstrukce v 1. NP, nacházející se v ramenech (ubytovací části) objektu (viz obr. 21), vymezující tzv. funkční jednotky standardizované velikosti – pokoje pro pacienty (viz příloha B.). Nosné stěny těchto funkčních jednotek jsou navrženy z vápenopískových bloků VAPIS QUADRO tl. 175 mm (LP25-2,0). Příčky oddělující koupelnu od pokoje a chodby jsou navrženy z vápenopískových bloků pro příčky VAPIS 8DF tl. 115 mm (LP 25-2,0). Tyto příčky nejsou předmětem řešení.



Obr. 21: *Schematický model objektu; v modře vyznačených částech se nachází předmětné svislé nosné konstrukce, číslice označuje počet funkčních jednotek v konkrétní vyznačené části; šedě vyznačené části nejsou předmětem řešení*

V celém objektu se nachází 74 funkčních jednotek. Dvě funkční jednotky pro osoby s omezenou pohyblivostí se nacházejí v 1. NP ve středovém traktu a nejsou tak předmětem řešení. Dvě sousedící jednotky mají společnou vždy jednu stěnu. Světlá výška všech místností je 3000 mm, výška stěn je 3250 mm (od základové desky po korunu stěny). V každé ložnici se v obvodové stěně nachází okenní otvor šířky 1400 mm a výšky 2100 mm (parapet 500 mm), ve stěně oddělující jednotku od chodby je dveřní otvor šířky 1000 mm a výšky 2030 mm. Dispoziční řešení funkčních jednotek včetně rozměrů viz příloha B.

Výpočet plochy předmětných zděných konstrukcí jedné funkční jednotky:

$A_{FJ} = 3,25 * (7 + 3,65 * 2) – (1,4 * 2,1 + 1 * 2,03)$

$A_{FJ} = 41,51\ m^2$

Výpočet plochy předmětných zděných konstrukcí v celém objektu (72 funkčních jednotek):

$A_O = 72 * 41,51$

$A_O = 2988,72\ m^2$

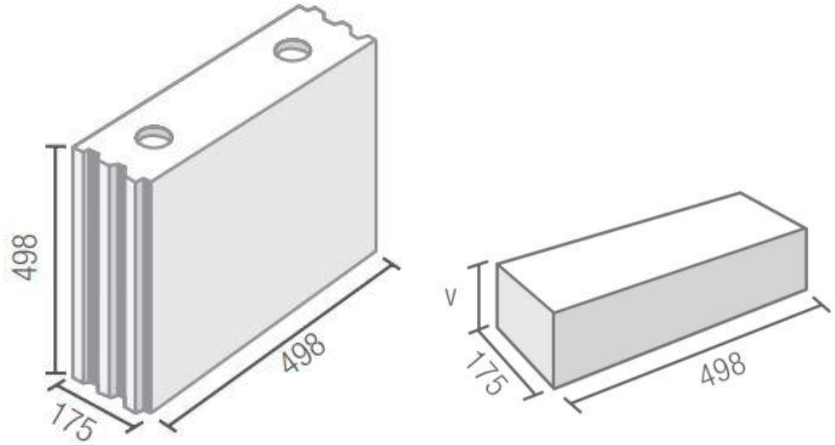
3.2 Vstupní materiály a výrobky

3.2.1 Výpis materiálu

Podrobné informace o níže zmíněných materiálech jsou k dispozici v technickém listu viz příloha G.2.

3.2.1.1 Bloky VAPIS QUADRO tl. 175 mm (LP25-2)

Jak již bylo zmíněno, předmětné zděné konstrukce jsou tvořeny vápenopískovými bloky od firmy VAPIS, konkrétně typem QUADRO tl. 175 mm (LP25-2). Jedná se o bloky pro přesné zdění na tenkovrstvou maltu. Výrobce udává, že prořez činí maximálně 2 % z celkové plochy. Díky systému perodrážka na čelní straně bloku není nutné maltování ve styčných spárách. Jmenovité rozměry a profilace standardního bloku jsou vyobrazeny na obr. 22. Jsou vyráběny i bloky s 3/4, 1/2 a 1/4 rozměrem. Třída pevnosti v tlaku je 25 (25 MPa) a třída objemové hmotnosti 2,0 (1810 až 2000 kg/m^3). Jedna paleta váží cca 990 kg a obsahuje 12 kusů bloků, se kterými lze vyzdít 3 m^2 stěny.



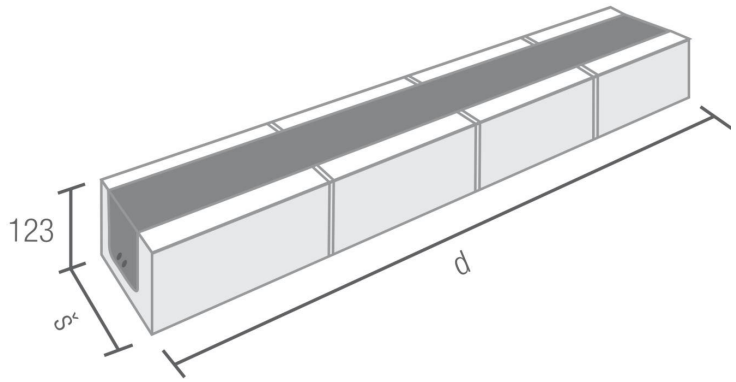
***Obr. 22**: Rozměry (v mm) a profilace vápenopískového bloku VAPIS QUADRO (vlevo) a vyrovnávacího bloku (vpravo) tl. 175 mm; zdroj: příloha G.2*

3.2.1.2 VAPIS vyrovnávací bloky

K vyzdění patní vrstvy (založení zdiva) jsou zapotřebí vyrovnávací bloky formátu K10 (výška 100 mm) a K15 (výška 150 mm). Tyto bloky mají stejné vlastnosti jako výše zmíněné bloky QUADRO a liší se jen rozměry, profilací a hmotností. Rozměry jsou zobrazeny na obr. 21. Jedna paleta bloků K10 váží cca 816 kg a obsahuje 48 kusů, se kterými lze vyzdít 24 běžných metrů. Jedna paleta bloků K15 váží cca 900 kg a obsahuje 36 kusů, se kterými lze vyzdít 18 běžných metrů.

3.2.1.3 VAPIS Překlad (175) L

Nad otvory budou osazeny systémové vápenopískové ploché překlady pro tenkovrstvou maltu (viz obr. 23). Deklarovanou nosnost získají až po zhotovení a vytvrzení nadezdívky. Tyto překlady mají výšku 123 mm. Délka uložení musí činit minimálně 115 mm.



***Obr. 23:** Systémový překlad VAPIS pro tenkovrstvou maltu; zdroj: příloha G.2*

3.2.1.4 Tenkovrstvá malta VAPIS

Jako pojivo bude použita tenkovrstvá malta od firmy VAPIS. Výrobce udává spotřebu čerstvé malty cca 2,5 kg/m^2 při zdění z výše zmíněných bloků, bez maltování svislé styčné spáry, při použití maltového dávkovače VAPIS. Suchá maltová směs je balena v pytlích po 20 kg, na jedné paletě je 48 pytlů. Z jednoho pytle lze připravit 27 kg čerstvé malty.

3.2.2 Výpočet množství materiálu

Výpočet potřebného množství materiálu na vyzdění předmětných konstrukcí jedné funkční jednotky:

Bloky VAPIS QUADRO tl. 175 mm (LP25-2)

Plocha zděných konstrukcí: 41,51 m^2

Prořez: max. 2%

*Plocha zděných konstrukcí se ztratným: 41,51 * 1,02 = 42,34 m^2*

Potřebné množství bloků: 42,34 / 3 = 14,11 → 15 palet

VAPIS vyrovnávací bloky

Obvod zděných konstrukcí: 14,3 m

Prořez: max. 2%

*Plocha zděných konstrukcí se ztratným: 14,3 * 1,02 = 14,59 m^2*

Potřebné množství bloků K10: 14,59 / 24 = 0,61 → 1 paleta

Potřebné množství bloků K15: 14,59 / 18 = 0,81 → 1 paleta

VAPIS Překlad (175) L

*Dveřní otvor: 1000 + 2 * 115 = 1230 mm → 1 ks délky 1250 mm*

*Okenní otvor: 1400 + 2 * 115 = 1630 mm → 1 ks délky 1750 mm*

Tenkovrstvá malta VAPIS

Plocha zděných konstrukcí: 41,51 m^2

Ztratné: 5%

*Plocha zděných konstrukcí se ztratným: 41,51 * 1,05 = 43,59 m^2*

Spotřeba čerstvé malty: cca 2,5 kg/m^2

Množství čerstvé malty z 1 pytle: cca 27 kg

*Potřebné množství malty: 43,59 * 2,5 / 27 = 4,04 → 5 pytlů*

Výpočet potřebného množství materiálu na vyzdění předmětných konstrukcí v celém objektu (72 funkčních jednotek):

Bloky VAPIS QUADRO tl. 175 mm (LP25-2)

Plocha zděných konstrukcí: 2988,72 m^2

Prořez: max. 2%

*Plocha zděných konstrukcí se ztratným: 2988,72 * 1,02 = 3048,49 m^2*

Potřebné množství bloků: 3048,72 / 3 = 1016,16 → 1017 palet

VAPIS vyrovnávací bloky

*Obvod zděných konstrukcí: 14,3 * 72 = 1029,6 m*

Prořez: max. 2%

*Obvod zděných konstrukcí se ztratným: 1029,6 * 1,02 = 1050,19 m*

Potřebné množství bloků K10: 1050,19 / 24 = 43,76 → 44 palet

Potřebné množství bloků K15: 1050,19 / 18 = 58,34 → 59 palet

VAPIS Překlad (175) L

Dveřní otvor → 72 ks délky 1250 mm

Okenní otvor → 72 ks délky 1750 mm

Tenkovrstvá malta VAPIS

Plocha zděných konstrukcí: 2988,72 m^2

Ztratné: 5%

*Plocha zděných konstrukcí se ztratným: 2988,72 * 1,05 = 3138,16 m^2*

Spotřeba čerstvé malty: cca 2,5 kg/m^2

Množství čerstvé malty z 1 pytle: cca 27 kg

*Potřebné množství malty: 3138,16 * 2,5 / 27 = 290,57 → 291 pytlů*

3.2.3 Zásady dopravy, manipulace a skladování materiálu

Dopravu materiálu vypsaného v předchozí kapitole na stavbu bude zajišťovat dodavatel výrobků VAPIS na území České republiky - VAPIS stavební hmoty s.r.o. Materiál bude dodáván na paletách nákladním automobilem. Při dodávce na stavbu musí být zajištěn vjezd pro velká a těžká nákladní vozidla, přístupové cesty musí být dostatečně únosné a volné. Vykládka bude probíhat na předem označeném a domluveném místě, u skládky zdicích prvků. Na skládce zdicích prvků bude připraveno potřebné volné místo.

Vykládka a manipulace s naloženými paletami v rámci stavby bude prováděna jeřábem. Při manipulaci bude brán ohled na únosnost jeřábu při potřebné délce vyložení, aby nedošlo k přetížení jeřábu. Při zdění tradičním způsobem bude udržován volný pracovní prostor (pruh 1,2 m) mezi vyzdívanou stěnou a paletami s materiálem/kbelíkem s maltou. Viz příloha G.2.

Veškerý materiál bude skladován v dosahu výložníku jeřábu, co nejblíže místu zpracování, aby byl minimalizován počet a doba přesunů v rámci staveniště. Skládka zdicích prvků bude mít rovný, nosný podklad a bude v dostatečné vzdálenosti od svahu. Materiál bude skladován minimálně 600 mm od vnitrostaveništních komunikací. Po odstranění krycí fólie z palety s materiálem bude tento materiál skladován už jen v prostředí, kde je vyloučen kontakt s vodou nebo nadměrnou vlhkostí. Palety se zdicími bloky budou na skládce zdicích prvků (zpevněná plocha) skladovány max. tři

na sobě (jinak dle metodiky skladování, viz příloha G.2). Palety s maltou v pytlích nebudou skladovány na sobě. Materiál na paletách bude zajištěn proti pádu. Překlady budou ukládány na podložky ze dřeva do maximální výšky 1,8 m. [65]

3.3 Pracovní podmínky

Na začátku každé podkapitoly jsou uvedeny podmínky, které jsou pro všechny srovnávané technologie zdění společné. Odlišnosti jsou následně zmíněny ke každé technologii zvlášť.

Předmětné konstrukce jsou tvořeny bloky QUADRO, které jsou určeny ke strojnímu zdění. Tomu odpovídá i velký rozměr (498x175x498 mm) a hmotnost (82,5 kg) jednoho bloku. Výrobce bloků zapůjčuje minijeřáb, který umožňuje zdění s těmito bloky. Technologie zdění s minijeřábem není předmětem této práce. Proto je pro zbytek práce uvažováno s tím, že předmětné konstrukce budou vyzděny z bloků pro ruční zdění na tenkovrstvou maltu od stejné firmy a stejných vlastností, jen menšího formátu a hmotnosti. Byly vybrány bloky VAPIS 6DF tl. 175 mm (LP 25-2), rozměry jednoho bloku jsou 248x175x248 mm, hmotnost 20,3 kg a z jedné palety těchto bloků lze vyzdít 3 m^2 stěny (stejná plocha jako u bloků QUADRO, tzn. počet potřebných palet zdicích prvků zůstává stejný). Podrobná specifikace bloků je k dispozici v technickém listu viz příloha G.2.

U robota KUKA, jehož vývoj stále ještě není u konce a není připraven k použití na reálné stavbě, je pro účel této práce simulován stav po úspěšném dokončení tohoto projektu. Tzn. robot je velikosti 1:1, má prodlouženou robotickou ruku s dostatečným dosahem, je schopný využít data z BIM modelu pro stanovení úkolů a pohybů, je vyvinuto koncové zařízení pro uchopení zdicího prvku a je vyřešen způsob aplikace malty/řezání cihel.

V případě, že se vyskytuje jiná překážka pro využití některé ze srovnávaných technologií zdění, je zvoleno alternativní řešení nebo předpoklad. Vše je pak v práci řádně okomentováno formou poznámek.

3.3.1 Připravenost pracoviště

Stavba se nachází ve fázi, kdy jsou dokončeny základové konstrukce včetně podkladní betonové železobetonové desky, na níž jsou v místech budoucích stěn nataveny živičné modifikované pásy. Hydroizolace je provedena v pásech minimálně o 150 mm širších než plánovaná tloušťka stěny. Jsou dokončeny svislé nosné konstrukce 1. NP ve středovém traktu, na které navazují předmětné zděné konstrukce v ramenech objektu. Pracoviště je řádně odvodněno a uklizeno. Základové konstrukce mají dostatečnou pevnost, rozměrově odpovídají projektové dokumentaci a výškové rozdíly se pohybují v tolerovaných hranicích. Je zajištěn přívod vody a elektrické energie na staveniště.

3.3.1.1 Tradiční způsob zdění

Je přesně vytyčena poloha zdí na základové desce barvicím provázkem. Na pracovišti se nachází všechny potřebné materiály a pomůcky. Je ponechán dostatečný volný pracovní prostor, pruh 1,2 metru od budoucí stěny.

3.3.1.2 Hadrian X

Je vyzděna a vytvrzena patní vrstva zdi, která byla výškově vyrovnána. Do robota byl nahrán 3D model objektu. V místě pokládky jsou umístěny a nastaveny laserové senzory, podle nichž se orientuje hlava zařízení na výložníku. Je připraveno stanoviště robota. Toto místo musí být v dosahu realizovaného záběru (maximální vzdálenost 30 metrů), přístupné pro paletový nakladač, aby do robota mohly být průběžně při práci doplňovány bloky a malta.

Pozn.: Robot využívá jako pojivo polyuretanovou pěnu. Pro další postup v práci je uvažováno s tím, že dokáže zdít i na tenkovrstvou maltu.

3.3.1.3 SAM 100

Je vyzděna a vytvrzena patní vrstva zdi, která byla výškově vyrovnána. Do robota byl nahrán 3D model objektu. Podél první budoucí stěny (1. záběr) je sestavena plošina s kolejnicemi pro pohyb robota. Robot

je usazen na kolejnicích a všechny senzory jsou zkalibrovány. Na pracovišti se nachází všechen potřebný materiál (zamíchaná malta, vápenopískové bloky).

3.3.1.4 KUKA

Je vyzděna a vytvrzena patní vrstva zdi, která byla výškově vyrovnána. Do robota byl nahrán 3D model objektu. Robotická ruka je chemickými kotvami ukotvena do základové železobetonové desky uprostřed první budoucí funkční jednotky. Robotická ruka je propojena s řídící jednotkou a počítačem, byla provedena kalibrace robota. Vápenopískové bloky se nacházejí v dosahu robotické ruky. Je zajištěn přísun zamíchané malty a přívod elektrické energie k robotu.

3.3.2 Struktura pracovní čety

3.3.2.1 Tradiční způsob zdění

- 1x vedoucí čety (mistr) – rozděluje úkoly a řídí práci celé čety; kontroluje kvalitu prováděných konstrukcí, ručí za dodržování zásad BOZP celé čety;
- 2x zedník – provádí samotné zdění; příprava (očištění) ložné spáry, nanášení malty, pokládání a vyrovnávání bloků/překladů;
- 1x přidavač – stará se o přísun materiálu; rozmíchává maltu, řeže bloky atd.

Pozn.: V případě nasazení více čet bude všechny čety řídit stále jeden mistr.

3.3.2.2 Hadrian X

- 1x obsluha robota – vedoucí čety; přemisťuje laserové senzory při změně oblasti pokládky bloků, kalibruje laserové senzory po jejich přemístění, podílí se na ukládání překladů;
- 1x řidič paletového nakladače/přidavač – stará se o doplňování materiálu do robota; řídí paletový nakladač, kterým doplňuje do robota palety s bloky; doplňuje do robota suchou maltovou směs a vodu.

Pozn.: Je uvažováno s tím, že robot umí s maltou pracovat a umí ji i připravit (tzn. do robota stačí pouze doplňovat suchou maltovou směs a vodu).

3.3.2.3 SAM 100

- 1x obsluha robota – vedoucí čety; podílí se na sestavování a přemisťování kolejnic, kalibruje senzory po přemístění robota, doplňuje bloky a zamíchanou maltu do robota;
- 1x zedník – dodatečné zdění; dozdívá otvory a rohy, začišťuje spáry a odstraňuje nadbytek malty, podílí se na ukládání překladů.

3.3.2.4 KUKA

- 1x obsluha robota – vedoucí čety; zajišťuje přesuny robota na další záběr, jeho kotvení a kalibraci; podílí se na ukládání překladů;
- 1x přidavač – stará se o přísun materiálu; doplňuje bloky na určené místo, zajišťuje přísun potřebného množství zamíchané malty.

3.3.3 Bezprostřední podmínky pro práci

Výrobce tenkovrstvé malty VAPIS udává, že při teplotách vzduchu a zdicích prvků pod + 5°C již není možné její bezpečné zpracování. Byly by narušeny chemické procesy probíhající v maltě při jejím tuhnutí a malta by již nedosáhla výrobcem deklarovaných vlastností. Stejně tak při extrémně vysokých teplotách (přes + 35°C) musí být přijata vhodná opatření pro spolehlivé zpracování. Při přímém slunečním záření, dešti nebo silném větru je doporučeno zdivo chránit vhodným způsobem. Pro zdění nesmí být použity zmrzlé bloky, tzn. bloky, na kterých ulpívá sníh či led. Viz příloha G.2.

3.3.3.1 Tradiční způsob zdění

Při tradičním způsobu zdění jsou určující jen podmínky uvedené na začátku této kapitoly.

3.3.3.2 Hadrian X

Výrobce prezentuje systém DST (systém dynamické stabilizace), díky kterému nehrozí vychýlení hlavy zařízení pokládající zdicí prvky vlivem silného větru a vibrací. Laserové senzory, které jsou postaveny na stativech v místě pokládky, zajišťující přesnost uložení, ale tímto systémem nedisponují. Znamená to tedy, že přesnost uložení prvku může být přesto ovlivněna, a proto robot nesmí pracovat za silného větru.

3.3.3.3 SAM 100

Hliníkový plášť zajišťuje dostatečnou ochranu robota před povětrnostními vlivy. Pro práci robota jsou tak určující podmínky uvedené na začátku této kapitoly.

3.3.3.4 KUKA

Teplota vzduchu se musí při práci robota pohybovat mezi + 5°C a + 45°C. Stupeň krytí IP54 zaručuje dostatečnou ochranu před úrazem elektrickým proudem při nebezpečném dotyku jakýmkoliv nástrojem či pomůckou. Zařízení je částečně odolné proti vniknutí prachu a zároveň je chráněno proti stříkající vodě ze všech úhlů. Viz příloha G.1. Pro práci robota jsou tak určující podmínky uvedené na začátku této kapitoly.

3.3.4 Stroje a přístroje, pracovní pomůcky

Pro všechny srovnávané robotické technologie platí, že k zahájení zdění musí být nejprve ručně vyzděna patní vrstva z vyrovnávacích bloků. Proto jsou pro všechny technologie zdění vyžadovány tyto pracovní pomůcky:

- smeták, lopata;
- skládací dvoumetr, zednická šňůra, úhelník;
- vodováha, nivelační přístroj;
- vyrovnávací souprava a hliníková lať;
- hoblovaná lať délky 2 m se značkami po 125 mm;
- zednická lžíce, hladítko, „fanka“;

- zednické kladívko, gumová palička;
- kbelíky, stavební kolečko.

Společné stroje a přístroje:

- míchadlo stavebních směsí RUBIMIX 9-BL PLUS (podrobná specifikace viz příloha G.3):
  - dvouruční, elektrické;
  - s metlou průměru 140 mm;
  - výkon 1600 W, napájení 220 V;
  - hmotnost: 5,8 kg.

3.3.4.1 Tradiční způsob zdění

Navíc pracovní pomůcky:

- 2x maltový dávkovač VAPIS (viz příloha G.2):
  - na tloušťku zdiva 175 mm;
- 2x montážní schůdky (viz příloha G.2):
  - 5-stupňové, se zábradlím,
  - výška podesty: 1,25 m;
- 2x VAPIS – ruční ukládací pomůcka (viz příloha G.2).

Pozn.: Počet pracovních pomůcek pro jednu pracovní četu.

Navíc stroje:

- pila stolová BATTIPAV EXPERT 700 na řezání zdicích bloků (podrobná specifikace viz příloha G.4):
  - výkon: 4000 W, napájení: 400 V,
  - max. délka řezu: 550 mm,
  - hmotnost: 95 kg;
- jeřáb (viz kapitola 3.6).

3.3.4.2 Hadrian X

Nebude zapotřebí míchadlo stavebních směsí uvedené výše ve společných strojích.

Navíc pracovní pomůcky:

- laserové senzory na stativech (k navigaci hlavy zařízení)

Navíc stroje:

- univerzální nakladač CAT 262C (podrobná specifikace viz příloha G.5):
  - s vidlicí pro přesun palet;
  - nosnost: 1225 kg, hmotnost: 3614 kg.

3.3.4.3 SAM 100

Navíc pracovní pomůcky:

- konstrukce plošiny s kolejnicemi (pro pohyb robota).

Navíc stroje:

- pila stolová BATTIPAV EXPERT 700 na řezání zdicích bloků (podrobná specifikace viz příloha G.4):
  - výkon: 4000 W, napájení: 400 V,
  - max. délka řezu: 550 mm,
  - hmotnost: 95 kg;
- jeřáb (viz kapitola 3.6).

3.3.4.4 KUKA

Navíc pracovní pomůcky:

- chemické kotvy (ukotvení robota).

Navíc stroje:

- jeřáb (viz kapitola 3.6).

Pozn.: Počítačová stanice, řídící jednotka, kalibrační model apod. jsou uvažovány jako součást robota a nejsou tak ve výpisu zmíněny.

3.3.5 Technologický postup

V této kapitole je popsán samotný technologický postup procesu zdění zvlášť pro každou srovnávanou technologii. Začátek postupu (do vyzdění patní vrstvy) je pro všechny technologie stejný. Výchozími dokumenty pro zpracování postupů jsou: projektová dokumentace, technické listy od výrobce zdicích prvků a malty, dostupné informace od výrobců a vývojářů robotů.

1) Příprava pracoviště

Na začátku je potřeba zkontrolovat, zda je pracoviště připraveno pro zahájení zednických prací (viz kapitola 3.3.1). Pokud stav pracoviště neodpovídá stavu popsaném v kapitole 3.3.1, je třeba zjednat nápravu. Obzvláště očištění a kontrola suchosti míst pokládky by měly být provedeny těsně před započetím prací. Pracoviště musí být uklizeno a vytvořen dostatečný volný pracovní prostor.

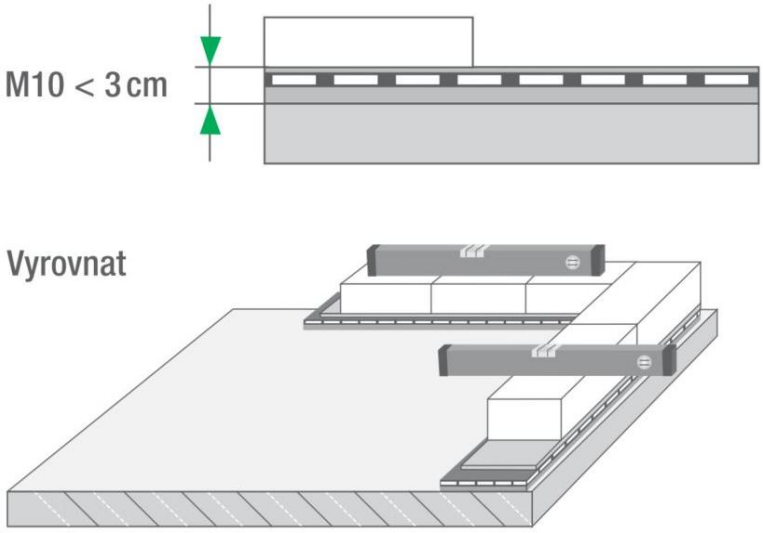
2) Zaměření

Poloha stěn bude vyznačena na základové desce dle projektové dokumentace. Následně bude provedeno výškové zaměření základové desky. Bude určen nejvyšší bod, který bude výchozím místem pro pokládku bloků.

3) Založení zdiva

Pomocí vyrovnávacích bloků VAPIS a normální malty skupiny M10 bude vytvořena vyrovnávací vrstva zdiva, která slouží k vyrovnání nerovností základové desky. První vrstva malty bude provedena v tloušťce v rozmezí 1 až 3 cm a bude dokonale vodorovná, souvislá a stejné šířky jako budoucí zeď (175 mm). K tomu budou využity přípravky vyrovnávací soupravy a hliníková lať. Nanášení první vrstvy malty začne v nejvyšším zaměřeném bodu základové desky.

Pokládka vyrovnávacích bloků začne v rozích. Mezi položené rohové cihly bude natažena zednická šňůra z vnější strany stěny, podél které budou pokládány další bloky. Pomocí vodováhy a gumové paličky bude korigována rovinnost. Vyrovnávací vrstvu je nutné ponechat alespoň jeden den vytvrdnout. Způsob založení zdiva je schematicky znázorněn na obr. 24.



Obr. 24: *Založení zdiva; vytvoření patní vrstvy s pomocí vyrovnávacích bloků VAPIS a normální malty skupiny M10; zdroj: příloha G.2*

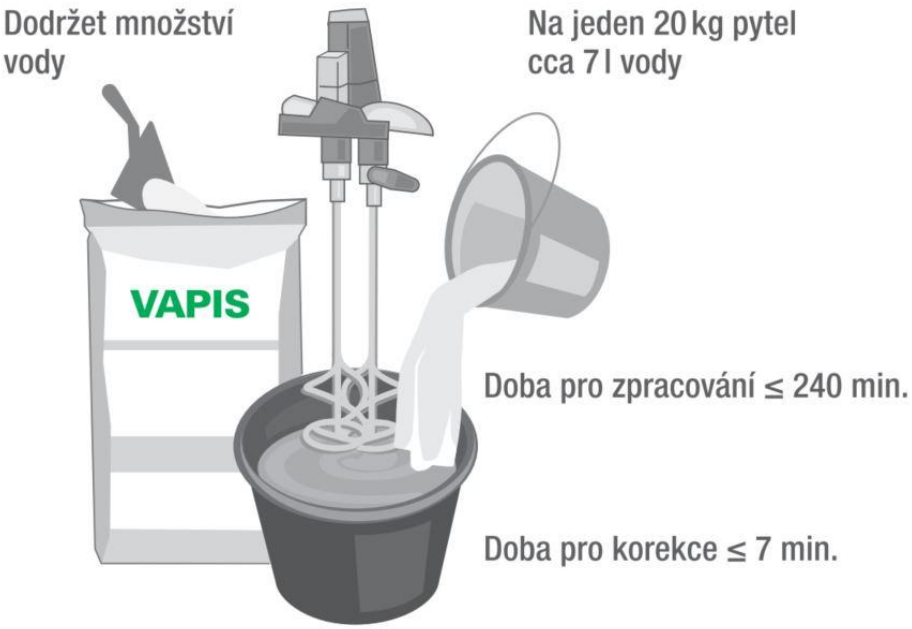
3.3.5.1 Tradiční způsob zdění

4) Příprava tenkovrstvé malty

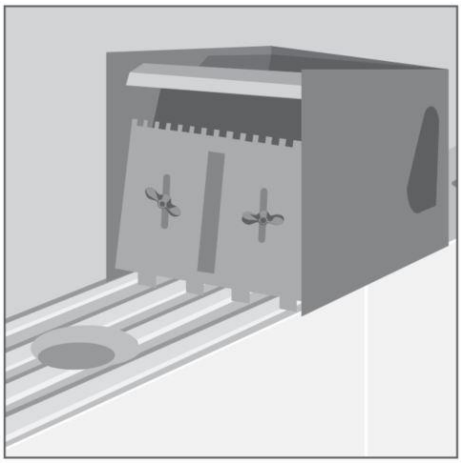
Příprava tenkovrstvé malty bude probíhat tak, že do připraveného dostatečně velkého kbelíku bude nejprve nalita voda a poté do ní bude přisypávána suchá maltová směs za stálého běhu míchadla. Množství obou složek bude v poměru dle obr. 25. Malta bude připravována průběžně tak, aby nebyla překročena doba pro zpracování.

5) Zdění dalších vrstev bloků

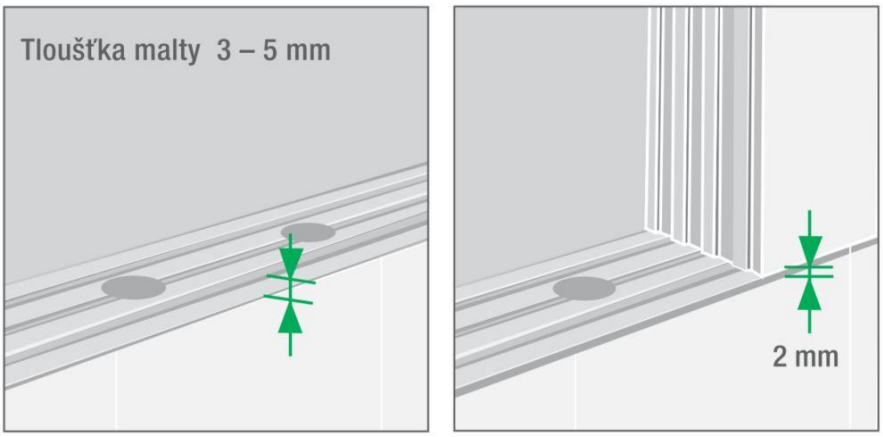
Na vytvrzenou patní vrstvu bude maltovým dávkovačem (viz obr. 26) nanesena tenkovrstvá malta vždy v délce cca 2 m (v závislosti na povětrnostních podmínkách). Tloušťka spár v hotovém zdivu má činit 2 mm, což odpovídá tloušťce nanesené čerstvé malty cca 3 – 5 mm (viz obr. 27).



Obr. 25: *Příprava tenkovrstvé malty; zdroj: příloha G.2*

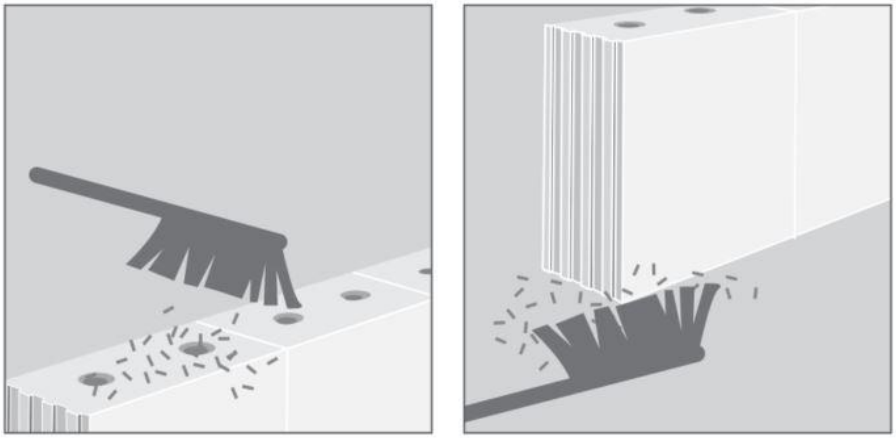


Obr. 26: *Maltový dávkovač („maltové sáně“) VAPIS; zdroj: příloha G.2*

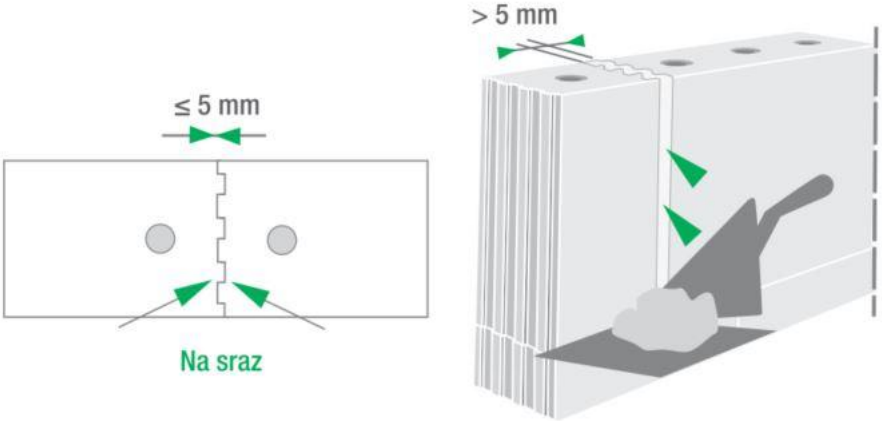


Obr. 27: *Tloušťka vrstvy nanesené malty (vlevo); tloušťka spáry po osazení bloku (vpravo); zdroj: příloha G.2*

Následně budou vápenopískové bloky usazovány opět podél zednické šňůry na sraz k sobě. Před nanesením malty a usazením bloku musí být jak ložná spára, tak blok očištěny (viz obr. 28). Spodní strana bloku bude vždy před usazením navlhčena (např. navlhčeným smetáčkem). Ke snazšímu přenášení bloků bude využívána VAPIS – ruční ukládací pomůcka (viz příloha G.2). Díky systému pero – drážka se neprovádí zamaltování styčných spár. Maximální přípustná šířka styčných spár je 5 mm. Spáry větší šířky musí být uzavřeny maltou (viz obr. 29).



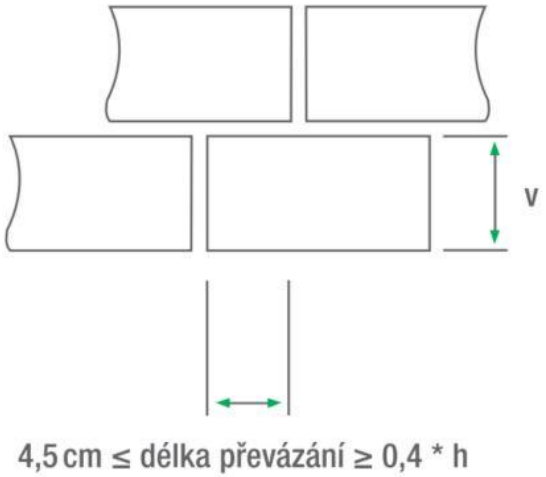
Obr. 28: *Očištění ložné spáry a usazovaného bloku; zdroj: příloha G.2*



Obr. 29: *Úprava styčné spáry; zdroj: příloha G.2*

Zdění bude prováděno na vazbu. Minimální délka převázání je dána výškou bloku (min. 0,4 * výška bloku), nesmí však být menší než 45 mm (viz obr. 30). Výšky vrstev budou průběžně kontrolovány pomocí latě s vyznačenými vzdálenostmi po 125 mm, svislost zdi bude kontrolována pomocí vodováhy. Bloky nesmí být do konečné polohy posouvány po ložné

ploše, aby nedošlo k setření malty. V případě potřeby úpravy rozměru bude blok seříznut na stolové pile.



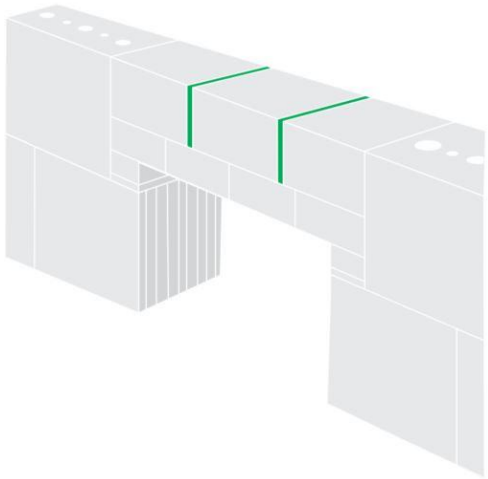
Obr. 30: *Minimální délka převázání; zdroj: příloha G.2*

Zdění bude prováděno ve dvou výškových úrovních první výšková úroveň bude ukončena ve výšce + 1,500 m. Pro zdění druhé výškové úrovně budou využívány montážní schůdky s výškou podesty 1,25m. Tato výšková úroveň bude ukončena ve výšce + 3,000 m. Výškové úrovně jsou vztaženy k ± 0,000 = 384,6 m. n. m. (viz příloha A.).

6) Osazení překladů

Po vyzdění na úroveň výšky otvoru budou osazeny ploché vápenopískové překlady. Překlady budou pokládány ručně nebo s pomocí jeřábu do normální malty skupiny M10. Bude dodržena minimální délka uložení 115 mm na každé straně otvoru.

Plnou nosnost překlady získají až po zhotovení a vytvrzení jejich nadezdívky. Styčné spáry nadezdívky musí být celoplošně zamaltovány tenkovrstvou maltou (viz obr. 31). Překlad nad dveřním otvorem se po osazení obejde bez podpěry, překlad nad okenním otvorem bude v polovině rozponu podepřen montážní podpěrou (šířka otvoru přesahuje 1,25 m). Překlad bude podepřen až do úplného vytvrdnutí tlačené oblasti (nadezdívky), tzn. cca 7 dnů.



Obr. 31: *Zeleně jsou vyznačeny styčné spáry nadezdívky, které musí být zamaltovány; zdroj: příloha G.2*

3.3.5.2 Hadrian X

4) Zdění dalších vrstev bloků

Do robota bude paletovým nakladačem naložena první paleta s vápenopískovými bloky, bude doplněna suchá maltová směs a voda. Robot se postará o zamíchání malty a postupnou depaletizaci bloků, které budou transportovány po výložníku až k hlavě zařízení. Tam bude na blok nanesena tenkovrstvá malta a blok bude uložen na místo určené počítačem (dle 3D modelu nahraného do robota v přípravné fázi). V případě potřeby bloku upraveného rozměru bude blok seříznut uvnitř robota ihned po depaletizaci. V průběhu zdění budou do robota doplňovány další palety s bloky, suchá maltová směs a voda. Pověřený pracovník (obsluha robota) bude průběžně přesouvat laserové senzory při práci robota.

Pozn.: Dle dostupných videí od výrobce je patrné, že laserové senzory vyžadují vizuální kontakt s hlavou zařízení a kvůli tomu musí být mnohokrát přesouvány i v rámci jednoho pracovního záběru.

5) Osazení překladů

Osazení překladů bude prováděno ručně pověřenými pracovníky stejně jako při tradičním způsobu zdění (viz kapitola 3.3.5.1). Během osazování překladů bude práce robota dočasně přerušena.

6) Přesun na další záběr

Jednotlivé pracovní záběry (viz kapitola 3.4.2) jsou vymezeny dosahem robota. Před přesunem na další pracovní záběr musí být stažen výložník do přepravní polohy. Následně je robot pověřeným pracovníkem (obsluhou robota) přeparkován na další stanoviště. Současně s robotem budou přesunuty i laserové senzory. Tyto senzory musí být po ustavení na novém místě znovu kalibrovány.

Pozn.: Předpokládá se, že před začátkem zdění na každém pracovním záběru stačí provést jen jednu kalibraci robota.

3.3.5.3 SAM 100

4) Příprava tenkovrstvé malty

Tenkovrstvá malta bude připravována stejně jako při tradičním způsobu zdění (viz kapitola 3.3.5.1).

5) Zdění dalších vrstev bloků

Robot se bude pohybovat po plošině, sestavené podél zděné stěny, ve směru pokládky. Bloky budou postupně uchopovány robotickou rukou, následně na ně bude aplikována malta a budou umístěny na místo určené počítačem (dle 3D modelu nahraného do robota v přípravné fázi). Za robotem se bude pohybovat zedník, který bude začišťovat spáry a stahovat nadbytek malty zednickou lžící. Na pracoviště budou dle potřeby jeřábem dodávány nové palety se zdicími prvky. Přidavač bude do robota průběžně doplňovat vápenopískové bloky a zamíchanou maltu.

Pozn. 1: Robot dokáže pracovat pouze se zdicími prvky malých rozměrů a hmotností (viz kapitola 2.2.3). Bloky VAPIS 6DF tl. 175 mm (LP 25-2) pro ruční zdění jsou pro robota příliš objemné a těžké. Pro účel této práce a možnost srovnání s ostatními technologiemi zdění je uvažováno s tím, že robot s těmito bloky dokáže pracovat.

Pozn. 2: Dle videí dostupných od výrobce by robot nebyl schopen zdít na tenkovrstvou maltu. Zdicí prvek opatřený velkým množstvím malty nejprve položí na ložnou spáru, a poté ho po ní přisune k sousednímu zdicímu prvku. Takovýto způsob pokládky je v případě zdění na tenkovrstvou maltu nepřípustný, neboť může dojít k setření vrstvy malty. Pro účel této práce a možnost srovnání s ostatními technologiemi zdění je tento nedostatek ignorován.

Pozn. 3: Vzhledem k tomu, že použité bloky VAPIS využívají systém pero – drážka, je nutné osazování bloků shora, což robot nedokáže. Pro účel této práce a možnost srovnání s ostatními technologiemi zdění je tento nedostatek ignorován.

6) Dozdění otvorů a rohů

Robot neumí řezat nebo jinak upravovat rozměr bloku a pohybuje se pouze v přímém směru. Otvory a rohy tudíž vynechává a tato místa musí být, po přesunu robota na další pracovní záběr, dozděna ručně (stejně jako při tradičním způsobu zdění, viz kapitola 3.3.5.1).

7) Osazení překladů

Osazení překladů bude provedeno pověřenými pracovníky stejně jako při tradičním způsobu zdění (viz kapitola 3.3.5.1). Během osazování překladů bude práce robota dočasně přerušena.

8) Přesun na další záběr

Jednotlivé pracovní záběry jsou vymezeny v kapitole 3.4.3. Robot bude přemístěn jeřábem a usazen na druhou plošinu s kolejnicemi, která bude předem připravena na dalším záběru. Po usazení musí být senzory znovu kalibrovány.

Pozn. 1: Předpokládá se, že před začátkem zdění na každém pracovním záběru stačí provést jen jednu kalibraci robota.

Pozn. 2: Předpokládá se, že bude k dispozici druhá plošina pro pohyb robota při zdění, která bude v mezidobí vždy připravena na dalším záběru, aby byl ušetřen čas při přesunu robota.

3.3.5.4 KUKA

4) Příprava malty

Tenkovrstvá malta bude připravována stejně jako při tradičním způsobu zdění (viz kapitola 3.3.5.1).

5) Zdění dalších vrstev bloků

Bloky budou robotickou rukou postupně odebírány z palety, následně uloženy do kalibračního modelu, znovu uchopeny, nastaveny k zařízení pro aplikaci tenkovrstvé malty, a nakonec uloženy na místo určené počítačem (dle 3D modelu nahraného do robota v přípravné fázi). Tento postup bude neustále opakován do vyzdění stěn celého záběru. V průběhu zdění budou vyměňovány prázdné palety za plné palety s vápenopískovými bloky s pomocí jeřábu. Nová paleta bude umístěna na stejném místě, jako ta stará, aby robot nemusel být znovu kalibrován. Přidavač bude do robota doplňovat zamíchanou maltu dle potřeby.

Pozn.: Pro účel této práce a možnost srovnání s ostatními technologiemi zdění je uvažováno s tím, že robot dokáže pracovat s materiálem vypsaným v kapitole 3.2.1.

6) Osazení překladů

Osazení překladů bude provedeno pověřenými pracovníky stejně jako při tradičním způsobu zdění (viz kapitola 3.3.5.1). Během osazování překladů bude práce robota dočasně přerušena.

7) Přesun na další záběr

Jelikož se robot během práce nepohybuje a je kotven ke konstrukci, jsou pracovní záběry vymezeny dosahem robotické ruky (viz kapitola 3.4.4). Před přesunem na další záběr musí být nejprve odstraněno kotvení robotické ruky. Následně bude robotická ruka přesunuta jeřábem na další záběr, kde bude opět přichycena chemickými kotvami k základové desce. Řídící

jednotka a další příslušenství bude přesunuto ručně. Všechny komponenty systému budou následně s robotickou rukou opět propojeny. Před zahájením zdění na dalším záběru bude celé zařízení znovu kalibrováno.

Pozn.: Z hlediska plánovaného většího dosahu robotické ruky je předpokládána i její větší hmotnost, a proto bude přesouvána jeřábem.

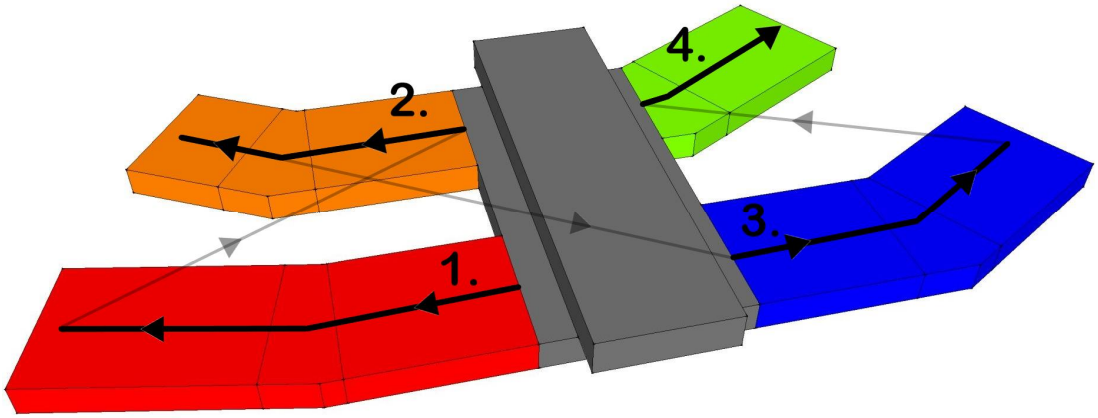
3.4 Postup prací v rámci objektu

Vzhledem k objemu prací je řešen také postup zdění v rámci celého objektu. Postup prací na objektu se liší v závislosti na technologii zdění. Pracovní úseky/záběry jsou označeny číslicemi a písmeny. Šipkami je označen směr postupu prací.

Předpokládá se, že střední dvoupodlažní trakt (na obrázcích šedou barvou) bude vybudován v předstihu a tzv. „klouby“, v jednotlivých ramenech, budou zděny při každé variantě realizace ručně. Technologie robotického zdění se týká jen svislých konstrukcí typových funkčních jednotek (viz příloha B.).

3.4.1 Tradiční způsob zdění

Objekt je rozdělen na čtyři úseky. Práce budou probíhat vždy směrem od středového traktu a stěny budou napojeny na již hotové svislé konstrukce tohoto traktu. Schéma postupu zdění je zobrazeno na obr. 32.



Obr. 32: *Postup prací na objektu při zdění tradičním způsobem; čísly je označeno pořadí realizovaného úseku*

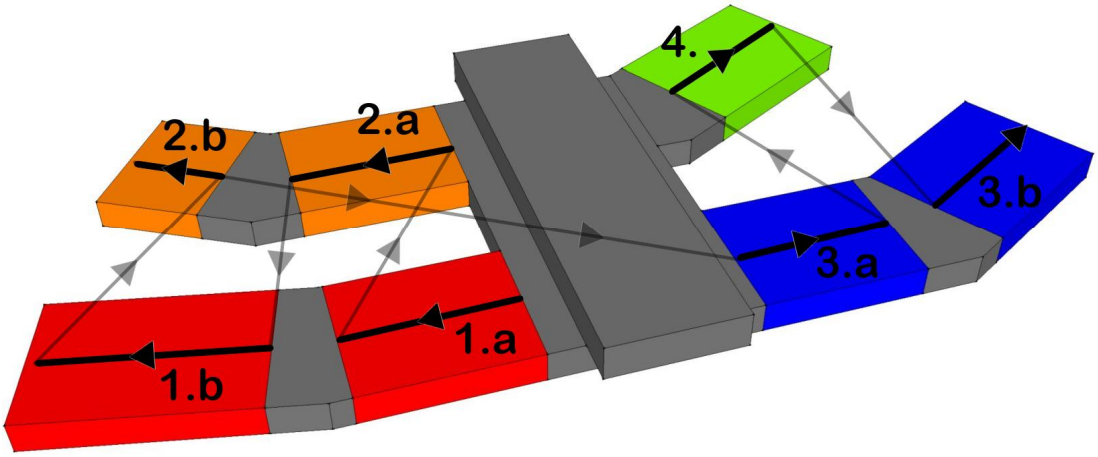
3.4.2 Hadrian X

Pro tuto technologii zdění je objekt rozdělen opět na čtyři úseky. Při práci robota je umožněn jen pohyb výložníku, jehož délkou je limitován dosah zařízení. Z tohoto důvodu jsou úseky 1,2 a 3 rozděleny vždy na dva záběry. Celkem je tedy objekt vymezen sedmi záběry. Schéma postupu zdění je zobrazeno na obr. 33.

Pro přiblížení je popsán postup realizace svislých konstrukcí na samotném začátku:

1) robot začne zdít záběr 1.a;
2) po jeho dokončení se přesune na záběr 2.a, současně se záběrem 2.a bude vyzděn ručně „kloub“ v rameni mezi záběry 1.a a 1.b (není předmětem řešení);
3) robot se přesune na záběr „1.b“.

Obdobně bude výstavba pokračovat dále.



Obr. 33: *Postup prací na objektu při zdění robotem Hadrian X, SAM 100 a KUKA; čísly/písmeny jsou označeny úseky/záběry*

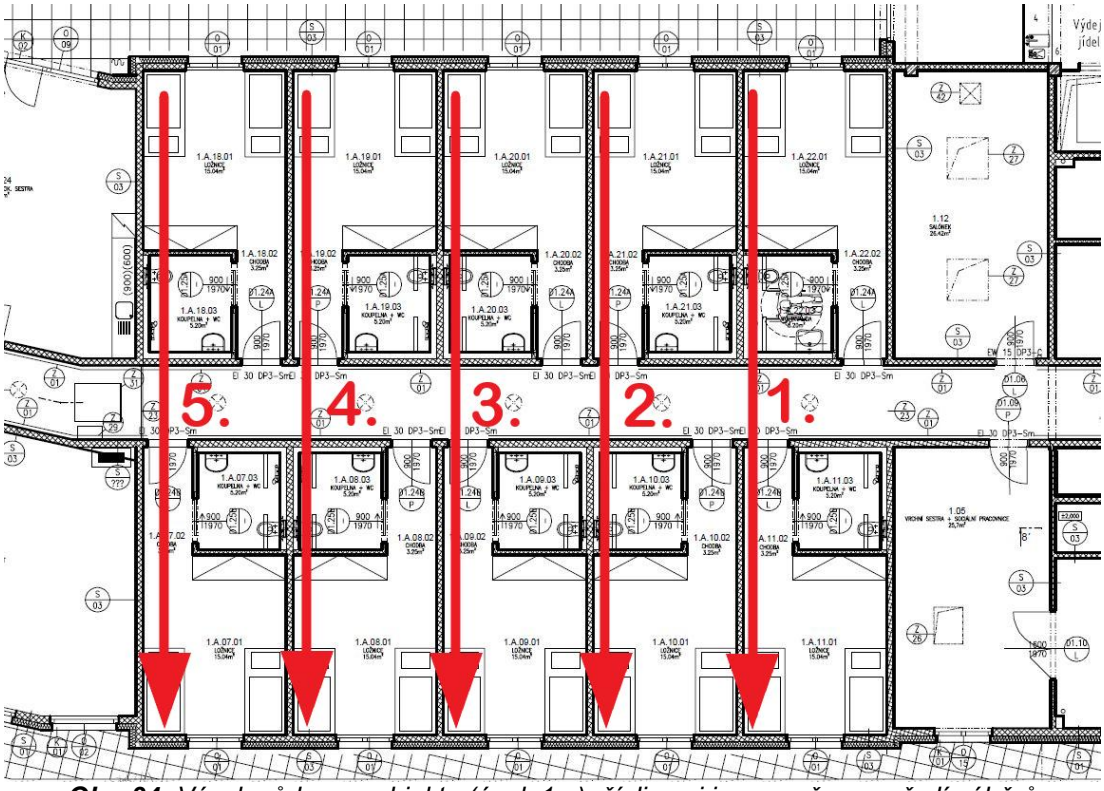
3.4.3 SAM 100

Při použití robota SAM 100 je zvolen podobný postup prací v rámci celého objektu jako u robota Hadrian X (viz obr. 33). V tomto případě je označení 1.a – 4. uvažováno jako označení úseků.

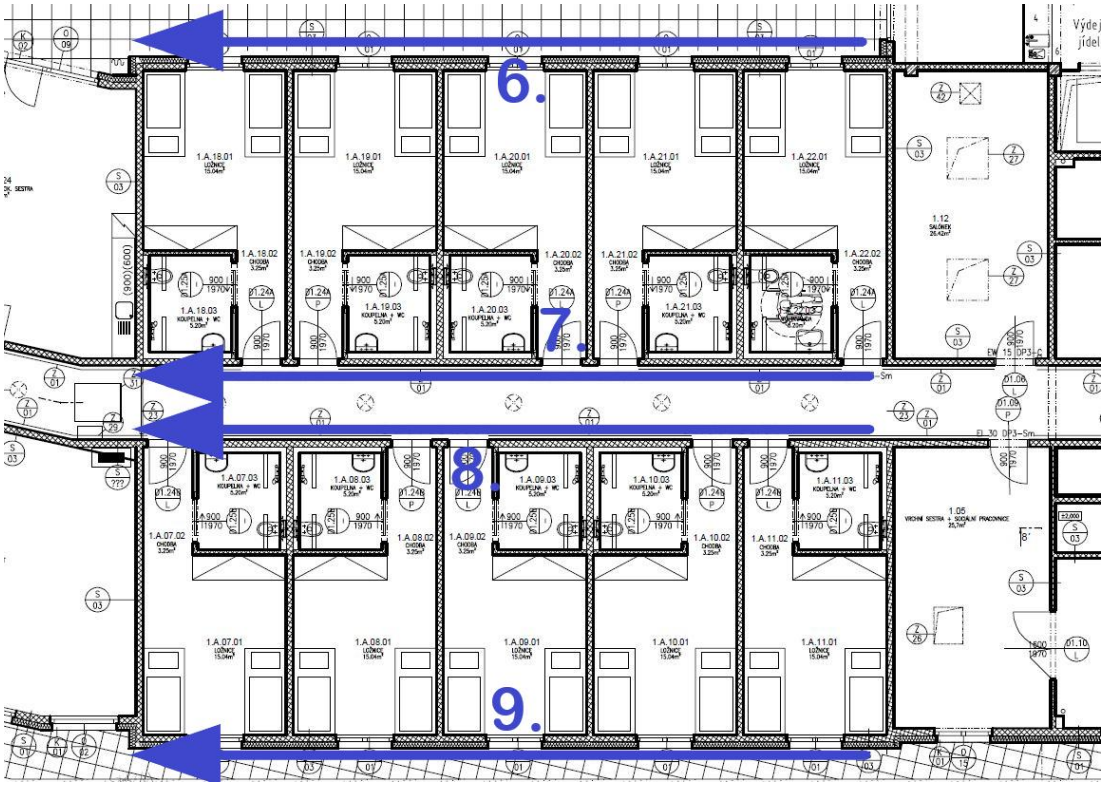
Každý úsek je rozdělen na záběry podle prostorových možností, s ohledem na minimalizaci počtu přesunů robota a plošin s kolejnicemi, případně upravování délky plošin. Na obr. 33 a obr. 34 se nachází výsek

půdorysu objektu (úseku 1.a), kde je čísly označeno pořadí záběrů a šipkami směr zdění. Na úseku budou nejprve zděny příčné stěny (plošiny s kolejnicemi a robot budou pro každý záběr průběžně přesouvány jeřábem), poté bude upravena délka kolejnic a práce bude pokračovat zděním podélných stěn.

Obdobně bude práce robota pokračovat na dalších úsecích. Počet záběrů se liší v závislosti na počtu funkčních jednotek na konkrétním úseku.



Obr. 34: *Výsek půdorysu objektu (úsek 1.a); číslicemi je vyznačeno pořadí záběrů*



Obr. 35: *Výsek půdorysu objektu (úsek 1.a); po změně délky kolejnic; číslicemi je vyznačeno pořadí záběrů*

3.4.4 KUKA

Rozdělení na úseky i směr postupu prací jsou zvoleny stejné jako u předchozího robota SAM 100 (viz obr. 33). Každý úsek je rozdělen na záběry dle dosahu robota. V tomto případě odpovídá realizace stěn jedné funkční jednotky jednomu záběru. Robot bude na další záběry přesouván jeřábem. Postup výstavby jednotlivých úseků je opět znázorněn na úseku 1.a (viz obr. 36). Obdobný bude postup zdění na dalších úsecích. Počet záběrů se liší v závislosti na počtu funkčních jednotek na jednotlivých úsecích.

Pozn.: Předpokládá se, že robotická ruka bude mít, při vhodně zvoleném místě jejího ukotvení, dostatečný dosah pro realizaci stěn jedné funkční jednotky (tzn. dosah minimálně 4,1 m).

Obr. 36: *Výsek půdorysu objektu (úsek 1.a); číslicemi je vyznačeno pořadí záběrů*

3.5 Doba výstavby

Tato kapitola je jednou z nejdůležitějších, neboť se věnuje samotné době výstavby, což je jedno z hlavních kritérií při hodnocení výhodnosti využití dané technologie.

Tato práce je zaměřena i na činnosti, které je nezbytné provést před uvedením robota do chodu, přesuny na další záběr apod. Doby trvání těchto činností často nejsou výrobci zveřejněny, a proto jsou určeny na základě výpočtu, časového snímku z videí od výrobců nebo odhadem po konzultaci s Ing. Usmanovem, Ph.D. U činností, které se vyskytují opakovaně ve všech robotických technologiích zdění a je těžké odhadnout jejich časovou náročnost (např. kalibrace), je uvažována stejná doba jejich trvání.

Pro každou ze srovnávaných technologií zdění byl sestaven rozborový list (viz příloha C.). Z technologického postupu byly vybrány rozhodující činnosti z hlediska doby trvání celého procesu. Množství bylo určeno dle rozdělení na úseky (viz kapitola 3.4), s pomocí projektové dokumentace a předchozích výpočtů. Způsob stanovení norem času je uveden zvlášť

u každé technologie (viz kapitoly 3.5.1 – 3.5.4). Celková pracnost byla zjištěna vynásobením množství a normy času. Následně byl zvolen počet čet (jejich složení viz kapitola 3.3.2). Doba trvání činnosti byla vypočtena jako poměr celkové pracnosti ku časovému fondu čet.

Jelikož je technologický postup, od začátku až do fáze, kdy je vyzděna a vytvrzena patní vrstva, pro všechny technologie stejný (viz kapitola 3.3.5), mají první čtyři činnosti u všech technologií zdění stejnou pracnost a jsou prováděny vždy četou ve stejném složení jako u tradičního způsobu zdění. Dobu trvání těchto činností ovlivňuje objem prací na jednotlivých úsecích/záběrech, v součtu je však pro celý objekt bez ohledu na technologii stejná.

Zahájení prací je pro všechny porovnávané technologie zdění jednotně stanoveno na 6.3.2019.

3.5.1 Tradiční způsob zdění

Normy času byly zjištěny pomocí programu RTS BUILDpower, z datové základny RTS DATA. Z důvodu velké pracnosti byly pro zdění navrženy 4 čety (složení jedné čety viz kapitola 3.3.2.1). Délka pracovní směny byla stanovena na 8 hodin.

S využitím údajů z rozborového listu (viz příloha C.1) byl pomocí programu MS Project sestaven časový harmonogram, ve kterém je znázorněna posloupnost činností (viz příloha D.1).

Z časového harmonogramu byla zjištěna doba výstavby předmětných konstrukcí:

- datum zahájení prací: 6.3.2019,
- datum ukončení prací: 27.5.2019,
- doba výstavby: 82 dnů (2 měsíce a 21 dnů),
- počet směn: 55.

3.5.2 Hadrian X

Normy času některých činností byly zjištěny pomocí programu RTS BUILDpower, z datové základny RTS DATA. Norma času zdění robota byla vypočtena na základě informace o výkonu robota zveřejněné výrobcem (viz kapitola 2.1.5). Výpočet:

teoretický výkon robota: 1000 bloků/hod

*plocha 1 bloku: 0,25 * 0,25 = 0,0625 m^2*

počet bloků na 1 m^2: 1 / 0,0625 = 16 bloků

norma času zdění: 1 / (1000 / 16) = <u>0,016 hod/m^2</u>

Doba nastavení laserových senzorů byla stanovena časovým snímkem z videí od výrobce. Doby kalibrace a přesunu na další záběr byly určeny odhadem. Předpokládá se, že přesun laserových senzorů, v rámci jednoho záběru, bude probíhat souběžně se zděním robota a nebude práci brzdit.

S využitím údajů z rozborového listu (viz příloha C.2) byl pomocí programu MS Project sestaven časový harmonogram, ve kterém je znázorněna posloupnost činností (viz příloha D.2).

Z časového harmonogramu byla zjištěna doba výstavby předmětných konstrukcí:

- datum zahájení prací: 6.3.2019,
- datum ukončení prací: 3.4.2019,
- doba výstavby: 28 dnů,
- počet směn: 21.

3.5.3 SAM 100

Normy času některých činností byly zjištěny pomocí programu RTS BUILDpower, z datové základny RTS DATA. Norma času zdění robota byla vypočtena na základě informace o výkonu robota zveřejněné výrobcem (viz kapitola 2.2.5). Výpočet:

teoretický výkon robota: 350 bloků/hod

*plocha 1 bloku: 0,25 * 0,25 = 0,0625 m^2*

počet bloků na 1 m^2: 1 / 0,0625 = 16 bloků

norma času zdění: 1 / (350 / 16) = <u>0,046 hod/m^2</u>

Doba montáže plošiny s kolejnicemi byla určena na základě podobnosti činnosti s montáží lešení. Doby kalibrace, přesunu na další záběr a dozdívek byly stanoveny odhadem.

S využitím údajů z rozborového listu (viz příloha C.3) byl sestaven v programu MS Project časový harmonogram, ve kterém je znázorněna posloupnost činností (viz příloha D.3).

Z časového harmonogramu byla zjištěna doba výstavby předmětných konstrukcí:

- datum zahájení prací: 6.3.2019,
- datum ukončení prací: 18.6.2019,
- doba výstavby: 104 dnů (3 měsíce a 12 dnů),
- počet směn: 75.

3.5.4 KUKA

Normy času některých činností byly zjištěny pomocí programu RTS BUILDpower, z datové základny RTS DATA. Norma času zdění robota byla vypočtena na základě časového snímku pracovního cyklu robota. Pracovní cyklus robotické ruky byl rozdělen na fáze, u kterých byla změřena průměrná doba trvání v sekundách:

- pohyb z výchozí pozice nad paletu bloků: t_1 *= 2,96 s;*
- uchycení bloku: t_2 *= 1,46 s;*
- pohyb s uchyceným blokem ke kalibračnímu modelu: t_3 *= 4,85 s;*
- uvolnění bloku do kalibračního modelu a opětovné uchycení: t_4 *= 2,05 s;*

- pohyb od kalibračního modelu do výchozí pozice: t_5 = *3,16 s;*
- pohyb z výchozí pozice k aplikátoru malty: t_6 = *5,00 s;*
- aplikace malty: t_7 = *10,00 s;*
- pohyb k místu pokládky bloku: t_8 = *5,00 s;*
- položení bloku: t_9 = *1,81 s;*
- pohyb do výchozí pozice: t_{10} = *1,62 s.*

Pozn.: Doby pohybu z výchozí pozice k aplikátoru malty, aplikace malty a pohybu k místu uložení bloku byly odhadnuty s ohledem na dobu trvání ostatních fází cyklu, přičemž byla zvolena vždy spíše horní hranice odhadovaného časového intervalu.

Aby bylo zohledněno měření časů fází pracovního cyklu u modelu robota ve zmenšeném měřítku, byly tyto časy vynásobeny koeficienty:

- koeficient zohledňující delší dráhu pohybů: k_1 = *2,0;*
- koeficient zohledňující složitější způsob uchycení: k_2 = *1,3.*

Výpočet normy času:

*plocha 1 bloku: 0,25 * 0,25 = 0,0625 m²*

počet bloků na 1 m²: 1 / 0,0625 = 16 bloků

norma času zdění:

$$Sh = \frac{\left[k_1 * (t_1 + t_3 + t_5 + t_6 + t_8 + t_{10}) + k_2 * (t_2 + t_4 + t_9) + t_7\right] * 16}{3600} = \underline{0{,}284\ hod/m^2}$$

Doby trvání ostatních činností byly určeny odhadem na základě konzultací s Ing. Usmanovem Ph.D.

S využitím údajů z rozborového listu (viz příloha C.4) byl sestaven v programu MS Project časový harmonogram, ve kterém je znázorněna posloupnost činností (viz příloha D.4).

Z časového harmonogramu byla zjištěna doba výstavby předmětných konstrukcí:

- datum zahájení prací: 6.3.2019,
- datum ukončení prací: 20.9.2019,
- doba výstavby: 198 dnů (6 měsíců a 14 dnů),
- počet směn: 142.

3.6 Řešení zařízení staveniště

V této kapitole je nejprve představena neměnná část zařízení staveniště, která je navržena pro všechny srovnávané technologie. V dalších částech je řešeno zařízení staveniště pro každou technologii zvlášť, v závislosti na jejích specifických požadavcích. Všechna níže navržená řešení jsou zakreslena do výkresů zařízení staveniště (viz příloha E.)

Přes severozápadní část stavebního pozemku probíhá nadzemní vedení NN do 1 kV – ČEZ. Toto vedení nebude přeloženo. Bude nutná zvýšená opatrnost při manipulaci jeřábu s břemeny v blízkosti tohoto vedení. V blízkosti staveniště se dále nacházejí následující sítě: plynovod STL – RWE, podzemní vedení VN do 35 kV – ČEZ, veřejné osvětlení, sdělovací kabel – CETIN, vodovod – Vodárna Plzeň, kanalizace jednotná – Vodárna Plzeň, kanalizace dešťová – Vodárna Plzeň.

Staveniště bude napojeno na budoucí přípojku vodovodu objektu v severozápadní části pozemku. V místě napojení bude uzávěr vody a vodoměr k měření spotřeby vody během stavby. Na tomto místě bude možný odběr vody po celou dobu výstavby. Elektřina bude napojena na budoucí přípojku objektu v místě přípojkové skříně, která bude v době výstavby sloužit jako hlavní vypínač a hlavní rozvaděč pro staveniště. Odtud bude rozvedena do dalších rozvaděčů: rozvaděč pro práce v objektu, rozvaděč pro skupinu buněk, případně rozvaděče pro jeřáby. Rozvody pro staveniště budou volně položené na zemi. V místě, kde vedení protíná provizorní komunikaci staveniště, bude kabel veden v zemi pod komunikací. V objektu budou rozvaděče umístěny tak, aby vzdálenost od spotřebiče

nebyla větší než 50 m. Rozvody a rozvaděče budou řádně uzemněny. Stavební buňky budou napojeny na budoucí kanalizační přípojku objektu. Dno výkopu bude řešeno odvodňovacím kanálem po obvodu výkopu, který bude vyspádován do jímky a odtud bude voda kalovým čerpadlem odčerpávána do kanalizace. Veškerá napojení na technické sítě jsou zakreslena ve výkresech zařízení staveniště. Napojení na zdroje energií budou projednána s jednotlivými správci sítí.

Staveniště bude řádně zajištěno proti vstupu nepovolaným osobám. Stávající oplocení areálu bude doplněno o oplocení z mobilních panelů výšky 2 m. U hlavního vstupu bude zřízena vrátnice s ostrahou.

Stavba nemá požadavky na zábor pozemků zemědělského půdního fondu ani pozemků určených k plnění funkce lesa. V průběhu celé výstavby dojde k záboru chodníku u hlavního vjezdu na staveniště, na západní hranici pozemku.

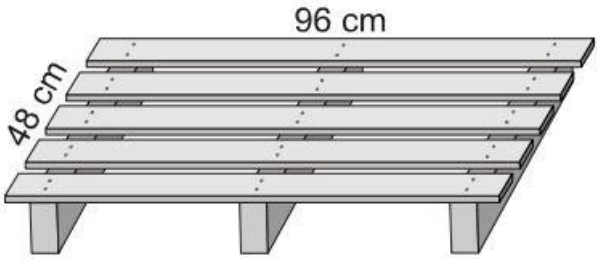
V severozápadní části pozemku bude zřízena páteřní provizorní komunikace a bude kopírovat průběh navrhované komunikace. Budou zřízeny zpevněné plochy pro pěší a zpevněná plocha pro parkování 2 osobních automobilů. Zpevněné plochy budou tvořeny vrstvou ze dvou frakcí kameniva (32 – 64 mm a 64 – 125 mm), která bude zhutněna vibračním válcem.

Buňky pro pracovníky budou umístěny v sestavě v severozápadní části staveniště. Jejich počet je určen odhadem dle předpokládaného počtu pracovníků na staveništi během etapy hrubé vrchní stavby. Na staveništi budou umístěny buňky od firmy Pegas Container: 4 ks PC-1 jako šatny pro pracovníky, 1 ks PC-7 pro vedení stavby a 2 ks PC-8 se sociálním zařízením (detailní specifikace viz příloha G.6). Všechny buňky budou napojeny na rozvod elektrické energie. Buňky se sociálním zařízením budou napojeny navíc na vodovod a kanalizaci.

Na staveništi budou umístěny 2 Unimo buňky, které budou sloužit jako sklad nářadí a materiálu. Vedle nich budou usazeny 4 kontejnery na stavební odpad. Jejich počet je opět určen na základě odhadu.

Předpokládá se, že v průběhu hrubé stavby budou na staveništi k dispozici 2 věžové jeřáby, které pokryjí přesuny materiálů v rámci celého stavěného objektu. Nejtěžším břemenem při zdění bude paleta vápenopískových bloků, která má hmotnost 990 kg, rozměry viz obr. 37. Výška objektu je jen 7 990 mm (od ±0,000), takže není pro návrh jeřábu rozhodující. Z těchto důvodů byly pro realizaci předmětných konstrukcí navrženy 2 věžové jeřáby Liebherr 53 K s maximálním vyložením 40 m, s nosností 1 100 kg při maximálním dosahu. Detailní specifikace jeřábu viz příloha G.7.

Pozn.: Návrh jeřábu se netýká technologie zdění robotem Hadrian X, k jehož práci není jeřáb potřeba.



Obr. 37: *Standardní paleta VAPIS 96 x 48 cm, pro bloky na tenkovrstvou maltu; zdroj: příloha G.2*

3.6.1 Tradiční způsob zdění

Řešení zařízení staveniště pro tradiční způsob zdění je zakresleno ve výkresu (viz příloha E.1).

Z časového harmonogramu a rozborového listu byly zjištěny údaje potřebné pro výpočet plochy skládky zdicích prvků:

největší objem práce: „Zdění na 1. výškovou úroveň“ (1., 3.) 417,29 m^2

doba trvání práce: 7,12 směn

jedna paleta bloků vystačí na vyzdění 3 m^2

spotřeba zdicích prvků: 417,29 / 7,12 / 3 = 19,54 → 20 palet/den

*plocha jedné palety (s rezervou): 1,0 * 0,5 = 0,5 m^2*

maximální počet palet na sobě: 3 ks → volím 2 ks

volím předzásobení na 8 směn

*min. plocha skládky: 20 * 0,5 / 2 * 8 = 40 m²*

Jsou navrženy 2 skládky zdicího materiálu, obě u páteřní vnitrostaveništní komunikace v dosahu jeřábu:

- 1 pro práce na úsecích 1. a 2. (plocha 50 m²)
- 1 pro práce na úsecích 3. a 4. (plocha 50 m²)

3.6.2 Hadrian X

Řešení zařízení staveniště pro technologii zdění robotem Hadrian X, včetně stanovišť pro práci robota na jednotlivých úsecích, je zakresleno ve výkresu (viz příloha E.2).

Z časového harmonogramu a rozborového listu byly zjištěny údaje potřebné pro výpočet plochy skládky zdicích prvků:

největší objem práce: „Zdění“ (1.b, 3.b, 4.) 455,22 m²

doba trvání práce: 0,91 směny → 1 směna

jedna paleta bloků vystačí na vyzdění 3 m²

spotřeba zdicích prvků: 455,22 / 1 / 3 = 151,74 → 152 palet/den

*plocha jedné palety (s rezervou): 1,0 * 0,5 = 0,5 m²*

maximální počet palet na sobě: 3 ks

volím předzásobení na 2 směny

*min. plocha skládky: 152 * 0,5 / 3 * 2 = 50,67 m²*

Jsou navrženy celkem 4 skládky zdicích prvků:

- 1 společná pro práce na úsecích 1.a, 3.a, 3.b (plocha 61 m²)
- 1 pro práce na úseku 1.b, která nebude na pozemcích investora (plocha 60 m²)
- 1 společná pro práce na úsecích 2.a, 2.b (plocha 54 m²)
- 1 pro práce na úseku 4. (plocha 60 m²)

Z důvodu omezeného dosahu robota musí být zřízen druhý vjezd na staveniště na jeho východní hranici. Součástí bude zábor chodníku u tohoto vjezdu. V průběhu realizace předmětných konstrukcí na úseku 1.b dojde k částečnému záboru okolního pozemku a chodníku. Případná poškození silničních obrubníků, travnatého pokryvu atd. budou na konci stavby opravena a uvedena do původního stavu. V době záboru přilehlého chodníku bude před daným místem umístěna značka „zákaz vstupu“ a „přejdi na protější chodník“.

Ze skládek materiálu budou palety se zdicími prvky dopravovány do robota paletovým nakladačem. Hadrian X jako jediný z porovnávaných technologií nevyžaduje k práci jeřáb, a proto nejsou jeřáby ve výkresu zakresleny. Nicméně se předpokládá, že jeřáby v této fázi výstavby na staveništi přesto budou kvůli realizaci jiných konstrukcí.

3.6.3 SAM 100

Detailní řešení zařízení staveniště pro technologii zdění robotem SAM 100 je zakresleno ve výkresech (viz přílohy E.3 – E.7). Tyto výkresy jsou zaměřeny na úsek 1.a, ve kterém je zakresleno postavení robota, postavení kolejnic a prvky zařízení staveniště v rámci jednotlivých záběrů. Obdobně bude zařízení staveniště řešeno na zbylých úsecích.

Z časového harmonogramu a rozborového listu byly zjištěny údaje potřebné pro výpočet plochy skládky zdicích prvků:

největší objem práce: „Zdění“ (2 záběry za den) 42 + 42 = 84 m^2

doba trvání práce: 1 směna

jedna paleta bloků vystačí na vyzdění 3 m^2

spotřeba zdicích prvků: 84 / 1 / 3 = 28 palet/den

*plocha jedné palety (s rezervou): 1,0 * 0,5 = 0,5 m^2*

maximální počet palet na sobě: 3 ks → volím 2 ks

volím předzásobení na 7 směn

*min. plocha skládky: 28 * 0,5 / 2 * 7 = <u>49 m^2</u>*

V menším měřítku bude zařízení staveniště řešeno stejně jako v případě tradičního způsobu zdění (viz příloha E.1). Požadavek na minimální plochu skládky je splněn.

3.6.4 KUKA

Detailní řešení zařízení staveniště pro technologii zdění robotem KUKA je zakresleno ve výkresech (viz přílohy E.8 – E.11). Tyto výkresy jsou zaměřeny na úsek 1.a, ve kterém je zakresleno postavení robota a prvky zařízení staveniště v rámci jednotlivých záběrů. Obdobně bude zařízení staveniště řešeno na zbylých úsecích.

Z časového harmonogramu a rozborového listu byly zjištěny údaje potřebné pro výpočet plochy skládky zdicích prvků:

největší objem práce: „Zdění“ 37,94 m^2

doba trvání práce: 1,35 směny

jedna paleta bloků vystačí na vyzdění 3 m^2

spotřeba zdicích prvků: 37,94 / 1,35 / 3 = 9,37 → 10 palet / den

*plocha jedné palety (s rezervou): 1,0 * 0,5 = 0,5 m^2*

maximální počet palet na sobě: 3 ks → volím palety v 1 vrstvě

volím předzásobení na 10 směn

*min. plocha skládky: 10 * 0,5 / 1 * 10 = <u>50 m^2</u>*

V menším měřítku bude zařízení staveniště řešeno stejně jako v případě tradičního způsobu zdění (viz příloha E.1). Požadavek na minimální plochu skládky je splněn.

3.7 Náklady

V této kapitole jsou řešeny náklady na zhotovení předmětných konstrukcí. Jedná se o další důležitou položku při hodnocení celkové výhodnosti využití dané technologie zdění. Náklady jsou rozděleny do tří složek: materiál, mzdy a stroje. Množství materiálu bylo převzato z výpočtů z kapitoly 3.2.2. Profese a kvalifikace pracovníků jsou dány návrhem složení

pracovní čety (viz kapitola 3.3.2). Jednotkové ceny materiálů, hodinové sazby pro výpočet mezd a náklady na provoz některých strojů/přístrojů byly určeny hlavně na základě údajů z cenové soustavy RTS DATA, dostupné pomocí programu RTS BUILDpower. Ostatní náklady byly určeny s pomocí údajů z ceníku výrobce zdicích prvků nebo výpočtem.

Pozn.: Ztratné bylo stanoveno u všech technologií zdění stejné a množství materiálu se tak v jednotlivých kalkulacích nemění. U robotického zdění by obecně šlo uvažovat s menším ztratným.

3.7.1 Tradiční způsob zdění

Individuální kalkulace nákladů je k dispozici v příloze F.1.

Celkové náklady na vyzdění předmětných konstrukcí jsou 4 200 796 Kč. Z toho náklady na:

- materiál: 2 810 809 Kč (66,91 % z celkových nákladů),
- mzdy: 1 212 346 Kč (28,86 % z celkových nákladů),
- stroje: 177 641 Kč (4,23 % z celkových nákladů).

3.7.2 Hadrian X

Individuální kalkulace nákladů je k dispozici v příloze F.2.

Pro lepší porovnání je předpokládána realizace patní vrstvy zdiva stejným způsobem a stejným počtem pracovníků jako při tradičním způsobu zdění. V nákladech na provoz robota je zohledněna pořizovací cena robota (výpočet viz níže).

Vstupní cena robota je 33,21 mil Kč (viz kapitola 2.1.6), dle zákona o daních z příjmů č. 586/1992 Sb. spadá do 3. odpisové skupiny. Odepisování bude probíhat rovnoměrně po dobu 10 let. Způsob odepisování viz tab. 1. [66]

Tab. 1: *Výpočet odpisů robota Hadrian X*

Název majetku:	**Hadrian X**
Vstupní cena:	33 210 000,00 Kč
Rok pořízení:	2018
Odpisová skupina:	3
Životnost:	10
Způsob odepisování:	Rovnoměrný
Roční odpisové sazby:	první rok: 5.5% / další: 10.5% / zvýš.vst.c.: 10%

Poř.	Rok-plán	Rok skutečnost	Zvýš.	Vstupní cena	Roční odpis	Oprávky celkem	Zůstatková cena
1	2018		-	33.210.000,00	1.826.550,00	1.826.550,00	31.383.450,00
2	2019		-	33.210.000,00	3.487.050,00	5.313.600,00	27.896.400,00
3	2020		-	33.210.000,00	3.487.050,00	8.800.650,00	24.409.350,00
4	2021		-	33.210.000,00	3.487.050,00	12.287.700,00	20.922.300,00
5	2022		-	33.210.000,00	3.487.050,00	15.774.750,00	17.435.250,00
6	2023		-	33.210.000,00	3.487.050,00	19.261.800,00	13.948.200,00
7	2024		-	33.210.000,00	3.487.050,00	22.748.850,00	10.461.150,00
8	2025		-	33.210.000,00	3.487.050,00	26.235.900,00	6.974.100,00
9	2026		-	33.210.000,00	3.487.050,00	29.722.950,00	3.487.050,00
10	2027		-	33.210.000,00	3.487.050,00	33.210.000,00	0,00

Výpočet nákladů na provoz robota:

roční odpis: 3 487 050 Kč (viz tab. 1)

dní v práci v roce 2019: 200 (odhad z 251 pracovních dní celkem)

délka směny: průměrně 8 hodin

*odpis za hodinu: 3 487 050 / (200 * 8) = 2179,41 Kč/hod*

spotřeba nafty: 10 l/hod (volnoběh, krátké přejezdy)

cena nafty: 31,50 Kč/l (cena ke 14.12.2018)

*pohonné hmoty na hodinu provozu: 10 * 31,50 = 315,00 Kč/hod*

celkem náklady na provoz robota: 2179,41 + 315 = 2494,41 Kč/hod

Celkové náklady na vyzdění předmětných konstrukcí jsou 3 341 167 Kč. Z toho náklady na:

- materiál: 2 810 809 Kč (84,13 % z celkových nákladů),
- mzdy: 185 488 Kč (5,55 % z celkových nákladů),
- stroje: 344 869 Kč (10,32 % z celkových nákladů).

3.7.3 SAM 100

Individuální kalkulace nákladů je k dispozici v příloze F.3.

Pro lepší porovnání je předpokládána realizace patní vrstvy zdiva stejným způsobem a stejným počtem pracovníků jako při tradičním způsobu zdění. V nákladech na provoz robota je zohledněna pořizovací cena robota (výpočet viz níže).

Vstupní cena robota je 11,5 mil Kč (viz kapitola 2.2.6), dle zákona o daních z příjmů č. 586/1992 Sb. spadá do 3. odpisové skupiny. Odepisování bude probíhat rovnoměrně po dobu 10 let. Způsob odepisování viz tab. 2. [66]

Tab. 2: *Výpočet odpisů robota SAM 100*

Název majetku:	**SAM 100**
Vstupní cena:	11 500 000,00 Kč
Rok pořízení:	2018
Odpisová skupina:	3
Životnost:	10
Způsob odepisování:	Rovnoměrný
Roční odpisové sazby:	první rok: 5.5% / další: 10.5% / zvýš.vst.c.: 10%

Poř.	Rok-plán	Rok skutečnost	Zvýš.	Vstupní cena	Roční odpis	Oprávky celkem	Zůstatková cena
1	2018		-	11.500.000,00	632.500,00	632.500,00	10.867.500,00
2	2019		-	11.500.000,00	1.207.500,00	1.840.000,00	9.660.000,00
3	2020		-	11.500.000,00	1.207.500,00	3.047.500,00	8.452.500,00
4	2021		-	11.500.000,00	1.207.500,00	4.255.000,00	7.245.000,00
5	2022		-	11.500.000,00	1.207.500,00	5.462.500,00	6.037.500,00
6	2023		-	11.500.000,00	1.207.500,00	6.670.000,00	4.830.000,00
7	2024		-	11.500.000,00	1.207.500,00	7.877.500,00	3.622.500,00
8	2025		-	11.500.000,00	1.207.500,00	9.085.000,00	2.415.000,00
9	2026		-	11.500.000,00	1.207.500,00	10.292.500,00	1.207.500,00
10	2027		-	11.500.000,00	1.207.500,00	11.500.000,00	0,00

Výpočet nákladů na provoz robota:

roční odpis: 1 207 500 Kč (viz tab. 2)

dní v práci v roce 2019: 200 (odhad z 251 pracovních dní celkem)

délka směny: průměrně 8 hodin

*odpis za hodinu: 1 207 500 / (200 * 8) = 754,69 Kč/hod*

náklady na položení 1 zdicího prvku: 1,10 Kč (viz kapitola 2.2.6)

rychlost pokládky: 350 zdicích prvků/hod (viz kapitola 2.2.5)

*náklady na práci robota: 350 * 1,1 = 385,00 Kč/hod*

celkem náklady na provoz robota: 754,69 + 385 = 1139,69 Kč/hod

Celkové náklady na vyzdění předmětných konstrukcí jsou 3 981 186 Kč. Z toho náklady na:

- materiál: 2 810 809 Kč (70,60 % z celkových nákladů),
- mzdy: 466 100 Kč (11,71 % z celkových nákladů),
- stroje: 704 277 Kč (17,69 % z celkových nákladů).

3.7.4 KUKA

Individuální kalkulace nákladů je k dispozici v příloze F.4.

Pro lepší porovnání je předpokládána realizace patní vrstvy zdiva stejným způsobem a stejným počtem pracovníků jako při tradičním způsobu zdění. V nákladech na provoz robota je zohledněna pořizovací cena robota (výpočet viz níže).

V tomto případě je dostupná pouze informace o ceně robota pro laboratorní testy (viz kapitola 2.3.6). Pořizovací cena plnohodnotného robota je odhadována na desetinásobek této ceny. Vstupní cena robota je tedy stanovena na 4,2 mil Kč, dle zákona o daních z příjmů č. 586/1992 Sb. spadá do 3. odpisové skupiny. Odepisování bude probíhat rovnoměrně po dobu 10 let. Způsob odepisování viz tab. 3. [66]

***Tab. 3**: Výpočet odpisů robota KUKA*

Název majetku:	**KUKA**
Vstupní cena:	4 200 000,00 Kč
Rok pořízení:	2018
Odpisová skupina:	3
Životnost:	10
Způsob odepisování:	Rovnoměrný
Roční odpisové sazby:	první rok: 5.5% / další: 10.5% / zvýš.vst.c.: 10%

Poř.	Rok-plán	Rok skutečnost	Zvýš.	Vstupní cena	Roční odpis	Oprávky celkem	Zůstatková cena
1	2018		-	4.200.000,00	231.000,00	231.000,00	3.969.000,00
2	2019		-	4.200.000,00	441.000,00	672.000,00	3.528.000,00
3	2020		-	4.200.000,00	441.000,00	1.113.000,00	3.087.000,00
4	2021		-	4.200.000,00	441.000,00	1.554.000,00	2.646.000,00
5	2022		-	4.200.000,00	441.000,00	1.995.000,00	2.205.000,00
6	2023		-	4.200.000,00	441.000,00	2.436.000,00	1.764.000,00
7	2024		-	4.200.000,00	441.000,00	2.877.000,00	1.323.000,00
8	2025		-	4.200.000,00	441.000,00	3.318.000,00	882.000,00
9	2026		-	4.200.000,00	441.000,00	3.759.000,00	441.000,00
10	2027		-	4.200.000,00	441.000,00	4.200.000,00	0,00

Výpočet nákladů na provoz robota:

roční odpis: 441 000 Kč (viz tab. 3)

dní v práci v roce 2019: 200 (odhad z 251 pracovních dní celkem)

délka směny: průměrně 8 hodin

*odpis za hodinu: 441 000 / (200 * 8) = 275,63 Kč/hod*

odhadovaná spotřeba el. energie celé sestavy: 25,0 kWh

průměrná cena el. energie: 3,50 Kč/kWh

*náklady na el. energii: 25 * 3,5 = 87,50 Kč/hod*

celkem náklady na provoz robota: 275,63 + 87,5 = 363,13 Kč / hod

Celkové náklady na vyzdění předmětných konstrukcí jsou 4 062 687 Kč. Z toho náklady na:

- materiál: 2 810 809 Kč (69,19 % z celkových nákladů),
- mzdy: 729 565 Kč (17,96 % z celkových nákladů),
- stroje: 522 313 Kč (12,85 % z celkových nákladů).

3.8 Jakost provedení

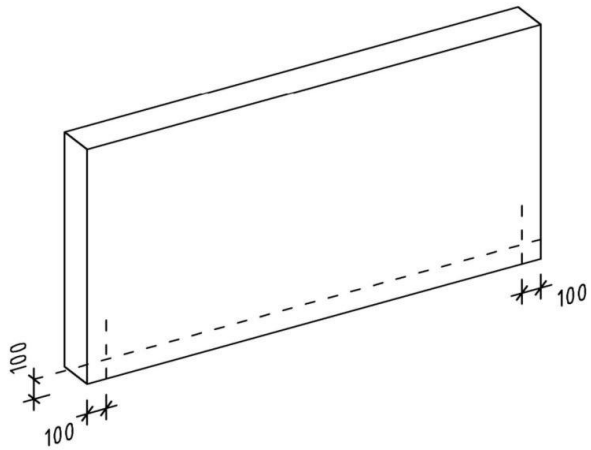
V průběhu zdění bude mistr (příp. obsluha robota) kontrolovat dodržování technologického postupu, soulad s projektovou dokumentací a geometrickou přesnost stavěných konstrukcí.

Výrobci robotů deklarují velkou přesnost ukládání zdicích prvků. Zásadní je však správná kalibrace, usazení všech zařízení a robota na staveništi. Kvalita provádění prací tak bude kontrolována při robotickém zdění zejména na začátku každého záběru. V případě špatné jakosti provádění při vizuální kontrole bude zkontrolováno, zda nedošlo k chybné kalibraci robota, případně chybnému nastavení podpůrných zařízení (stabilita laserových senzorů, stabilita kolejnic, nastavení maltovacího zařízení, kotvení robota apod.).

3.8.1 Metody kontroly jakosti výsledného provedení, možnosti oprav vad a nedodělků

Na hotové stěně bude mistrem (příp. obsluhou robota) ověřována výsledná geometrická přesnost. Bude kontrolována půdorysná poloha stěn, svislost stěn, vzdálenost protilehlých stěn, pravoúhlost stěn, místní rovinnost stěn, rozměr a poloha otvorů, svislost a vodorovnost ostění, rovinnost ostění a pravoúhlost otvorů.

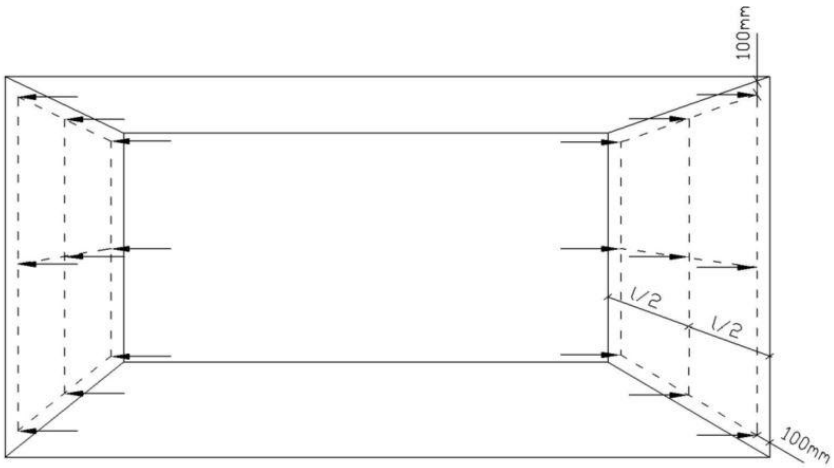
Půdorysná poloha stěn bude kontrolována orientačně pomocí vztažné přímky. Napnutím lanka bude vytvořena tzv. referenční rovina, která bude odsazena cca o 100 mm od krajních prvků měřené stěny. Kontrolní body budou umístěny dle obr. 38. Následně budou měřeny odchylky od referenční roviny na různých místech kontrolovaného úseku. [67]



Obr. 38: *Poloha kontrolních bodů při kontrole půdorysné polohy stěn; zdroj: [67]*

Svislost stěn bude kontrolována pomocí 2 m latě s nastavitelnými podložkami a svislou libelou. Lať bude umístěna svisle na kontrolovanou stěnu minimálně 100 mm od jejích svislých hran. Nastavením podložek bude lať vyrovnána podle libely do svislé polohy a bude odečtena odchylka. [67]

Vzdálenost protilehlých stěn bude měřena laserovým dálkoměrem zejména v prostorách funkčních jednotek. Měření budou prováděna v místech dle obr. 39.



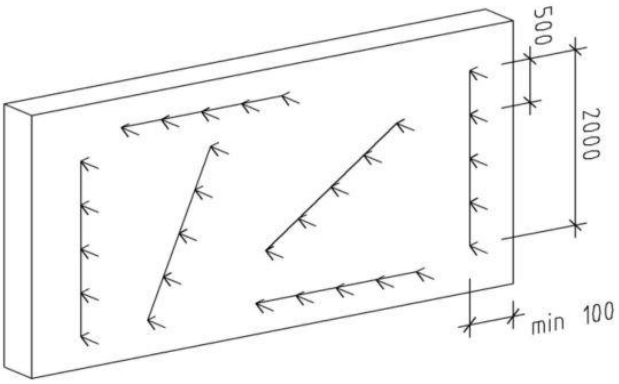
Obr. 39: *Místa měření vzdálenosti protilehlých stěn; zdroj: [67]*

Pravoúhlost stěn bude určena díky změření úhlopříček funkčních jednotek laserovým dálkoměrem. Odchylka je vypočtena tak, že se od sebe odečtou délky úhlopříček. [67]

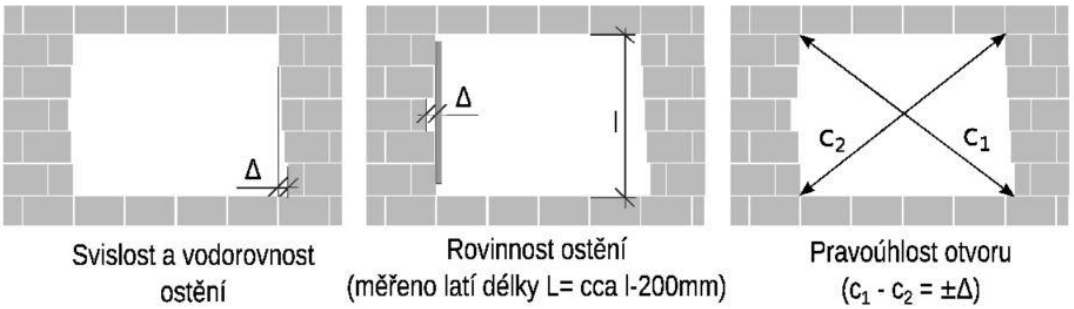
Místní rovinnost bude kontrolována 2 m latí se dvěma libelami a podložkami na jejích koncích. Měření bude probíhat v místech dle obr. 40. Bude zjištěna maximální a minimální vzdálenost mezi měřeným povrchem

a spodním lícem latě pomocí klínků. Na každých 25 m^2 plochy stěny bude provedeno minimálně 5 kladů latě. Měření bude prováděno tam, kde lze předpokládat největší odchylky. [67]

Podobně bude měřena geometrická přesnost otvorů viz obr. 41. Doporučené maximální odchylky jsou uvedeny v následující kapitole 3.8.2. Vzhledem k tomu, že se jedná o hrubé konstrukce bez povrchové úpravy, lze odchylky rovinnosti povrchu stěn, které nejsou v předepsaných mezích, ovlivnit při následném provádění omítek.



Obr. 40: *Místa měření místní rovinnosti na stěně s pomocí 2 m latě; zdroj: [67]*



Obr. 41: *Měření geometrické přesnosti stavebních otvorů; zdroj: [67]*

3.8.2 Závazné kvalitativní parametry, referenční hranice

Doporučená maximální odchylka půdorysné polohy zděné stěny bez povrchových úprav, u objektu s výškou menší nebo rovnou 8 m je dle ČSN 73 0205 ± 15 mm. [67]

Doporučená maximální odchylka svislosti zděné stěny bez povrchových úprav je dle ČSN EN 1996-2 ± 20 mm. [67]

Doporučená maximální odchylka vzdálenosti zděné stěny bez povrchových úprav je dle ČSN 73 0205: ±20 mm pro vzdálenost protilehlých stěn menší než 4 m (chodba mezi funkčními jednotkami, šířka

funkčních jednotek), ±25 mm pro vzdálenost protilehlých stěn 4 – 8 m (délka funkčních jednotek). [67]

Doporučená maximální odchylka úhlu zděné stěny bez povrchových úprav, při rozměrech funkční jednotky, je dle ČSN 73 0205 ± 5 mm. [67]

Doporučená maximální odchylka místní rovinnosti zděné stěny bez povrchových úprav je dle ČSN EN 1996-2 ± 10 mm na 2 metry. [67]

Doporučená maximální odchylka polohy stavebních otvorů je dle ČSN EN 13670 ± 25 mm. [67]

Doporučená maximální odchylka rozměrů stavebních otvorů s neupraveným povrchem, při rozměrech otvorů ve funkční jednotce, je dle ČSN 74 6077 ± 12 mm. [67]

Doporučená tolerance pravoúhlosti stavebních otvorů, při rozměrech otvorů ve funkční jednotce, je dle ČSN 74 6077 8 mm. [67]

Doporučená tolerance rovinnosti ostění stavebních otvorů s neupraveným povrchem, při rozměrech otvorů ve funkční jednotce, je dle ČSN 74 6077 10 mm na 1 metr. [67]

Doporučená tolerance svislosti a vodorovnosti ostění stavebních otvorů, při rozměrech otvorů ve funkční jednotce, je dle ČSN 74 6077 8 mm. [67]

3.9 BOZP

Po celou dobu výstavby předmětných konstrukcí jsou všichni pracovníci povinni dodržovat zásady a zákonné předpisy týkající se bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, s nimiž budou před započetím prací seznámeni. Závazné zákonné předpisy týkající se realizace předmětných konstrukcí:

- Zákon č. 309/2006 Sb. - Zákon, 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 mino

pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci). [68]

- Nařízení vlády č. 591/2006 Sb. - O bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích. [69]

Při výstavbě předmětných konstrukcí nehrozí pád z výšky nebo do hloubky dle znění nařízení vlády č. 362/2005 o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky (zajištění proti pádu ve výšce pracoviště až od 1,5 m). [70]

Pro každou porovnávanou technologii zdění existují specifická rizika. Tato rizika jsou vypsána v tabulkách rizik (viz tab. 5 – tab. 8) spolu s činností, při které hrozí jejich výskyt. U každého rizika je uvedena také závažnost (Z):

0 – bez následků;

1 – drobné poranění;

2 – méně závažné zranění;

3 – zranění, léčení 3 dny a více;

4 – závažné zranění;

5 – smrt, trvalé následky apod.;

pravděpodobnost výskytu (P):

0 – nulová,

1 – velmi nepravděpodobné,

2 – nepravděpodobné,

3 – pravděpodobné,

4 – velmi pravděpodobné,

5 – téměř jisté.

a možná opatření. Míra rizika je určena dle tab. 4 a v tabulkách rizik pak barevně vyznačena. Nízká rizika jsou akceptovatelná, u středních rizik je

nutné provést dílčí opatření, u vysokých rizik jsou nutná podstatná opatření. [71]

Za dodržování níže zmíněných pravidel a zásad BOZP odpovídá vedoucí čety, tzn. mistr nebo obsluha robota.

Tab. 4: *Tabulka pro určení míry rizika součinem Z a P; zeleně – nízké riziko, žlutě – střední riziko, červeně – vysoké riziko; zdroj: [71]*

5	0	5	10	15	20	25
4	0	4	8	12	16	20
3	0	3	6	9	12	15
2	0	2	4	6	8	10
1	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
	0	1	2	3	4	5

V příloze č. 3 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., v odstavci I. jsou specifikovány požadavky na skladování a manipulaci s materiálem, z nichž vyplývají následující opatření, která budou dodržována ve všech případech:

- Palety s vápenopískovými bloky, suchou maltovou směsí a překlady budou skladovány v podmínkách stanovených výrobcem (viz kapitola 3.2.3). Bude zajištěn bezpečný přísun a odběr materiálu ze skládek. Místa určená k vázání, odvěšování a manipulaci s materiálem budou bezpečně přístupná.
- Skladovací plochy budou rovné, odvodněné a zpevněné (viz kapitola 3.2.3).
- Materiál bude uložen tak, aby po celou dobu skladování byla zajištěna jeho stabilita a nedocházelo k jeho poškození.
- Skladované překlady budou proloženy dřevěnými podložkami (viz kapitola 3.2.3), aby bylo zajištěno jejich bezpečné uchopení.
- Palety s pytli se suchou maltovou směsí budou ukládány do výšky nejvýše 3 m.

- S odpady je nutno nakládat v souladu s požadavky stanovenými zvláštním právním předpisem (zákon č. 185/2001 Sb.). [69]

Při vnitrostaveništní dopravě materiálu jeřábem budou dodržovány tyto zásady:

- Budou zavěšována pouze břemena známé hmotnosti, aby nedošlo k přetížení jeřábu.
- Břemena nebudou zavěšována v místech, kde by mohlo dojít k jejich vysmeknutí.
- Pohyblivé nebo volné části břemene budou před přepravou upevněny nebo odstraněny.
- Před přepravou musí být jeřábník a vazač domluveni na způsobu komunikace.
- Při přepravě je vazač povinen: sledovat břemeno po celé dráze přepravy, upozornit včas všechny osoby v blízkosti přepravovaného břemene na pohyb jeřábu, zdržovat se v bezpečné vzdálenosti od břemene.
- Břemeno nesmí být ukládáno: do dopravních cest a koridorů pohybu osob; do těsné blízkosti hasicích přístrojů, hydrantů, zařízení první pomoci apod.; tak, aby byl zamezen přístup k ovládacím zařízením (hlavním vypínačům apod.).
- Břemena budou přepravována pomocí vhodných vázacích prostředků. [72]

Při přerušení prací z jakéhokoliv důvodu (nepříznivé povětrnostní podmínky, ukončení pracovní směny, pracovní úraz atd.) je povinen vedoucí pracovní čety zabezpečit pracoviště tak, aby se předešlo haváriím. Tzn. odpojit přístroje od zdrojů energií, zajistit předměty proti pádu a uzavřít přístupy na pracoviště. Pracovníci jsou povinni se před nástupem na pracoviště prokázat osvědčením o provedeném školení v oblasti BOZP a osvědčením o zdravotní způsobilosti.

3.9.1 Tradiční způsob zdění

Pracovníci jsou povinni používat osobní ochranné pracovní prostředky: při pohybu na staveništi jsou povinni nosit pracovní helmu, reflexní vestu a pracovní obuv; při provádění prací jsou povinni používat navíc ochranné rukavice, při přípravě malty a řezání bloků navíc ochranné brýle.

V příloze č. 3 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., v odstavci X. jsou specifikovány požadavky na organizaci práce a pracovní postup při zednických pracích, z nichž vyplývají následující opatření:

- Stanoviště pro výrobu malty bude umístěno v bezpečné vzdálenosti od koridoru pohybu osob, tak aby při provozu míchadla stavebních směsí nemohlo dojít k jejich ohrožení.
- Vápenopískové bloky budou na pracovišti uloženy tak, aby pro práci zůstal volný pracovní prostor široký nejméně 0,6 m.
- Na právě vyzdívanou stěnu se nesmí vstupovat nebo ji jinak zatěžovat, a to ani při provádění kontroly svislosti zdiva a vázání rohů.
- Překlady budou po osazení zajištěny tak, aby se nemohly uvolnit nebo posunout. [69]

Tab. 5: Tabulka rizik při zdění tradičním způsobem; zeleně – nízké riziko, žlutě – střední riziko, červeně – vysoké riziko

ČINNOST	RIZIKO	Z	P	OPATŘENÍ
pohyb po pracovišti	zakopnutí	1	4	pravidelný úklid pracoviště
přeprava materiálu jeřábem	pád břemene	4	1	nepřetěžování jeřábu, použití vhodného vázacího prostředku, upevnění / odstranění volných částí břemene, zavěšování břemen na vhodných místech
přeprava materiálu jeřábem	ohrožení osoby břemenem	3	2	ukládání materiálu na vymezená místa bez pohybu osob, řízení přepravy vazačem
zdění	pád zdícího bloku, nářadí	3	2	stabilní postavení při práci, zajištění dostatečného pracovního prostoru
zdění	zhmoždění prstů při manipulaci se zdícími bloky	2	3	používání ochraných rukavic, včasné přistavení montážních schůdků k eliminaci zdění s rukama nad hlavou
zdění	zřícení stavěné zdi	4	1	dodržování technologického postupu (technologická přestávka, vazba zdiva)
výroba malty	zasažení očí maltou	3	3	používání ochranných brýlí, opatrnost při míchání malty
řezání bloků	poranění při řezání stolovou pilou	4	2	zvýšená opatrnost při řezání, dostatečný pracovní prostor
řezání bloků	zasažení očí střepem z bloku	4	3	používání ochranných brýlí

3.9.2 Hadrian X

K vnitrostaveništní dopravě zdicího materiálu do robota bude sloužit paletový nakladač. Této technologie zdění se tak netýkají zásady BOZP k přesunům břemen jeřábem zmíněných na začátku kapitoly 3.9. Na druhou stranu budou přijata opatření k bezpečnému přesunu břemen paletovým nakladačem. Vzhledem k tomu, že na pracovišti při práci robota není nutná přítomnost žádného pracovníka, je eliminováno velké množství rizik vyskytujících se u tradičního způsobu zdění. Rizika spojená s výrobou malty a řezáním zdicích bloků také odpadají, neboť tyto činnosti probíhají automatizovaně uvnitř robota. Pracovníci jsou povinni používat osobní ochranné pracovní prostředky pro pohyb na staveništi: pracovní helmu, reflexní vestu a pracovní obuv.

V příloze č. 2 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., jsou specifikovány bližší minimální požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při provozu a používání strojů na staveništi, z nichž vyplývají pro použití robota následující opatření:

- Před začátkem prací zhotovitel seznámí obsluhu robota s místními provozními a pracovními podmínkami, které mohou ovlivnit bezpečnost práce: únosnost půdy, sklony pojezdové roviny, uložení podzemních vedení technického vybavení, popřípadě jiných podzemních překážek, umístění nadzemních vedení a překážek.
- Obsluha uvede robota do chodu až tehdy, když všechny ohrožené fyzické osoby opustí ohrožený prostor, který je vymezen maximálním dosahem jeho pracovního zařízení zvětšeným o 2 m.
- Obsluha robota bude zaznamenávat jeho závady nebo provozní odchylky a s případnými závadami bude řádně seznámena i střídající obsluha.
- Proti samovolnému pohybu musí být robot zajištěn před začátkem prací v souladu s návodem k používání, tzn. zařazením nejnižšího rychlostního stupně a zabrzděním parkovací brzdy.
- Po ukončení práce a při jejím přerušení musí být zajištěn výložník robota jeho umístěním do přepravní polohy.
- Obsluha robota, která se hodlá vzdálit od robota tak, že nemůže v případě potřeby okamžitě zasáhnout, učiní v souladu s návodem k používání opatření, která zabrání samovolnému spuštění robota a jeho neoprávněnému užití jinou fyzickou osobou, tzn. uzamkne ovládací panel robota.
- Robot musí být ustaven na vhodné stanoviště, kde nezasahuje do komunikací, kde není ohrožena jeho stabilita a kde není

ohrožen padajícími předměty ani činností prováděnou v jeho okolí. [69]

Při přejezdu k dalšímu pracovnímu záběru bude mít robot výložník v přepravní poloze. V případě, že řidič nebude mít dokonalý přehled o situaci v jeho okolí, bude určena osoba vybavená reflexní vestou, která bude sloužit jako navaděč. Překlady budou po osazení zabezpečeny, aby se nemohly uvolnit nebo posunout. Při jejich montáži bude práce robota pozastavena a pracovníci budou používat navíc ochranné rukavice.

Tab. 6: *Tabulka rizik při zdění s pomocí robota Hadrian X; zeleně – nízké riziko, žlutě – střední riziko, červeně – vysoké riziko*

ČINNOST	RIZIKO	Z	P	OPATŘENÍ
ustavení robota	ztráta stability robota vlivem neúnosného podloží	2	1	pojezdy a stanoviště robota jen na zpevněných plochách
ustavení robota	samovolný pohyb robota	3	1	zařazení nejnižšího rychlostního stupně a zabrždění parkovací brzdy
přeprava materiálu paletovým nakladačem	pád břemene	4	1	upevnění / odstranění volných částí břemene, nakládání a přesun palety se zvýšenou opatrností
přesuny robota	zachycení o nadzemní vedení NN	3	2	pojezdy s výložníkem v přepravní pozici
přesuny robota	dopravní nehoda	4	3	dodržování pravidel pohybu vozidel po staveništi, využití navaděče
zdění	ztráta stability robota vlivem propadnutí podzemními objekty vodovodu a kanalizace	2	1	dodržování stanoviště zdění, aby robot nestál nad těmito podzemními objekty
zdění	ohrožení třetí osoby pohyblivým výložníkem	2	2	zákaz vstupu (umístění zábran) na pracoviště před uvedením robota do chodu a po celou dobu zdění
zdění	pád zdícího prvku	3	1	zákaz vstupu (umístění zábran) na pracoviště před uvedením robota do chodu a po celou dobu zdění

3.9.3 SAM 100

Pracovníci jsou povinni používat osobní ochranné pracovní prostředky: při pohybu na staveništi jsou povinni nosit pracovní helmu, reflexní vestu a pracovní obuv; při provádění prací jsou povinni používat navíc ochranné rukavice, při přípravě malty a řezání bloků navíc ochranné brýle.

V příloze č. 3 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., v odstavci X. jsou specifikovány požadavky na organizaci práce a pracovní postup při zednických pracích, z nichž vyplývají následující opatření:

- Stanoviště pro výrobu malty bude umístěno v bezpečné vzdálenosti od koridoru pohybu osob, tak aby při provozu míchadla stavebních směsí nemohlo dojít k jejich ohrožení.
- Vápenopískové bloky budou na pracovišti uloženy tak, aby pro práci zůstal volný pracovní prostor široký nejméně 0,6 m.
- Na právě vyzdívanou stěnu se nesmí vstupovat nebo ji jinak zatěžovat, a to ani při provádění kontroly svislosti zdiva a vázání rohů.
- Překlady budou po osazení zajištěny tak, aby se nemohly uvolnit nebo posunout. [69]

V příloze č. 2 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., jsou specifikovány bližší minimální požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při provozu a používání strojů na staveništi, z nichž vyplývají pro použití robota následující opatření:

- Před začátkem prací zhotovitel seznámí obsluhu robota s místními provozními a pracovními podmínkami, které mohou ovlivnit bezpečnost práce: únosnost půdy, sklony pojezdové roviny, uložení podzemních vedení technického vybavení, popřípadě jiných podzemních překážek, umístění nadzemních vedení a překážek.

- Obsluha robota bude zaznamenávat jeho závady nebo provozní odchylky a s případnými závadami bude řádně seznámena i střídající obsluha.
- Proti samovolnému pohybu musí být robot zajištěn po ukončení práce nebo při jejím přerušení v souladu s návodem k používání.
- Obsluha robota, která se hodlá vzdálit od robota tak, že nemůže v případě potřeby okamžitě zasáhnout, učiní v souladu s návodem k používání opatření, která zabrání samovolnému spuštění robota a jeho neoprávněnému užití jinou fyzickou osobou, tzn. uzamkne ovládací panel robota.
- Plošina s kolejnicemi pro pohyb robota musí být sestaveny na vhodném stanovišti, kde nezasahují do komunikací, kde není ohrožena stabilita robota a kde robot není ohrožen padajícími předměty ani činností prováděnou v jeho okolí. [69]

Při přesunu robota nebo plošiny jeřábem je nutné dodržovat zásady pro vnitrostaveništní dopravu uvedené na začátku kapitoly 3.9. Během zdicích prací bude při doplňování materiálu do robota a dozdívkách otvorů/rohů dbána zvýšená opatrnost, aby nedošlo k nehodě vlivem kolize pracovníka s robotem. Při montáži překladů bude práce robota pozastavena.

Tab. 7: *Tabulka rizik při zdění s pomocí robota SAM 100; zeleně – nízké riziko, žlutě – střední riziko, červeně – vysoké riziko*

ČINNOST	RIZIKO	Z	P	OPATŘENÍ
pohyb po pracovišti	zakopnutí	1	3	pravidelný úklid pracoviště
přeprava materiálu jeřábem	pád břemene	4	1	nepřetěžování jeřábu, použití vhodného vázacího prostředku, upevnění / odstranění volných částí břemene, uchycení břemen na vhodných místech
přeprava materiálu jeřábem	ohrožení osoby břemenem	3	2	ukládání materiálu na vymezená místa bez pohybu osob, řízení přepravy vazačem
ustavení robota	ztráta stability robota vlivem neúnosného podloží	2	1	kolejnice pro pohyb robota jen na zpevněných plochách
ustavení robota	samovolný pohyb robota	2	1	zajištění v souladu s návodem k používání
dozdívky otvorů/rohů	pád zdícího bloku, nářadí	3	1	stabilní postavení při práci, zajištění dostatečného pracovního prostoru
dozdívky otvorů/rohů	zhmoždění prstů při manipulaci se zdícími bloky	2	2	používání ochraných rukavic, včasné přistavení montážních schůdků k eliminaci zdění s rukama nad hlavou
výroba malty	zasažení očí maltou	3	3	používání ochranných brýlí, opatrnost při míchání malty
řezání bloků	poranění při řezání stolovou pilou	4	2	zvýšená opatrnost při řezání, dostatečný pracovní prostor
řezání bloků	zasažení očí střepem z bloku	4	3	používání ochranných brýlí
doplňování materiálu do robota	kolize pracovníka s robotem	2	1	doplňování vždy na začátku pohybu ve směru zdění, přístup zezadu
dozdívky otvorů/rohů	kolize pracovníka s robotem	2	1	dozdívky v místech, kde robot již ukončil práci

3.9.4 KUKA

Pracovníci jsou povinni používat osobní ochranné pracovní prostředky pro pohyb na staveništi: pracovní helmu, reflexní vestu a pracovní obuv.V příloze č. 3 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., v odstavci X. jsou specifikovány požadavky na organizaci práce a pracovní postup při zednických pracích,z nichž vyplývají následující opatření:

- Stanoviště pro výrobu malty bude umístěno v bezpečné vzdálenosti od koridoru pohybu osob, tak aby při provozu míchadla stavebních směsí nemohlo dojít k jejich ohrožení.
- Překlady budou po osazení zajištěny tak, aby se nemohly uvolnit nebo posunout. [69]

V příloze č. 2 k nařízení vlády č. 591/2006 Sb., jsou specifikovány bližší minimální požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při provozu a používání strojů na staveništi, z nichž vyplývají pro použití robota následující opatření:

- Před začátkem prací zhotovitel seznámí obsluhu robota s místními provozními a pracovními podmínkami, které mohou ovlivnit bezpečnost práce.
- Před uvedením robota do provozu zajistí obsluha jeho stabilitu kotvením do železobetonové základové desky. Při technologických přestávkách bude pevnost kotvení průběžně kontrolována.
- Obsluha uvede robota do chodu až tehdy, když všechny ohrožené fyzické osoby opustí ohrožený prostor, který je vymezen maximálním dosahem jeho pracovního zařízení zvětšeným o 2 m.
- Obsluha robota bude zaznamenávat jeho závady nebo provozní odchylky a s případnými závadami bude řádně seznámena i střídající obsluha.
- Obsluha robota, která se hodlá vzdálit od robota tak, že nemůže v případě potřeby okamžitě zasáhnout, učiní v souladu s návodem k používání opatření, která zabrání samovolnému spuštění robota a jeho neoprávněnému užití jinou fyzickou osobou, tzn. uzamkne ovládací panel robota. [69]

Při přesunu robota jeřábem je nutné dodržovat zásady pro vnitrostaveništní dopravu uvedené na začátku kapitoly 3.9. Při montáži

překladů nebo doplňování materiálu bude práce robota pozastavena a pracovníci budou používat navíc ochranné rukavice.

Tab. 8: *Tabulka rizik při zdění s pomocí robota KUKA; zeleně – nízké riziko, žlutě – střední riziko, červeně – vysoké riziko*

ČINNOST	RIZIKO	Z	P	OPATŘENÍ
pohyb po pracovišti	zakopnutí	1	3	pravidelný úklid pracoviště
přeprava materiálu jeřábem	pád břemene	4	1	nepřetěžování jeřábu, použití vhodného vázacího prostředku, upevnění / odstranění volných částí břemene, uchycení břemen na vhodných místech
přeprava materiálu jeřábem	ohrožení osoby břemenem	3	2	ukládání materiálu na vymezená místa bez pohybu osob, řízení přepravy vazačem
ustavení robota	ztráta stability robota	2	1	důslednost při kotvení robota, průběžná kontrola
ustavení robota	samovolný pohyb robota	2	1	zajištění v souladu s návodem k používání
zdění	pád zdícího bloku	3	1	zákaz vstupu do ohroženého prostoru v průběhu zdění
výroba malty	zasažení očí maltou	3	3	používání ochranných brýlí, opatrnost při míchání malty
doplňování materiálu do robota	kolize pracovníka s robotickou rukou	2	1	doplňování materiálu při pozastavenné činnosti robota

3.10 Vliv na životní prostředí

Postup výstavby bude zajištěn tak, aby byl minimalizován negativní vliv na životní prostředí z hlediska hluku, prašnosti, znečištění výfukovými plyny nebo odpady.

3.10.1 Ochrana proti hluku

Pracovníci jsou povinni činit potřebná opatření ke snížení hluku a dbát na to, aby pracovníci i ostatní občané byli jen v nejmenší možné míře vystaveni hluku. Během realizace předmětných konstrukcí nebudou překročeny nejvyšší přípustné limity hladiny akustického tlaku, které jsou

stanoveny zákonem č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a jeho dalšími prováděcími předpisy:

- nařízení vlády č 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací;
- nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.

Nejvyšší přípustné hladiny akustického tlaku jsou stanoveny uvedenými předpisy ve výši 55 dB pro denní dobu 7 – 21 hodin, 50 dB pro dobu 6 – 7 hodin a 21 – 22 hod, 45 dB pro noční dobu 22 – 6 hodin. Tyto hladiny budou upraveny korekcemi s ohledem na druh okolní zástavby. Před zahájením prací budou u výrobců stavebních strojů a robotů ověřeny údaje o výši produkovaného hluku a případně provedena opatření na ochranu proti škodlivému působení hluku. [73, 74, 75]

3.10.2 Ochrana proti znečišťování ovzduší výfukovými plyny a prachem

Během výstavby (při řezání zdicích bloků, přípravě malty ze suché maltové směsi) se nepředpokládá vznik nadměrné prašnosti. Nebudou nutná žádná opatření.

Všechna vozidla, stroje a roboti musí mít platnou revizní kontrolu a musí být ve stavu, kdy neohrožují životní prostředí únikem pohonných hmot, ani nadměrným množstvím spalin. Běh motorů strojů se spalovacími motory bude ponecháván jen na dobu nezbytně nutnou pro vykonávanou práci. [76]

3.10.3 Nakládání s odpady

Odpady, které vzniknou při stavebních pracích, jsou roztřízeny dle druhu, dle vyhlášky č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů (viz tab. 9). Bude s nimi nakládáno dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech. O nakládání s odpady včetně jejich přepravy bude vedena evidence dle stejného zákona. Byly vybrány odpady, kterých při realizaci předmětných konstrukcí vznikne největší množství: plastové obaly z paletovaných materiálů, papírové obaly z pytlů od suché maltové směsi, odřezky vápenopískových bloků (v tab. 9

pod „Cihly“), zbytky zatvrdlé malty (v tab. 9 pod „Beton“) a všechny další odpady v malém množství (v tab. 9 pod „Směsný komunální odpad“). Je nutné zabránit úniku čerstvé malty do půdy, vody a kanalizace. [77, 78]

Tab. 9: *Zatřídění odpadů; kategorie odpadu: nebezpečný odpad (N), ostatní odpad (O)*

KATALOGOVÉ ČÍSLO	DRUH ODPADU	KATEGORIE	NAKLÁDÁNÍ S ODPADY
15 01 01	Papírové a lepenkové obaly	O	recyklace
15 01 02	Plastové obaly	O	recyklace
17 01 01	Beton	O	recyklace / skládka
17 01 02	Cihly	O	recyklace / skládka
20 03 01	Směsný komunální odpad	O	skládka

3.11 Porovnání technologií zdění

V závěrečné kapitole praktické části této práce je provedeno porovnání všech technologií zdění představených v kapitole 2. spolu s tradičním způsobem zdění. Technologie jsou porovnány z různých hledisek dle kapitol 3.3 – 3.10. Součástí každého porovnání je tabulka, ve které jsou uvedeny rozhodující parametry. Pro vyhodnocení je určeno pořadí technologií (1. – nejvýhodnější, 4. – nejméně výhodná).

3.11.1 Přizpůsobivost k odlišným místním podmínkám

Při betonáži základové desky není možné dosáhnout její dokonalé roviny v požadované výšce. Proto musí být před začátkem robotického zdění vyzděna výškově vyrovnaná patní vrstva zdiva. Při výstavbě se tedy využití zedníků nikdy nelze zcela vyhnout. Dobu práce zedníků na stavbě lze však výrazně zkrátit. Všichni srovnávaní roboti využívají 3D model objektu. U robotického zdění lze očekávat větší přesnost zdění a díky tomu i větší kvalitu výsledného zdiva. Podmínkou je však správná kalibrace.

Tradiční způsob zdění je hodnocen z tohoto hlediska jako nejlepší. Nevýhodou je nutnost přistavení lešení nebo montážních schůdků a zdění jednoho podlaží minimálně ve dvou výškových úrovních. Robot Hadrian X má oproti ostatním robotům velký půdorysný dosah a díky tomu nemusí operovat přímo v místě pokládky. Výhodou je také malý počet potřebných

přesunů v rámci staveniště. Přesuny jsou poměrně snadné a není k nim zapotřebí další mechanizace. Robot KUKA vyžaduje k vyzdění předmětných konstrukcí velký počet přesunů jeřábem. Nevýhodou je nutnost poměrně důsledného kotvení do vhodné konstrukce a umístění palety se zdícími prvky přesně na místo, na které byla provedena kalibrace. Není vhodný pro zdění dlouhých přímých úseků. Robot SAM je hodnocen z tohoto hlediska jako nejhorší. Při zdění předmětných konstrukcí je nutný velký počet přesunů, které zahrnují i úpravu délky plošiny s kolejnicemi. Zedníky je nutné využít i k dozdívce rohů a otvorů. Robot je vhodný jen ke zdění delších přímých úseků.

Porovnání technologií zdění s uvedením hlavních výhod a nevýhod je zobrazeno v tab. 10.

Tab. 10: *Porovnání technologií z hlediska přizpůsobivosti k místním podmínkám*

TECHNOLOGIE	VÝHODY	NEVÝHODY	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	- téměř 100% přizpůsobivost místním podmínkám	- menší přesnost zdění - lešení / montážní schůdky při zdění 1 podlaží	1.
Hadrian X	- větší přesnost zdění (3D model) - větší kvalita zdiva - velký půdorysný dosah (bez změny stanoviště) - 1 podlaží - 1 záběr	- zedníci pro vyzdění patní vrstvy - jen ke stavbě přízemních objektů - velký prostor stanoviště robota (cca jako mobilní jeřáb) - nutnost kalibrace	2.
SAM 100	- větší přesnost zdění (3D model) - větší kvalita zdiva	- zedníci pro vyzdění patní vrstvy, dozdívku rohů a otvorů - nutný velký pracovní prostor v místě pokládky - montáž a přesuny kolejnic - neumí zdít rohy, otvory - přesuny jeřábem na další záběr - nutnost kalibrace	4.
KUKA	- větší přesnost zdění (3D model) - větší kvalita zdiva - 1 podlaží - 1 záběr	- zedníci pro vyzdění patní vrstvy - přesuny jeřábem na další záběr - kotvení do ŽB desky - nelze umístit v místě pohybu osob - nutnost kalibrace - paleta se zdícími prvky stále na stejném místě	3.

3.11.2 Počet a kvalifikace potřebných pracovníků

Počet potřebných pracovníků je jednou z charakteristik, které od sebe robotické zdění s tradičním způsobem zdění nejvíce odlišují. V případě, že se

na pracovišti nachází hodně pracovníků, je obtížná koordinace práce. Kvalifikované pracovníky je zase v dnešní době na trhu práce těžké sehnat (viz kapitola 1.3.4.). Je nutno poznamenat, že robotické zdění se prozatím bez asistence člověka v průběhu prací neobejde. Počet potřebných pracovníků může však být značně redukován.

Nejlépe jsou hodnoceni roboti Hadrian X a KUKA, neboť k jejich práci jsou zapotřebí vždy dva pracovníci, z toho jeden funguje jako kvalifikovaná obsluha robota. Robot SAM 100 potřebuje k dokončení zdí navíc minimálně jednoho zedníka. Při zdění tradičním způsobem bude na pracovišti celkem 13 pracovníků, z toho 9 vyučených. Při ručním zdění je tedy největší potřeba kvalifikované pracovní síly.

V tab. 11 je srovnání technologií z hlediska počtu a kvalifikace pracovníků potřebných v průběhu zdění. Podkladem pro toto porovnání jsou údaje z kapitoly 3.3.2 a přílohy C.

Tab. 11: *Porovnání technologií z hlediska počtu a kvalifikace potřebných pracovníků*

TECHNOLOGIE	POČET PRACOVNÍKŮ	KVALIFIKACE	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	13 pracovníků	z toho 9 vyučených	4.
Hadrian X	2 pracovníci	z toho 1 vyučený	1.
SAM 100	2 pracovníci	z toho 2 vyučení	3.
KUKA	2 pracovníci	z toho 1 vyučený	1.

3.11.3 Potřebná mechanizace

Tak jako v předchozí kapitole lze říci, že čím více strojů se na staveništi nachází, tím obtížnější je jejich koordinace. Pro srovnání je uvažován počet strojů jako určující, neboť při jejich poruše musí být práce přerušena a pokračovat může až po opravě nebo výměně.

Při ručním zdění je jeřáb používaný pouze k přísunu materiálu. V práci lze při jeho poruše pokračovat ve ztížených podmínkách. Robot Hadrian X nepotřebuje při práci jeřáb vůbec, místo něj využívá paletový nakladač. Dokáže automatizovaně řezat zdicí bloky a připravit pojivo. SAM 100 a KUKA vyžadují přípravu malty a řezání zdicích bloků, jejich provoz se tak neobejde bez pily a míchadla. Jejich přesun nemůže být v daných podmínkách zprostředkován jinak než pomocí jeřábu.

V tab. 12 je srovnání technologií z hlediska potřebné mechanizace. Podkladem pro toto porovnání jsou údaje z kapitoly 3.3.4.

Tab. 12: *Porovnání technologií z hlediska potřebné mechanizace*

TECHNOLOGIE	STROJE	PŘÍSTROJE	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	- jeřáb stavební věžový	- pila stolová - míchadlo stavebních směsí	1.
Hadrian X	- robot Hadrian X - paletový nakladač		2.
SAM 100	- robot SAM 100 - jeřáb stavební věžový	- pila stolová - míchadlo stavebních směsí	4.
KUKA	- robot KUKA - jeřáb stavební věžový	- míchadlo stavebních směsí	3.

3.11.4 Univerzálnost z hlediska použitých materiálů

V této kapitole je hodnoceno spektrum použitelných materiálů. Aby mohlo být porovnání provedeno, bylo v průběhu zpracování této práce ignorováno omezení použitelných materiálů pro jednotlivé technologie zdění. Byla provedena úprava typu tvarovek, ze kterých jsou předmětné konstrukce navrženy (viz kapitola 3.3.5). Původní VAPIS QUADRO byly změněny na VAPIS 6DF tl. 175 mm (rozměry: 248x175x248 mm, hmotnost 20,3 kg). V této kapitole je však nutné zmínit, že některými technologiemi by předmětné konstrukce z předepsaných materiálů nemohly být realizovány.

V tab. 13 jsou vypsána hmotnostní, rozměrová a materiálová omezení u každé technologie zdění. Pokud lze předepsaný materiál použít, je pole označeno zeleně, pokud ne, je označeno červeně. Podkladem pro toto porovnání jsou údaje z kapitol 2.1.3, 2.2.3 a 3.2.1. Z tohoto porovnání je vynechán robot KUKA, neboť jeho vývoj ještě není u konce a materiálová omezení tak nelze určit.

Tab. 13: *Porovnání použitelnosti z hlediska materiálových omezení*

TECHNOLOGIE	ZDÍCÍ PRVKY	POJIVO	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	- mezní zátěž: cca 25 kg	- všechny typy	1.
Hadrian X	- mezní rozměr: 250 x 490 x 250 mm - mezní zátěž: 22 kg	- PUR lepidlo	2.
SAM 100	- mezní rozměr: cca 290 x 140 x 65 mm - mezní zátěž: 10 kg	- malta	2.
KUKA	-	-	-

3.11.5 Porovnání rychlosti výstavby

Dle vypočtených rychlostí zdění jednotlivých technologií (viz kapitola 3.5) byla předpokládána kratší doba výstavby zdicími roboty. Ve skutečnosti lze tento předpoklad brát v potaz jen u modelových případů, v ideálních podmínkách pro robota. Přesuny robota obecně trvají dlouhou dobu a v některých případech jich musí být mnoho. Dalším problémem se jeví kalibrace, jejíž provedení musí být učiněno po každém přesunu. Výrobci často zmiňují, že velkou výhodou u robotického zdění je možnost výstavby 24 hodin denně 7 dní v týdnu. V praxi lze velký časový fond robota obtížně využít, neboť je nutná průběžná asistence člověka při jeho práci.

Nejrychleji by proběhla výstavba s pomocí robota Hadrian X. Druhou nejrychlejší možností by byl, při zvoleném počtu zedníků, tradiční způsob zdění. K výstavbě tímto způsobem by však byla potřeba více než dvakrát delší doba, než v případě robota Hadrian X. Výstavba robotem SAM 100 by trvala přibližně o polovinu déle než při tradičním způsobu zdění. Nejdelší doba výstavby byla vypočtena u zdění robotem KUKA. Na vině příliš dlouhé výstavby u posledních dvou zmíněných technologií je hlavně nadměrný počet přesunů. Přesné doby výstavby všech technologií zdění se nachází v tab. 14. Podkladem pro toto porovnání jsou údaje z kapitoly 3.5.

Tab. 14: *Porovnání doby výstavby*

TECHNOLOGIE	DOBA VÝSTAVBY	POČET SMĚN	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	82 dnů	55 směn	2.
Hadrian X	28 dnů	21 směn	1.
SAM 100	104 dnů	75 směn	3.
KUKA	198 dnů	142 směn	4.

3.11.6 Porovnání nákladů

U robotického zdění byly předpokládány téměř nulové náklady na mzdy. Při zkoumání robotických technologií zdění však bylo zjištěno, že u každé z nich musí být v průběhu zdění z různých důvodů přítomen minimálně jeden pracovník. Ten musí do robota doplňovat materiál, zajišťovat jeho přesuny nebo ho jinak obsluhovat. Náklady na mzdy jsou v porovnání s tradičním způsobem zdění přesto znatelně redukovány.

V tab. 15 je zobrazeno porovnání technologií z hlediska nákladů. Podkladem pro toto porovnání jsou údaje z kapitoly 3.7. Je zde také sloupec s mzdovou složkou, kterou byla nejvíce ovlivněna velikost celkových nákladů. Bylo vypočteno, že nejlevnější variantou je zdění robotem Hadrian X. Technologie zdění s pomocí robotů SAM 100 a KUKA je shodně přibližně o 0,6 milionu Kč draží. Nejdražší variantou je dle předpokladů zdění tradičním způsobem, kde byly celkové náklady kalkulovány na 4,2 mil. Kč.

Tab. 15: *Porovnání nákladů*

TECHNOLOGIE	CELKOVÉ NÁKLADY	NÁKLADY NA MZDY	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	4 200 796 Kč	1 212 346 Kč	4.
Hadrian X	3 341 167 Kč	185 488 Kč	1.
SAM 100	3 981 186 Kč	466 100 Kč	2.
KUKA	4 062 687 Kč	729 565 Kč	3.

3.11.7 Porovnání z hlediska BOZP

Nejjednodušším způsobem, jak předejít vzniku pracovních úrazů, je vyloučení přítomnosti osob z pracovního procesu. Při robotickém zdění je minimalizován počet a úroveň bezpečnostních rizik a tím i úrazů. Některá rizika s využitím robotické technologie zase přibyla, hlavně u robotů, kde je potřebné průběžné doplňování materiálu.

V tab. 16 je u každé technologie uveden počet rizik vysoké a střední úrovně (viz kapitola 3.9). Podle toho je hodnocena její celková rizikovost. Nejrizikovější je dle předpokladů zdění tradičním způsobem. Druhou nejrizikovější technologií je, hlavně kvůli neustálé asistenci dvou pracovníků, zdění robotem SAM 100. Nejméně rizikové je zdění roboty KUKA a Hadrian X, kdy je přítomnost pracovníka v místě pokládky zcela vyloučena.

Tab. 16: *Porovnání z hlediska BOZP*

TECHNOLOGIE	VYSOKÁ RIZIKA	STŘEDNÍ RIZIKA	POŘADÍ
Tradiční způsob zdění	3	6	4.
Hadrian X	1	3	2.
SAM 100	3	3	3.
KUKA	1	2	1.

4 Celkové hodnocení využití technologie robotického zdění

V této kapitole je hodnoceno praktické využití vybraných robotických technologií zdění v porovnání s tradičním způsobem zdění.

Na úvod celkového hodnocení je potřeba zmínit, že v průběhu zpracovávání praktické části této práce byla u každé robotické technologie zjištěna minimálně jedna překážka, kvůli které by robota nebylo možné využít k realizaci předmětných konstrukcí na vybraném objektu. Hlavní nedostatky robotických technologií zdění byly přizpůsobivost okolním podmínkám a univerzálnost z hlediska použitelných materiálů.

4.1 Tradiční způsob zdění

Při zdění předmětných konstrukcí tradičním způsobem není potřeba pracoviště nijak přizpůsobovat a použití těžké mechanizace není podmínkou. Jediným omezením z hlediska použitelných materiálů je, že zdicí prvek nesmí mít příliš velkou hmotnost, tzn. aby s ním zedník zvládl manipulovat.

Na druhou stranu pro to, aby doba výstavby nebyla příliš dlouhá, by bylo na staveništi potřeba cca 6x více pracovníků než u robotických technologií. Z toho důvodu je tradiční způsob zdění nejdražší a zároveň z hlediska bezpečnosti práce nejrizikovější variantou.

4.2 Hadrian X

Výstavba by trvala nejkratší dobu a zároveň by byla nejlevnější. Oproti ostatním robotickým technologiím má Hadrian X velký půdorysný dosah, nemusí tedy být tak často přesouván a jeho přesuny navíc nejsou komplikované. K výhodám patří také malý počet potřebných pracovníků.

Při hodnocení je však upuštěno od faktu, že robot neumí využívat jiné pojivo než PUR lepidlo. Problém by nastal, pokud by se předmětné konstrukce nacházely výše než v 1. NP. V tomto případě by robota nešlo využít.

Realizace předmětných konstrukcí robotem Hadrian X je hodnocena jako nejvýhodnější z porovnávaných technologií.

4.3 SAM 100

Robot SAM 100 je specializován na zdění dlouhých přímých úseků ze zdicích prvků malých rozměrů, např. přizdívek z lícových cihel. Předmětné konstrukce nejsou tohoto typu. Robot neumí zdít rohy a otvory, je tedy nutná realizace po jednotlivých stěnách. V tom případě by nebylo možné provazování jednotlivých stěn a musely by být vytvářeny tupé spoje, přičemž by zase bylo koordinačně komplikované zajistit ukládání ocelových kotev do ložných spár v průběhu zdění robota.

K výhodám patří malý počet potřebných pracovníků. Uvedení robota do chodu předchází dlouhá a složitá montáž plošiny s kolejnicemi, po kterých se robot pohybuje. Výstavba předmětných konstrukcí by tedy trvala déle než v případě zdění tradičním způsobem při poměrně malé úspoře nákladů. Kvůli nutnosti asistence pracovníků při zdění by se příliš nezmenšil ani počet bezpečnostních rizik.

Robot navíc nedokáže pracovat s materiály předepsanými projektovou dokumentací. Během zkoumání práce robota z videí od výrobce bylo zjištěno, že robot na zdicí prvky nanáší větší než nutné množství malty. Ztratné by bylo v tomto případě větší než u ostatních porovnávaných technologií, což by mělo vliv i na náklady na materiál.

Z výše uvedených důvodů je využití robota ke zdění předmětných konstrukcí hodnoceno jako nejméně výhodné.

4.4 KUKA

Vývoj robota KUKA ještě není ukončen, a proto je obtížné hodnotit výhodnost jeho využití. Pro účel této práce a možnost srovnání byly stanoveny určité předpoklady, jak by robot mohl vypadat a fungovat.

Mezi jeho přednosti patří bezpečnost pracovního procesu a malý počet potřebných pracovníků.

Kvůli příliš velkému počtu přesunů by realizace předmětných konstrukcí robotem KUKA trvala nejdéle ze všech porovnávaných technologií. Úspora nákladů je přitom podobná jako u technologie zdění robotem SAM 100. Další nevýhodou je nutnost kotvení robota do konstrukce.

Závěr

Na začátku práce byla zmapována historie a současný stav automatizace a robotizace ve stavebnictví. Byly zjištěny faktory bránící digitalizaci stavební výroby, zároveň byly stanoveny předpoklady pro robotizaci stavebnictví. V další části byly vybrány a představeny tři robotické systémy, jako zástupci současných pokrokových technologií zdění: Hadrian X, SAM 100 a KUKA. Byly potvrzeny předpoklady, že roboti se vyznačují rychlejším zděním než zedníci, ale většina z představených systémů jsou prototypy, tzn. prozatím je nelze koupit a nebyla ověřena jejich využitelnost v praxi.

Následně byly robotické technologie srovnávány s tradičním způsobem zdění při použití na stavbě konkrétního objektu. Bylo provedeno porovnání z různých hledisek, z nichž jako nejdůležitější byly určeny náklady a doba výstavby. Z tohoto porovnání vyšel nejlépe robot Hadrian X, s menšími náklady a kratší dobou výstavby. Naopak nejhůře bylo vyhodnoceno zdění robotem SAM 100, s minimální úsporou nákladů při znatelně delší době výstavby.

Z výsledků diplomové práce je patrné, že samotný údaj o rychlosti zdění robota není relevantní. Na celkovou produktivitu práce má velký vliv doba trvání podpůrných činností, souvisejících hlavně s přesuny robota. V průběhu zpracovávání práce musela být navíc přijata opatření, aby předmětné konstrukce mohly být realizovány všemi vybranými technologiemi.

Robotizací vhodných procesů by mohla být zvýšena produktivita stavební výroby, zároveň by mohly být vyřešeny problémy s nedostatkem kvalifikované pracovní síly na trhu práce, velkým počtem úrazů nebo velkou spotřebou materiálu. Stavebnictví však ve vývoji zaostává za ostatními průmyslovými odvětvími a není připraveno na využívání robotických systémů. Hlavními překážkami pro jejich využívání je nízký stupeň digitalizace a malá přizpůsobivost robotů. Jedním z předpokladů pro plnou digitalizaci stavebnictví je příprava legislativy a podpora implementace BIM státem. Jedna z možností řešení problému s přizpůsobivostí je zohledňovat výstavbu pomocí robotických technologií už ve fázi návrhu.

Seznam použité literatury

[1] Cihla. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 22. 12. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Cihla&oldid=16799236

[2] Beton. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 5. 04. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Beton&oldid=15986231

[3] Zdivo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 9. 10. 2016 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Zdivo&oldid=14189627

[4] HILL, Jonathan. Building the Drawing. *Architectural Design* [online]. 2005, **75**(4), 13-21 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1002/ad.98. ISSN 0003-8504. Dostupné z: http://doi.wiley.com/10.1002/ad.98

[5] KOHOUT, Jaroslav, Kamil BARTÁK a Antonín TOBEK. *Zednictví: tradice z pohledu dneška*. 8. upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 1998. Stavitel. ISBN 80-7169-653-6.

[6] BÍLÝ, Petr. Zděné konstrukce. In: *Betonové a zděné konstrukce Q (133BZKQ)* [online prezentace]. ČVUT v Praze:Fakulta stavební, 12.09.2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/www/bilypet1/vyuka/BZKQ/Zdivo_prednaska.pdf

[7] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007-1.

[8] *ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6:Navrhování zděných konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. Česká technická norma.

[9] ROVNANÍKOVÁ, Pavla. Stavební pojiva: Constructive binder : historie - současnost - perspektivy vývoje : teze přednášky ke jmenování profesorem v oboru fyzikální a stavebně materiálové inženýrství. Brno: VUTIUM, 2004. ISBN 80-214-2542-3. Dostupné také z: http://www.vutium.vutbr.cz/tituly/pdf/ukazka/80-214-2542-3.pdf

[10] Cement. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 7. 02. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Cement&oldid=15835923

[11] Malta (materiál). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 28. 12. 2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Malta_(materi%C3%A1l)&oldid=15685649

[12] DVORSKÝ, Tomáš. Komentář k vazbě zdiva. In: *BZKE - Betonové a zděné konstrukce* [online]. ČVUT v Praze: Fakulta stavební, 2009-03-31 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~dvorstom/v_beton/zdivo_vazba_zdiva_komentar.pdf

[13] Vazby cihelného zdiva. In: *Arts lexikon: On-line výkladový slovník arts managementu a arts marketingu* [online]. 2015 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://www.artslexikon.cz/images/Zdivo1.jpg

[14] MORAVEC, Hans Peter. Robot. In: *Britannica Academic* [online]. Encyclopædia Britannica, 25 Feb. 2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://academic-eb-com.ezproxy.techlib.cz/levels/collegiate/article/robot/63935

[15] NEWTON, David E. *Robots: a reference handbook*. Santa Barbara, California: ABC-CLIO, [2018]. ISBN 978-1-4408-5862-8.

[16] MORAN, Michael E. The da Vinci Robot. *Journal of Endourology* [online]. 2006, **20**(12), 986-990 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1089/end.2006.20.986. ISSN 0892-7790. Dostupné z: http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/end.2006.20.986

[17] Herbert Televox: the Mechanical Man. In: *The Digital Research Libary of Illinois History Journal* [online]. Neil Gale, 2016, November 22, 2016 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://1url.cz/2M2dM

[18] History of robots. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 31 December 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=History_of_robots&oldid=876189932

[19] Unimate: The First Industrial Robot. In: *Robotics.org: A Tribute to Joseph Engelberger* [online]. [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.robotics.org/joseph-engelberger/images/tonight_show.jpg

[20] Android. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 5. 12. 2016 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Android&oldid=14391381

[21] Cyberknife. In: *Stanford: Artificial Intelligence Laboratory* [online]. Stanford University: Jean-Claude Latombe, 05-Mar-1997 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://robotics.stanford.edu/~latombe/projects/cyberknife.gif

[22] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. Robot density rises globally. *IFR Press Releases* [online]. Frankfurt, Feb 07, 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robot-density-rises-globally

[23] Robot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 13. 12. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Robot&oldid=16775820

[24] Autonomní vozidlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 12. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Autonomn%C3%AD_vozidlo&oldid=16767756

[25] BOCK, Thomas a Thomas LINNER. Robot-oriented design: design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction. New York: Cambridge University Press, [2015]. ISBN 978-1-107-07638-9.

[26] KRESS, Celina. Zwischen Bauhaus und Bürgerhaus: Die Projekte des Berliner Bauunternehmers Adolf Sommerfeld. Zur Kontinuität suburbaner Stadtproduktion und rationellen Bauens in Deutschland 1910-1970. Berlin, 2008. Doctoral Thesis. Technische Universität Berlin, Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt. Vedoucí práce Cramer, Johannes.

[27] Bad Dürrenberg: Gross-Siedlung. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, Mai 1930 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Bundesarchiv_Bild_102-09733%2C_Bad_D%C3%BCrrenberg%2C_Gross-Siedlung.jpg

[28] Construction productivity 1950-2012. In: *Construction Users Roundtable* [online]. Cincinnati, Ohio [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.curt.org/wp-content/uploads/2017/02/Productivity-Change-1950-2012.jpg

[29] BECHTHOLD, Martin. The Return of the Future: A Second Go at Robotic Construction. *Architectural Design* [online]. 2010, **80**(4), 116-121 [cit. 2019-01-03]. DOI: 10.1002/ad.1115. ISSN 00038504. Dostupné z: http://doi.wiley.com/10.1002/ad.1115

[30] SMISEK, Peter. A Short History of "Bricklaying Robots". *THE B1M* [online]. 2012, 17 October 2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.theb1m.com/video/a-short-history-of-bricklaying-robots

[31] ANDRES, Jürgen, Thomas BOCK, Friedrich GEBHART a Werner STECK. First Results of the Development of the Masonry Robot System ROCCO: a Fault Tolerant Assembly Tool. In: *Automation and Robotics in Construction XI*. New York: Elsevier, 1994.

[32] Socialistický realismus (architektura). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 30. 05. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Socialistick%C3%BD_realismus_(architektura)&oldid=16124586

[33] Prefabrikace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 18. 07. 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Prefabrikace&oldid=16253788

[34] KOVÁŘÍK, Michal. *Prezentace "Robotické technologie ve stavebnictví"*. Speciální technologie (122SPTE). Katedra technologie staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2017.

[35] Number and rate of fatal occupational injuries, by industry sector, 2013. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/Number_and_rate_of_fatal_occupational_injuries.png

[36] Pracovní úrazovost: Analýza smrtelné pracovní úrazovosti 2016. In: *Znalostní systém prevence rizik v BOZP* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-urazovost/526-analyza-smrtelne-pracovni-urazovosti-2016

[37] Resource efficiency in the building sector: Final report. In: *EU Sustainable Development Strategy* [online]. Rotterdam: ECORYS, 2014, 23 May 2014 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/environment/eussd/pdf/Resource%20efficiency%20in%20the%20building%20sector.pdf

[38] KOVÁŘÍK, Michal. *TRENDY EVROPSKÉHO STAVEBNICTVÍ: Nástin koncepce Stavebnictví 4.0*. [přednáška]. CIIRC ČVUT, TopExpo, 29.10.2018.

[39] SYNEK, Jaroslav. METROSTAV. *TRENDY EVROPSKÉHO STAVEBNICTVÍ: Digitalizace procesů ve stavebnictví*. [přednáška]. CIIRC ČVUT, TopExpo, 29.10.2018.

[40] MORRIS, Chris. Your Next Home Could Be 3D-Printed. In: *FORTUNE* [online]. April 23, 2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://fortune.com/2018/04/22/3d-printed-homes/

[41] CEJNAROVÁ, Andrea. Od 1. průmyslové revoluce ke 4. In: *Technický portál.cz: Ekonomika/byznys* [online]. 4. červen 2015 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html

[42] MAŘÍK, Vladimír. *Stavebnictví a Průmysl 4.0* [online prezentace]. CIIRC: České vysoké učení technické v Praze, 2018, 23.4.2018 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://www.top-expo.cz/domain/top expo/files/smart-city/smart-city-2018/tes-23.4./prezentace/marik_vladimir.pdf

[43] ROSER, Christoph. Diagram znázorňující 4 industriální revoluce včetně průmyslu 4.0. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 4. září 2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_4.0#/media/File:Industry_4.0_(cs).png

[44] KOLIBA, Jiří. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *TRENDY EVROPSKÉHO STAVEBNICTVÍ: Státní podpora implementace robotizace do stavebnictví*. [přednáška]. CIIRC ČVUT, TopExpo, 29.10.2018.

[45] Co je BIM. In: *CzBIM* [online]. Praha: Odborná rada pro BIM [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: http://www.czbim.org/co-je-bim.html

[46] Koncepce zavádění metody BIM v České republice. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu: BIM* [online]. Praha, září 2017 [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/2017/10/Koncepce-zavadeni-metody-BIM-v-CR.pdf

[47] TOMANOVÁ, Štěpánka. BIM: základní principy aneb návrat ke spolupráci. In: *ČESKÁ KOMORA AUTORIZOVANÝCH INŽENÝRŮ A TECHNIKŮ ČINNÝCH VE VÝSTAVBĚ* [online prezentace]. Praha: ČKAIT, 2017, 18.9.2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: http://www.ckait.cz/sites/default/files/princi_metodiky_bim.pdf

[48] Míra nezaměstnanosti v Česku je nejnižší za posledních 22 let. Stejně je nejnižší z celé EU. *IROZHLAS* [online]. Praha, 1997, 11. července 2018 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: http://irozhl.as/4vb

[49] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. STAVEBNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY 2017. In: *Sekce průmyslu – Odbor ekonomických analýz: Sekce stavebnictví – Odbor stavebnictví a stavebních hmot* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/informace-z-odvetvi/2018/2/Stavebnictvi-2017_final.pdf

[50] Míra nezaměstnanosti ČR: 2010-2018. In: *Google: Public Data* [online]. Google, 2014, 12. 12. 2018 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://1url.cz/3M2dt

[51] Hadrian X. In: *Designing Buildings Wiki: Share your construction knowledge* [online]. Designing Buildings, 10 Sep 2018 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Hadrian_X

[52] JURČA, Martin. Stavební robot Hadrian X dokáže položit až 1000 cihel za hodinu. *E15.cz: Magazín* [online]. CZECH NEWS CENTER, 2001, 6. srpna 2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.e15.cz/magazin/stavebni-robot-hadrian-x-dokaze-polozit-az-1000-cihel-za-hodinu-1335604

[53] FBR: Fastbrick Robotics [online]. FBR [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.fbr.com.au/

[54] *Construction Robotics: Advancing Construction* [online]. Victor, NY: Construction Robotics, 2007 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.construction-robotics.com/

[55] ZERNDT, Zack. WILL SAM THE ROBOT BRICKLAYER SEND MASONS TO THE UNEMPLOYMENT LINE?. In: *CONCRETE CONSTRUCTION: Resources for contractors and specifiers including construction methods, materials and practices* [online]. Hanley Wood Media, March 31, 2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.concreteconstruction.net/business/technology/will-sam-the-robot-bricklayer-send-masons-to-the-unemployment-line_o

[56] Semi-Automated Mason Capable of Laying 3,000 Bricks Per Day. In: *IReviews* [online]. Walnut Creek, CA, USA: iReviews, April 5, 2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.ireviews.com/news/2017/04/05/sam100-semi-automated-mason

[57] GREGERSON, John. Retooled robotic mason brings added might to sites. In: *BUILTWORLDS* [online]. Chicago, IL: BuiltWorlds, March 8, 2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://builtworlds.com/news/retooled-robotic-mason-brings-added-might-to-sites/

[58] USMANOV, Vjačeslav. Rešerše stavu techniky v ČR a ve světě: Technologie robotického zdění. Praha, 2018.

[59] SAM100: How To load SAM on the HydroMobile. In: *YouTube* [online video]. kanál Construction Robotics, 1. 7. 2015, 1:13 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=70yhIQrcFL8

[60] VOŘÍŠEK, Lukáš. Robotický dělník SAM staví zdi z cihel. Za den udělá 5x více práce, než člověk. In: *InSmart* [online]. RightWords, 29.4.2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://insmart.cz/roboticky-delnik-sam-stavi-zdi-cihel-za-den-udela-5x-vice-prace-nez-clovek/

[61] Modelování průmyslového robotického zdicího systému. *Celý svět* [online]. www.celysvet.cz, 2017 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: http://www.celysvet.cz/kuka/

[62] USMANOV, Vjačeslav. *Osobní sdělení, konzultace dne 13. listopadu 2018*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební.

[63] Specifikace robota: KUKA KR10 R1100 sixx (KR AGILUS). In: *Katedra technologie staveb (k122)* [online]. Praha: ICT koncern e-invent, 2007 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: http://technologie.fsv.cvut.cz/veda-a-vyzkum/laborator-pro-robotizaci-stavebnich-procesu/specifikace-robota

[64] India's Import Export Data: Detailed Import Data of kuka robots kr. In: *ZAUBA* [online]. Nov-01-2016 [cit. 2019-01-04]. Dostupné z: https://www.zauba.com/import-kuka+robots+kr-hs-code.html

[65] POSPÍCHAL, Václav. *Studijní materiál "Základy návrhu zařízení staveniště"*. Zařízení staveniště (122ZAS). Katedra technologie staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, 2008.

[66] Zákon č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů ve znění pozdějších předpisů (ZDP). Praha: Dashöfer, c2005-2012. AZ (Dashöfer).

[67] VESELÁ, Linda. *Základní kontrolní postupy: Geometrická přesnost*. Verze 1.1. Stavební fakulta ČVUT, Katedra technologie staveb, 2015.

[68] ČESKO. Zákon č. 309/2006 Sb.: Zákon, 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). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2006, částka 96. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309

[69] ČESKO. Nařízení vlády č. 591/2006 Sb.: Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2006, částka 188. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-591

[70] ČESKO. Nařízení vlády č. 362/2005 Sb.: Nařízení vlády o bližších požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na pracovištích s nebezpečím pádu z výšky nebo do hloubky. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2005, částka 125. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-362

[71] SKANSKA. Seznam hlavních bezpečnostních rizik. 2017.

[72] CHROMEČKA, Miroslav a Miroslav UHLÍŘ. *Vazač: příručka vazače břemen*. Techno, 2007.

[73] ČESKO. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2011, částka 97. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272

[74] ČESKO. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2007, částka 111. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361

[75] ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb.: Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 74. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258

[76] ČESKO. Zákon č. 56/2001 Sb.: Zákon o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 21. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-56

[77] ČESKO. Vyhláška č. 93/2016 Sb.: Vyhláška o Katalogu odpadů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016, částka 38. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93

[78] ČESKO. Zákon č. 185/2001 Sb.: Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001, částka 71. Dostupné také z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185