

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STAVEBNÍ  
KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**AUTOMATIZACE KONTROLY KVALITY ZDĚNÉ  
KONSTRUKCE ZA POUŽITÍ ROBOTICKÉHO  
SYSTÉMU**

**2021**

**BC. KRISTÝNA HYTYCHOVÁ**

**VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:  
ING. VJAČESLAV USMANOV, PH.D.**

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatur uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne .....

.....

Bc. Kristýna Hytychová

### *Poděkování*

*Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Vjačeslavovi Usmanovovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady a připomínky, za pomoc při provádění praktické ukázky a vstřícný přístup při konzultacích.*

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Hytychová Jméno: Kristýna Osobní číslo: 458783  
Zadávací katedra: K122 - Katedra technologie staveb  
Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství  
Studijní obor: (3607T045) Příprava, realizace a provoz staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Automatizace kontroly kvality zděné konstrukce za použití robotického systému  
Název diplomové práce anglicky: Automated quality control of rough brick construction using robotic system

Pokyny pro vypracování:

Rešerše současného stavu zapojení robotů do procesů stavby

Kvalita ve stavebnictví

Senzory umožňující digitální formu kontroly kvality na stavbách

Návrh způsobu automatizace manuální kontroly kvality zděné stavby

Návrh konstrukce a funkce robotického systému pro kontrolu kvality hrubé zděné stavby

Posouzení a porovnání klasických a robotických metod kontroly kvality

Seznam doporučené literatury:

Jarský, Č.; Musil, F.; Svoboda, P.; Gašpářík, J.; Motyčka, V.; Pospíchal, V.; Vyčítal, M.: Technologie staveb II  
Příprava a realizace staveb. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-7204-994-3

KLVAŇA, J. Modelování 20: Operační výzkum. 3. vyd. 246 s. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03263-9

SVÍTEK, M., BORKA, J., VLČEK M.: Modelování systémů a procesů. Praha: ČVUT v  
Praze, 2001. 135 s. ISBN 80-01-02361-3

KRL – Kuka Robotic Language - Reference Guide. Release 4.1. 135 pages. KUKA Roboter GmbH

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Vjačeslav Usmanov, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 2020 Termín odevzdání diplomové práce: 03. 01. 2021  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Anotace**

HYTYCHOVÁ, Kristýna. *Automatizace kontroly kvality zděné konstrukce za použití robotického systému*

Hlavním cílem této diplomové práce je nalezení způsobu automatizace kontroly kvality zděné konstrukce, jež bude vyhotovena autonomním zdícím systémem. Dalším cílem je shrnutí aktuálních legislativních požadavků na svislé konstrukce, dále vytvoření technologického postupu pro navrhnutý systém kontroly kvality a provedení analýzy srovnávající efektivitu manuálních metod pro kontrolu kvality zděných konstrukcí oproti metodám zahrnující autonomní robotický systém. Závěrem diplomové práce je praktická ukázka pro lepší představu o designu a fungování výsledného systému.

### **Klíčová slova:**

Stavební robot, automatizace, kontrola kvality, technologický postup, zdivo

## **Annotation**

HYTYCHOVÁ, Kristýna. *Automated quality control of brick construction using robotic systém*

The main aim of this diploma thesis is to find quality control automation method of brick construction constructed by autonomous construction system. The next aim is to collect current vertical construction legislative requirements, to create technological procedure for proposed quality control system and to perform effectivity analysis to compare manual quality control methods vs. methods using autonomous robotic system. There will be practical demonstration of resulting system to have better idea about its design and functionality.

### **Keywords:**

Construction robot, automation, quality control, technological process, masonry

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ZAPOJENÍ ROBOTŮ DO PROCESŮ STAVBY</b> .....	<b>11</b>
2.1	STAVEBNICTVÍ 4.0 .....	11
2.2	ČESKO VS. ZAHRANIČÍ (POROVNÁNÍ MNOŽSTVÍ ZAPOJENÝCH MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ DO PROCESŮ STAVBY).....	12
<b>3</b>	<b>KVALITA VE STAVEBNICTVÍ</b> .....	<b>18</b>
3.1	PROČ ŘEŠÍME GEOMETRICKOU PŘESNOST ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ A JEJÍ VLIVY .....	18
3.2	LEGISLATIVA SPOJENÁ S KVALITOU ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ .....	19
3.3	PRŮBĚH MANUÁLNÍ KONTROLY ZDĚNÉ KVALITY KONSTRUKCE.....	21
3.3.1	<i>Svislost konstrukcí</i> .....	21
3.3.2	<i>Vzdálenost svislých protilehlých konstrukcí</i> .....	23
3.3.3	<i>Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí</i> .....	24
3.3.4	<i>Místní rovinnost svislých konstrukcí</i> .....	26
3.3.5	<i>Pravoúhlost svislých konstrukcí</i> .....	28
<b>4</b>	<b>SENZORY UMOŽŇUJÍCÍ DIGITÁLNÍ FORMU KONTROLY KVALITY NA STAVBÁCH</b> .....	<b>31</b>
4.1	OPTICKÉ SENZORY .....	31
4.2	ULTRAZVUKOVÉ SENZORY .....	36
4.3	SENZOR POLOHY .....	37
4.4	INERCIÁLNÍ SENZORY – POHYBOVÉ .....	39
<b>5</b>	<b>NÁVRH ZPŮSOBU AUTOMATIZACE MANUÁLNÍ KONTROLY KVALITY ZDĚNÉ STAVBY</b> .....	<b>44</b>
5.1	TECHNOLOGICKÝ POSTUP AUTOMATICKÉ KONTROLY KVALITY ZDĚNÉ KONSTRUKCE.....	45
5.2	AUTONOMNÍ ROBOTICKÝ STAVEBNÍ SYSTÉM .....	49
<b>6</b>	<b>NÁVRH KONSTRUKCE A FUNKCE ROBOTICKÉHO SYSTÉMU PRO KONTROLU KVALITY HRUBÉ ZDĚNÉ STAVBY</b> .....	<b>55</b>
6.1	POPIS KONSTRUKCE ROBOTICKÉHO SYSTÉMU PRO KONTROLU KVALITY HRUBÉ ZDĚNÉ KONSTRUKCE.....	55
6.1.1	<i>Robotické rameno KUKA Quantec KR120 R3900 Ultra K</i> .....	56
6.1.2	<i>Senzor pro měření vzdálenosti SICK OD2–P300W200I0</i> .....	58
6.1.3	<i>Elektroinstalace průmyslového robota</i> .....	60
6.2	FUNKCE ROBOTICKÉHO SYSTÉMU PRO KONTROLU KVALITY HRUBÉ ZDĚNÉ KONSTRUKCE.....	61
6.2.1	<i>Popis funkce systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce</i> ..	61
6.2.2	<i>Rizika spojená s provozem systému v aktuálním stavu</i> .....	64
6.2.3	<i>Potenciální využití výstupních dat systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce</i> .....	66
<b>7</b>	<b>PRAKTICKÁ UKÁZKA</b> .....	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>POSOUZENÍ A POROVNÁNÍ KLASICKÝCH A ROBOTICKÝCH METOD KONTROLY KVALITY</b> .....	<b>74</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>77</b>
	<b>ZDROJE A POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>79</b>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	85
SEZNAM TABULEK.....	87
SEZNAM ROVNIC.....	87
SEZNAM OBRÁZKŮ POUŽITÝCH V TEXTU.....	88
SEZNAM PŘÍLOH.....	91



# 1 Úvod

V dnešní době jsou robotické systémy součástí velkého množství odvětví. Stavebnictví je však odvětvím, kde se robotické systémy zatím využívají jen velmi zřídka. Inženýři se naštěstí tento fakt již snaží změnit a tvrdě pracují na vývoji robotických systémů pro automatizaci různých stavebních etap. Jedním z těchto systémů je český autonomní robotický stavební systém, jehož úkolem je s dostupným modelem BIM, vyhotovit kompletní zděnou konstrukci (<http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-TH04010329>). Dle mého názoru má tento systém do budoucna velký potenciál, a tak jsem se rozhodla mojí diplomovou práci věnovat rozšíření jeho možností a schopností.

Rozšíření robotického stavebního systému bude spočívat v přidání mechanismu pro automatickou kontrolu kvality konstrukce vyhotovené právě robotickým stavebním systémem. Rozšíření robota o možnost automatické kontroly kvality jsem si zvolila vzhledem k mému působení v oboru kontroly kvality ve stavebnictví a mému zájmu o příležitost posunout české stavebnictví alespoň o malý krok blíže k eliminaci rizik spojených s výstavbou a ke snížení časové náročnosti výstavby.

Dalším důvodem, proč jsem si toto téma zvolila je, že pokud jednoho dne chceme dosáhnout fáze, kdy automatické robotické systémy budou bez pomoci člověka schopné vyhotovit skutečně celou stavební konstrukci, je třeba těmto systémům poskytnout způsob, jakým mohou ověřit správnost veškerých svých operací (takzvaný „feedback“). Nedostatečná kvalita vyhotovené konstrukce může mít totiž velké množství negativních dopadů, které detailně proberu v kapitole „Kvalita ve stavebnictví“.

### ***Cíle diplomové práce:***

V práci bych chtěla řešit, co je vlastně kvalita ve stavebnictví, jaké jsou legislativní požadavky na zděné konstrukce a jaké jsou aktuální možnosti v provádění kontroly kvality zděných konstrukcí. V praktické části bych se ráda zaměřila na způsob automatizace manuálních postupů kontroly kvality a způsobu integrace výsledného systému pro kontrolu kvality do systému pro robotické zdění. Součástí práce bude technologický postup systému s podrobným diagramem a praktická ukázka. Závěrem se budu věnovat analýze a porovnání efektivity nalezeného způsobu automatizace kontroly kvality zděné konstrukce oproti běžně praktikovaným manuálním metodám.

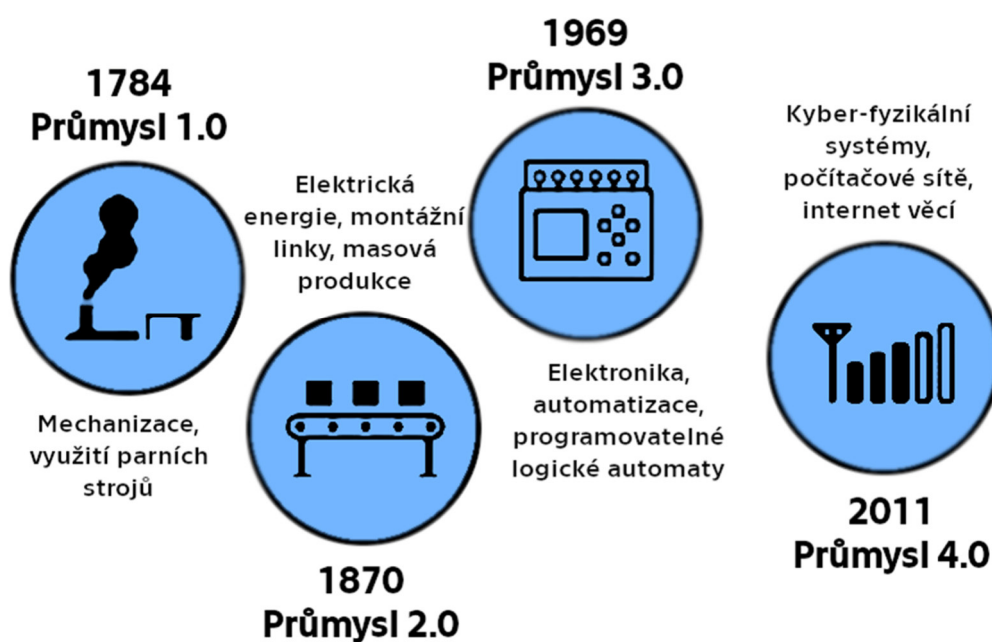
## 2 Zapojení robotů do procesů stavby

### 2.1 Stavebnictví 4.0

Stavebnictví 4.0 je v dnešní době velmi populární téma úzce spjaté s německou ideou "průmysl 4.0". Příchod "průmyslu 4.0" přináší ohromnou škálu nových technologií, způsobů řízení, novou úroveň automatizace, která již nevyžaduje přítomnost člověka. Dále zvýšení kvality, zvýšení preciznosti a rychlosti výroby, snížení nákladů na výrobu a v neposlední řadě přináší nové možnosti týkající se ochrany zdraví a lidských životů při výrobě a dalších souvisejících činnostech. Příchod čtvrté průmyslové revoluce začal být reálný díky nasazení počítačových sítí, internetu věcí (zkráceně IoT) a kybernetických systémů. Díky kombinaci těchto mocných nástrojů je možné uskutečnění nepřeberného množství nových projektů, kde se v minulosti projevovala absence dnešních moderních technologií.

Je důležité zmínit, že podle statistik se stavebnictví pohybuje svou efektivitou produkce až 25 % za průmyslovou výrobou a příchod průmyslu 4.0 se tak stal inspirací pro společnosti zabývající se automatizací. Společnosti tak začaly věnovat svou pozornost právě stavebnictví, které má v tomto ohledu mnoho nevyužitého potenciálu. Společnosti začaly integrovat robotické, kybernetické a další systémy pro automatizaci do stavebních procesů. Tím je možné zvýšit efektivitu lidské práce, snížit, či úplně eliminovat chybovost manuálních kontrolních procesů, zvýšit přesnost stavebních prací, a tak předejít případným časovým a finančním ztrátám při nápravě vad způsobených chybným krokem při provádění výstavby. V neposlední řadě by došlo ke zvýšení bezpečnostní úrovně pro personál pracující na místech s rizikem úrazu, případně k nahrazení lidské pracovní síly tam, kde schází nebo kde její nahrazení povede k finanční a časové úspoře. Společnosti inovující stavební procesy využívají jak technologie zděděné z průmyslových odvětví a upravené pro potřeby daných stavebních etap, jako například robotické rameno, tak technologie, které jsou ušité na míru právě

pro stavebnictví. Příkladem takové technologie je BIM (Building Information Model), který využíván pro projekty závislé na detailním popisu stavby. U zmíněných technologií, a to převážně u těch, které jsou součástí těžkých strojů, musí vývojáři brát zřetel na přenositelnost, vzhledem k tomu, že jsou stavby často velmi rozsáhlé. Dále při dokončení prací, pro které je dané zařízení určené, se toto zařízení musí přesunout na další stavbu. Z toho vyplývá jeden z hlavních rozdílů mezi průmyslem a stavebnictvím. Konkrétní průmyslová výroba, či jiná průmyslová činnost se, na rozdíl od stavebnictví, odehrává z pravidla na jednom místě. V tomto případě výrobní technologie po dobu své životnosti většinou nemění svou polohu vůči danému průmyslovému komplexu. [1] [2]



Obrázek 1 – Stavebnictví 4.0, autor Kristýna Hytychová

## 2.2 Česko vs. zahraničí (porovnání množství zapojených moderních technologií do procesů stavby)

Jak již bylo řečeno, tak se v České republice obor automatických robotických systémů ve stavebnictví teprve rozvíjí, ale již vyšším tempem než v minulosti. Například na půdě ČVUT je vyvíjen systém pro stavbu obvodových zdí (Oficiální název projektu: SW pro robotické zdění TH04010329-V10), který byl zmíněný v úvodu, či systém pro 3D tisk

kompletní konstrukce (Oficiální název projektu: SW pro aditivní stavební výrobu TH04010329-V9).

Vývoj podobných systémů probíhá i v zahraničí. Asi nejznámější zahraniční firmou vyrábějící již komerčně využívané systémy pro automatickou výstavbu zděných konstrukcí, za použití cihel a pojícího materiálu, je americká firma Construction Robotics, která bude zmíněna později. Zahraniční firmou zabývající se pokročilým 3D tiskem kompletních staveb je firma Apis Cor, která opět pochází z Ameriky. Této firmě se již daří tisknout dostatečně kvalitní budovy, které splňují normy pro obytné stavby. [3] [4] [5]

Je dobré zmínit, že se v České republice systémy pro automatizaci stavebních procesů již prakticky využívají, ale bohužel se, alespoň prozatím, jedná většinou o systémy zahraniční.

Jednou z nejmodernějších technologií v Česku, která se v praxi využívá, i když velmi zřídka, jsou drony pro nejrůznější činnosti. Jedná se například o průzkum terénu, defektoskopii, což je nedestruktivní testování sloužící pro odhalení vad na konstrukci bez jejího poškození, či porušení. Dále kontrola bezpečnosti staveniště, či jiné operace, které díky unikátním schopnostem a vlastnostem dronu optimalizují lidskou práci a eliminují riziko úrazu při provádění dané činnosti člověkem samotným, či za použití jiných nástrojů a pomůcek než právě dronu. [6] [7] [8]

Dále se v českém stavebnictví využívá dozer se systémem využívajícím GPS senzory. Ten podle projektové dokumentace pomáhá operátorovi stroje určit, v jakých oblastech pozemku a do jaké hloubky je třeba odstranit půdu. Tím je možné předejít odstranění půdy, která by podle dokumentace měla zůstat na svém místě. Díky této schopnosti se ušetří poměrně velké množství času, takže tím také i peněz. K úspoře dochází vzhledem k tomu, že dozer stihne spálit menší množství paliva a operátor stroje stráví méně času danou činností. Z vlastní zkušenosti vím, že dozer je u dopravních staveb v Česku velmi vyhledávanou

technologí z důvodu práce s velkým objemem zeminy. Využívá se například při úpravách svahů, zářezů a násypů komunikace, kde se práce s ním opravdu vyplatí.

Ve spojení s GPS senzory a těžkou technikou se také využívá autonomní finisher. Jeho úkolem je zhotovit finální vrstvu komunikace za minimální interakce s člověkem. S tímto strojem jsou však čeští stavaři zatím velmi opatrní a využívají ho jen velmi zřídka. Důvodem je, že tato technologie může při poruše způsobit velké finanční a časové ztráty vzhledem k tomu, že na rozdíl od dozeru, je velmi náročné napravit škody způsobené chybnou operací stroje. [9]

Další velmi významnou technologií patřící k nejmodernějším v českém stavebnictví je technologie BIM (Building Information Model). Jejím úkolem je umožnit tvorbu velmi podrobného modelu budoucí stavby. Z podrobného modelu lze získat veškeré informace potřebné jak pro realizaci stavby, tak pro její následnou údržbu.

Ve spojení s technologií BIM se také používá virtuální realita umožňující virtuální prohlídku daného objektu. To může pomoci jak při procesu stavby, tak případnému majiteli získat lepší představu o projektu své budoucí nemovitosti. Ten může odchytil dříve přehlédnuté nedokonalosti, než bude započata výstavba. [10]

Příkladem zahraniční firmy, která vyvíjí pokročilé a již komerčně využívané robotické stavební systémy je již výše zmíněná firma Construction Robotics. Ta vyvinula robota schopného jednotlivým stavebním dělníkům přenášet břemena na cílové místo pomocí otočného jeřábového ramene (Building Element Lift Enhancer), nebo robota schopného zhotovit obvodové zdi pomocí robotického ramene i s využitím pojícího materiálu (Brick Laying System). [4] [11] [12]

### Brick Laying System:

Web výrobce	<a href="https://www.construction-robotics.com/sam100/">https://www.construction-robotics.com/sam100/</a>
Číslo patentu	20170254102



Obrázek 2 – Ukázka patentu Brick Laying System, převzato z [13]

### Building Element Lift Enhancer:

Web výrobce	<a href="https://www.construction-robotics.com/mule/">https://www.construction-robotics.com/mule/</a>
Číslo patentu	WO2019040342

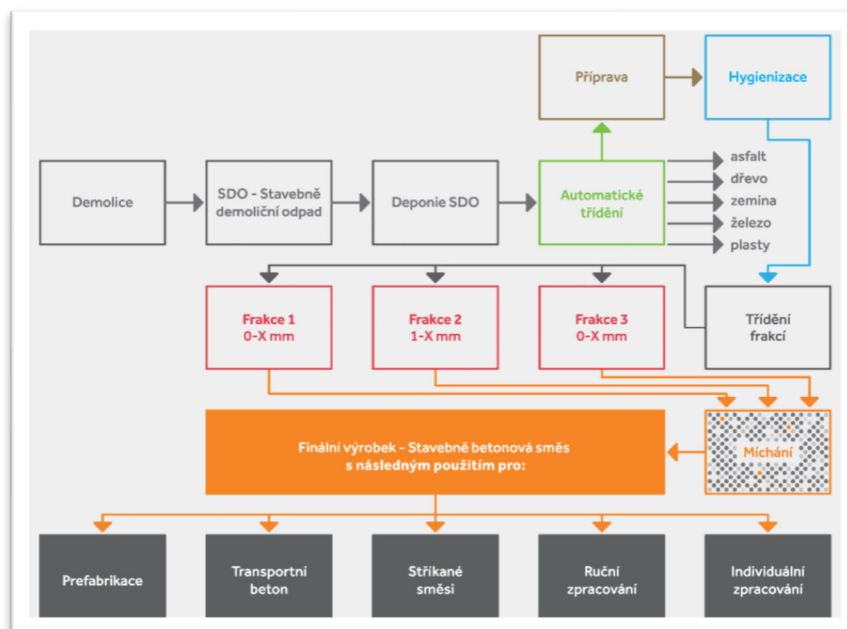


Obrázek 3 - Ukázka patentu - Building Element Lift Enhancer, převzato z [14]

I přes doposud poměrně nízkou účast českých firem na vývoji systémů pro automatizaci stavebních procesů, není pravda, že je Česko pozadu i v jiných oblastech co se týče výzkumu a vývoje. To dokazuje například ne tak starý patent firmy ERC-TECH, jejichž vynález umožňuje recyklaci stavební suti (C&DW – Construction & Demolition Waste), a tak šetřit životní prostředí a finanční prostředky. [15]

**C&DW Recyclation:**

Web výrobce	<a href="https://www.erc-tech.eu/cdw/">https://www.erc-tech.eu/cdw/</a>
Číslo patentu	WO2018177447



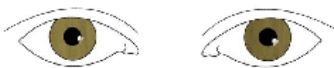









Obrázek 4 – Ukázka patentu - C&DW Recyclation, převzato z [16]



Mezi vyvíjenými systémy nechybí ani robot, který je zaměřený na kontrolu kvality. Robot se nazývá QuicaBot a je produktem firmy Transforma Robotics, jež má tento systém patentovaný. Jeho primárním úkolem je zkoumat nedokonalosti stavby ve finální podobě. Příkladem jsou praskliny na omítce, nerovnosti omítky, a další. Tento robot je však pouze samostatnou jednotkou a není součástí celého stavebního systému, což by na stavbě znamenalo další investici a zaplněný prostor. Dalším faktem je, že tento robot není vytvořen pro umožnění plné automatizace robotických stavebních systémů. [17] [18] [19]

Quicabot:

Web výrobce	<a href="https://www.transformarobotics.com/quicabot">https://www.transformarobotics.com/quicabot</a>		
Číslo patentu	CN/PCT 109352621A		
	<b>Assessment items</b>	<b>Manual tools</b>	<b>Automated sensors</b>
	Hollowness	 metal rod	 thermal camera
	Crack	 visual checking	 color camera
	Evenness	 1.2m spirit level	 laser scanner
	Alignment	 set square	 laser scanner
	Inclination	 1.2m spirit level	 inclinometer

*Obrázek 5 - Ukázka patentu Quicabot, převzato z [19]*

### 3 Kvalita ve stavebnictví

Kvalita je pojem, za jehož významem stojí velké množství definic, což je zřejmé po prostudování webových stránek, publikací a literatury související s tématem kvality. Tyto definice, ale ve směs říkají následující: „Kvalita je shoda mezi požadavkem a výsledným produktem“. To znamená, že například právě ve stavebnictví pro každou budoucí stavbu existuje projekt, který popisuje určité požadavky na výslednou stavbu a na její vlastnosti. Projekt dále definuje možné maximální odchylky, protože je téměř nemožné splnit všechny požadavky s absolutní přesností. Kvalita v tomto případě znamená splnění požadavků a dodržení daných maximálních odchylek od nominálních hodnot, které definuje projekt, Tyto požadavky na stavební konstrukci, či její část mohou být specifikovány i v technických normách. [20] [21]

#### 3.1 Proč řešíme geometrickou přesnost zděných konstrukcí a její vlivy

Splnění kvalitativních požadavků je jedním ze základních kamenů pro spokojenost zákazníka a ochranu bezpečnosti osob. Jedná se jak o osoby pracující na zhotovení stavby, tak budoucí uživatele. V dnešní době to může znamenat i tisíce lidských životů v ohrožení v případě neodhalených problémů. Při nedodržení kvalitativních požadavků na geometrickou přesnost, vznikají konstrukční odchylky. Ty mohou způsobovat defekty na konstrukci, které mají negativní vliv na estetickou stránku stavby, její stabilitu, mechanickou odolnost a na navazující stavební etapy. V tomto případě by totiž nemusely být uskutečnitelné. Zmíněné defekty mají také velký vliv na finanční stránku stavby, jelikož jsou s jejich odstraněním spojené vícepráce, se kterými přichází dodatečné náklady na výstavbu a celkové zpoždění projektu. Odchylky mohou být způsobené lidskou nepozorností při výstavbě, výrobní vadou konstrukčního dílu, či vnějšími vlivy, které působí na konstrukční díly po usazení. Jedná se například o vítr, otřesy, či neočekávaný kontakt zátěže s konstrukčním dílem.

## **3.2 Legislativa spojená s kvalitou zděných konstrukcí**

### **ČSN 730202 - Geometrická přesnost ve výstavbě. Základní ustanovení**

Tato norma specifikuje základní názvosloví, charakteristiky přesnosti, dále požadavky pro navrhování a kontrolu a hodnocení přesnosti geometrických parametrů, které ovlivňují funkčnost stavebních objektů, nebo jejich části, po dobu jejich životnosti. [22]

### **ČSN 730205 - Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti**

Tato norma platí pro navrhování přesnosti geometrických parametrů v návaznosti na ČSN 730202 pro stavební konstrukce a jejich části a stavební postupy. Norma ale neplatí pro konstrukce, u jejichž rozměrů nelze opomenout zakřivení zemského povrchu. [23]

### **ČSN 730212-1 Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 1: Základní ustanovení**

Norma řeší zásady a způsoby kontroly geometrické přesnosti stavebních dílců, konstrukcí a stavebních objektů. Dále norma stanovuje zásady důležité při kontrole provádění vytyčovacíh prací. [24]

### **ČSN 730212-3 Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 3: Pozemní stavební objekty**

Norma stanovuje přesnost kontroly geometrických parametrů polohy v prostoru, velikosti a tvary objektů včetně výkopů. Norma dále řeší velikost, tvar, umístění a orientaci konstrukcí těchto objektů a jejich částí během celého životního cyklu objektů. Norma se nevěnuje přesnosti kontroly stavebních dílců, které nejsou pevnou součástí objektů, ani výrobků, které jsou určeny pro vnitřní kompletaci, přesnost kontroly vytyčení a měření změny polohy staveb. [25]

## **ČSN 730212-5 Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 5: Kontrola přesnosti stavebních dílců**

Norma stanovuje zásady pro určení míst měření stavebních dílců, které nejsou pevnou součástí stavby, dále stanovuje přesnosti kontrolních měření a způsoby pro jejich vyhodnocení. To je porovnání mezi reálně vyrobeným dílcem a hodnotami stanovenými výrobcem. Výrobce stanovuje hodnoty pomocí výkresu dílce, normy apod. [26]

## **ČSN ISO 1803 Pozemní stavby - Tolerance - vyjadřování přesnosti rozměrů - zásady a názvosloví**

Norma stanovuje základní způsoby pro návrh rozměrových odchylek objektů a vymezuje základní názvosloví a definice pojící se s návrhem, kontrolou měření a konečným hodnocením přesnosti. Používá se při návrhu a výrobě prefabrikovaných stavebních dílců, při stavbě objektu, vytyčování a při celkovém zhodnocení přesnosti objektu. [27]

## **ČSN EN 1996-2 Navrhování zděných konstrukcí – Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zdiva**

Tento eurokód, který je vztažený ke zděným konstrukcím specifikuje podmínky pro výběr materiálu a provádění zdiva. Pro téma mé práce je důležitá kapitola 3.4 Povolené odchylky, jelikož tento bod úzce souvisí s vyhodnocením odchylek naměřených na konstrukci. [28]

## **Vyhláška č. 268/2009 Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby**

Vyhlášku lze uplatnit nejen pro novostavby, ale i pro udržovací práce, změny již dokončených objektů, pro dočasné stavby i památky, které se nachází v památkovém území, ale jen s jistými podmínkami, které jsou ve vyhlášce vymezeny. Vyhláška je platná pro stavby, které spadají pod obecné stavební úřady. [29]

## **Zákon č. 183/2006 Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon)**

Zákon se věnuje především územnímu plánování z hlediska jeho záměrů, specifikuje orgány územního plánování a určuje nástroje

pro územní plánování. Dále se zaměřuje na ekologickou stránku, kde řeší například zkoumání vlivů na životní prostředí.

Zákon dále upravuje pravidla pro proces výstavby v souvislosti se stavebním řádem. Jde o povolení a změny staveb, úpravy terénu a zařízení a užívání a demolici staveb. Zákon také řeší dohled a pravomoci stavebních úřadů, oprávnění autorizovaných inspektorů, povinnosti a odpovědnost osob při přípravě a procesu provádění staveb.

Zákon také v neposlední řadě mluví o podmínkách pro projektovou činnost a provádění staveb samotných, o obecných požadavcích na výstavbu, účely vyvlastnění, vstupy na pozemky a stavby a ochranu veřejných zájmů. [30]

### **3.3 Průběh manuální kontroly zděné kvality konstrukce**

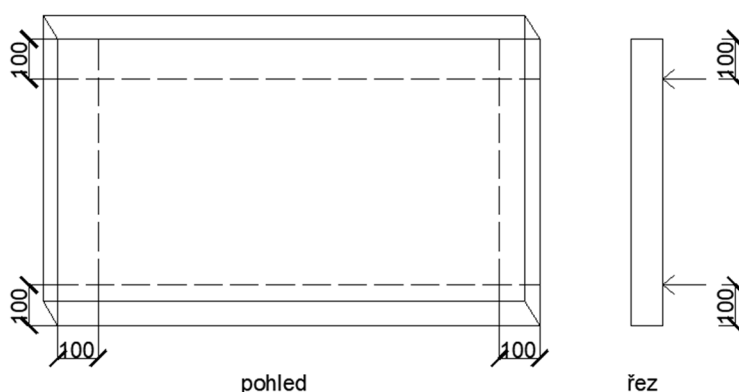
V tomto bodě diplomové práce se budu věnovat manuální kontrole kvality zděné konstrukce, a to konkrétně její svislé části, která je zároveň hlavním cílem systému pro automatizaci tohoto procesu, který bude navržen v bodech 5 a 6.

#### **3.3.1 Svislost konstrukcí**

Kontrola svislosti konstrukcí se provádí kvůli možné statické poruše z důvodu excentrického zatížení, což může způsobit i zhroucení konstrukce a přímo tak ohrozit lidské životy, případně snížit životnost konstrukce. Kontrolu je nutné provádět nejen u finálních povrchových úprav, ale i u hrubé konstrukce, na kterou navazují další úpravy. Pro kontrolu svislosti konstrukcí se využívá buď totální stanice, 3D scanner, případně metr za pomoci vztažné přímky, kterou vytváří olovnice na provázku, 2 m lať či rotační laser. Měření musí provádět osoba s dostatečnou kvalifikací pro daný postup. [25] [31] [32]

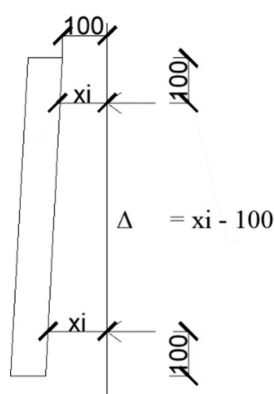
### Postup kontrolního měření:

Za použití olovnice na provázku či rotačního laseru je postup následující. Pro kontrolu svislosti je nutné zvolit kontrolní body na konstrukci za pomoci vztažné přímky, která se umísťuje 100 mm nad úroveň podlahy, 100 mm pod úroveň stropu ve svislém směru a 100 mm od stěny (viz obrázek 6). Odchylka od vztažné přímky se změří na třech bodech, a to obvykle u stropu, uprostřed výšky a u podlahy. Na jedné stěně je třeba změřit body, alespoň na třech vztažných přímkách. [25] [31] [32]



Obrázek 6 - Svislost konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová

Skutečná odchylka od svislosti se stanoví odečtením vzdálenosti vztažné přímky od stěny (100 mm) od změřených hodnot (viz obrázek 7). Výslednou hodnotu následně porovnáme s kritérii přípustných odchylek. [25] [31] [32]



Obrázek 7 – Měření svislosti konstrukcí od vztažné přímky, autor Kristýna Hytychová

### Požadavky na konstrukce

Tabulka 1 - Doporučená odchylka svislosti konstrukcí, autor Kristýna Hytychová

Konstrukce	Doporučená odchylka svislostí konstrukcí v jednom podlaží	Norma
Zděné konstrukce bez povrchové úpravy	$\pm 20$ mm	ČSN EN 1996 - 2

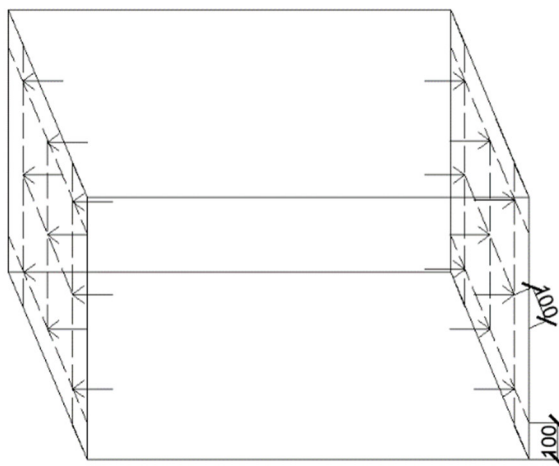
### 3.3.2 Vzdálenost svislých protilehlých konstrukcí

Kontrola vzdálenosti svislých protilehlých konstrukcí se vykonává pro ověření dodržení rozměrů místnosti a jejich případné odchylky, které definuje projektová dokumentace. V případě nedodržení daných rozměrů může dojít k zamítnutí kolaudace, či k nemožnosti užívání místnosti dle záměru, to znamená, že do místnosti nebude možné umístit plánované vybavení. Kontrolu tohoto typu lze provést několika způsoby, a to pomocí svinovacího pásma, dálkového měřidla (většinou laserového) nebo nejčastěji za pomoci totální stanice. Ve všech případech musí kontrolu provádět osoba autorizovaná pro danou činnost. [25] [31] [32]

#### Postup kontrolního měření:

Přípustné odchylky u této metody jsou závislé na následné povrchové úpravě stěn. Před samotným měřením je tedy důležité znát finální povrchovou úpravu konstrukce.

Měření začíná tím, že se vytvoří síť kontrolních bodů. Obvykle se konstrukce kontrolují v devíti bodech, v závislosti na velikosti místnosti. Kontrola vzdálenosti svislých protilehlých konstrukcí se provádí 100 mm nad podlahou a 100 mm pod stropem, případně ještě uprostřed výšky a šířky, respektive délky místnosti. U sloupů případně ještě uprostřed jejich výšky (viz obrázek 8). [25] [31] [32]



Obrázek 8 - Vzdálenost protilehlých konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová

Naměřené hodnoty jednotlivých bodů se následně zaznamenají do tabulky a do výkresu se označí naměřený bod. Výsledné hodnoty se srovnají s hodnotami, které požaduje projektová dokumentace a následně se porovnají s kritérii přípustné odchylky. [25] [31] [32]

### Požadavky na konstrukci

Tabulka 2 - Doporučená odchylka vzdálenosti svislých protilehlých konstrukcí

Konstrukce		Zděné a dřevěné konstrukce	Norma
Bez povrchové úpravy		± 20 mm pro $L \leq 4$ m	ČSN 73 0205
		± 25 mm pro $4 \text{ m} < L \leq 8$ m	
		± 30 mm pro $8 \text{ m} < L \leq 16$ m	
		± 40 mm pro $L > 16$ m	
S dokončeným povrchem	Místnosti pro pobyt osob	± 15 mm pro $L \leq 4$ m	
		± 20 mm pro $4 \text{ m} < L \leq 8$ m	
		± 25 mm pro $8 \text{ m} < L \leq 16$ m	
		± 30 mm pro $L > 16$ m	
	Ostatní místnosti	± 20 mm pro $L \leq 4$ m	
		± 25 mm pro $4 \text{ m} < L \leq 8$ m	
		± 30 mm pro $8 \text{ m} < L \leq 16$ m	
		± 50 mm pro $L > 16$ m	

### 3.3.3 Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí

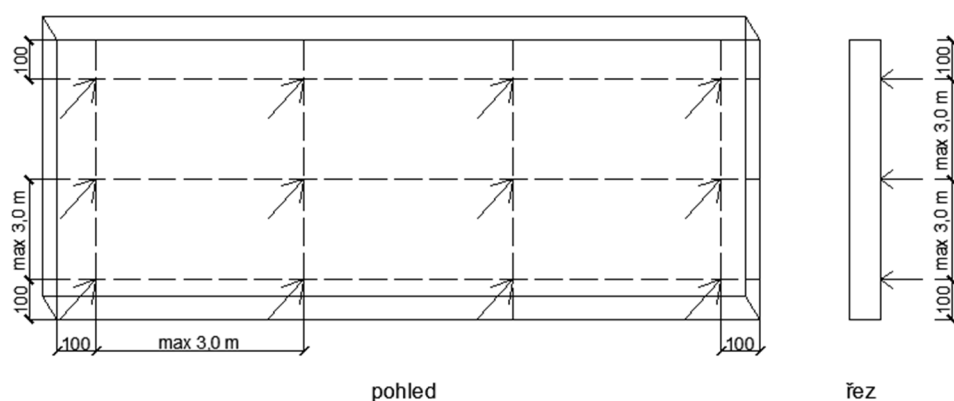
Kontrola celkové rovinnosti se provádí z důvodu vlivu nevyhovující rovinnosti na možnost užívání místnosti, případně se můžou objevovat estetické nedostatky. Měření se provádí za pomoci 2 m latě s minimálně dvěma libelami a podložkami o stejné výšce, případně pomocí měrného klínku, posuvného měřítka, totální stanicí či 3D scannerem. Každý z postupů opět musí provádět povolaná osoba. Obvykle se pro měření celkové rovinnosti povrchu svislých konstrukcí využívá rotační laser, se kterým může pracovat mistr či stavbyvedoucí.

Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí je většinou prováděna u velkých ploch jako jsou například fasády, sály, atd. U hrubých konstrukcí je třeba znát následující úpravu, která má stanové požadavky v projektové dokumentaci či normě. [25] [31] [32]



### Postup kontrolního měření:

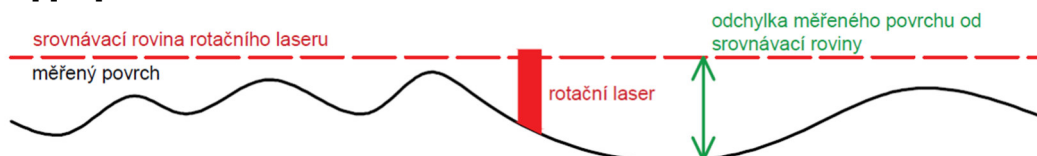
Měření probíhá za pomoci čtvercové sítě, která je odsazená 100 mm od hran kontrolované plochy. Minimální délka strany jednotkového čtverce je 0,5 m a maximální délka jeho strany činí 3 m (viz obrázek 9). [25] [31] [32]



Obrázek 9 - Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová

Dále u svislé konstrukce určíme srovnávací rovinu pomocí rotačního laseru se svislou rotační rovinou nebo napnutým provázkem, či lankem, které se na koncích konstrukce odsadí přibližně o 100 mm. Koncové body, ve kterých se měří odsazení srovnávací roviny, by měly být odsazeny minimálně 100 mm od svislých hran měřené konstrukce a minimálně 100 mm od podlahy.

Při měření se nejprve změří vzdálenosti mezi povrchem konstrukce a srovnávací rovinou v každém bodu čtvercové sítě (viz obrázek 10). [25] [31] [32]



Obrázek 10 - Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí – srovnávací rovina, autor Kristýna Hytychová

Následně využijeme zjednodušené metody, a to takovým způsobem, že z naměřených hodnot vypočítáme průměrnou hodnotu, ze které nám vznikne pomyslná srovnávací rovina, kterou odečteme od všech naměřených hodnot dle vzorce, který je uveden níže a zjistíme maximální a minimální odchylku. [25] [31] [32]

Rovnice 1 - Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí

$$\Delta t = x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- $x_i$  odchylna od srovnávací roviny  
 $n$  počet naměřených odchylek  
 $\Delta t$  výsledná hodnota odchylky, která se porovná s doporučenou odchylkou z normy

Pomocí těchto vypočtených hodnot zjistíme největší odchylku, kterou porovnáme s maximální přípustnou odchylkou definovanou projektovou dokumentací a stanovenou v normě. Pokud nastane případ, že hodnota v normě je stanovena jako tolerance v absolutní hodnotě, odečteme od sebe maximální a minimální odchylky a následně porovnáme s hodnotou z normy. [25] [31] [32]

#### Požadavky na konstrukce

Tabulka 3 - Doporučená odchylka celkové rovinnosti hrubého zděného povrchu

Konstrukce	Doporučená odchylka	Norma
Zděné konstrukce	$\pm 10$ mm pro $L \leq 1$ m	ČSN EN 1996 - 2
	$\pm 50$ mm pro $L = 10$ m	

Tabulka 4 - Doporučené odchylky celkové rovinnosti s dokončenými povrchy

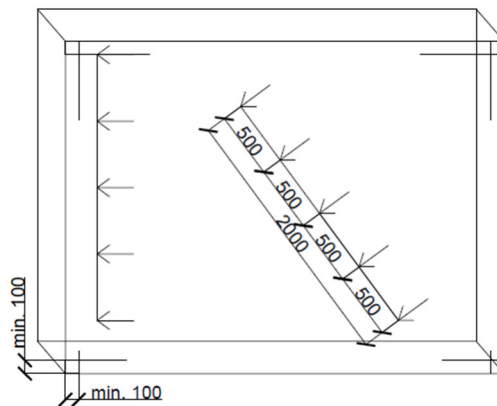
Konstrukce	Doporučená odchylka		Norma
	Místnosti pro pobyt osob	Ostatní místnosti	
Stěny a podhledy stropů	$\pm 3$ mm pro $L \leq 1$ m	$\pm 5$ mm pro $L \leq 1$ m	ČSN 73 0205
	$\pm 5$ mm pro $1 \text{ m} < L \leq 4$ m	$\pm 8$ mm pro $1 \text{ m} < L \leq 4$ m	
	$\pm 8$ mm pro $4 \text{ m} < L \leq 10$ m	$\pm 12$ mm pro $4 \text{ m} < L \leq 10$ m	
	$\pm 15$ mm pro $L > 10$ m	$\pm 15$ mm pro $L > 10$ m	

#### 3.3.4 Místní rovinnost svislých konstrukcí

Stejně jako u rovinnosti celkové, má lokální rovinnost vliv jak na možnost užívání prostoru, ve kterém se nachází konstrukce s nepřijatelnou odchylkou v rovinnosti, tak na estetickou stránku tohoto prostoru. Odchylna místní rovinnosti se stanovuje za použití 2 m dlouhé latě s minimálně dvěma libelami nebo pomocí 2 m latě a měrného klínku. [25] [31] [32]

### Postup kontrolního měření:

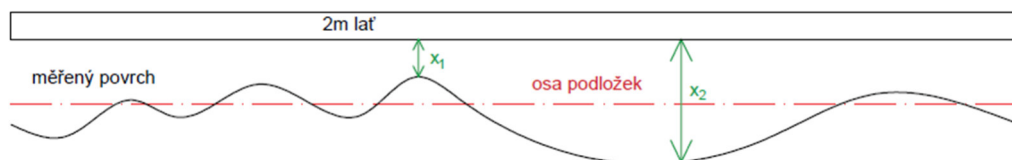
Lať se postupně klade rovnoměrně po kontrolované ploše konstrukce, minimálně 100 mm od hran této konstrukce, a to především do míst, kde lze podle vizuálního pozorování předpokládat největší odchylky. Pro získání konkrétní hodnoty odchylky použijeme posuvné měřítko, či klínek, v závislosti na výšce podložek. Dále provedeme 5 měření rozmístěných po 500 mm a určíme minimální a maximální vzdálenost mezi měřeným povrchem a spodním lícem latě (viz obrázek 11). U svislých konstrukcí se na každých 25 m<sup>2</sup> provede minimálně pět kladů latě. [25] [31] [32]



Obrázek 11 - Místní rovinnost povrchu svislých konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová

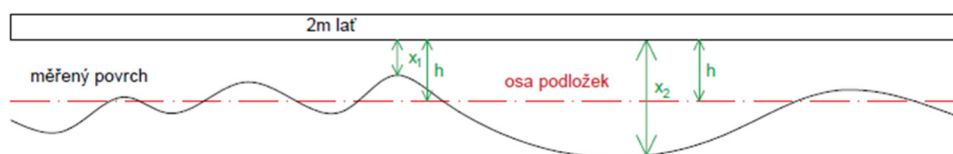
V normách se vyskytují hodnoty buď jako tolerance či mezní odchylka se znaménkem  $\pm$ .

V situaci, kdy bude hodnota uvedena jako tolerance bez znaménka  $\pm$  v absolutní hodnotě, se změří maximální a minimální nerovnost mezi latí a povrchem. Po výpočtu rozdílu těchto hodnot, porovnáme výsledek s hodnotou z normy (viz obrázek 12). [25] [31] [32]



Obrázek 12 - Místní rovinnost svislých konstrukcí – Tolerance, autor Kristýna Hytychová

V druhé situaci, kdy bude hodnota uvedena jako mezní odchylka, se změří maximální a minimální nerovnost mezi laťí a povrchem. Následně se vypočítá rozdíl nerovností a výšky podložek, čímž získáme maximální a minimální odchylku, která se porovná s hodnotou z normy (viz obrázek 13). [25] [31] [32]



Obrázek 13 - Místní rovinnost svislých konstrukcí – Mezní odchylka, autor Kristýna Hytychová

### Požadavky na konstrukce

Tabulka 5 - Doporučená odchylky místní rovinnosti hrubé zděné konstrukce

Konstrukce	Doporučená odchylka	Norma
Zděné konstrukce bez povrchové úpravy	$\pm 10 \text{ mm pro } L = 2 \text{ m}$	ČSN EN 1996-2

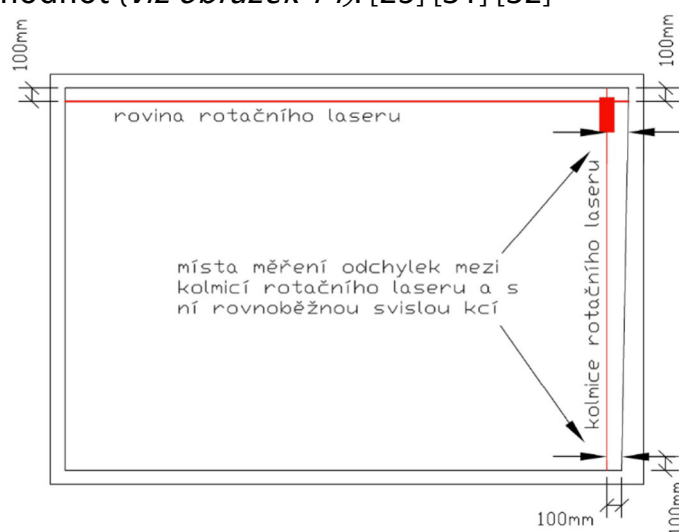
### 3.3.5 Pravoúhlost svislých konstrukcí

V případě nepřijatelné odchylky v pravoúhlosti svislé konstrukce může, stejně jako u většiny typů nadměrných geometrických odchylek, dojít k estetickým vadám a nemožnosti užívání daného prostoru dle záměru. Měření odchylky pravoúhlosti svislé konstrukce se provádí pomocí totální stanice, případně pomocí rotačního laseru s vyrovnáním roviny ve svislém i vodorovném směru a kolmicí na rovinu rotace. Dále pomocí laserového dálkoměru, napnutého provázku nebo lanka o délce 5 m a vyznačenými délkami po předem určených úsecích, či pomocí úhelníku s měřícím klínkem. [25] [31] [32]

#### Postup kontrolního měření:

Jak již bylo zmíněno existuje mnoho metod, jak změřit pravoúhlost svislých konstrukcí. Při kontrole pravoúhlosti pomocí rotačního laseru ustanovíme rovinu rotačního laseru rovnoběžně s jednou ze svislých rovin, kníž je umístěna ve vzdálenosti 100 mm. Kontrolní body pro ustanovení rotační roviny by měly být vzdáleny 100 mm od hran svislé konstrukce a stejně tak od podlahy. Odchylku od pravého úhlu, který

s první sledovanou svislou rovinou svírá druhá sledovaná svislá rovina, odečítáme na bodovém paprsku rotačního laseru. Tento paprsek je kolmý na rotační rovinu laseru. Rotační laser by měl být umístěn tak, aby kolmý paprsek na rotační rovinu laseru byl vždy minimálně ve vzdálenosti 100 mm od druhé svislé roviny, u které budeme odečítat odchylky. Odchylky odečítáme těsně za tělem laseru, minimálně 100 mm od hran svislé konstrukce. Odchylku od pravého úhlu určíme jako rozdíl naměřených hodnot (viz obrázek 14). [25] [31] [32]



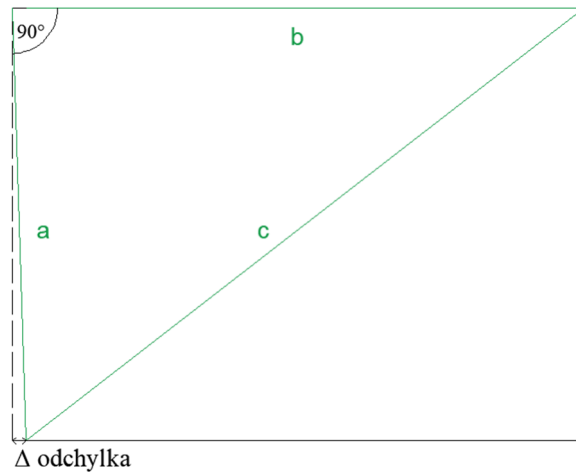
Obrázek 14 - Pravoúhlost svislých konstrukcí pomocí rotačního laseru, převzato z [31]

Další způsob, jak lze změřit pravoúhlost svislých konstrukcí, je za použití provázku. Tato metoda je oproti ostatním metodám lehká, rychlá, ale méně přesná. Na provázku, který musí být alespoň 5 m dlouhý, si vyznačíme stejně dlouhé části, ideálně po 1 m. Kontrolní měření by mělo být vzdálené 100 mm od podlahy a u otvorů na středu tloušťky ostění. Na provázku si změříme délky ramen pomyslného trojúhelníku a úhlopříčky. Ze změřených rozměrů se dále vypočítá odchylka. Dle obrázku 15 zjistíme odchylku na kratším rameni sevřeného úhlu. [25] [31] [32]

Odchylku spočítáme dle následujícího vzorce v mm:

Rovnice 2 - Pravoúhlost svislých konstrukcí - výpočet odchylky

$$\Delta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a}$$



Obrázek 15 - Pravoúhlost svislých konstrukcí pomocí pravouhlého trojúhelníku, autor Kristýna Hytychová

### Požadavky na konstrukce

Tabulka 6 - Doporučená odchylka pravoúhlosti svislých konstrukcí

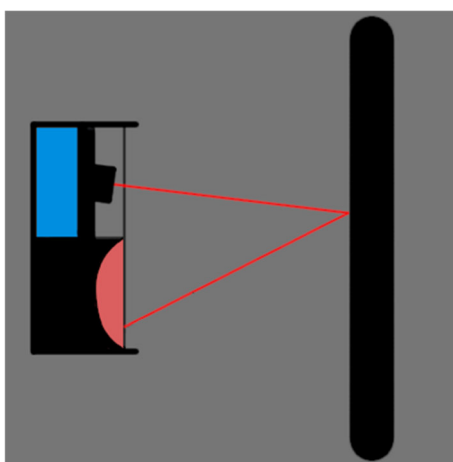
Konstrukce	Doporučená odchylka mezi hrubými svislými konstrukcemi	Norma
Betonové monolitické a prefa, dřevěné, zděné konstrukce	± 5 mm pro $L \leq 4$ m	ČSN 73 0205
	± 8 mm pro $4\text{m} < L \leq 8$ m	
	± 10 mm pro $8\text{m} < L \leq 16$ m	
	± 12 mm pro $L > 16$ m	

## 4 Senzory umožňující digitální formu kontroly kvality na stavbách

### 4.1 Optické senzory

#### 4.1.1 Laserový senzor vzdálenosti

**Popis:** Laserové senzory vzdálenosti fungují na principu měření času letu pulsu laserového paprsku vyslaného z měřicího zařízení. Paprsek se po vyslání odrazí od plochy jejíž vzdálenost chceme znát a následně se vrací do měřicího zařízení, které poté spočítá vzdálenost s určitou přesností. [33]



*Obrázek 16 - Funkční schéma - Laserový snímač vzdálenosti, autor Kristýna Hytychová*

**Přesnost:** Laserové senzory vzdálenosti jsou schopny měřit s přesností na desetiny milimetru. Se zvětšující se vzdáleností od sledované plochy se přesnost snižuje. [34]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Náročnost zpracování výstupních dat je poměrně malá, jelikož sofistikovanější zařízení jsou schopna vracet již hodnotu vypočítanou a vyfiltrovanou, a to většinou v textové podobě. U levnějších zařízení můžeme očekávat kolísavější výstupní hodnoty i přestože měřicí zařízení má statickou polohu. V tomto případě musíme aplikovat vhodný algoritmus pro stabilizaci výstupních dat. [35]

**Podmínky pro správnou činnost:** Pro měření je velmi důležité, aby sledovaná plocha a okolní prostředí měly co možná nejmenší vliv na světlo o vlnové délce používané laserovým senzorem. To může mít negativní dopad na výsledky měření. Měření také závisí na okolní teplotě, jejíž změny působí na vnitřní komponenty měřícího zařízení, které s teplotou mění své vlastnosti, a tak i vypovídající hodnotu výstupů. [33]

**Použití:** Je vhodný i pro měření vzdálenosti předmětů s menší plochou, na rozdíl od ultrazvukového senzoru, který je zmíněný níže. Dále má využití při aplikacích vyžadujících velmi rychlé měření a přesnost. [33]

**Výhody:**

- Velmi přesný i při velkých vzdálenostech
- Kompaktní
- Dobrá zpracovatelnost výstupních dat
- Rychlost měření

**Nevýhody:**

- Nevýhodou je pořizovací cena u sofistikovanějších zařízení
- Je třeba zajistit vhodné podmínky okolního prostředí pro přesnější měření
- Špatná schopnost měření vzdálenosti ploch z průhledných materiálů

**Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:**

- Totální stanice, laserový dálkoměr

#### 4.1.2 Lidar

**Popis:** Lidar vychází z anglického názvu Light Detection and Ranging, což můžeme přeložit jako světelná detekce a měření vzdálenosti. Úkolem lidaru je vytvořit přibližný 3D obraz okolního prostředí. Tento úkol vykonává za pomoci poměrně výkonného zdroje pulsu laserového světla o vlnové délce vyhovující danému prostředí. Lidar se skládá z pevné



a stabilní základny obsahující generátor laserových paprsků a optický senzor. Dále lidar obsahuje otočnou hlavu s pohyblivým zrcadlovým mechanismem, díky kterému je lidar schopný skenovat nejen horizontálně, ale i vertikálně, a proto je schopný vytvořit zmíněný 3D model okolního prostředí. Vzdálenost sledované plochy měří stejným způsobem jako laserový snímač vzdálenosti. [36]



Obrázek 17 – Lidar, převzato z [36]

**Přesnost:** Lidar je schopen měřit s přesností až na jednotky cm [36]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Vzhledem k množství výstupních dat, které lidar generuje, je náročnost poměrně vysoká a vyžaduje již výkonnější stroj a sofistikovanější systém pro zpracování těchto dat. [36]

**Podmínky pro správnou činnost:** Stejně jako u laserového senzoru vzdálenosti velmi záleží na okolním prostředí, a to především na schopnosti prostředí generovat stejné vlnové délky světla, jako používá lidar. To má totiž negativní účinek na přesnost a výsledky měření. Dále také závisí na okolní teplotě, která má taktéž vliv na přesnost měření vzhledem k tomu, že teplota ovlivňuje vnitřní komponenty lidarů, které s teplotou mění své vlastnosti. Za další záleží na schopnosti sledované plochy pohlcovat vlnovou délku světla, používaného měřicím zařízením, což opět omezuje schopnost měřicího zařízení vykonat jeho úkol. [36]

**Použití:** Lidar se dá použít pro skenování terénu, jak v přírodě, tak ve městě, ale i v podvodním světě. Používá se též běžně v autonomních zařízeních a parkovacích asistentech v automobilové dopravě. [36]

### Výhody:

- Větší sledovaná plocha
- Široké spektrum využití

### Nevýhody:

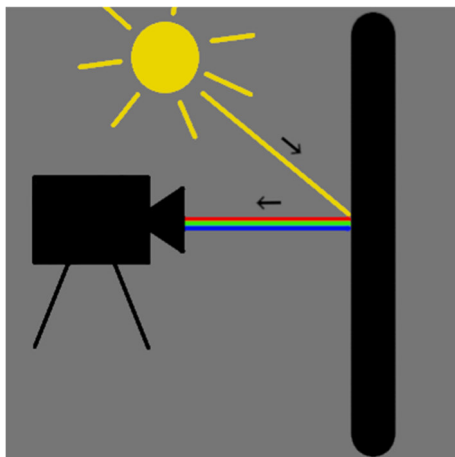
- Vysoká cena
- Větší náročnost zpracování výstupních dat

### Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:

- Zařízení pro mapování terénu, robotická zařízení volně se pohybující v prostoru

#### 4.1.3 Klasická barevná kamera – videokamera 3D

**Popis:** Kamera se skládá ze dvou základních komponentů, které mají za úkol snímat intenzitu barev cílové plochy. Tyto komponenty jsou optický senzor a soustava čoček. Úlohou soustavy čoček je opticky zmenšit cílovou plochu a její zmenšený obraz přenést na optický senzor. Úkolem optického senzoru je převést obraz do elektronické podoby pomocí miniaturních buněk zvaných pixely, z nichž je každý schopen snímat barvu a intenzitu dopadajícího světla, které bylo odraženo od cílové plochy. Snímané barvy a jejich intenzitu senzor elektronicky vyjadřuje pomocí kombinace červené, zelené a modré barvy. Jedná se o takzvané barevné komponenty RGB. [37]



Obrázek 18 – Funkční schéma - Kamera, autor Kristýna Hytychová



Obrázek 19 – Kamera, autor Kristýna Hytychová

**Přesnost:** Kvalita obrazu klasických kamer závisí na hustotě pixelu v optickém senzoru samotné kamery. Hustota pixelů bývá v řádů jednotek až stovek megapixelů. [37]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Závisí na rozlišení optického senzoru a také následném post-processingu, což znamená interpretaci výstupních dat pro potřeby uživatele. Například obrazové filtry, strojové zpracování obrazu, rozpoznání objektů, detekce hran a podobně. Celková náročnost je většinou velmi vysoká a vyžaduje výkonný systém.

**Podmínky pro správnou činnost:** Pro správné fungování kamerového systému je zapotřebí vhodné prostředí, což znamená přiměřenou vlhkost, teplotu, světlost prostředí a celkovou stabilitu. [37]

**Použití:** Tvorba filmových záběrů, bezpečnostní systémy a systémy pro strojové zpracování obrazu. V kombinaci s lidarem se využívá pro skenování prostředí.

**Výhody:**

- Výstupní data mají ohromné množství využití
- Velké množství informací ve výstupních datech

**Nevýhody:**

- U sofistikovanějších zařízení vysoká cena a často i hmotnost
- Kamery jsou náchylné na poškození, vzhledem k množství a citlivosti interních komponentů
- Často složité ovládání a závislost na množství okolního světla

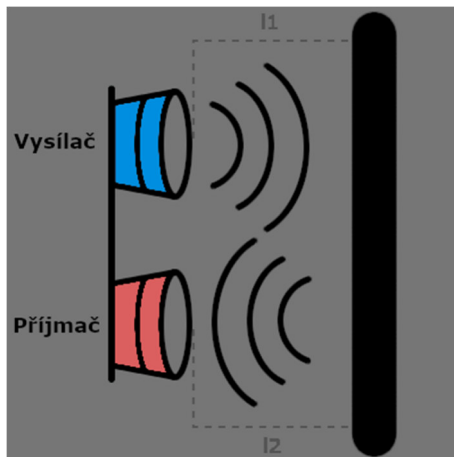
**Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:**

- Zařízení pro mapování terénu, zařízení pro defektoskopii, robotická zařízení volně se pohybující v prostoru, drony

## 4.2 Ultrazvukové senzory

### 4.2.1 Sonar

**Popis:** Sonar je senzor na měření vzdálenosti od okolních objektů za pomoci ultrazvukových impulzů. Senzor vyšle z vysílače ultrazvukový impulz, který se následně odrazí od cílové plochy a vrátí zpět do přijímače. Čas uplynulý od vyslání impulzu do jeho přijetí, můžeme použít pro výpočet vzdálenosti cílové plochy, kde musíme znát rychlost zvuku v daném prostředí, s co největší přesností k dosažení co nejlepších výsledků. [38]



Obrázek 20 – Funkční schéma - Sonar, autor Kristýna Hytychová



Obrázek 21 - Sonar, autor Kristýna Hytychová

**Přesnost:** Centimetry až milimetry [38]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Pro zpracování výstupních dat není třeba výkonný stroj. Samozřejmě záleží, pro jaké účely senzor využíváme a jak data interpretujeme. [38]

**Podmínky pro správnou činnost:** Přijatelná teplota a vlhkost, jejichž rozsahy můžeme nalézt v dokumentaci použitého senzoru. Dále vhodně zvolený cíl měření s dostatečně velkou odrazovou plochou ultrazvukového impulzu. [38]

**Použití:** Ultrasonické senzory se využívají v oblasti bezpečnosti a detekce. Využívají se například jako parkovací senzory, pro detekci přítomnosti objektu v daném prostoru, detekci kolizních objektů, měření vzdálenosti od objektů a podobně. [38]

**Výhody:**

- Poměrně nízká cena
- Nevyžaduje výkonný systém
- Široká škála využití

**Nevýhody:**

- Citlivý na změnu teplot a vlhkosti
- Musíme znát konstantu rychlosti zvuku v prostředí, kde senzor využíváme
- Běžný ultrazvukový senzor nefunguje na příliš velké vzdálenosti v porovnání s laserovými senzory
- Pro úspěšné měření je třeba senzorem mířit na větší objekty s rostoucí vzdáleností

**Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:**

- Ultrazvukové dálkoměry, autonomní zařízení pro orientaci v prostoru

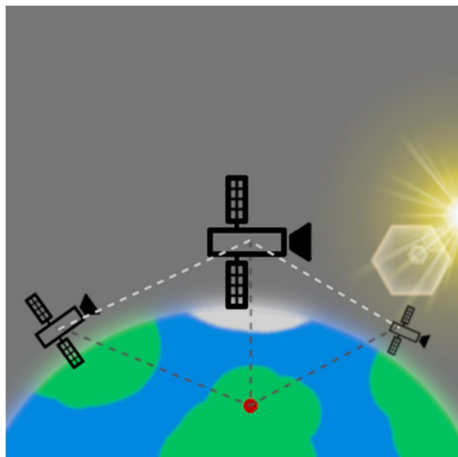
### 4.3 Senzor polohy

#### 4.3.1 GPS

**Popis:** GPS (Global Positioning System) je celosvětově známý protokol, jehož úkolem je poskytnout co nejvíce informací přijímači GPS signálů, jako pozici přijímače v rámci země, rychlost, směr, časové pásmo, přesný čas a podobně. Data přijímač přijímá ze satelitních zařízení, která distribuují po zemi data užitečná pro naše GPS přijímače. Tyto satelitní systémy obsahují výkonné vysílače, velmi přesné atomové hodiny a další periferie poskytující důležité informace. Například pozici GPS přijímače zjišťují pomocí triangulace signálů z několika satelitů, rychlost a směr zjišťují ze změny polohy v čase a čas synchronizují se satelity. [39]

**Přesnost:** Uváděná maximální přesnost GPS pro civilní účely je v řádu metrů, s poměrně novým pozičním protokolem Galileo, určeným především pro Evropské státy, se tato přesnost zvýšila na řády desítek centimetrů. [39]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Náročnost zpracování výstupních dat není příliš vysoká, vzhledem k tomu, že GPS moduly se prodávají již jako hotový systém, který generuje data již ve finální podobě, takže systém využívající GPS modul již nepotřebuje provádět výpočty spojené s triangulací a podobně. [39]



Obrázek 22 - Funkční schéma GPS, autor Kristýna Hytychová



Obrázek 23 – GPS, autor Kristýna Hytychová

**Podmínky pro správnou činnost:** GPS modul vyžaduje pro správnou činnost dostatečně výkonnou anténu a dostatečně silný signál, k čemu největšímu počtu satelitních stanic, pro co nejlepší odhad pozice a dalších užitečných hodnot. [39]

**Použití:** GPS senzory se hojně využívají v mobilních telefonech a automobilech, a to jak pro bezpečnostní účely, tak pro větší komfort. Dále se GPS senzory používají pro armádní účely a další. [39]

**Výhody:**

- Využitelná prakticky celosvětově
- Široká škála využití

**Nevýhody:**

- Poměrně snadno ztrácí signál

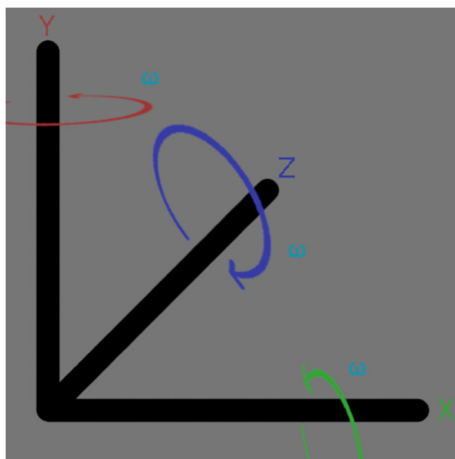
**Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:**

- Totální stanice, moderní dozery, drony pro mapování terénu

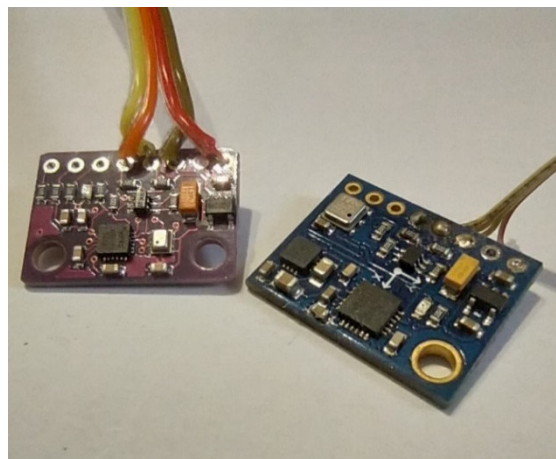
## 4.4 Inerciální senzory – pohybové

### 4.4.1 Gyroskopický senzor

**Popis:** Gyroskopický senzor slouží ke zjištění náklonu za pomoci měření vychýlení miniaturního objektu uvnitř čipu gyroskopu (změna kapacity), který ovlivňuje zemská přitažlivost a pohybová síla, která na něj působí. Senzor vrací hodnoty ve formě úhlové rychlosti, která se pak dá přepočítat na skutečný náklon. Bohužel se tyto hodnoty v čase s realitou poměrně významně rozcházejí kvůli chybám měření, které se vyskytují prakticky vždy a všude (krátkodobá stabilita). Právě pro tento případ se gyroskopický senzor často používá v kombinaci s akcelerometrem, který tento jev dokáže při vhodném použití prakticky eliminovat díky dlouhodobé stabilitě. Dále se právě pro kombinaci gyroskopického senzoru a akcelerometru používají různé matematické filtry, pro co nejlepší eliminaci elektronického šumu. Nejčastějším typem gyroskopických senzorů je typ MEMS (microelectromechanical sensor), který je rozšířený do všech možných oblastí průmyslu a řízení. [40]



Obrázek 24 – Funkční schéma - Gyroskop, autor Kristýna Hytychová



Obrázek 25 - Gyroskop, autor Kristýna Hytychová

**Přesnost:** U běžně dostupných gyroskopických senzorů můžeme dosáhnout přesnosti jednotek až desetin stupňů. [40]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Náročnost zpracování výstupních dat je při požadavku na přesnost poměrně velká a vyžaduje systém, který je schopný efektivně pracovat s použitým matematickým filtrem. [40]

**Podmínky pro správnou činnost:** Pro správnou činnost je třeba především vhodná teplota, která ovlivňuje vnitřní komponenty gyroskopu a může způsobit vyšší nepřesnost měření, či poškození gyroskopického senzoru samotného. Dále je třeba provést kalibraci senzoru. [40]

**Použití:** Gyroskopické senzory se hojně využívají při navigaci, řízení a kontrole například v letectví, v automobilech a mobilních zařízeních. [40]

**Výhody:**

- Gyroskopické senzory mohou dosáhnout velmi malých rozměrů a minimální váhy, takže jsou použitelné i pro zařízení mající malou únosnost či malý prostor pro komponenty, jako drony a mobilní telefony
- Široká škála využití

**Nevýhody:**

- Jsou velmi citlivé na změnu teploty
- I při statické poloze gyroskopického senzoru dochází časem k vychýlení hodnot náklonu (krátkodobá stabilita)
- Většinou je třeba využít akcelerometr pro eliminaci/kompensaci chyb v měření gyroskopického senzoru

**Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:**

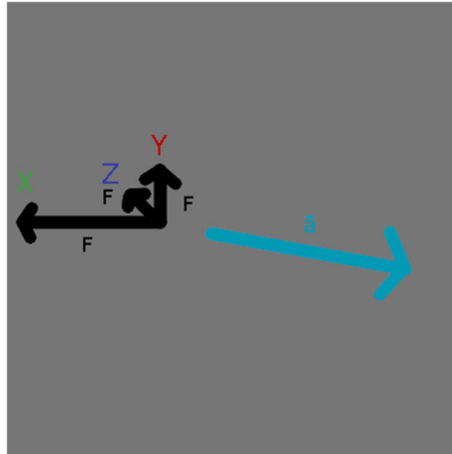
- Drony pro mapování terénu, rotační sklonový laser

#### 4.4.2 Akcelerometr

**Popis:** Akcelerometr je senzor, jak už název napovídá, pro měření akcelerace (zrychlení). Nejběžnější typ akcelerometru, což je akcelerometr tříosý, se ve skutečnosti skládá ze tří akcelerometrů, a to jeden akcelerometr pro každou osu. Každý ze zmíněných akcelerometrů funguje za pomoci krystalu, který při stlačení generuje signály s různou velikostí, a to v závislosti na velikosti stlačení (komprese), a hmoty, která se při zrychlení opírá do krystalu a způsobuje zmíněnou kompresi. Nejčastějším typem akcelerometrů je již zmíněný typ MEMS. [40]



**Přesnost:** Přesnost měření je závislá na typu akcelerometru. Levnější varianty se nehodí pro speciální průmysl, vzhledem k jejich malé přesnosti. U sofistikovanějších akcelerometrů se můžeme setkat s vysokou citlivostí a přesností, která dosahuje až 99 %. [40]



Obrázek 26 - Funkční schéma - Akcelerometr, autor Kristýna Hytychová

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Náročnost zpracování výstupních dat je závislá na jejich interpretaci, to znamená, pro jaké účely tato data využijeme. Například pokud chceme detekovat otřesy, musíme počítat s chybou měření akcelerometru, která negativně ovlivňuje výpočty a může docházet k falešným detekcím. [40]

**Podmínky pro správnou činnost:** Pro správnou činnost je třeba především vhodná teplota, která ovlivňuje vnitřní komponenty akcelerometru a může způsobit vyšší nepřesnost měření, či poškození akcelerometru samotného. Dále je třeba provést kalibraci akcelerometru. [40]

**Použití:** Akcelerometry se využívají v bezpečnostních prvcích, jako například auto alarmy. Dále k detekci příliš velkého přetížení a detekci vibrací, které mohou mít vliv na různé typy systémů. Využívají se též k detekci seizmické aktivity, čímž mohou zachránit životy. [40]

**Výhody:**

- Malá velikost
- Široká škála využití
- Vhodný k eliminaci chyb gyroskopu

### Nevýhody:

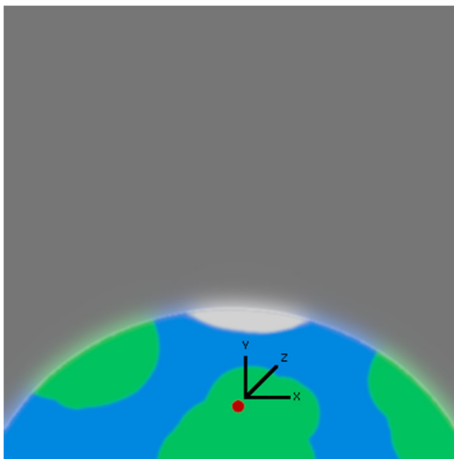
- Citlivý na změnu magnetického pole (například u akcelerometru dronu se průlet okolo větší ocelové konstrukce projeví na vygenerovaných hodnotách)
- Změny teplot mají nepříznivý vliv na měření

### Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:

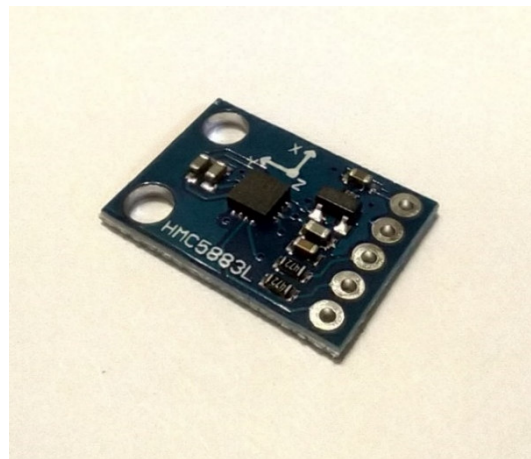
- Drony pro mapování terénu, rotační sklonový laser

### 4.4.3 Magnetometr

**Popis:** Magnetometr je senzor pro měření síly magnetického pole, případně i jeho směru. S tím souvisejí pojmy skalární magnetometr, jehož účelem je měřit primárně sílu magnetického pole a vektorový magnetometr, který měří jeho směr. Převažující typy těchto senzorů jsou založeny na Hallově jevu, případně na magnetorezistivním jevu, které nevyžadují příliš složitou konstrukci senzoru, a tak senzor může dosahovat velmi malých rozměrů. Nejčastějším typem magnetometrů je typ MEMS. [40]



Obrázek 27 – Funkční schéma – Magnetometr, autor Kristýna Hytychová



Obrázek 28 - Magnetometr, autor Kristýna Hytychová

**Přesnost:** U citlivějších senzorů může dosahovat až do řádů nano Tesla (jednotka elektromagnetické indukce) [40]

**Náročnost zpracování výstupních dat:** Náročnost zpracování výstupních dat záleží na použití. Pokud chceme spolehlivá a přesná data, potřebujeme aplikovat některý z matematických filtrů pro vyčištění dat od šumu a to vyžaduje poměrně velký výkon, na který primitivnější zařízení nemusí stačit [40]

**Podmínky pro správnou činnost:** Pro správnou činnost magnetometru je třeba se pohybovat v prostředí, kde se teplota drží v přijatelných mezích, abychom zabránili přílišnému ovlivnění měření. Dále je zapotřebí, abychom se vyvarovali ve sledovaném prostředí předmětům se silným magnetickým polem, které by mohly nežádoucím způsobem ovlivňovat měření. [40]

**Použití:** Letectví, mobilní zařízení, detekce kovů, geologické průzkumy, archeologie a armádní vybavení [40]

**Výhody:**

- Většinou malé rozměry
- Široká škála využití
- Velmi citlivé

**Nevýhody:**

- Nutná pravidelná kalibrace, kvůli pohybujícímu se magnetickému severu země. Severu totiž existují dva, jeden geologický, který známe z map a jeden magnetický, který nám ukazují kompas a magnetometry. Posunu mezi geologickým severem a tím magnetickým se říká deklinace, kterou nám může sdělit například GPS zařízení.
- Citlivý na okolní objekty s magnetickým polem (Toto nemusí být nutně nevýhoda, tato vlastnost se například využívá u některých typů detektorů kovů a ve vojenské technice pro detekci ponorek a podobně)

**Příklady existujících zařízení využívající tento senzor:**

- Drony pro mapování terénu

## 5 Návrh způsobu automatizace manuální kontroly kvality zděné stavby

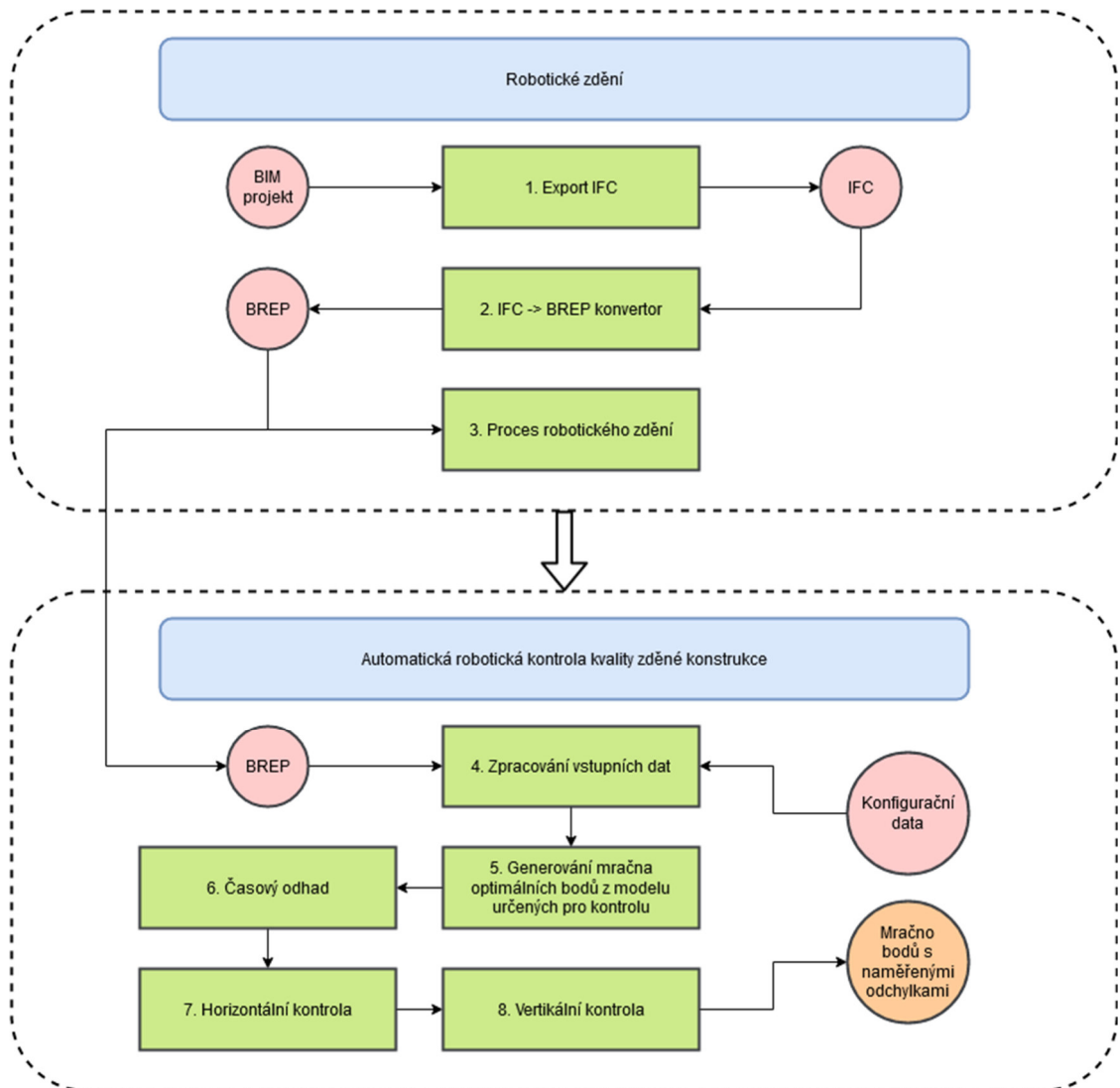
Téma návrhu způsobu automatizace manuální kontroly kvality, jež je praktickou částí mé diplomové práce, vzniklo na základě kooperace naší univerzity a společnosti DEK na projektu Autonomního robotického stavebního systému číslo TH04010329–TAČR (Technologická agentura České republiky), jehož součástí je robot určený pro vyhotovení zděné konstrukce, na který je zaměřená diplomová práce Modelování technologických procesů za účelem robotického zdění Ing. Jana Illetška a který bude rozšířen o výsledný systém této diplomové práce. [41] [42]

Jak již bylo zmíněno v bodě 3.3 Průběh manuální kontroly kvality zděné konstrukce, tak se jedná o poměrně zdlouhavý proces, při němž může dojít k chybám měření a opomenutí kontroly některých částí konstrukce. Dále při automatickém vyhotovení zděné konstrukce za pomoci robotického zdění, je třeba mít způsob, jakým může robot ověřit, že vyhotovená část konstrukce odpovídá legislativním požadavkům. To znamená, že je třeba ověřit, zda-li při průběhu procesu stavby nedošlo vlivem systémové chyby, či za působení vnějších vlivů k defektu na konstrukci. Ověření správnosti vyhotovené konstrukce je však úkol, na který sám robot pro robotické zdění zatím nestačí a je třeba mu poskytnout mechanismus, pomocí kterého ověření může provést. Dnešní technologie již umožňují velmi přesné měření, díky čemuž je možné uskutečnit tvorbu systému pro automatickou kontrolu kvality zděné konstrukce, který je předmětem této diplomové práce. Pro tento systém byl vybrán laserový senzor pro měření vzdálenosti, který bude popsán dále ve spojitosti se systémem pro robotické zdění, do něhož bude systém pro automatickou kontrolu kvality integrován.

Plánované využití systému pro automatickou kontrolu kvality je prozatím pouze v souvislosti s robotickým zdícím systémem, avšak je zde potenciál pro širší uplatnění, která budou diskutována v závěrečné části.

## 5.1 Technologický postup automatické kontroly kvality zděné konstrukce

Následující diagram vyobrazuje, jaké kroky je třeba učinit pro úspěšný průběh automatické kontroly kvality zděné konstrukce vyhotovené zdícím systémem. Horní část diagramu je spojena s činností systému pro robotické zdění, jejíž úspěšné dokončení je jedním ze základních předpokladů pro započetí kontroly kvality. Dolní část diagramu je zaměřená na samotnou automatickou kontrolu kvality. Každý z kroků v diagramu je následně podrobněji popsán.



Obrázek 29 - Vývojový diagram automatické kontroly kvality, autor Kristýna Hytychová

## **Robotické zdění**

### **1. Export IFC**

Nejprve je nutné převést projekt BIM do formátu IFC, který je, na rozdíl od projektů BIM, standardizovaný a obsahuje veškerá data potřebná pro vytvoření konstrukce pomocí robotického zdícího systému. Vytvoření datového souboru IFC je nutným krokem, jelikož programy pro tvorbu projektů BIM nemají jednotný výstupní formát a soubory IFC jsou, alespoň prozatím, jedinou možností přenosu projektů mezi těmito programy. Je třeba zmínit, že v případě konverze BIM do IFC, je možné, že ne všechny vlastnosti daného modelu budou zachovány.

### **2. IFC →BREP konvertor**

Následující krok spočívá v převedení IFC do formátu BREP, jehož pomocí jsme schopni popsat daný model jako soubor konstrukčních dílů, což umožní zdícímu systému určit podstatné vlastnosti těchto dílů a díky tomu naplánovat všechny kroky, které musí zdící robot učinit.

### **3. Proces robotického zdění**

Posledním krokem v procesu robotického zdění je zdění samotné, po jehož dokončení je nutné ověřit kvalitu geometrické přesnosti vyhotovené konstrukce.

## **Automatická kontrola kvality zděné konstrukce**

### **4. Zpracování vstupních dat**

Proces automatické kontroly kvality zděné konstrukce je započat zpracováním vstupních dat a konfigurací potřebných parametrů. Pro úspěšnou konfiguraci jsou třeba data ve formátu BREP, která byla v předešlých krocích použita pro zdící systém, jelikož i systém pro kontrolu kvality vyžaduje znalost vlastností jednotlivých stavebních prvků, jako jejich rozměry a pozice. Dále je zapotřebí systému sdělit, jaké jsou maximální legislativní odchylky stavebních prvků. Nakonec je nutné nastavit hodnotu rychlosti robota pro časové odhady.

## 5. Generování mračna optimálních bodů z modelu určených pro kontrolu

Dalším úkolem systému pro kontrolu kvality je vygenerování mračna bodů z BREP modelu. Body jsou umístěné na každém stavebním prvku tak, abychom pomocí nich byli schopní vystihnout vlastnosti tohoto prvku podstatné pro určení kvality geometrie hrubé konstrukce, jako je jeho otočení a vychýlení z roviny. Zároveň je nutné, aby těchto bodů bylo co nejméně pro co nejrychlejší dokončení činnosti systému (pořadí bodů v mračnu určuje trajektorii ramene průmyslového robota).

## 6. Časový odhad

Díky znalosti vlastností použitého robotického ramene, laserového senzoru a mračna bodů, jsme schopní přesně odhadnout, jak dlouho bude činnost systému trvat, a tak umožnit přesnější plánování navazujících prací.

## 7. Horizontální kontrola

Následuje kontrola stavebních prvků, při které systém zkontroluje odchylky v místech definovaných pomocí mračna bodů, které bylo vygenerováno před započítáním kontroly v místech, která je možné spolehlivě kontrolovat při horizontálním směru pohybu průmyslového robota, jako například ostění. Odchylka je vypočítána pomocí následujícího vztahu:

*Rovnice 3 – Výpočet odchylky*

$$\Delta d = d' - d$$

$d$  je referenční (předpokládaná) vzdálenost laserového senzoru od zkoumaného bodu na reálné konstrukci určená pomocí reálných souřadnic laserového senzoru a souřadnic příslušného bodu v mračnu.

$d'$  je naměřená vzdálenost laserového senzoru od zkoumaného bodu, od které je pro získání reálné odchylky  $\Delta d$  následně odečtena referenční hodnota.

## 8. Vertikální kontrola

Dále je provedena kontrola vertikální, která probíhá stejným způsobem jako kontrola horizontální, s tím rozdílem, že jsou kontrolovány části prvků, jejichž kontrolu lze provést právě pouze vertikální kontrolou, jako například nadpraží, parapet a podobně.

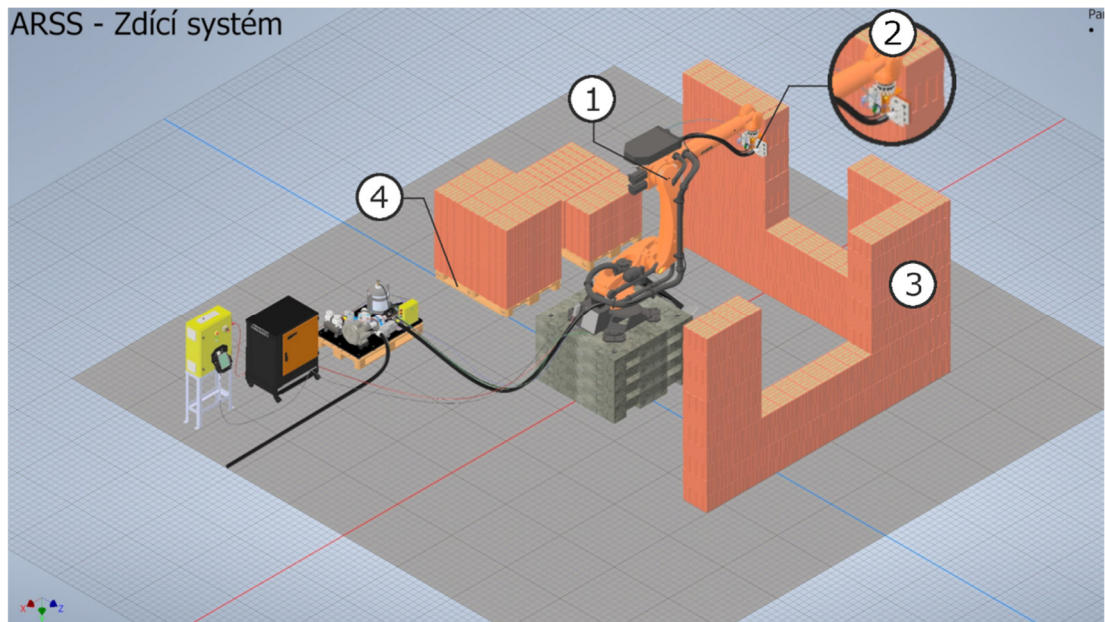
## 9. Mračno bodů s naměřenými odchylkami

Posledním krokem je uložení souboru obsahujícího vygenerované mračno bodů s odchylkami naměřenými pomocí laserového senzoru. Soubor bude použit pro následnou analýzu a případné vizuální vyobrazení přímo na modelu pomocí textury se škálou barev vyjadřující různý stupeň odchylky daného stavebního prvku. Kromě textury s barevnou škálou lze data s odchylkami využít i pro jiné způsoby jejich znázornění, které budou diskutovány dále viz bod 6.2.



## 5.2 Autonomní robotický stavební systém

Na obrázku níže je vyobrazen průmyslový robot KUKA Quantec KR120 R3900 Ultra K, jež propůjčila firma DEK pro další vývoj projektu TH04010329–TAČR. Použitý průmyslový robot je schopný vyhotovit zděné konstrukce větších rozměrů, a to i v měřítku 1:1. [41]



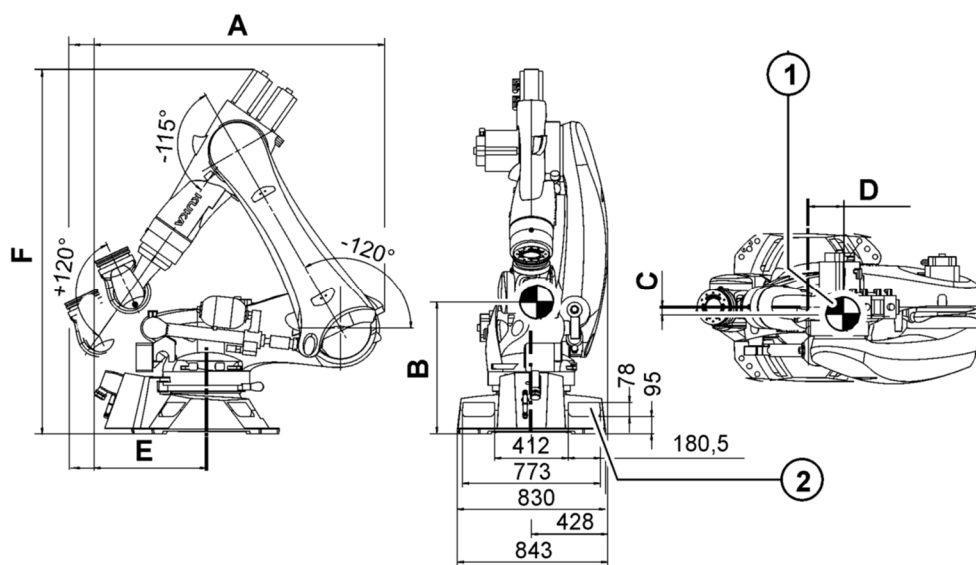
Obrázek 30 - Autonomní robotický stavební systém, převzato z [5]

1. Robot
2. Greifer přísavka (sloužící též jako úchyt pro laserový senzor pro měření vzdálenosti)
3. Zed'
4. Paleta

## Bezpečnost práce s autonomním robotickým stavebním systémem

### Přeprava stroje

Při přepravě robotického ramene je nutné pečlivě dbát na pokyny výrobce a bezpečnostní předpisy, jelikož se jedná o velmi hmotné zařízení, které při špatné manipulaci může zapříčinit i smrtelné zranění a věcné škody. Před každou přepravou je nutné uvést robotické rameno do takzvané přepravní polohy, která definuje, v jakých úhlech se musí nacházet jednotlivé osy průmyslového robota, čímž se zajistí větší stabilita ramene, díky snížení jeho těžiště. [43]



Obrázek 31 - Převozní poloha průmyslového robota, převzato z [43]

1. Těžiště
2. Kapsy pro vidlice vysokozdvížného vozíku

Minimální přepravní rozměry průmyslového robota KUKA Quantec KR 120 R3900 ultra K jsou uvedeny v následující tabulce. Každé písmeno je přiřazeno k příslušné kótě v Obrázku 31.

Tabulka 7 - Minimální přepravní hodnoty průmyslového robota, převzato z [43]

A	B	C	D	E	F
2145	771	37	1127	1147	2215

Pro dosažení minimálních přepravních rozměrů je zapotřebí nastavit následující úhly pro jednotlivé osy, které jsou vyobrazeny v bodě 6.1.1.

*Tabulka 8 - Úhly os pro min přepravní rozměry průmyslového robota, převzato z [43]*

A1	A2	A3	A4	A5	A6
0°	-120°	-115°	0°	+120°	0°

Rameno je možné přepravovat pomocí vysokozdvížného vozíku, díky speciálním kapsám pro vidlice, či pomocí přepravních závěsných prostředků, díky přítomnosti závěsných šroubů s okem M16 DIN580. [43]

Při přepravě je nutné dbát na odtlakování vyvážení zátěže, jelikož natlakovaná nádoba je chápána jako nebezpečný náklad, což je problém například při letecké přepravě. [43]

### ***Kvalifikace personálu***

Personál, jež je pověřený k manipulaci s průmyslovým robotem, musí být schopen posoudit prováděné práce a identifikovat možná rizika. Manipulace robota nezpůsobilou osobou může vést k věcným škodám, či vážným zraněním. [43]

Způsobilá osoba musí vlastnit průkaz, potvrzující autorizaci k manipulaci s robotem na staveništi.

Personál musí splňovat mimo jiné následující podmínky:

- Musí mít adekvátní odborné vzdělání, znalosti a zkušenosti s manipulací s podobnými zařízeními
- Musí mít znalost relevantních návodů k montáži a provozu a znalost příslušných norem
- Musí si pročíst a pochopit dokumentaci průmyslového robota, a to především kapitulu o bezpečnosti [43]

Pro průmyslového robota jsou dále definovány skupiny osob (provozovatel a pracovníci), které mohou přicházet do styku s průmyslovým robotem a mají své povinnosti, které jsou vyspecifikované v dokumentaci průmyslového robota.

#### 1) Provozovatel

Provozovatel je povinen plnit kontrolní povinnosti, provádět instruktáž a dodržovat předpisy související s osobními ochrannými pracovními prostředky (OOPP). [43]

#### 2) Pracovníci

Pracovní personál musí být před zahájením veškerých prací poučen o druhu a rozsahu prací a možných rizicích. Poučení musí být prováděna v pravidelných intervalech, po každé zvláštní události, či technické změně. Musí mít dostatečnou kvalifikaci pro práci se zařízením, jehož součástí je průmyslový robot. Kvalifikovaná osoba je v tomto případě osoba, která je schopna posoudit prováděné práce a rozeznat možná nebezpečí na základě svého odborného vzdělání, znalostí a zkušeností a na základě souvisejících norem. [43]

### ***Bezpečnostní předpisy***

Průmyslový robot musí být před každým použitím řádně zkontrolován, jelikož jej lze bezpečně provozovat pouze v bezvadném stavu. V případě jakékoliv závady je třeba tyto závady odstranit před dalším použitím, i v případě, že nebrání provozu. Dále je třeba pečlivě prostudovat dokumentaci průmyslového robota, jejíž součástí je výpis rizik, jež s sebou nese jeho provoz. [43]

### ***Uvedení do provozu***

Před uvedením průmyslového robota do chodu je třeba provést kontrolu, při které je nutné vynaložit maximální úsilí pro odhalení všech závad, a při které je třeba ověřit, zda-li jsou veškerá zařízení kompletní a zda je možné provozovat zařízení bezpečně. Součástí kontroly je ověření funkce všech bezpečnostních proudových obvodů, správnost instalace

robota a zda nemá žádné uvolněné díly a cizí tělesa na konstrukci. Při kontrole musí být dodrženy veškeré platné státní, či regionální předpisy související s BOZP. [43]

V případě nesprávného připojení průmyslového robota, či při použití nesprávného řídicího systému, je vysoké riziko narušení bezpečnosti a ohrožení osob pohybujících se v blízkosti robota. [43]

Vzhledem k možnosti integrace přídavných komponentů, které nejsou součástí dodávky s průmyslovým robotem KUKA, je třeba dbát, aby tyto komponenty negativně neovlivňovaly bezpečnostní funkce systému, či aby nezpůsobily jejich úplnou nefunkčnost, jelikož by mohlo dojít, stejně jako v předchozích případech, i k usmrcení osob manipulujících s robotem. [43]

### ***Činnost při údržbě, odstraňování poruch a odstraňování provozních či pomocných látek***

Údržba a opravy mají za úkol udržovat průmyslového robota ve stavu, kdy je schopný spolehlivě a bezpečně vykonávat požadované činnosti, případně tento stav obnovit při poruše. Proces opravy zahrnuje jak samotnou opravu, tak lokalizaci defektu, či poruchy, jež je třeba odstranit. [43]

Při provádění údržby, či oprav, je nutné dbát na následující bezpečnostní opatření a vždy musí být zajištěna bezpečnost a ochrana zdraví osob pohybujících se v nebezpečné zóně (viz níže):

- Činnost je třeba vykonávat mimo nebezpečnou zónu, pokud to daná činnost nevyžaduje.
- Robot musí být vypnutý a zajištěný proti opětovnému spuštění, pokud daná činnost výslovně nevyžaduje aktivní stav robota.
- V případě, že je nutné provádět danou činnost ve chvíli, kdy je robot aktivní, musí se robot přepnout do provozního režimu T1 (Testovací druh provozu s ručně sníženou rychlostí na  $\leq 250$  mm/s)

- Na zařízení se musí vyskytovat štítek s informací o pracích prováděných na robotu, který zde musí přetrvat i v případě jejich dočasného přerušení
- Zařízení pro nouzové zastavení musejí zůstat vždy aktivní. V případě, že je třeba tato zařízení při opravách, či při údržbě odpojit, je nezbytné jejich činnost obnovit okamžitě po dokončení dané práce.
- Při výměně komponent robota je třeba dbát, aby byly vyměněny za komponenty se stejným výrobním číslem, či za komponenty, které jsou výrobcem klasifikovány jako rovnocenné
- Čistící a ošetřovací práce se musejí provádět podle provozního řádu, jelikož je třeba dbát na to, aby se do citlivých komponentů robota nedostala vlhkost, či prachové částice, které mohou mít negativní vliv na jeho funkci. [43]

#### ***Návrh bezpečnostního opatření pro naše pracoviště***

Návrh bezpečnostního opatření pro naše pracoviště bude řešeno stejně jako tomu bylo u prvního prototypu Autonomního zdícího robotického systému, a to pomocí jednopaprskových bezpečnostních světelných závor L28E – 3P2431. [41] [43]

Pracovní zóny musejí být omezeny na potřebné minimální rozměry. Je třeba, aby byla pracovní zóna patřičně zajištěna a opatřena bezpečnostními závorami. Jako ochranná zařízení mohou sloužit i například ochranné dveře. Při zastavení nebo přerušení paprsku dojde k zabrzdění manipulátoru a volitelně i přídatných os a jejich zastavení v nebezpečné zóně (oblast dosahu průmyslového robota) [43].

## **6 Návrh konstrukce a funkce robotického systému pro kontrolu kvality hrubé zděné stavby**

V tomto bodě podrobně popíšu konstrukční stránku systému pro kontrolu kvality, včetně detailního popisu jeho funkcí a principu činnosti. Závěrem tohoto bodu se budu věnovat potenciálním rozšířením výsledného systému, která nejsou v rámci této diplomové práce implementována, a tudíž nejsou součástí praktické ukázky.

### **6.1 Popis konstrukce robotického systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce**

Základními stavebními kameny automatického systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce jsou laserový senzor pro měření vzdálenosti OD2-P300W200IO od firmy SICK a průmyslový robot KUKA Quantec KR 120 R3900 ultra K.

Jak již bylo řečeno, průmyslový robot byl propůjčen firmou DEK, která je spoluvůrcem celého stavebního systému, a to včetně systému pro kontrolu kvality. Díky tomuto robotu je možné vytvořit systém, který se dá využít v praxi pro stavbu konstrukcí v životní velikosti, vzhledem k jeho dosahu a únosnosti. Průmyslový roboti od firmy KUKA se obecně vyznačují velmi vysokou kvalitou a přesností, což je klíčová vlastnost pro systém kontroly kvality. Společnost KUKA existuje již přes 120 let, tudíž je jejich praxe ve výrobním průmyslu opravdu rozsáhlá.

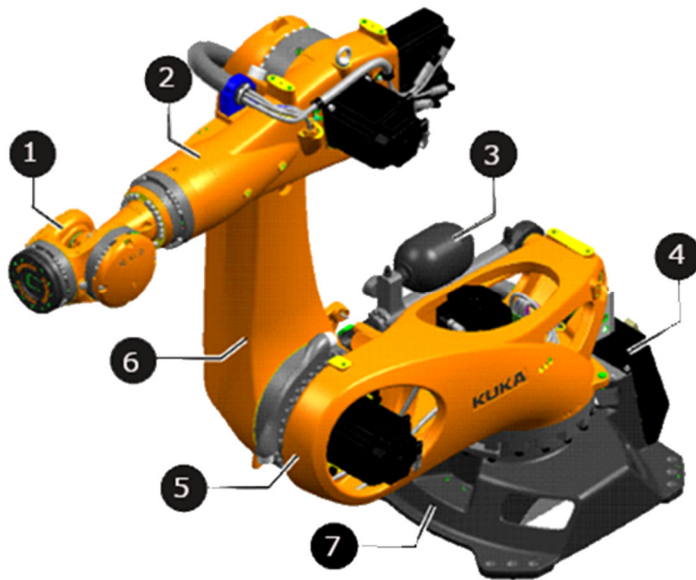
Laserový senzor byl vybrán na základě velmi vysoké přesnosti měření, což je další z klíčových vlastností pro spolehlivost dat poskytnutých systémem pro kontrolu kvality. Senzor bude uchycen pomocí rektifikačního úhelníku na přísavce zděného materiálu, která je součástí systému pro robotické zdění. Firma SICK se v průmyslu pohybuje již více, než 70 let, takže stejně jako u firmy KUKA, jsou jejich výrobky zárukou kvality.

Průmyslového robota a laserový senzor dále podrobněji popíšu pro lepší představu o jejich vlastnostech a funkcích.

### 6.1.1 Robotické rameno KUKA Quantec KR120 R3900 Ultra K

Průmyslový robot KUKA Quantec KR120 R3900 Ultra K tvoří pohyblivý základ systému pro kontrolu kvality. Robot se skládá z centrální ruky, ramene, kyvného ramene, karuselu, podstavce, vyvážení zátěže a elektroinstalační skříňky.

Nejpodstatnější částí průmyslového robota pro systém automatické kontroly kvality je centrální ruka. Centrální ruka je koncová část ramene průmyslového robota, se kterou přicházejí do kontaktu nástavce, pomocí kterých může průmyslový robot vykonávat požadované činnosti. Konkrétně u systému pro robotické zdění to je vakuová přísavka na zdivo, ke které je připevněn laserový senzor. Ten slouží k měření hodnot potřebných k vykonávání procesu kontroly kvality vyhotovené hrubé zděné konstrukce. Popis ostatních komponentů, včetně centrální ruky, je součástí dokumentace průmyslového robota, která je dostupná na stránkách výrobce.



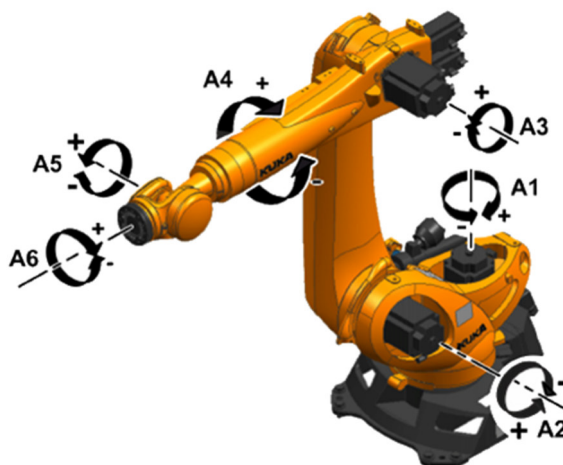
Obrázek 32 - Ilustrační obrázek robotického ramene, převzato z [43]

1. Centrální ruka
2. Rameno
3. Vyvážení zátěže
4. Elektroinstalace
5. Karusel
6. Kyvné rameno
7. Podstavec



Tabulka 9 – Základní parametry průmyslového robota, převzato z [43]

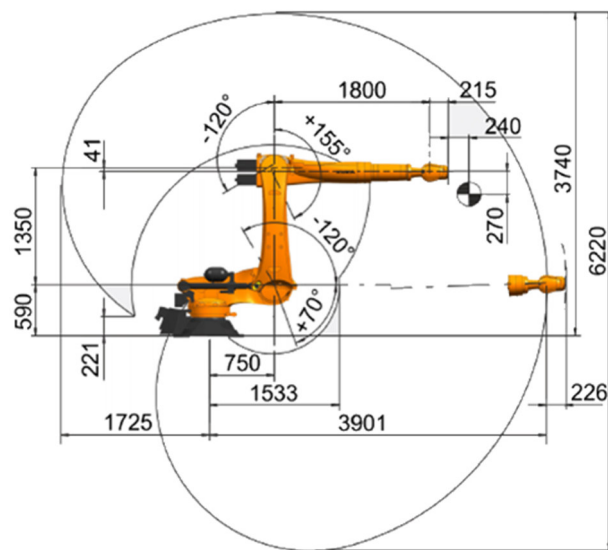
Základní parametry	
Typ	KR 120 R3900 Ultra K
Počet říditelných os	6
Opakovatelnost polohy (ISO 9283)	$\pm 0,06$ mm
Hmotnost	1221 kg
Nosnost	120 kg
Maximální dosah	3901 mm
Plocha robota	830 mm x 830 mm
Hlučnost	< 75 dB
Stupeň krytí (IEC 60529)	IP 65
Řídicí systém	KR C4
Teplotní podmínky	
Pro skladování a dopravu	- 40°C - 60°C
Pro práci	10°C - 55°C



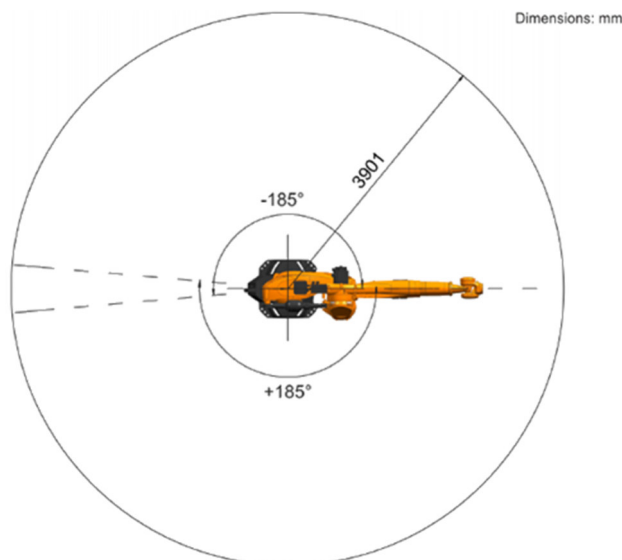
Obrázek 33 - Orientace os průmyslového robota, převzato z [43]

Tabulka 10 - Rozsah pohybu os robotického ramene, převzato z [43]

Rozsah pohybu os robotického ramene	
1	$\pm 185^\circ$
2	-120 °/ 70 °
3	-120 °/ 155 °
4	$\pm 350^\circ$
5	$\pm 125^\circ$
6	$\pm 350^\circ$



Obrázek 34 - Rozměry průmyslového robota, převzato z [43]



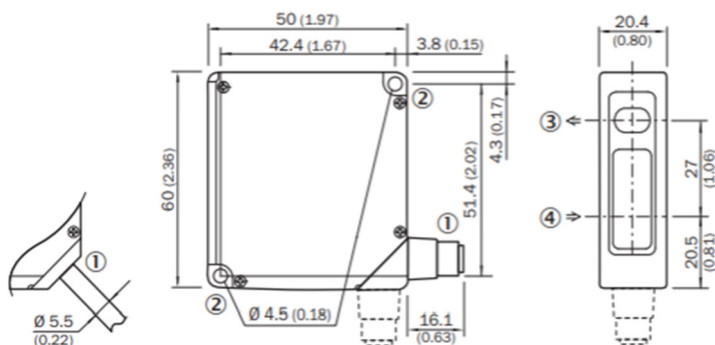
Obrázek 35 - Dosah průmyslového robota, převzato z [43]

### 6.1.2 Senzor pro měření vzdálenosti SICK OD2–P300W200IO

Průmyslový laserový senzor SICK OD2–P300W200IO pro měření vzdálenosti je komponentou umožňující systému pro automatickou kontrolu kvality odhalení odchylek ve vyhotovené konstrukci. Jak již bylo řečeno, tento senzor bude uchycen k vakuové přísavce na zdivo pomocí rektifikačního úhelníku. Senzor bude ke zbytku systému připojen přes signálovou průmyslovou sběrnici Beckhoff. Tento senzor je též velmi malý a lehký, tudíž nebude mít na funkci průmyslového robota prakticky žádný vliv. Senzor dále poskytuje vysoký stupeň krytí, tudíž ho lze provozovat i v náročnějších podmínkách. [44]

Tabulka 11 - Základní parametry laserového senzoru, převzato z [44]

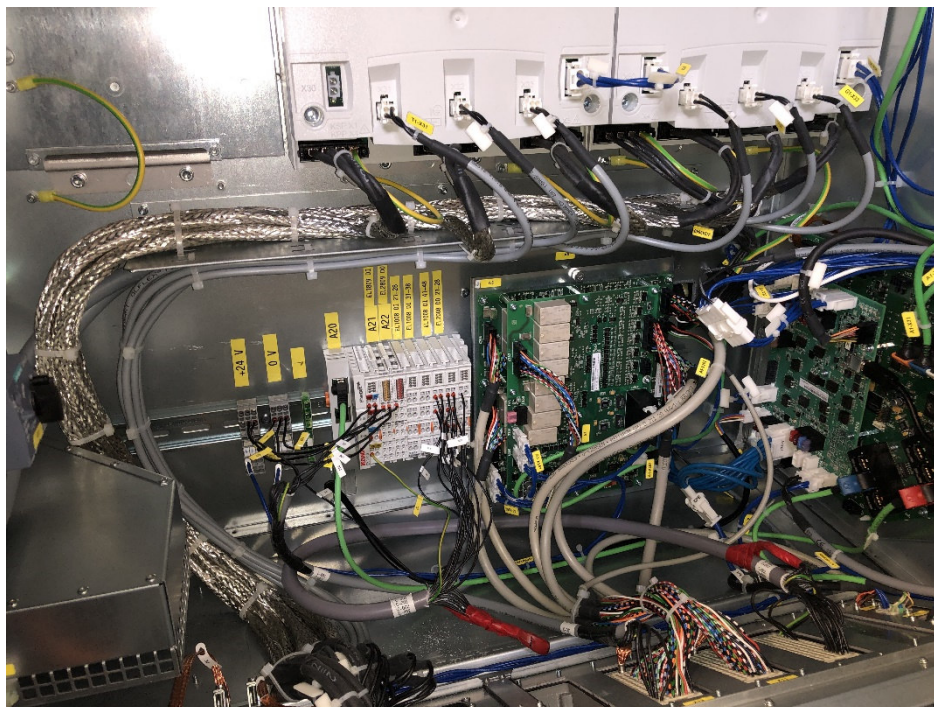
<b>Základní parametry laserového senzoru</b>	
Napájení	12V ... 24V stejnosměrných
Příkon	≤2,88W
Druh připojení	Zástrčka, M12, 8pinový
Váha	70 g
Rozměry (ŠxVxH)	20,4mm x 60mm x 50mm
Stupeň krytí	IP67
Rozsah měření	100 mm .. 500
Přesnost opakování	100 μm
Linearita	±1,2 μm
Doba odezvy	≥ 1 ms
Frekvence měření	≤ 1,33 kHz
Čas výstupu	≥ 0,75 ms
Třída laseru	2 (IEC 60825-1:2014, EN 60825-1:2014)
<b>Teplotní podmínky</b>	
Pro skladování a dopravu	-20° ... +60°
Pro práci	-10° ... +40°
Relativní vlhkost (nekondenzující)	35% ... 95%
Teplotní drift	± 0,08 % FS/K (FS = full scale = rozsah měření senzoru)



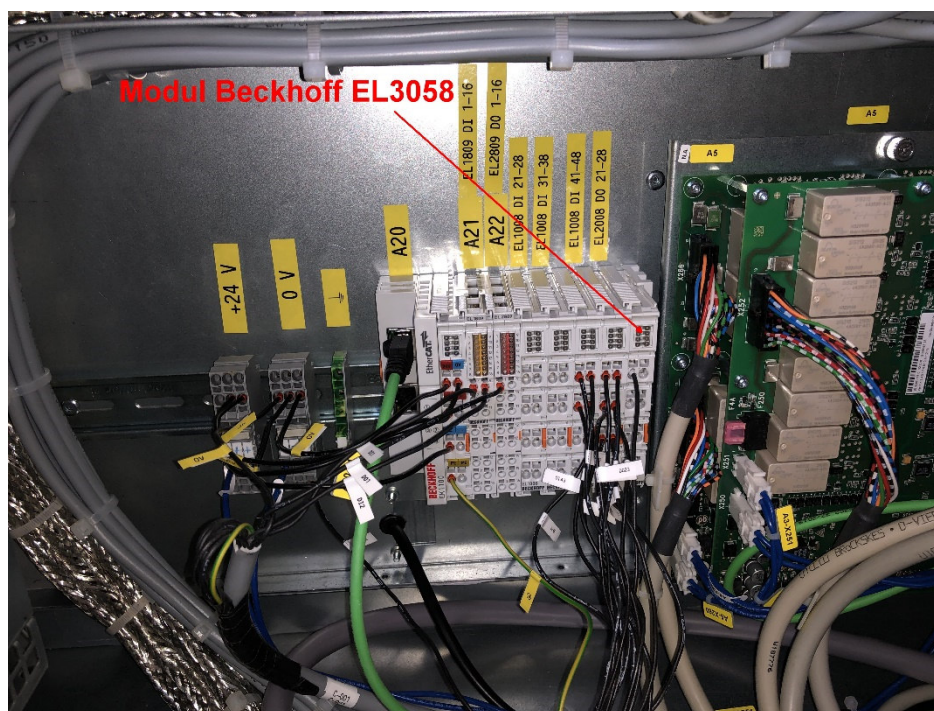
Obrázek 36 - Výkresy laserového senzoru, převzato z [44]

Obrázek 37 – Laserový senzor, převzato z [44]

### 6.1.3 Elektroinstalace průmyslového robota



Obrázek 38 – Elektroinstalace průmyslového robota, převzato z [5]



Obrázek 39 – Detail na modul Beckhoff, převzato z [5]



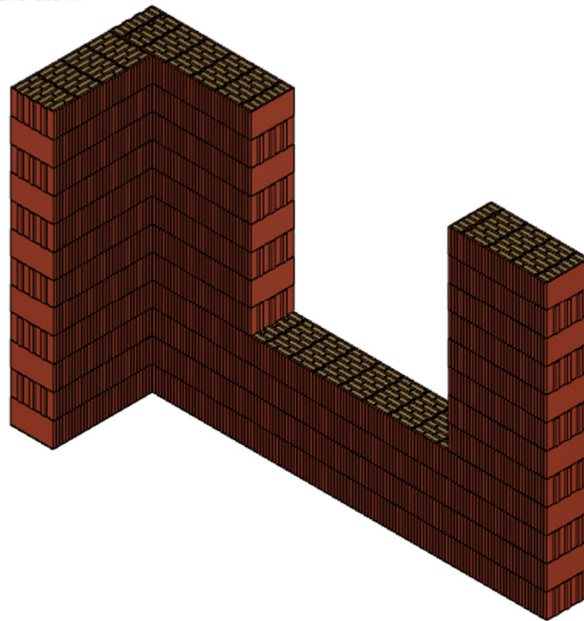
## 6.2 Funkce robotického systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce

### 6.2.1 Popis funkce systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce

Automatická kontrola kvality začíná zpracováním vstupních dat. Vstupní data se sestávají z modelu ve formátu BREP a konfiguračních dat.

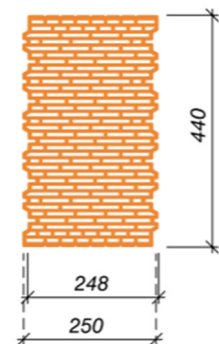
Vstupní model ve formátu BREP musí bezpodmínečně odpovídat modelu, který byl využit pro zdící systém, jelikož systém pro kontrolu kvality využívá tento model jako referenci pro výpočet odchylek reálné konstrukce. Jinak řečeno, stejný BREP model, který byl použit jako vstup pro zdící systém, musí být využit jako vstup pro systém kontroly kvality.

W - Zděná stěna



Obrázek 40 - Model zděné konstrukce pro praktickou část, autor Kristýna Hytychová

V modelu vyobrazeném výše, který jsem zvolila pro praktickou část mé diplomové práce, jsem vybrala zdící prvky od společnosti Wienerberger s.r.o., a to výrobek Porotherm 44 EKO + Profi. Tyto zdící prvky jsou obvykle používány pro obvodové nosné zdivo i pro zdivo nenosné s většími nároky na vlastnosti jako je například tepelný odpor. Pevnost vybraného zdiva je P8 (pevnost v tlaku 8 MPa) o rozměrech 288x440x249 mm. Hmotnost jedné cihly je přibližně 18,3 kg. [45]



Obrázek 41 - Porotherm 44 EKO + Profi půdorys, převzato z [45]

Dalším vstupem jsou konfigurační data, pomocí kterých se definují hodnoty parametrů důležitých pro funkci systému kontroly kvality. Parametry jsou následující:

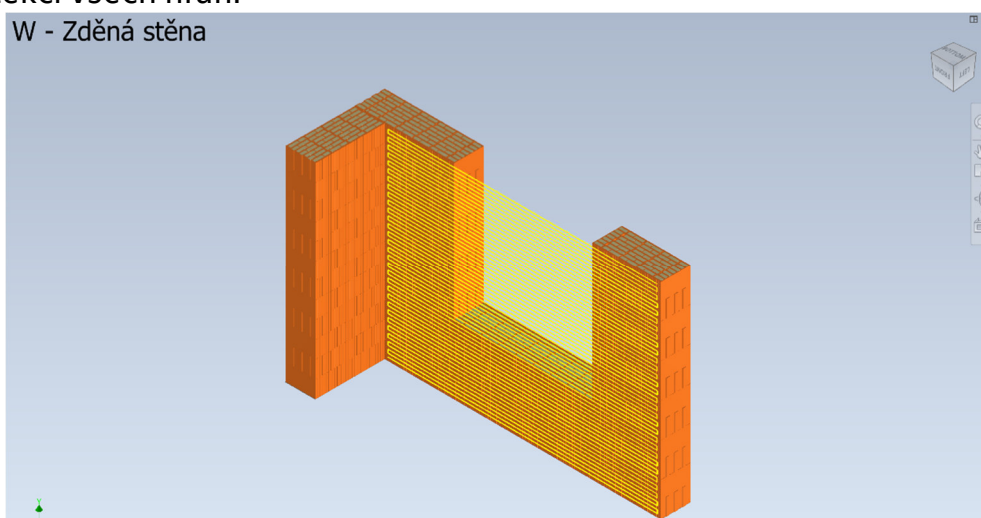
- Rychlost pohybu jednotlivých os průmyslového robota (pro časový odhad)
- Rychlost vzorkování laserového senzoru (pro časový odhad)
- Vzdálenost TCP (zkr. pro „Tool Center Point“, což je koncový bod centrální ruky) od zdících prvků, pro dodržení bezpečné vzdálenosti a vzdálenosti vhodné pro měření použitým laserovým senzorem

Dalším nutným krokem pro zahájení kontroly kvality je generování mračna bodů. Mračno bodů obsahuje souřadnice pro průmyslového robota, kterých musí robot dosáhnout a kde proběhne měření laserovým senzorem. Mračno musí mít dostatečně hustou síť bodů, a to hlavně v místech, kde se nacházejí hrany, pro co nejpřesnější zachycení jejich pozice. Na každém zdícím prvku se musí nacházet dostatečně velké množství bodů pro možnost kontroly odchylky tohoto prvku, jako je neočekávané natočení prvku, jeho vychýlení z roviny, či různé defekty. Generování mračna bodů probíhá na základě poskytnutého modelu ve formátu BREP.

Následuje časový odhad činnosti systému pro kontrolu kvality. Ten lze velmi přesně vypočítat pomocí konfiguračních dat a vygenerovaného mračna bodů. Vygenerované mračno bodů je v tomto případě využito pro získání budoucí trajektorie průmyslového robota a konfigurační data pro vyčtení rychlosti průmyslového robota v jednotlivých osách a rychlosti vzorkování laserového senzoru. Díky těmto datům lze vypočítat výslednou dobu činnosti systému kontroly kvality. Tak lze přesněji naplánovat práce navazující na vyhotovení hrubé zděné konstrukce.

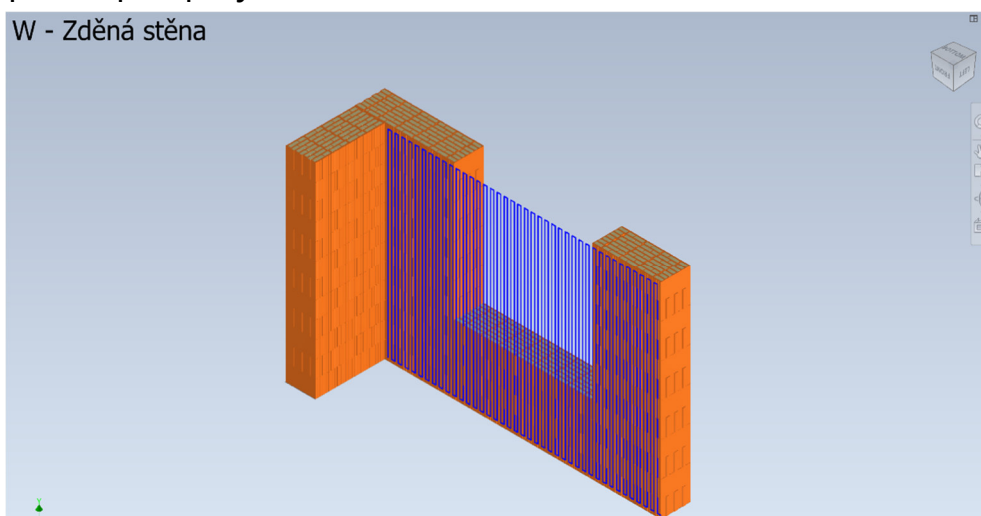
Nyní může být zahájen samotný proces kontroly kvality. Proces začíná horizontální kontrolou, to znamená, že se průmyslový robot orientuje v horizontálním směru. Ve vertikálním směru se pohybuje pouze ve chvíli, kdy je nutné přejít do vyšší, či nižší řady bodů. Jak již bylo

řečeno, tak se pro určení následující pozice průmyslového robota využívá mračno bodů. Úkolem horizontální kontroly je naměřit hodnoty vzdáleností pro body, které je vhodné zkoumat právě při tomto typu kontroly, jako například ostění. Každá hodnota je přiřazena k příslušnému bodu v mračnu, ve kterém byla naměřena. Laserový senzor musí mít nastavenou dostatečně velkou vzorkovací frekvenci pro spolehlivou detekci všech hran.



Obrázek 42 - Mračno bodů určené ke kontrole geometrické přesnosti – horizontální, autor Kristýna Hytychová

Druhou část kontroly kvality tvoří vertikální kontrola, která je založena na stejném principu jako kontrola horizontální s tím, že se kontrolují pouze zdící prvky, které je možné spolehlivě a optimálně zkoumat pouze při vertikálně orientované kontrole, jako například nadpraží a parapety.



Obrázek 43 - Mračno bodů určené ke kontrole geometrické přesnosti – vertikální, autor Kristýna Hytychová

Závěrečnou fází kontroly kvality je uložení mračna bodů s přiřazenými hodnotami do souboru, který je následně využit pro různé interpretace. Příkladem může být grafické vyobrazení odchylek reálné konstrukce vůči virtuálnímu modelu a podobně. Různá další potenciální využití budou diskutována v další části.

### **6.2.2 Rizika spojená s provozem systému v aktuálním stavu**

Vzhledem k tomu, že je systém pro kontrolu kvality teprve ve vývojové fázi, tak je třeba počítat s tím, že systém není dokonale vyladěný a mohou nastat problémy, se kterými se prozatím nepočítalo, či nebylo jejich ošetření prioritní pro prototyp tohoto systému. Výpis problémů následuje níže s tím, že nemusí být kompletní vzhledem k tomu, že pro odhalení všech neošetřených situací musí být sestavený profesionální tým pro testování. Testovací tým má za úkol ověřit všechny hraniční případy, které mohou nastat a ověřit i situace, které jsou v praxi nepravděpodobné či nemožné, jelikož se v praxi může stát téměř cokoliv.

#### **1) Drážky v cihlách**

Jak je známo, existuje spousta druhů a tvarů cihel s různými vzory a drážkami. Tyto nepravidelnosti je třeba brát při měření geometrické přesnosti v potaz, avšak tato funkcionalita zatím není podporována. Pro ošetření případů, kdy laserový senzor měří právě v drážce, či jiné nepravidelnosti, která není v rovině stěny, je možné použít přesný model konstrukce, odkud můžeme získat odchylku těchto nepravidelností od roviny stěny. Dalším řešením by mohla být 3D kamera s osvětlením, pomocí které bychom mohli vyloučit odchylky spojené se spárami a nepravidelnostmi na cihlách.

#### **2) Kolize se stěnou**

Robot si musí hlídat odstup od okolních stěn a dalších případných konstrukčních prvků, čehož momentálně není schopný, jelikož systém neobsahuje žádné senzory umožňující prevenci kolizí. Tato funkce je velmi důležitá, vzhledem k tomu, že se v prostoru robota mohou



objevit nečekané překážky, případně části konstrukce, jejichž pozice byla z modelu chybně vypočtena vlivem systémové chyby, či změnou pozice robota. Pro tyto účely by mohly být použity dodatečné laserové, či ultrazvukové senzory. Tyto senzory však nejsou schopné detekovat veškeré překážky v prostoru. Pro účely detekce méně rozměrných překážek by mohly být použity například kamery.

### 3) Praskliny v cihlách

Praskliny a jiné nečekané defekty na cihlách, způsobené například výrobní vadou, či přepravou, jsou něco, s čím se při výstavbě musí počítat, avšak prototyp systému tyto typy vad materiálu objevit neumí. Robot tyto vady objeví pouze v případě, že mračno bodů obsahuje bod, který leží v místě vady. Tyto vady by pomohla spolehlivě odhalit kamera společně s algoritmem pro zpracování obrazu.

### 4) Vhodné umístění senzoru pro měření

Vzhledem k tomu, že senzor není umístěný přesně uprostřed centrální ruky, ale na boční straně poměrně rozměrné přísavky na zdivo, není možné, aby byla daná stěna zkontrolována až k jejím hranicím v případě, že se na hranici stěny nachází roh. Průmyslový robot však poskytuje dostatečný počet stupňů volnosti na to, aby se tento problém dal v budoucnu vyřešit. Robot dokáže otáčet centrální ruku kolem její osy, čímž umožní měření blíže k hranici stěny. Dále je při přizpůsobení algoritmu pro měření odchylek, možné měřit šikmo na kontrolovanou plochu, díky čemuž můžeme kontrolovat stěnu i přímo na její hranici.

### 5) Praktické využití naměřených odchylek

Po naměření odchylek spárovaných s mračnem bodů a jejich uložení do souboru, je pro praktické využití těchto hodnot nutné zvolit vhodnou rovinu, která bude sloužit jako reference pro výpočet vypovídajících odchylek. Ne všechny stěny musejí ležet ve stejné rovině, jako ve virtuálním modelu, a ne všechny stěny musejí ležet přesně kolmo na vodorovnou konstrukci. Veškeré zmíněné

nedokonalosti jsou ošetřené legislativou a jsou zde přípustné odchylky, které je třeba zahrnout do výpočtu vypovídajících odchylek již použitelných pro grafické znázornění. Rovina může být sestrojena například pomocí bodů, které leží v každém rohu celistvé plochy stěny. Chtěla bych zmínit, že aktuální legislativa je aplikovatelná na kontrolu geometrické přesnosti pomocí robotického systému pouze částečně, jelikož popisuje jen manuální metody a bude třeba odborně zvážit, zda-li není třeba zahrnout konkrétní požadavky na měření pomocí automatických robotických systémů.

#### 6) Nemožnost měření odchylek dílčích částí konstrukce

Systém pro kontrolu kvality prozatím není přímo propojený se samotným zdícím systémem, a tudíž nemůže měřit odchylky dílčích částí konstrukce (například jednotlivé řady zdiva). Riziko spočívá v tom, že pokud budeme kontrolovat již vyhotovenou konstrukci, tak může nastat případ, že bude odhalena kritická odchylka v místech, kde nebude možná snadná náprava a v některých případech by muselo dojít i k demolici této části konstrukce. Při kontrole dílčích částí konstrukce bychom zajistili poměrně snadnou možnost nápravy odhaleného defektu, jelikož nebude daný prvek již zastavěný. Tento případ je naznačený v praktické ukázce výsledného systému. Budoucím úkolem systému by měla být průběžná kontrola vyhotovených dílčích částí konstrukce a celková kontrola po dokončení výstavby.

#### 6.2.3 Potenciální využití výstupních dat systému pro kontrolu kvality hrubé zděné konstrukce

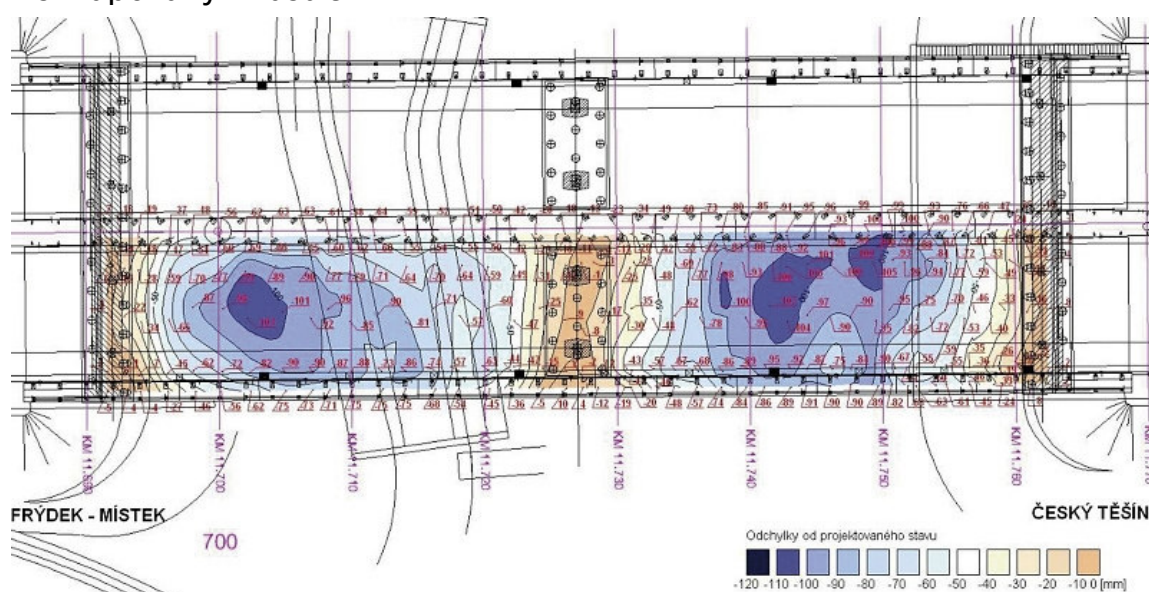
V tomto bodě popíšu některá z potenciálních využití výstupních dat systému pro kontrolu kvality.

Prvním možným způsobem vyobrazení odchylek na konstrukci je barevný rastr mapovaný na virtuální model konstrukce, který byl použit jako vstup pro systém kontroly kvality. Tento rastr by pomocí různé intenzity přednastavených barev znázorňoval závažnost odchylek

v jednotlivých částech modelu. Pro generování rastru je třeba poskytnout hodnoty maximálních odchylek, odpovídajících legislativním požadavkům, pomocí kterých bude řízeno zvyšování, či snižování intenzity barvy znázorňující pozitivní, či negativní odchylku.

Další způsob vyobrazení funguje na stejném principu jako předchozí s tím, že výsledný rastr je mapovaný na reálnou konstrukci, na kterou by byl zobrazený pomocí projekčního zařízení. Projektor by mohl být přidělaný na pohyblivou základnu, či k průmyslovému robotu, který je součástí systému pro kontrolu kvality a pomocí ručního řízení by stavební technici měli možnost řídit, na kterou část reálné konstrukce chtějí promítat. Projekčnímu systému by bylo třeba přidat mechanismus, pomocí kterého bude schopný se orientovat v dané části konstrukce.

Poslední navrhovaný způsob vyobrazení opět funguje na podobném principu jako první návrh s tím, že barevný rastr bude mapovaný na reálnou konstrukci a bude vyobrazen na displeji tabletu s kamerou. Pro tento způsob by byl využit G senzor tabletu s tím, že by opět bylo třeba poskytnout mechanismus pro orientaci v konstrukci pro přesné mapování. Uživatel by v tomto případě kameru tabletu namířil na místo zájmu a v tabletu by byla tato část konstrukce zobrazena s mapovaným rastrem.



Obrázek 44 - Odchylky povrchu betonové mostovky po zaměření, převzato z [47]

## 7 Praktická ukázka

Pro praktickou ukázkou jsem musela zvolit menší konstrukci z důvodu nedostatku materiálu, avšak je plně dostačující pro demonstraci systému vytvořeného v rámci této diplomové práce.

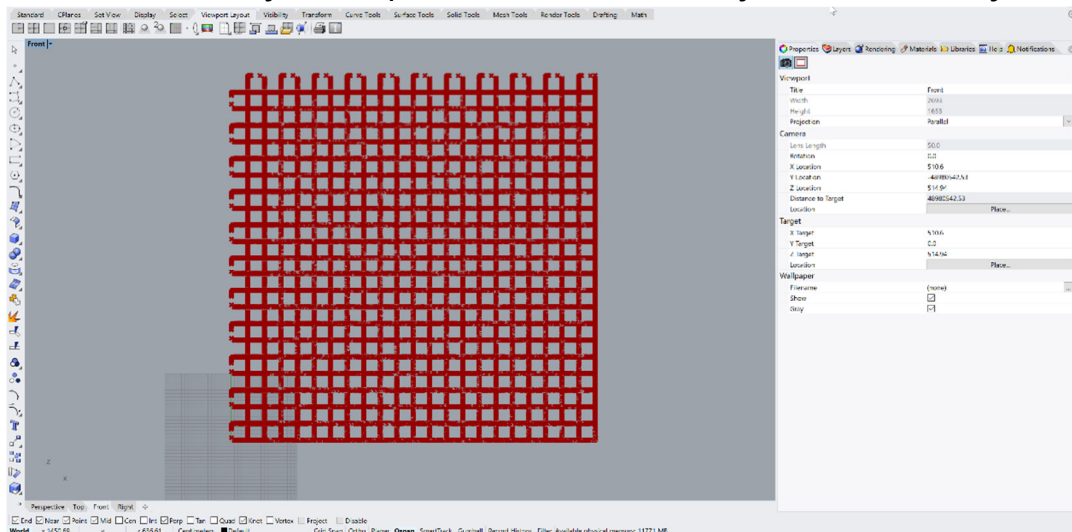
Následují obrázky s krátkým popisem, na kterých jsou zachyceny jednotlivé fáze automatické kontroly kvality v praxi.

Na obrázku níže můžete vidět vzorek konstrukce použitý pro praktickou ukázkou kontroly kvality. Na konstrukci jsme záměrně jeden ze zdících prvků vychýlili z roviny, což je patrné z obrázku, abychom ověřili, zda je opravdu možné pomocí prototypu robota umožnit detekci nežádoucí odchylky z naměřených hodnot.



*Obrázek 45 – Konstrukce použitá pro praktickou ukázkou, autor Kristýna Hytychová*

Na následujícím obrázku je vyobrazena trajektorie laserového senzoru, vycházející z předdefinované sítě bodů pro robotický systém. Předdefinovaná síť bodů byla zvolena vzhledem k tomu, že prototyp robota zatím není sám schopný generovat síť/mračno bodů, podle kterého je řízena jeho trajektorie. Rozteč mezi jednotlivými úseky byla nastavena na 50 mm a frekvence měření laserovým senzorem pro měření vzdálenosti byla nastavena na 100 Hz (100 měření za sekundu). V případě mé konstrukce se jedná o přibližně 1000 bodů na jeden metr běžný.



*Obrázek 46 – Trajektorie laserového senzoru, autor Kristýna Hytychová*

Na dalším obrázku se nachází robot při procesu automatické kontroly kvality, kdy lze na konstrukci spatřit laserový paprsek, který senzor pro měření vzdálenosti používá k měření. Dále lze vidět přísavku na zdivo, ke které je po pravé straně připevněn laserový senzor.



*Obrázek 47 – Laserový paprsek při činnosti, autor Kristýna Hytychová*

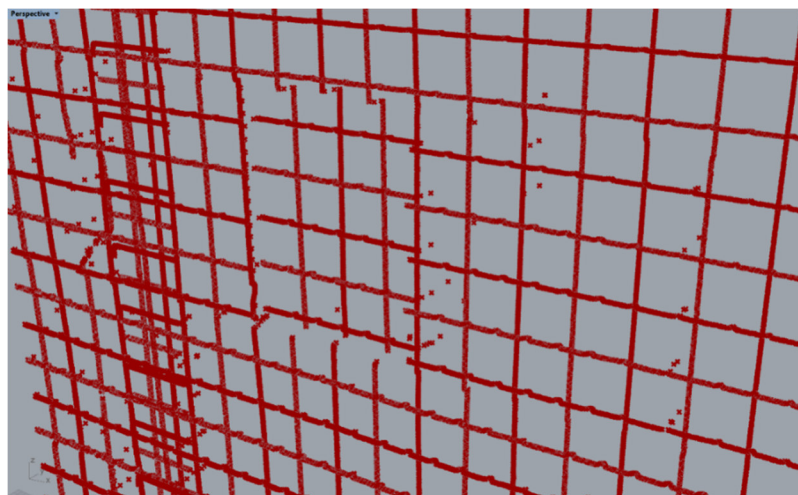


Níže je zachycen detail laserového senzoru při provádění činnosti. Na senzoru se nacházejí indikační LED diody, které sdělují aktuální nastavení senzoru, a zda-li se neblížíme k hranici, kdy senzor již není schopný spolehlivě plnit svůj úkol. Vzdálenost, kterou je schopný měřit je totiž omezená, a to jak na minimální vzdálenost, tak na vzdálenost maximální. V případě použitého senzoru se jedná dle dokumentace o vzdálenost od 100 mm do vzdálenosti 500 mm.

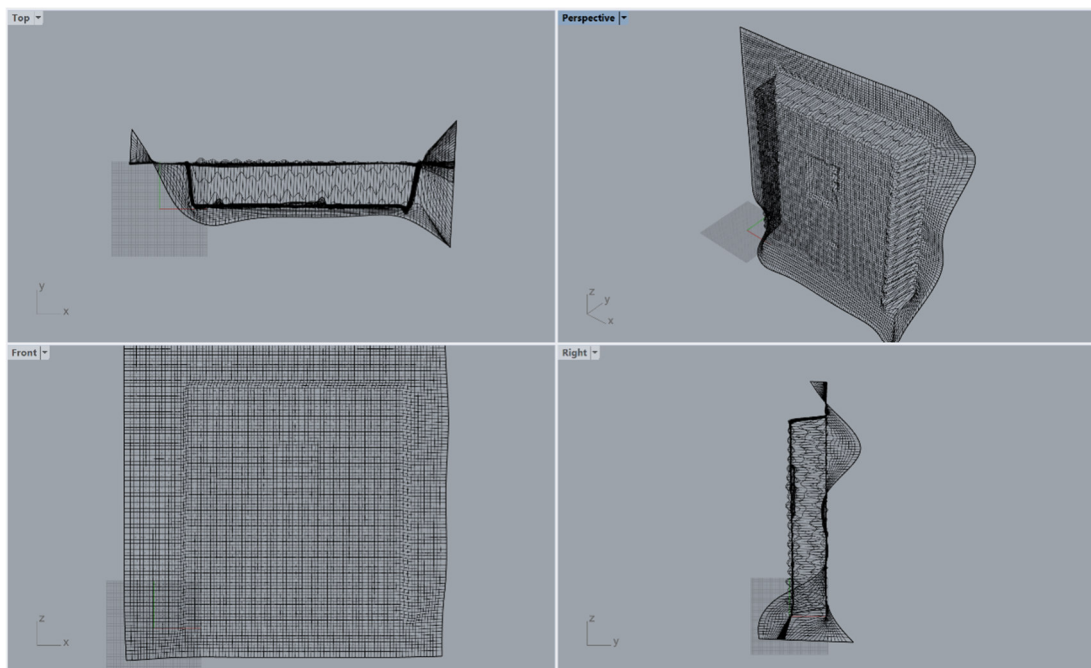


Obrázek 48 – Detail laserového senzoru, autor Kristýna Hytychová

Na obrázcích níže je již graficky vyobrazena síť bodů s naměřenými odchylkami, z níž jsou na první pohled patrné simulované defekty, což bylo účelem praktické ukázky. Ukázka dat, ze kterých je tato vizualizace vytvořena je součástí přílohy 1.

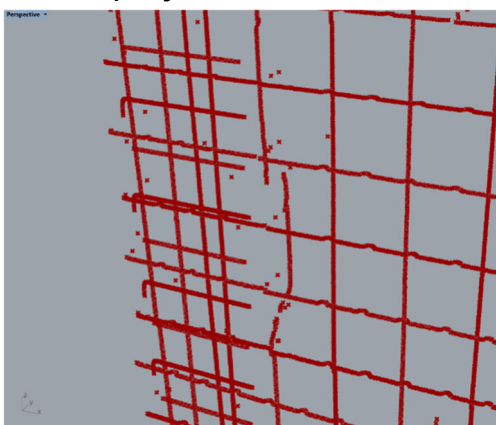


Obrázek 49 – Odchylka znázorňující zdící prvek vychýlený z roviny, autor Kristýna Hytychová

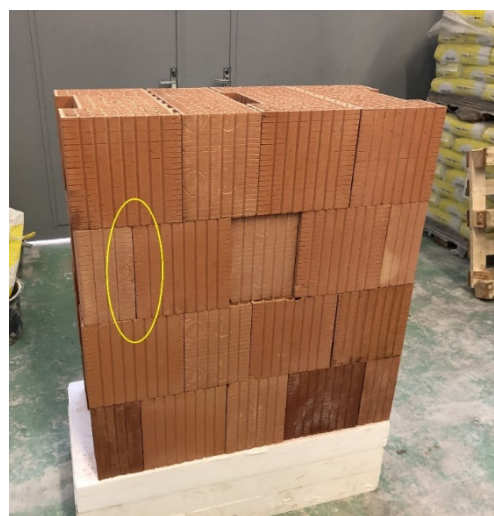


Obrázek 50 – Síť bodů s naměřenými odchylkami, autor Kristýna Hytychová

Na obrázku 52 je patrné, že by nemělo dojít k naměření téměř žádné odchylky, jelikož zdící prvek v tomto místě je ve stejné rovině, jako ostatní (kromě záměrně vychýleného prvku). Naměřená odchylka je v tomto případě způsobena měřením ve spáře, s níž robot prozatím nepočítá. Jak jsem již zmínila, pro ošetření tohoto případu bude využit virtuální model konstrukce, pomocí kterého bude moci systém zjistit, kde může spáry očekávat.

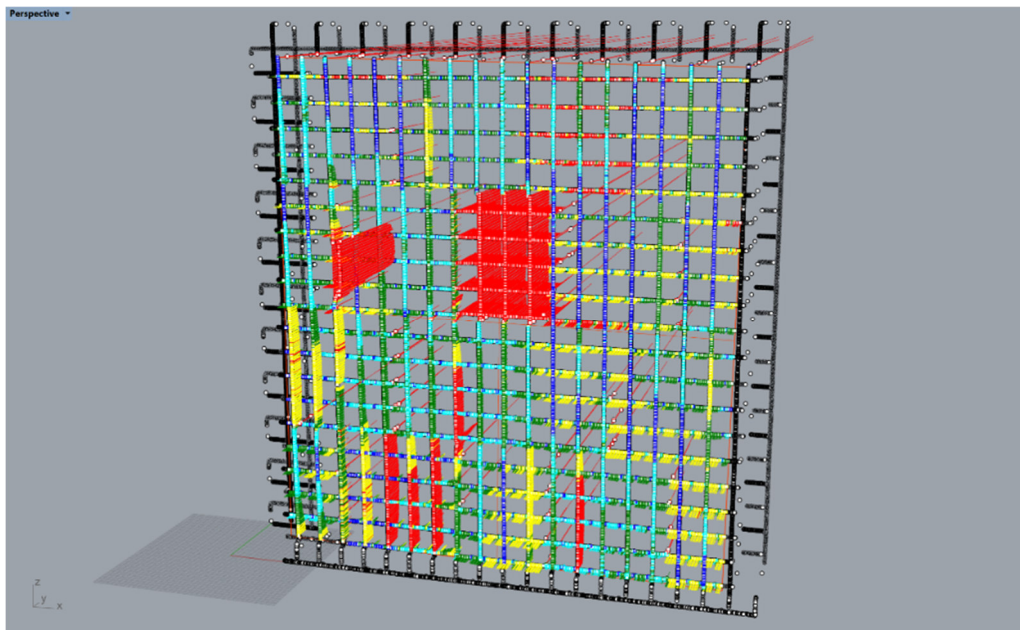


Obrázek 51 – Odchylky ve spáře, autor Kristýna Hytychová



Obrázek 52 – Detail spáry na konstrukci, autor Kristýna Hytychová

Na posledním obrázku je vyobrazen barevný rastr, jehož účelem je jasně a přesně vyobrazit místa s kritickými defekty na konstrukci, které je třeba zvoleným způsobem řešit. Opět je na první pohled patrný simulovaný defekt, který měl systém za úkol měřením odhalit. Jedná se o první verzi vizualizace, tudíž může vykazovat jistou míru nepřesnosti, avšak i přesto předčila očekávání a dokázala, že při dalším vývoji systému lze v oblasti kontroly kvality dosáhnout velkého pokroku.



Obrázek 53 – Barevný rastr, autor Kristýna Hytychová



Po provedení kontroly kvality vzorku konstrukce robotickým systémem jsem provedla manuální měření pro ověření správnosti odchylek v místě ručně simulovaného defektu, viz obrázek níže. Průměrná odchylka v oblasti záměrně vychýleného zdícího prvku naměřená robotickým systémem, je přibližně 18 mm. Průměrná odchylka naměřená manuálně činí 15,8 mm. Rozdíl v naměřených odchylkách může mít několik příčin.

- a. Nedostatečná kalibrace laserového senzoru
- b. Nelinearita naměřených hodnot při změně vzdálenosti laserového senzoru od zdícího prvku (viz charakteristiky laserového senzoru popsané v jeho dokumentaci)
- c. Měření v drážkách zdících prvků
- d. Měření ve spáře

Všechny tyto případy je třeba ošetřit pro eliminaci zmíněné nepřesnosti, což je otázkou budoucího vývoje.



Obrázek 54 - Odchylky naměřené manuální metodou, autor Kristýna Hytychová

## 8 Posouzení a porovnání klasických a robotických metod kontroly kvality

V následující tabulce shrnuji veškerá kritéria potřebná pro porovnání efektivity a finanční náročnosti kontroly kvality automatickým robotickým systémem oproti kontrole užitím manuálních kontrolních metod.

Tabulka 12 - Vícekriteriální analýza, autor Kristýna Hytychová

Kritérium	Pořadí	Priorita	Váha	Povaha	Hledisko
Bezpečnost	1	8	0,20	Maximalizační	Kvalitativní
Cena práce (Kč/h)	2	7	0,15	Minimalizační	Kvantitativní
Kvalita měření	3	6	0,14	Maximalizační	Kvalitativní
Přesnost měření	4	5	0,13	Minimalizační	Kvantitativní
Pracovní doba	5	4	0,12	Maximalizační	Kvantitativní
Doba práce	6	3	0,10	Minimalizační	Kvantitativní
Rozhodnost	7	2	0,10	Maximalizační	Kvalitativní
Časová náročnost pro člověka	8	1	0,06	Minimalizační	Kvalitativní
		36	1,00		

Dále popisují již konkrétní hodnoty daných kritérií, které jsou určeny na základě legislativy, dokumentací a praktických zkušeností.

Tabulka 13 - Vícekriteriální analýza, autor Kristýna Hytychová

Kritérium	Člověk			Robotický systém		
	Hodnota	Pořadí	Vyhodnocení	Hodnota	Pořadí	Vyhodnocení
Bezpečnost	5,00	1,00	0,20	8,00	2,00	0,40
Cena práce (Kč/h)	243,75	1,00	0,15	87,89	2,00	0,30
Kvalita měření	6,00	1,00	0,14	10,00	2,00	0,28
Přesnost měření	1,00	1,00	0,13	0,10	2,00	0,26
Pracovní doba	8,00	1,00	0,12	24,00	2,00	0,24
Doba práce	8,04	1,00	0,10	6,10	2,00	0,20
Rozhodnost	1,00	2,00	0,20	0,00	1,00	0,10
Časová náročnost pro člověka	9,00	1,00	0,06	1,50	2,00	0,12
			1,10			1,90
Výsledek	Robot					

Následuje popis kritérií zvolených pro vícekritériální analýzu:

1) Bezpečnost

- a. Člověk – Provádí kontrolu kvality v nebezpečném prostředí, a to i ve výškách
- b. Robot – Provádí činnost v prostředí zabezpečeném čidly pro prevenci újmy na lidském zdraví

2) Cena práce

- a. Člověk – Zahrnuje průměrnou hodinovou hrubou mzdou v roce 2020, osoby kvalifikované pro manuální kontrolu kvality konstrukce a potřebné vybavení
- b. Robot – Zahrnuje pořizovací náklady laserového senzoru rozpočítané do záruční lhůty 5ti let, dále náklady na součásti pro uchycení a náklady na provoz systému (systém kontroly kvality je rozšířením již existujícího zdícího systému, tudíž není zahrnuta cena průmyslového robota)

3) Kvalita měření

- a. Člověk – Pro urychlení činnosti, či při nedostatku času může opomenout některé části konstrukce
- b. Robot – Kontrolu provádí na základě přesně definovaného modelu a neopomíjí žádné ze zvolených částí konstrukčních prvků

4) Přesnost měření

- a. Člověk – Člověk většinou měří s přesností na milimetry pomocí měřících klínků a 2m latě
- b. Robot – Robot díky laserovému senzoru spolehlivě měří s přesností až na desetiny milimetrů

5) Pracovní doba

- a. Člověk – Zahrnuje standartní pracovní dobu 8 hodin, stanovenou zákoníkem práce
- b. Robot – Zahrnuje počet hodin, po které je robot schopen pracovat za den

6) Doba práce

- a. Člověk – Čas, za který zkontroluje stěnu s plochou 15 m<sup>2</sup>
- b. Robot – Čas, za který zkontroluje stěnu s plochou 15 m<sup>2</sup>, při rychlosti 0,5 m/s

7) Rozhodnost

- a. Člověk – Bytost schopná rozhodování v případě problémů, či neočekávaných situací
- b. Robot – Alespoň prozatím schopnost rozhodování úplně postrádá

8) Časová náročnost pro člověka

- a. Člověk – Zahrnuje dobu, za kterou člověk zkontroluje konstrukci zvolenou pro praktickou část
- b. Robot – Čas pro přípravu systému kontroly kvality (tento čas se při dalším vývoji eliminuje, vzhledem k tomu, že systém směřuje k plné automatizaci)

Z dat vycházejících z tabulky vícekriteriální analýzy vyplývá, že robotický systém vyhovuje ve většině kritérií více než lidský pracovník. Jediným kritériem, ve kterém je člověk, alespoň prozatím, nedocenitelným, je rozhodnost, která je důležitá při jakémkoliv problému při výstavbě, se kterým řídicí program robota nepočítá. Největší výhodou robotického systému je fakt, že může teoreticky provádět určenou činnost 24 hodin denně, jelikož se nemůže unavit, pokud ovšem nepočítáme konfiguraci, údržbu a případné poruchy.

## 9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout systém pro kontrolu kvality zděné konstrukce, který bude sloužit jako rozšíření systému pro robotické zdění, jež je součástí projektu Autonomní robotický stavební systém TH04010329–TAČR. Tento systém je schopný vystavět zděnou konstrukci, avšak postrádá možnost zpětné kontroly kvality, která může odhalit defekty, odchylky, a tudíž bezpečnostní rizika, které mohl, ale nemusel způsobit zdící robot.

V rámci diplomové práce se povedlo systém pro automatickou kontrolu kvality navrhnout a zkonstruovat, díky čemuž byla možná i praktická ukázka. Součástí této práce je výňatek souvisejících legislativních vyhlášek a také vícekriteriální analýza, kde jsem zkoumala efektivitu systému pro kontrolu kvality v porovnání s lidskými pracovníky. To mi umožnilo zhodnotit, zda-li se použití tohoto systému opravdu vyplatí, jak z hlediska financí, tak z hlediska bezpečnosti. Při analýze jsem došla k závěru, že se použití systému pro kontrolu kvality opravdu vyplatí, vzhledem k možnostem pracovní doby systému, přesnosti a jeho poctivosti při kontrole.

Jak jsem již zmínila, vývoj celého autonomního robotického systému je teprve v počáteční fázi, avšak do budoucna má ohromný potenciál. Systém zatím poskytuje pouze základní funkce, což se při dalším vývoji může změnit. V budoucnu bude třeba se zaměřit na zvyšování míry samostatnosti systému a jeho mobility. Dále je třeba se zaměřit na jeho kybernetickou bezpečnost, vzhledem k tomu, že systém bude pravděpodobně připojen k internetu pro vzdálený dozor, pro případné nouzové zastavení při poruše, či k jiným účelům, jejichž realizaci internetové připojení umožňuje. I z těchto důvodů bude třeba zhodnotit, zda-li legislativní požadavky pokrývají veškeré možné případy, pro využití těchto systémů v praxi.

Jednoho dne díky těmto systémům dosáhneme eliminace veškerých rizik, která byla probírána v diplomové práci, a která jsou

bohužel momentálně neodmyslitelnou součástí stavebních procesů. Dalším přínosem samostatného stavebního systému by bylo dramatické snížení časových a finančních nároků na výstavbu, díky minimalizaci potřebného stavebního personálu a maximalizaci pracovní doby, která může díky robotickým systémům trvat teoreticky po celý den. Plná automatizace stavebních systémů je však hudbou budoucnosti a bude trvat minimálně několik jednotek, až desítek let, než tyto systémy budou natolik vyladěné a důvěryhodné, aby mohly být používány v běžné praxi, namísto lety ověřeného lidského stavebního personálu.

Závěrem bych chtěla říct, že i přes snahu plné automatizace stavebních procesů, najde stavební personál stále své uplatnění, jelikož bude nutné zasáhnout v případě, že robotické systémy narazí na kritické problémy. Dále je třeba udržovat robotické systémy v dobré kondici, což zajistí lidská pracovní síla a v neposlední řadě je třeba držet dozor nad těmito systémy, a to jak z vizuální stránky, tak z pohledu kybernetické bezpečnosti. Vizuální stránkou je myšlena ochrana proti krádežím a včasné nouzové zastavení systému v případě nečekané situace, jako je kolize robota. Kybernetickou bezpečností je myšlena ochrana proti neautorizovanému přístupu k řídicímu programu, který by v případě zneužití mohl zapříčinit ohrožení personálu, či jiné nežádoucí následky.

## Zdroje a použitá literatura

- [1] Od 1. průmyslové revoluce ke 4. *Technický deník* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4\\_\\_31001.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4__31001.html)
- [2] ING. JAROSLAV SYNEK, Ph.D. Digitální kontrola kvality stavebních prací. *Tzb-info* [online]. 2020 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bim-informacni-model-budovy/20156-digitalni-kontrola-kvality-stavebnich-praci>
- [3] Projekty. *Robostav* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-projekty>
- [4] 8 companies bringing robotics and automation to construction . *Builtworlds* [online]. 2017 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://builtworlds.com/insights/8-companies-bringing-robotics-and-automation-to-construction/>
- [5] RoboStav.cz: TH04010329 - Autonomní robotický stavební systém. *RoboStav.cz: Laboratoř pro Robotizaci Stavebních Procesů. ČVUT v Praze, Katedra technologie staveb* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-projekt-tacr-TH04010329>
- [6] Ostatní služby. *Skanska* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.skanska.cz/co-delame/sluzby/ostatni-sluby/>
- [7] Geodetické práce. *Skanska* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.skanska.cz/co-delame/sluzby/ostatni-sluby/geodeticke-prace/>
- [8] , Ing. Marek Novotný. Defektoskopie ve stavebnictví za pomoci dronů. *Tzb-info* [online]. 2017 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/strechy/16577-defektoskopie-ve-stavebnictvi-za-pomoci-dronu>

- [9] KollegeMaschine. *Innovation bei Strabag* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <https://innovation.strabag.com/projekt/kollege-maschine/>
- [10] Virtuální realita. *Reality.skanska* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <https://reality.skanska.cz/virtualni-realita>
- [11] SCOTT LAWRENCE PETERS, Nathan. *Brick Laying system*. 2017. 20170254102.
- [12] PETERS SCOTT LAWRENCE, Beckmann. *Building element lift enhancer*. 2019. WO2019040342.
- [13] SAM100 Brick laying construction Robot. *Steemhunt.com* [online]. 2018 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://steemhunt.com/tag/robot/@thedawn/sam100-brick-laying-construction-robot>
- [14] Construction Robotics - Advancing Construction / MULE / SAM. *MULE - Construction Robotics*. [online]. 2007 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.construction-robotics.com/mule/>
- [15] POLÁK, František. *Concrete, a dry mixture for the preparation of this concrete, and a method for preparation of this concrete*. 2018. WO2018177447. Dostupné také z: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2018177447>
- [16] Process diagram - ERC-TECH. *Homepage - ERC-TECH* [online]. 2018 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.erc-tech.eu/cdw/process-diagram/>
- [17] Automated robotic system for post-construction quality assessment - Photoneo Focused on 3D. *Photoneo* [online]. 2019 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.photoneo.com/case-study/automated-robotic-system-for-post-construction-quality-assessment/>



- [18] O'MALLEY, Anneliese. What is the status of robotics in construction?. *Planradar* [online]. 2020 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.planradar.com/robotics-in-construction/>
- [19] QuicaBot: Quality Inspection and Assessment Robot. *ResearchGate / Find and share research* [online]. 2018 [cit. 2020]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/325023612\\_QuicaBot\\_Quality\\_Inspection\\_and\\_Assessment\\_Robot](https://www.researchgate.net/publication/325023612_QuicaBot_Quality_Inspection_and_Assessment_Robot)
- [20] Quality in construction projects. *Designing Buildings Wiki* [online]. 2020 [cit. 2020]. Dostupné z: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Quality\\_in\\_construction\\_projects](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Quality_in_construction_projects)
- [21] Kvalita ve stavebnictví. *Management kvality AAQM* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <http://www.aaqm.cz/kvalita-ve-stavebnictvi/>
- [22] ČSN, 730202. *Geometrická přesnost ve výstavbě - Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační ústav, 1995.
- [23] ČSN, 730205. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Navrhování geometrické přesnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [24] ČSN, 730212-1. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 1: Základní ustanovení*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [25] ČSN, 730212-3. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 3: Pozemní stavební objekty*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [26] ČSN, 730212-5. *Geometrická přesnost ve výstavbě. Kontrola přesnosti. Část 5: Kontrola přesnosti stavebních dílců*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [27] ČSN, ISO1803. *Pozemní stavby - Tolerance - Vyjadřování přesnosti rozměrů - Zásady a názvosloví*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

- [28] ČSN EN, 1996-2. Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí - Část 2: Volba materiálu, konstruování a provádění zdiva. Český normalizační institut, 2007.
- [29] VYHLÁŠKA Č. 268/2009, Sb. Vyhláška o technických požadavcích na stavby. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>.
- [30] ZÁKON Č. 183/2006, Sb. Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>.
- [31] ING. DANIEL MAŠLÁR, Ing. Geometrická přesnost ve stavebnictví . Specializované služby ve stavebnictví/ atelier-dek.cz [online]. 2015 [cit. 4]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/geometrick%C3%A1-p%C5%99esnost-ve-stavebnictv%C3%AD-653>
- [32] ING. LINDA VESELÁ, Ph.D. Základní kontrolní postupy - Geometrická přesnost. Praha: Stavební fakulta ČVUT, Katedra technologie staveb, 2015.
- [33] How Do Laser Distance Meters Work? | Sciencing. Sciencing: Making Science Fun for All Ages [online]. 2017 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://sciencing.com/do-laser-distance-meters-work-6332366.html>
- [34] Laser Distance Meters | PCE Instruments. *Test Equipment Manufacturer and Supplier / PCE Instruments* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.industrial-needs.com/measuring-instruments/laser-distance-meters.htm>
- [35] SF03 - LightWare Optoelectronics. *Www.yumpu.com* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/en/document/read/44736399/sf03-lightware-optoelectronics>
- [36] How To Use Lidar With The Raspberry Pi. *Hackaday / Fresh Hacks Every Day* [online]. 2020 [cit. 2020]. Dostupné z:

- <https://hackaday.com/2016/01/22/how-to-use-lidar-with-the-raspberry-pi/>
- Understanding Digital Camera Sensors. *Cambridge in Colour - Photography Tutorials & Learning Community* [online]. 2005 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.cambridgeincolour.com/tutorials/camera-sensors.htm>
- [37]
- [38] Understanding How Ultrasonic Sensors Work . *Ultrasonic Sensors and High Performance Proximity Sensors / MaxBotix* [online]. 2017 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.maxbotix.com/articles/how-ultrasonic-sensors-work.htm>
- [39] Accuracy, Precision and Reliability of GPS Tracking and GPS Tracker. *GPS Trackers & Vehicle Tracking Systems from Rewire Security in UK* [online]. 2014 [cit. 2020]. Dostupné z: <https://www.rewiresecurity.co.uk/blog/gps-tracking-tracker-satellite-accuracy-precision>
- [40] WETZSTEIN, Gordon. Inertial Measurement Units I. *Stanford.edu/class/ee267/* [online]. [cit. 2020]. Dostupné z: <http://stanford.edu/class/ee267/lectures/lecture9.pdf>
- [41] ILLETŠKO, Ing. *Modelování technologických procesů za účelem robotického zdění*. 2019.
- [42] VAMPOLA, Ing. *Technologický postup pro robotické nanášení zdící malty*. 2019.
- [43] *Montážná návod - KUKA Robots KR QUANTEC ultra K*. Augsburg, 2020.
- [44] Sick.com. *Datový list výrobku - Senzory pro měření vzdálenosti OD Value* [online]. 2020 [cit. 2020]. Dostupné z: [https://cdn.sick.com/media/pdf/5/15/915/dataSheet\\_OD2-P300W200I0\\_6048912\\_cs.pdf](https://cdn.sick.com/media/pdf/5/15/915/dataSheet_OD2-P300W200I0_6048912_cs.pdf)
- [45] Technický list - Porotherm 44 EKO+ Profi. *Stavební materiál pro váš dům / Cihly Porotherm, střešní tašky Tondach* [online]. [cit. 2020].

Dostupné z:  
[https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/bin/CZ\\_POR\\_TEC\\_44\\_EKO+\\_Profi.pdf](https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/bin/CZ_POR_TEC_44_EKO+_Profi.pdf)

- [46] *QuicaBot: Quality Inspection and Assessment Robot*. 2018. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8356033>
- [47] PH.D., Ing. Příčiny a predikce poruch mostních vozovek a izolací mostů. *Časopis SILNICE ŽELEZNICE - Rozvoj dopravní infrastruktury v České republice, na Slovensku i ve světě, moderní trendy, stavební postupy, používané materiály a technologie* [online]. 2010 [cit. 2020]. Dostupné z: <http://old.silnice-zeleznice.cz/clanek/priciny-a-predikce-poruch-mostnich-vozovek-a-izolaci-mostu/>

## **Seznam použitých zkratk**

TAČR – Technologická agentura ČR

IOT – Internet of things (Internet věcí)

BIM – informační model budovy, který slouží pro tvorbu a správu objektu

IFC – standartní otevřený datový formát pro výměnu informací mezi aplikacemi pracujícími s BIM

BREP – datový formát popisující geometrické hranice 3D modelu

MEMS – Miniaturní elektromechanický systém

RGB – Barevné komponenty pixelu (Red, Green, Blue)

SW - Software

TCP – Tool Center Point – Střed centrální ruky

OOPP – Osobní ochranné pracovní prostředky

BOZP – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

## Slovník pojmů

Autonomní – Soběstačný

Systém – Soubor navzájem spolupracujících prvků

Automatizace – Proces nahrazení člověka samočinným strojem

Robot – Zařízení provádějící danou činnost s určitou mírou inteligence

Software – Program

Pixel – Samostatný bod na panelu zobrazovacího zařízení

Vzorkování – Získávání vzorků měření

Vlnová délka – Vlastnost ovlivňující barvu světelného záření

Matematický filtr – Matematický postup pro eliminaci vstupů nesoucích hodnotu s nepřipustnou chybou

Algoritmus – Postup řešení určitého problému

Konvertor – Program pro převod mezi různými formáty datových souborů

Referenční – Vztažná

Signál – V elektrotechnice jde o úroveň elektrického napětí vyjadřující určitou logickou hodnotu

Stupeň krytí – Stupeň vyjadřující bezpečnost a odolnost zařízení

Pin – Kontakt

Mapování – Proces nanesení obrazových dat na vybraný povrch

Indikace – Způsob oznámení určitého stavu

Linearita výstupu – Vyjadřuje předvídatelnost chování výstupní hodnoty při změně sledované veličiny

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Doporučená odchylka svislosti konstrukcí, autor Kristýna Hytychová.....	22
Tabulka 2 - Doporučená odchylka vzdálenosti svislých protilehlých konstrukcí.....	24
Tabulka 3 - Doporučená odchylka celkové rovinnosti hrubého zděného povrchu.....	26
Tabulka 4 - Doporučené odchytky celkové rovinnosti s dokončenými povrchy.....	26
Tabulka 5 - Doporučená odchytky místní rovinnosti hrubé zděné konstrukce.....	28
Tabulka 6 - Doporučená odchylka pravoúhlosti svislých konstrukcí.....	30
Tabulka 7 - Minimální přepravní hodnoty průmyslového robota, převzato z [43].....	50
Tabulka 8 - Úhly os pro min přepravní rozměry průmyslového robota, převzato z [43].....	51
Tabulka 9 – Základní parametry průmyslového robota, převzato z [43].	57
Tabulka 10 - Rozsah pohybu os robotického ramene, převzato z [43].....	57
Tabulka 11 - Základní parametry laserového senzoru, převzato z [44]....	59
Tabulka 12 - Vícekriteriální analýza, autor Kristýna Hytychová.....	74
Tabulka 13 - Vícekriteriální analýza, autor Kristýna Hytychová.....	74

## Seznam rovnic

Rovnice 1 - Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí.....	26
Rovnice 2 - Pravoúhlost svislých konstrukcí - výpočet odchytky.....	30
Rovnice 3 – Výpočet odchytky.....	47

## Seznam obrázků použitých v textu

Obrázek 1 – Stavebnictví 4.0, autor Kristýna Hytychová.....	12
Obrázek 2 – Ukázka patentu Brick Laying System, převzato z [13].....	15
Obrázek 3 - Ukázka patentu - Building Element Lift Enhancer, převzato z [14].....	15
Obrázek 4 – Ukázka patentu - C&DW Recyclation, převzato z [16].....	16
Obrázek 5 - Ukázka patentu Quicabot, převzato z [19] .....	17
Obrázek 6 - Svislost konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová.....	22
Obrázek 7 – Měření svislosti konstrukcí od vztažné přímky, autor Kristýna Hytychová.....	22
Obrázek 8 - Vzdálenost protilehlých konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová.....	23
Obrázek 9 - Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová .....	25
Obrázek 10 - Celková rovinnost povrchu svislých konstrukcí – srovnávací rovina, autor Kristýna Hytychová .....	25
Obrázek 11 - Místní rovinnost povrchu svislých konstrukcí dle ČSN 73 0212-3, autor Kristýna Hytychová .....	27
Obrázek 12 - Místní rovinnost svislých konstrukcí – Tolerance, autor Kristýna Hytychová.....	27
Obrázek 13 - Místní rovinnost svislých konstrukcí – Mezní odchylka, autor Kristýna Hytychová.....	28
Obrázek 14 - Pravoúhlost svislých konstrukcí pomocí rotačního laseru, převzato z [31] .....	29
Obrázek 15 - Pravoúhlost svislých konstrukcí pomocí pravoúhlého trojúhelníku, autor Kristýna Hytychová .....	30



Obrázek 16 - Funkční schéma - Laserový snímač vzdálenosti, autor Kristýna Hytychová.....	31
Obrázek 17 – Lidar, převzato z [36] .....	33
Obrázek 18 – Funkční schéma - Kamera, autor Kristýna Hytychová.....	34
Obrázek 19 – Kamera, autor Kristýna Hytychová .....	34
Obrázek 20 – Funkční schéma - Sonar, autor Kristýna Hytychová.....	36
Obrázek 21 - Sonar, autor Kristýna Hytychová .....	36
Obrázek 23 – GPS, autor Kristýna Hytychová.....	38
Obrázek 22 - Funkční schéma GPS, autor Kristýna Hytychová .....	38
Obrázek 24 – Funkční schéma - Gyroskop, autor Kristýna Hytychová .....	39
Obrázek 25 - Gyroskop, autor Kristýna Hytychová .....	39
Obrázek 26 - Funkční schéma - Akcelerometr, autor Kristýna Hytychová .....	41
Obrázek 27 – Funkční schéma – Magnetometr, autor Kristýna Hytychová .....	42
Obrázek 28 - Magnetometr, autor Kristýna Hytychová.....	42
Obrázek 29 - Vývojový diagram automatické kontroly kvality, autor Kristýna Hytychová.....	45
Obrázek 30 - Autonomní robotický stavební systém, převzato z [5].....	49
Obrázek 31 - Převozní poloha průmyslového robota, převzato z [43].....	50
Obrázek 32 - Ilustrační obrázek robotického ramene, převzato z [43].....	56
Obrázek 33 - Orientace os průmyslového robota, převzato z [43].....	57
Obrázek 34 - Rozměry průmyslového robota, převzato z [43].....	58
Obrázek 35 - Dosah průmyslového robota, převzato z [43] .....	58
Obrázek 36 - Výkresy laserového senzoru, převzato z [44].....	59
Obrázek 37 – Laserový senzor, převzato z [44] .....	59

Obrázek 38 – Elektroinstalace průmyslového robota, převzato z [5] .....	60
Obrázek 39 – Detail na modul Beckhoff, převzato z [5].....	60
Obrázek 40 - Model zděné konstrukce pro praktickou část, autor Kristýna Hytychová.....	61
Obrázek 41 - Porotherm 44 EKO + Profi půdorys, převzato z [45] .....	61
Obrázek 42 - Mračno bodů určené ke kontrole geometrické přesnosti – horizontální, autor Kristýna Hytychová.....	63
Obrázek 43 - Mračno bodů určené ke kontrole geometrické přesnosti – vertikální, autor Kristýna Hytychová .....	63
Obrázek 44 - Odchytky povrchu betonové mostovky po zaměření, převzato z [47] .....	67
Obrázek 45 – Konstrukce použitá pro praktickou ukázkou, autor Kristýna Hytychová.....	68
Obrázek 46 – Trajektorie laserového senzoru, autor Kristýna Hytychová .....	69
Obrázek 47 – Laserový paprsek při činnosti, autor Kristýna Hytychová ..	69
Obrázek 48 – Detail laserového senzoru, autor Kristýna Hytychová .....	70
Obrázek 49 – Odchylka znázorňující zdící prvek vychýlený z roviny, autor Kristýna Hytychová.....	70
Obrázek 50 – Síť bodů s naměřenými odchylkami, autor Kristýna Hytychová.....	71
Obrázek 51 – Odchytky ve spáře, autor Kristýna Hytychová .....	71
Obrázek 52 – Detail spáry na konstrukci, autor Kristýna Hytychová.....	71
Obrázek 53 – Barevný rastr, autor Kristýna Hytychová .....	72
Obrázek 54 - Odchytky naměřené manuální metodou, autor Kristýna Hytychová.....	73

## **Seznam příloh**

Příloha 1 – Ukázka výstupních dat vygenerovaných systémem  
pro automatickou kontrolu kvality zděné konstrukce