

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNOLOGIE STAVEB



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ ROBOTŮ PRO
PROVÁDĚNÍ OBKLADŮ**

2023

VLADIMÍR KUBEŠ

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE:

ING. MICHAL KOVÁŘÍK

PROHLÁŠENÍ

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

V Praze ...datum

Vladimír Kubeš

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michal Kovářík za jeho pomoc, trpělivost, ochotu, které my pomohly k vypracování mé práce. Zároveň jsme vděčný že jsem mohl prozkoumat své vlastní téma a zpracovat tuto práci. Děkuji.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá problematikou pokládky dlažby a řeší ji pomocí návrhu robotického zařízení pro pokládku dlažby.

Práce shrnuje definice požadavků na provádění dlažeb a kde je najdeme dále o základních požadavcích na dlážděné povrchy a požadavcích na její správné provádění. V práci jsou sepsány požadavky na přípravu prostředí, ve kterém probíhá dláždění což zahrnuje i přípravu podkladu, geometrickou přesnost. Práce shrnuje i tradiční postupy pokládky dlažby a navazuje na již realizované projekty na téma robotizovaná pokládka dlažeb. Autor uvedl několik příkladů z již funkčních prototypů, ze kterých bral inspiraci pro autorem navržený automatizovaný stroj.

V praktické části autor navrhuje, základní parametry automatický robotizovaný stroj pro pokládku dlažby. Informuje, jaké komponenty jsou potřebné k plné funkčnosti stroje a co by měl stroj umět, aby byl použitelný na reálné stavbě. Autor navrhl skript pro manipulaci robota s dlaždicemi a ověřil jeho funkčnost simulací která byla podkladem pro autorův průzkum výkonu robotického zařízení. Simulace je zaměřena na pokládku dlaždic o různém rozměru a zjištění celkového potřebného času pro pokládku 1 m².

Robotický stroj je v závěru práce porovnán s tradičním způsobem pokládky a je vyhodnoceno která metoda je vhodná na jaký typ zakázky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obklady, Stavebnictví 4.0., Technologie staveb, Robotizace, Automatizace

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the problem of paving and solves it by designing a robotic device for paving.

The thesis summarizes the definitions of the requirements for the execution of paving and where we can find further about the basic requirements for the paved surface and the requirements for its proper execution. The thesis writes the requirements for the preparation of the environment in which the paving takes place which includes the preparation of the substrate, geometric accuracy. The thesis also summarizes traditional paving procedures and builds on existing projects on robotic paving. The author gave several examples of already working prototypes, from which he took inspiration for the automated machine designed by the author.

In the practical part, the author proposes the basic parameters of an automated robotic machine for paving. He informs what components are needed to make the machine fully functional and what the machine should be able to do to be usable on a real construction site. The author designed a script for the robot to manipulate the pavers and verified its functionality with a simulation which was the basis for the author's investigation of the performance of the robotic machine. The simulation focuses on laying tiles of different sizes and finding the total time required to lay 1 m².

The robotic machine is compared with the traditional laying method at the end of the work and it is evaluated which method is suitable for which type of job.

KEYWORDS

Tiles, Construction 4.0., Building Technology, Robotics, Automation

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

LiDAR: Light Detection And Ranging

Tzn: to znamená

BIM: Building Information Modelling

OBSAH

PROHLÁŠENÍ	2
PODĚKOVÁNÍ.....	iii
ANOTACE	iii
ABSTRACT	v
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	vii
OBSAH	ix
1. MOTIVACE.....	1
2. ÚVOD	3
3. REŠERŠE POŽADAVKŮ NA OBKLAD A TECHNOLOGII PRO JEJICH PROVÁDĚNÍ	4
3.1. DEFINICE POŽADAVKŮ	4
3.2. POŽADAVKY NA POKLAD	4
3.3. POŽADAVKY NA PROVÁDĚNÍ	5
3.4. POŽADAVKY NA PROSTŘEDÍ	5
3.5. PŘÍPRAVA POKLADU	5
3.6. GEOMETRICKÁ PŘESNOST	7
3.7. POKLÁDKA DLAŽEB	8
3.8. TRADIČNÍ PROVÁDĚNÍ OBKLADŮ.....	9
3.9. ROBOTICKÉ A AUTONOMNÍ PROVÁDĚNÍ OBKLADŮ	11
4. HYPOTÉZA	16
5. CÍLE PRÁCE	17
6. METODY	18
6.1. NÁVRH A VYUŽITÍ ROBOTŮ PRO POKLÁDÁNÍ DLAŽEB.....	18
6.2. NÁVRH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ STROJE	18
6.3. DIMENZE STROJE	18
6.4. NÁVRH STROJE	19
6.5. NÁVRH OVLÁDACÍHO SKRIPTU PRO POKLÁDKU OBKLADŮ	25

7.	EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ	26
	7.1. POPIS SKRIPTU	27
	7.2. SLEDOVANÉ PARAMETRY	31
	7.3. NÁVRH TECHNOLOGIE A PRACOVNÍHO POSTUPU POKLÁDKY DLAŽBY PŘI NAsAZENÍ ROBOTA.....	37
	7.4. ANALÝZA POUŽITÍ ROBOTŮ PRO POKLÁDKU DLAŽEB	40
8.	POROVNÁNÍ TRADIČNÍ POKLÁDKY DLAŽBY S POKLÁDKOU PŘI NAsAZENÍ ROBOTA.....	44
9.	DISKUSE.....	45
10.	ZÁVĚR.....	46
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	47
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ	49
	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	49

1. MOTIVACE

Možnosti využití robotů pro provádění obkladů je téma, které mě napadlo prozkoumat, když jsem viděl na stavbě, jak probíhá pokládá velkoformátové dlažby. Byla to velmi náročná práce, neboť váha dlaždice přesahovala až 16 kg. Takovou činnost nezvládne dlouhodobě provádět žádným pracovníkem. Neboť se začne negativně projevat na jeho zdraví a kondici.

Provádění obkladů je náročné jak fyzicky, tak časově, záleží ovšem na rozměru dlaždice či složitosti a objemu celého úseku. Což vede k nedostatku kvalitních a zkušených pracovníků, neboť v dnešní době nastupují do důchodů nebo již nemohou pracovat. Dnešní generace mladých lidí o fyzicky náročnou práci nemají zájem. Kvůli takovým důvodům musíme inovovat a přejít na nové výrobní procesy jako je třeba robotizace abychom nalákali mladou generaci.

V jiných odvětvích například strojírenství je robotizace a automatizace zcela standartní. Ve výrobních halách můžeme vidět jak s těžkou a namáhavou prací pomáhají roboti nebo jak je celý výrobní proces plně zautomatizovaný. Je překvapující že ve stavebnictví se neposouváme stejným tempem jako ve strojírenství. Vzhledem k tomu, že je neustálý tlak ze strany investora na zhotovitele o rychlejší a efektivnější výstavbu.

Díky BIM modelování je aplikace moderních technologií jednodušší a není zapotřebí vyvíjet nové systémy pro zhotovení podkladů pro robotizaci, neboť technologický projekt může obsahovat všechna potřebná data pro stroj. Data pouze vygenerujeme a pošleme do nových systémů. Ty následně pracují podle obdržených dat. Příklad použití podobných systému můžeme na stavbě vídat už v dnešní době. Jedná se například o nasazení dozerů, grejdrů, finišerů a dalších strojů které pracují za pomoci BIM modelu.

Dnešní doba technologií nám nabízí velké množství možností. Jako je možnost rychlého vyhledávání dat a práce s nimi v masivním měřítku, dále možnost vizuálně pracovat s navrhovanými modely a přiřazovat k nim další dodatečné informace a tím zvyšovat detail modelu, nebo například malé moderní ale výkonné stroje díky kterým jsme schopni vyrábět lepší a detailnější mechanismy a nakonec všechno propojit v jeden dokonalý stroj. Moderní technologie nám pomáhají s náročnou prací velkého rozsahu činností od automatické výroby matrací, různých strojírenských komponentů až po celé automobily. Technologii využíváme i pro ovládání dálkově řízených strojů v dolech a pro řízení bez pilotních letounů. Dá se říct, že technologie pomáhá všude kde nebyl dostatek lidské práce, dostačující poměr cena/výkon na vyráběnou jednotku nebo je velké nebezpečí úrazu.

V dnešní době se dostáváme už i do problémů ve stavebnictví, a to z důvodů nedostatku lidské práce, neboť zkušení mistři a odborníci odcházejí do

důchodů, a nová generace nemá žádný zájem a chuť o kvalitní řemeslo. Proto se musíme zaměřit na automatizaci a robotizaci ve stavebnictví což může vést ke zvýšení zájmu.

2. ÚVOD

První obklady byly používány už před 4000 lety před naším letopočtem, ke zdobení chrámů, paláců či jiných veřejných a náboženských budov. Nebyly to dlaždice, jaké známe dnes, ale byly to glazurované cihly nebo desky. Později se dlaždice rozšířily okolo celého středozevního moře, kde se nakonec nejvíce uchytily v Itálii a následně se rozvíjely. Dlaždice se také uchytily na Středním Východě. [2] [3]

Nejprve byly dlaždice potaženy modrou glazurou, později se barevné spektrum rozšířilo a přidali se i různé ornamenty. Například v Turecku byla použita průhledná bílá glazura právě s výše uvedenými ornamenty. V průběhu dalších let se technologie vyvíjely a dlaždice se začali malovat a na budovách tvořili velká umělecká díla, tak zvané laggoni. Také se z jednotlivých barevných dlaždic skládaly mozaiky. Tyto estetické prvky zdobily nejvíce náboženské a veřejné budovy. [2] [3]

V dnešní době jsou dlažby a obklady zcela standartně používány v každé domácnosti pro koupelny a kuchyně, a nejen na významných budovách k ozdobě. Jsou používány jako funkční úprava stěn a podlah jak z estetických, tak hygienických důvodů. V dnešní době už nejsme limitováni standardními malými dlaždicemi, ale máme i velkoformátové dlaždice. Celková škála je od 10x10 cm až po 120x60 cm. [10]



[Obr. 2] Mozaika na průčelí jižního vstupu do katedrály sv. Víta [8]



[Obr. 1] Laggoni [9]

3. REŠERŠE POŽADAVKŮ NA OBKLAD A TECHNOLOGII PRO JEJICH PROVÁDĚNÍ

Obklady jsou finální úpravou stěn a podlah, můžeme je ovšem použít i na jiné konstrukce jako jsou například stropy. Obklady jsou cenově náročná položka a jsou pevně spojeny s konstrukcí budovy, a proto většinu obkladů navrhujeme na 20 a více let. Z toho důvodu je dbáno velkých nároků na jejich provádění a kvalitu.

Obklady rozdělujeme do kategorií dle nasákavosti, způsobu aplikace povrchové úpravy, účelu požití, životnosti, chemické a mechanické odolnosti, odolnosti proti dynamickému zatížení, odolnosti při změně teplot. Povrchové úpravy dělíme na glazované a slinuté úpravy. Glazované dlaždice mají povrchovou úpravu dělanou od lesku do matu. Jsou vhodné pro použití v méně rušných prostorech například rodinné domy. Slinuté dlaždice obsahují jako hlavní složku jílu a živec. Díky tomu mají vysokou odolnost proti mechanickému poškození a mají velkou chemickou odolnost. Používáme je v místech, kde je velká migrace osob. Povrchová úprava je lesk. a mat., ale může být opatřeno protiskluznou vrstvou.

3.1. DEFINICE POŽADAVKŮ

Požadavky na provedení podkladní konstrukce definují normy (standard). Normy (standarty) jsou pravidla které definují, jak se má daný prvek chovat a jak má vypadat. [22]

Normy pro obkladové materiály používáme například:

- ČSN EN 14411 (725109): Keramické obkladové prvky – definice, klasifikace, charakteristiky a označování
- ČSN 73 3451 Obecná pravidla pro navrhování a provádění keramických obkladů

3.2. POŽADAVKY NA POKLAD

Nezbytné pro správné provedení obkladu je podkladní konstrukce, která musí splňovat několik požadavků, abychom byli schopni správně bez obtíží a budoucích poruch, položit obklad. [22][23]

Kvalitně provedený podklad pro dlažbu je velmi důležitý, neboť jeho nekvalitní provedení se lehce projeví na finálním povrchu. Podklad musí být rovný, čistý, suchý a bez mastnot. [22][23]

3.3. POŽADAVKY NA PROVÁDĚNÍ

Je důležitá, aby bylo lepidlo nanášeno pouze na takovou plochu, kterou jsme schopni obložit v čase, než lepidlo začne tuhnout. To je při běžných podmínkách do 30 minut. Je to velice důležité, neboť jakmile je limit překročen snižuje se přídržnost až o polovinu. [22][23]

3.4. POŽADAVKY NA PROSTŘEDÍ

Před započítím pokládky dlaždic musíme zkontrolovat podklad, ten musí být čistý nemastný a hlavně rovný. Teplota materiálu, vzduchu a podkladu by měla být minimálně +5 °C, optimální teplota je ovšem okolo 15 °C. Zároveň by obklady neměly být prováděny během nevhodných klimatických podmínek, což je silný vítr nebo během deště a sněžení. Musíme také nahlédnout do technologického listu použitých jednotlivých materiálů, neboť podmínky prostředí mohou mít různé materiály jako jsou například speciální lepidla a malty specifické.[23]

3.5. PŘÍPRAVA POKLADU

3.5.1. POJIVA NA BÁZI CEMENTOVÉ MALTY

Pojivo je dodáváno v sypkém stavu, do kterého následně musíme přidat vodu a tím vytvořit maltu. Používáme několik druhů cementových malt. Základní je cementová malta, jedná se o směs vody, cementu a plniva. Je to standartní pojivo, které můžeme použít na nespočet typů dlažeb, ale v dnešní době jej postupně nahrazujeme novějšími pojivy.

Pokavád' pokládáme dlažbu do cementové malty musíme zajistit, aby byla tloušťka vrstvy co nejrovnoměrnější a zároveň velice kompaktní (v ucelené vrstvě). Vrstva může být i tlustá z důvodu vyrovnání podkladní vrstvy, na druhou stranu nesmí být tenká. Spoj sice bude pevný, ale také křehký, to znamená že může dojít ke ztrátě soudržnosti. Je také důležité dlažbu namočit do vody, pokud by hrozilo, že by nasákla kapalinu z malty.

Polymercementové maltoviny postupně nahrazují tradiční cementovou maltu, a to, protože mají ovlivnitelné vlastnosti díky přísadám a stabilizátorům. Přidáváme redispegované polymery na zlepšení lepivosti, a tixotropie na zamezení stékovosti. Polymercementové maltoviny bychom neměli používat v prostředí s velkým výskytem vlhkosti nebo velkým mechanickým namáháním.

3.5.2. LEPIDLA

V případě pokládky dlaždic na lepidlo je důležité, aby byla konstrukce co nejvíce vyrovnaná. Jinak může docházet k popraskání a k nerovnému povrchu. [11]

3.5.3. ČIŠTĚNÍ

Obklad je finální vrstva, proto při provádění prací musíme dbát zvýšené opatrnosti na manipulaci s lepidly, malty a jiných materiálů které by mohly dlaždice poškodit či znečistit. Je důležité, aby případně nečistoty byly neprodleně odstraněny a místo vyčištěno.

Hlavními důvody znečistění jsou:

- Lepidlo
- Cement
- Tvorba květů (vzlínající voda nebo vysychání)
- Těsnícími materiály
- Čistící přípravky (nejsou vhodné k použití na čištění dlaždic nebo pro použití s vodou)

Čištění okolo spár provádíme nejdříve 30 minut po zaspárování, ale záleží také na prostředí, ve kterém pracujeme. Na čištění používáme houbu namočenou v čisté vodě, takže potřebujeme dva kbelíky. Jeden na čištění, ten musí mít na dně mřížku pro zabránění mísení usazenin zpět do houby a druhý s čistou vodou. [23]

3.5.4. OCHRANA

Vzhledem k cenám práce a samotným dlaždicím je zapotřebí chránit dlažbu při dokončovacích pracích. Každá činnost může dlažbu poškodit ať to je malování, montáž zdravotní keramiky či nábytku. Jako ochranu používáme textilní rohože, protože nehrozí shrnování a posouvání proto je musíme přilepit k podlaze. Lepidlo nesmí ale zanechávat žádnou stopu po odlepení.[23]

3.6. GEOMETRICKÁ PŘESNOST

3.6.1. ROVINOST

První z požadavků pro dlažbu je rovinnost povrchu. Ta musí být v toleranci ± 3 mm při měření pomocí dvou metrové latě. Prohlídku provádíme také vizuálně, a to ze vzdálenosti aspoň 1,5 m od povrchu za běžného osvětlení.[23]

3.6.2. PŘESAHY

Přesahy měříme z jedné dlaždice na druhou pomocí pravítka a klínku. U spár do 6 mm širokých je tolerance 1 mm a u spár nad 6 mm širokých je tolerance 2 mm. [23]

3.6.3. VODOROVNOST

Kontrolujeme u podlah, a to tak že položíme vodováhu na podklad a měříme odchylku L/600. [23]

3.6.4. SVISLOST

Měříme pomocí olovnice u stěnových obkladů. Tolerance je H/600 [23]

3.6.5. ŠÍŘKA A ROVINOST SPÁR

Kontrolujeme u vodorovných a svislých konstrukcích. Spáry musí být rovnoměrné a pravidelné. Kvalita provedení je známkou provedení celé plochy. [23]

3.6.6. TRVANLIVOST

Obklad je trvanlivý krycí systém (nemusí se obnovovat) [23]

3.7. POKLÁDKA DLAŽEB

3.7.1. Typy obkladů

V dnešní době používáme více typů dlažeb. Jedná se o velkoformátové, maloformátové nebo mozaikové archy. Maloformátové dlažby jsou od nejmenších rozměrů až do rozměru 30 x 60 cm kde začíná velkoformátová dlažba, a to až do rozměrů 120 x 340 cm. Mozaiky se v dnešní době nepokládají dlaždičku po dlaždičce, ale na mozaikových plátech což je tkanina již posázená mozaikou. Tento způsob je vyvinut pro rychlejší postup pokládky. [11]



[Obr. 3] Mozaikové plátno [10]

3.7.2. Povrchová úprava obkladů

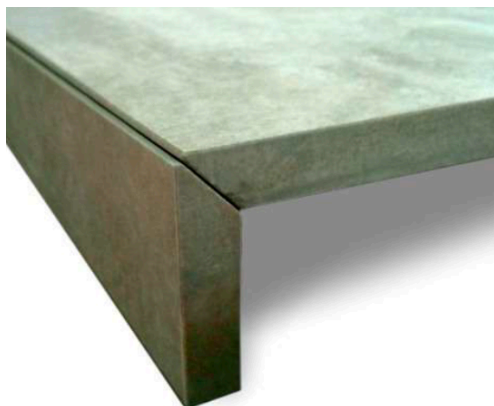
U dlažeb máme dva typy povrchové úpravy glazované, slinuté a kombinace. Glazurované dlaždice jsou natřeny glazurou, kterou vypalujeme za nízkých teplot. Slinuté dlaždice obsahují směs jílu a živice. Kombinace těchto materiálů je lisována za vysokého tlaku a následně vypálena při vysoké teplotě. Výhoda slinutého povrchu je minimální výskyt pórů, nízká nasákavost, odolnost proti oděru, a vysoká pevnost.

Finální povrch u glazovaných dlaždic může být lesklý, pololesklý, polomatný, matný. U neglazovaných dlaždic povrch probarvujeme či dekorujeme ale je lepší odolnost proti oděru. [11]

3.7.3. Typy nároží

Konstrukce rohů je tvořena třemi standardními typy. Nejstarší spojení rohu je na sraz, které se již nepoužívá. V dnešní době používáme rohové lišty nebo kamenické rohy. Lišty jsou vkládány na roh do lepidla a přidrženy dlaždicí. Materiál

použitý na lišty je plast nerez a hliník. Kamenné rohy jsou více náročné na přesnost, protože musejí být konstrukce na sebe pravouhlé, aby výsledný spoj vypadal dobře. Roh dlažby je seříznut pod úhlem 45 stupňů a následně spojen s protilehlým. [11]



[Obr. 4] Kamenný spoj [11]



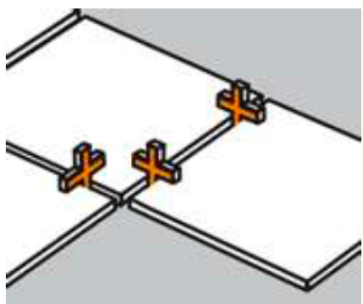
[Obr. 5] Lišta [11]

3.8. TRADIČNÍ PROVÁDĚNÍ OBKLADŮ

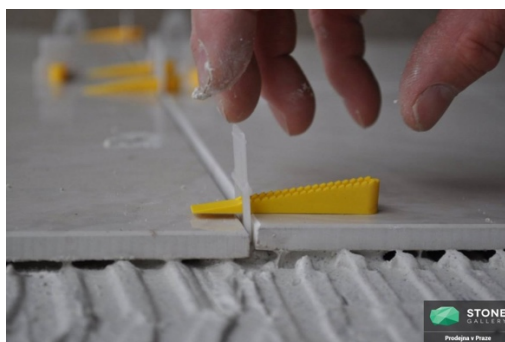
Při tradičním provádění pokládky vždy začínáme úklidem pracoviště a následnou penetrací. Nyní začíná technologická pauza pro schnutí penetrace dle požadavků výrobce. Během přestávky si připravíme dlažbu pro pokládku. Kontrolujeme barevnost dlažby a datum výroby. Po uplynutí technologické pauzy začneme s pokládkou dlaždic prvně si namícháme lepidlo a následně nanášíme lepidlo na konstrukci. Máme možnost použít jednu ze tří metod způsobů obkládání a to buttering, floating nebo kombinaci buttering – floating. Metody jsou rozdílné dle způsobu a místa nanášení lepidla. Do naneseného lepidla pokládáme dlažbu. Pro zajištění konstantní mezery používáme distanční křížky mezi dlaždicemi, které nám zajistí že se dlaždice nebudou přibližovat. U velkoformátové dlažby používáme klínky, neboť také zajišťují, že dlaždice na sebe přesně navazují. Po dokončení celé plochy je technologická pauza běžně 24 hodin, aby mělo lepidlo čas vytvrdnout. Následně odstraníme klínky a distanční křížky pomocí palice. Dále spáry vyspárujeme spárovací hmotou na následně očistíme dlaždice od přebytečné hmoty. Nakonec celý povrch vyčistíme.[21]

Při pokládce dlažby je dobré znát pojmy jako jsou:

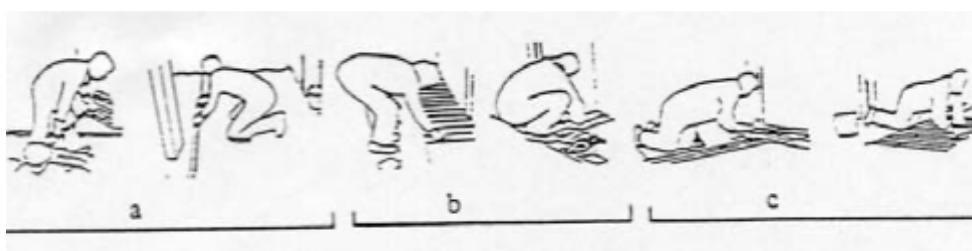
- Doba zrání – čas který by mělo lepidlo po rozmíchání stát
- Doba zpracovatelnosti – čas během kterého je lepidlo možno použít, po uplynutí této doby se lepidlo nemá používat
- Otevřený čas – časové okno ve kterém máme možnost přikotvit obkladačku
- Korekční čas – časová rezerva ve které můžeme vyrovnávat obkladačku.



[Obr. 6] Distanční křížek [21]



[Obr. 7] Klínek [20]



[Obr. 8] Schéma pokládky dlažby [7]

- A) Roztírání a vyrovnání podlahy
- B) Pokládka lepidla dlažby
- C) Vyrovnání a spárování

3.8.1. FLOATING

Jedná se o metodu, která používá na nanášení spojovací hmoty zubové hladítko. Nejprve nanese tenkou jedolitou vrstvu na podkladní konstrukci a následně se do stejné kontaktní plochy nanese lepidlo zubovým hřebenem, táhneme jej pod úhlem 60°. Pokud je dlaždice umístěná na podlaze musí být pokryto alespoň 90% povrchu maltou a pokud je na stěně stačí 60 % povrchu. Ovšem když jsou dlaždice použity v exteriéru je potřeba mít pokrytý celý povrch. [23]

3.8.2. BUTTERING

Při použití této metody se nanáší více lepidla na obkladačku a jen tenká vrstva na kontaktní vrstvu. Metoda se používá spíše při opravách a u osazování soklů. [23]

3.8.3. BUTTER-FLOATING

Je to kombinovaná metoda, která se používá u ploch, která jsou vystavena vnějším vlivům prostředí, hlavně vodě nebo mrazu, jako jsou například bazény, parní lázně, balkony nebo i mrazáky. [23]

3.9. ROBOTICKÉ A AUTONOMNÍ PROVÁDĚNÍ OBKLADŮ

Větší nároky na rychlost výstavby a méně pracovní síly nás nutí přecházet na nové technologie těmi jsou automatizované stroje. Kompaktnost nových strojů nám dovoluje vymýšlet nové stroje a modernizovat nejrůznější pracovní činnosti. Robotické pokládání dlažby je jednoduché a efektivní řešení, jak pokrýt velkou plochu v krátkém čase a velice přesně. Stále větší přesnosti robotických rukou nám přináší nové možnosti za použití méně náročných technologií, kterou doplníme o snímací lasery a čidla pohybu. Práce s automatizovanými stroji není fyzicky náročná a tím pádem na zaručí stejnou kvalitu po celou dobu realizace.

3.9.1. ROBOTIC TILLING MACHINE

Skupina Future Cities Laboratory ve spolupráci s ROB Technologies v letech 2010-2014 vymyslela mobilní řešení pokládky dlažby za pomoci malého asistenčního robota. Stanice je rozdělena do dvou částí, a to je na robota se zásobníkem na dlaždici a se zásobníkem na pojivo. Robot je osazen přísavkami, které mu umožňují manipulovat s dlaždicemi tak i s nástrojem pro aplikaci pojiva, který je osazen na desce, kterou robot přisaje. Systém je kompaktní a jednoduchý. Negativem je malý dosah robotické ruky, ale lze to vyřešit umístěním na automatizovanou pojízdnou plošinu. Výhodou použití asistenčního robota je, že může pracovat za přítomnosti lidí, neboť při kontaktu s překážkou zastaví a čeká na povel k pokračování. Má totiž citlivé senzory nárazu, a tak nehrozí úrazu na pracovišti. [4], [5]

Project byl vyvinut z důvodů nedostatku zkušených pokladačů v Singapuru. Neboť každý rok je položeno přes 40 milionů kusu dlažby během výstavby nových projektů. Zároveň je požadavek na rychlost výstavby, což robot splňuje, protože dlaždicemi



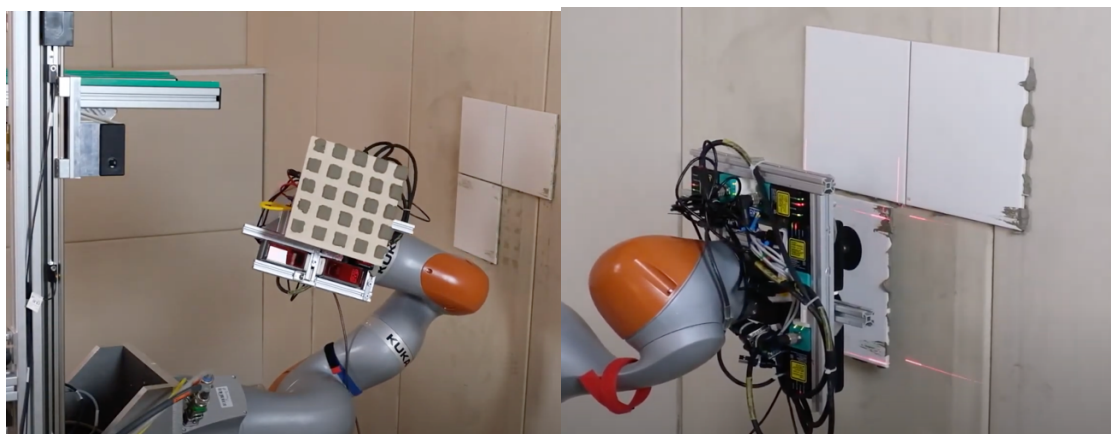
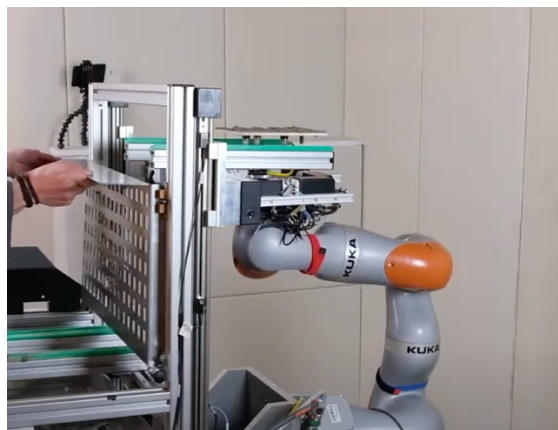
*[Obr. 10] Pokládka
dlažby [4]*



[Obr. 9] Aplikace pojiva [4]

3.9.2. ASSISTING TILER ROBOT

Německy firmy AROTEC GmbH, Brömer&Sohn GmbH, Promove GmbH, Assisted Working and Automation, Institute of Industrial Engineering of the TU framstadt a Open Experience GmbH spolupracovali necelé tři roky, během kterých navrhovali a vyrobili asistenční jednotku pro pokládku dlažby. Robot využívá BIM model k navigaci po objektu a k následné pokládce dlažby využívá kladečské schéma. To je ale potřeba založit referenční dlaždici. Výhodou tohoto zařízení je že se jednotka sama pohybuje v prostoru, ale velká nevýhoda je, že jednotka není schopna samostatně pracovat, protože na každou dlaždici musí být ručně nanášeno pojivo pro dlaždice a pomocí tlačítka, posláno robotické ruce. [6]



[Obr. 11] Manipulace obkládacího robota s dlaždicí [6]

Pracovní postup jednotky:

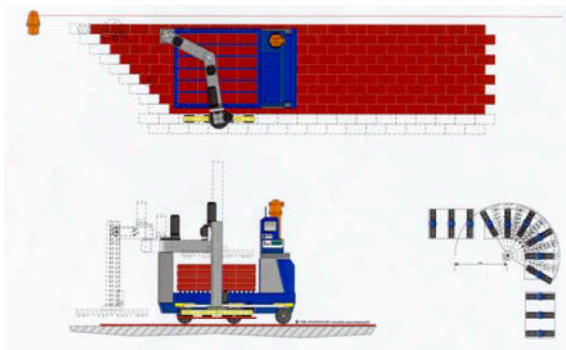
- 1) Nahrání podkladů do řídicí jednotky robota
- 2) Pokládka referenční dlaždice
- 3) Zaměření referenční dlaždice robotem
- 4) Aplikace pojiva na dlažbu a odeslání robotu
- 5) Robot přebírá dlaždici a pokládá na konstrukci
- 6) Proces se opakuje od bodu 4 dokud robot neobloží všechny dlaždice v dosahu ramene
- 7) Přesun robota na novou pozici
- 8) Opakování bodu 4-6
- 9) Ukončení práce

3.9.3. KRANENDONK

Projekt začal v roce 1997 a to z důvodu ceny a náročnosti pokládky podlahy. Byl vyvíjen několika evropskými společnostmi. V první myšlence bylo, aby robot vzal 1m² dlažby a položil jej zároveň. Bylo to z důvodů možnosti pokládat dlažbu do různých obrazců ale dlažba by musela být už předpřipravena pro robota. Kvůli vysoké hmotnosti se od této myšlenky opustilo a přešlo se na možnost manipulace 1–4 dlaždic zároveň. Dále měl robot dlaždice řádně vyrovnat čehož bylo dosaženo pomocí podélných válců na robotu a ten vyrovnával dlažbu vlastní vahou. Díky tomu byl robot navržen i tak aby byl schopen se pohybovat do již položených dlaždicích. [7]

Realizace a testování celé jednotky proběhlo po pětiletém vývoji. V závěru testování byla jednotka schopna položit až 20 m² za hodinu. Výkon jednotky už nebylo možno zvýšit, neboť stroj měl velkou hmotnost. Což vedlo k nízké rychlosti posunu.

Velká nevýhoda stoje byla nutnost použití vysokozdvizného vozíku při převozu na pracoviště. Díky tomu je jednotka velmi těžko použitelná v reálném prostředí. [7]



[Obr. 12] Robot schema [7]



[Obr. 13] Robot tiling [7]

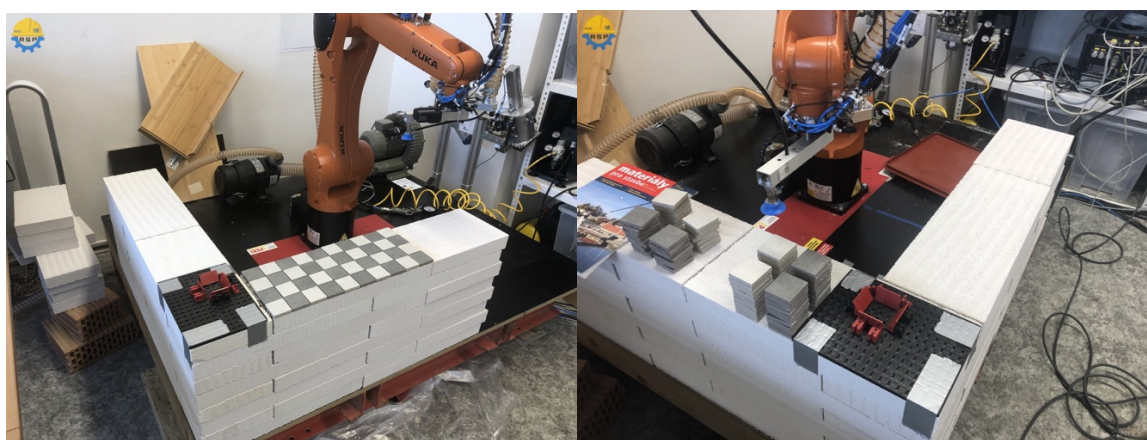
3.9.4. PROVÁDĚNÍ DLAŽEB ZA POMOCI ROBOTICKÉHO SYSTÉMU KUKA V LABORATOŘI PRO ROBOTIZACI STAVEBNÍCH PROCESŮ

Laboratoř vznikla v roce 2010 na Fakultě stavební na ČVUT přesněji na Katedře technologie staveb. Jedná se o projekt, který si klade za úkol vyvíjet autonomní robotické stavební systémy které mají nahradit lidskou práci.

V prosinci roku 2019 uvedl Ing. Vjačeslav Usmanov, Ph.D v provoz robotické zařízení pro pokládku dlažby za pomoci robotické ruky KUKA Agilus RK10 R1100.

Úkolem stroje bylo pokládat dlažbu na plochu s již aplikovaným lepidlem za pomoci vakuové přísavky. Pro robota byly připraveny 4 stohy dlažby ve dvou různých odstínech, které pokládal na přeskáčku.

Postup cyklu začal přípravou stohů s dlaždicemi na odebírací pozici. Následovalo namíchání lepidla s aplikací na povrch, který bude dlážděn. Posléze byl robot uveden do provozu. Robot vždy manipuloval pouze s jednou dlaždicí, neboť musela probíhat mezifáze, a to centrování dlaždice, aby bylo zajištěno její přesné umístění. Vycentrování je vymyšleno že robot umístí dlaždici nad centrační stůl a z malé výšky pustí dlaždici na stůl. Ta se následně volným pádem vycentruje pomocí vodících destiček. Poté robot dlaždici odebere a přesně umístí. [18]



[Obr. 14] Foto Robota pro pokládku dlažby [18]

4. HYPOTÉZA

Využití automatizace a robotizace se dle příkladu průmyslu zdá být možností, jak dosáhnout vyšší efektivity výstavby. Díky nasazení automatizovaných systémů můžeme redukovat počet dělníků, čímž docílíme snížení finálních nákladů na stavbu. Neboť cena lidské práce je každým rokem větší položka v rozpočtu stavby. Jednorázová investice i když větší může mít z dlouhodobého hlediska pozitivní dopad na budoucí zisk.

Zaměřil jsem se na pokládku dlažby, protože je to činnost náročná jak časově, tak i fyzicky. Pokládka dlažby je technologicky proces s opakovaným postupem a pro většinu staveb stejným. To je dobrý základ pro automatizaci. S tímto předpokladem se začalo i ve strojírenství, kde se prvně automatizovaly fyzicky náročné a jednoduché práce jako například manipulace s těžkými břemeny. Díky jasnému postupu u pokládky dlažby jsme schopni dobře nadefinovat postup a opakovat jej po jednotlivých pracovních cyklech.

5. CÍLE PRÁCE

Nově navržené zařízení by mělo být schopno samostatně pracovat nepřetržitým provozem, aby splnilo většinu fyzicky náročných prací a ulevilo dělníkům. Mělo by se toho docílit tak, že bude pracovat nepřetržitým provozem a položí všechny celé formáty na zakázce samostatně. Zařízení by mělo kombinovat metody použité v rešerších a inovovat jejich technologii na aktuální standard.

Shrnutí cílů práce je:

- Návrh základních parametrů stroje
- Návrh ovládacího skriptu pro pokládku obkladů
- Provedení simulace robotického pokládání dlažby nasucho
- Určit rychlost pokládky a přesunu robota pro stanovení normohodiny
- Porovnání výkonu s a bez nasazení robota pro pokládání dlažby

6. METODY

6.1. NÁVRH A VYUŽITÍ ROBOTŮ PRO POKLÁDÁNÍ DLAŽEB

Abychom mohli využít potenciál automatizovaného stroje je důležité aplikovat stroj na vhodnou stavbu. Protože autorem navržený robot manipuluje pouze s celými formáty a neumí řezat dlažbu je důležité, aby byl aplikován na velkých plochách a nejlépe bez dořežu, neboť by musely být prováděny tradičním způsobem. To znamená že vhodná aplikace je do míst, kde jsou velké plochy jako například nemocniční chodby a bazény.

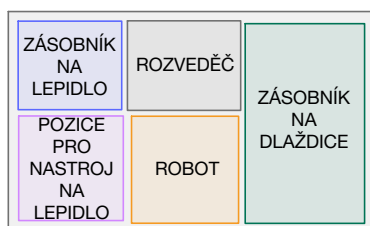
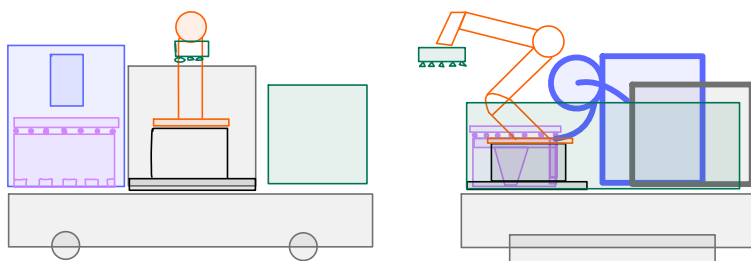
6.2. NÁVRH ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ STROJE

Robotický celek by měl být navržen tak aby mohl být umístěn do prostoru chodby, bazénů, koupelen, bytových jednotek, a to bez zásahu do konstrukce. Musí být uzpůsobena pro jednoduchou manipulaci na stavbě a pro převoz mezi staveništi. Jelikož se jedná o dokončovací pracovní činnosti, tak je potřeba aby stroj byl zapojen pouze na jednu fázi. Z těchto důvodů je kladen velký nárok na jeho rozměry, váhu a jednoduchost. Robot bude manipulovat s dlaždicemi pomocí vytváření podtlaku na kontaktní ploše s nástrojem a dílcem.

6.3. DIMENZE STROJE

Z důvodů zajištění průchodnosti robota dveřmi o obvyklém světlém rozměru 800/1970 mm musíme limitovat maximální šířku stroje na 800 mm a výšku na 1800 mm. Nynější typ autonomních vozíků mají standartní šířku okolo 900 mm, proto je potřebná průchodnost minimálně 1000 mm. Stroj je pouze využitelný na pokládku o velkém rozsahu a nelze jej použít na mále koupelny, neboť by jeho nasazení nebylo ekonomické. Délku musíme omezit na 1500 mm, a to abychom mohli robota umístit na europaletu při převozu. Hmotnost je potřeba snížit na 2000 kg aby mohla být jednotka převážena automobilem kategorie B.

6.4. NÁVRH STROJE



[Obr. 15] Skica návrhu stroje pro pokládku dlažby

Autonomní stroj se skládá z více komponentů a to z:

- Dopravní autonomní vozík MiR 1350
- Robotická ruka KUKA KR 16 R1610-2
- Kompresor AtlasCopco GX 2-10 EPP
- Podtlaková přísavka KENOS KVG120C
- Zásobník na dlaždice
- Nástroj pro aplikaci lepidla
- Zásobník lepidla
- Senzory a snímače

6.4.1. Dopravní autonomní vozík MiR 1350

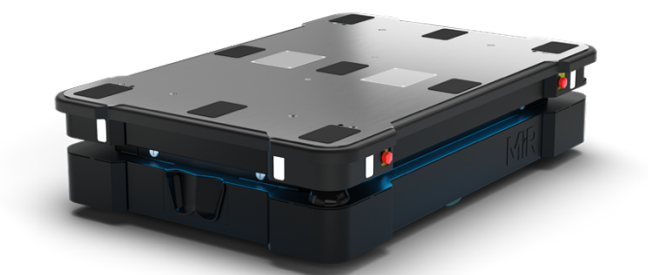
Vozík je od firmy MiR (Mobile Industrial Robots) z Dánska, která se zabývá problematikou logistiky, a tak začala vyvíjet plně autonomní systémy pro skladovací areály. Vozík je plně automatizovaný a je schopen se samostatně pohybovat na předem nahraném území i za přítomnosti dělníků.

MiR1350 je robustní vozík o délce 1350 mm, šířce 910 mm a výšce 322 mm. Celková váha samostatného vozíku je 247 kg. Maximální rychlost je 4,3 km/h.

MiR 1350 je opatřen systémem pro sledování okolí pomocí scanneru. Je osazen dvěma mircoScan3 (vepředu a vzadu) které snímají okolí ve 360 stupních, dále je osazen dvěma 3D kamerami, které monitorují okolí, zda se neobjevila neočekávaná překážka, a nakonec pro větší bezpečnost, je zařízení osazeno osmy senzory přiblížení.

Zařízení vydrží nabito až 9 hodin, a tak není problém jej nasadit na celodenní směnu. V případě že se zařízení během směny vybité je schopno pracovat další 2 hodiny, a to díky lithiovým bateriím které se musí dobít do maximální kapacity. Životnost baterie je minimálně 3000 cyklů. [13]

Autonomní vozík MiR1350 byl zvolen, protože již obsahuje software pro navigaci na pracovišti a je schopen přizdvihnout horní část vozíku pro odebrání dlaždic ze zásobníků, což prodlouží samostatnost celého systému.



[Obr. 16] MiR 1350 [14]

6.4.2. Robotická ruka KUKA KR 16 R1610-2

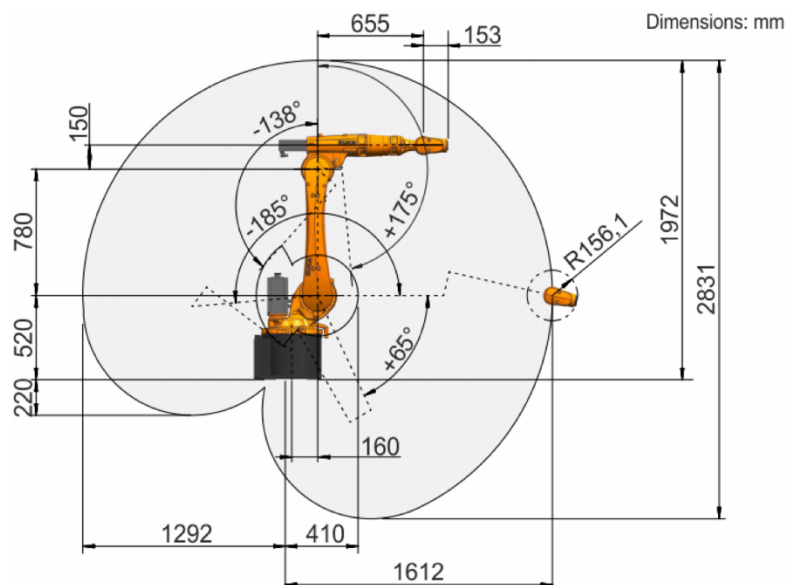


[Obr. 17] KUKA KR 16 R1610-2[15]

Pro manipulaci s prvky byla zvolena robotická ruka KR 16 R1610-2 od ověřené firmy KUKA z důvodů kompaktních rozměrů a jednoduchého ovládání celého systému.

Ruka váží pouze 255 kg a je jí maximální nosnost je 20 kg, a přesto má dosah 1612 mm, díky čemuž máme dostačující manipulační prostor. Montážní plocha je pouze 430,5 mm x 370 mm. Přesnost robotické ruky je $\pm 0,04$ mm.[15]

Obrázek pracovní zóny



[Obr. 18] KUKA KR 16 R1610-2 Obrázek pracovní zóny [15]

6.4.3. Kompresor AtlasCopco GX 2-10 EPP

Autor vybral kompresory od firmu Atlas Copco. Je to malý šroubový kompresor se vzdušníkem o objemu 270 l, který zajistí dostatečně velký prostor, aby zamezil kolísání tlaku vzduchu. Montáž a instalace kompresoru je jednoduchá, pouze rozbalíme a připojíme na 3 fáze. [17]

Základní parametry kompresoru:

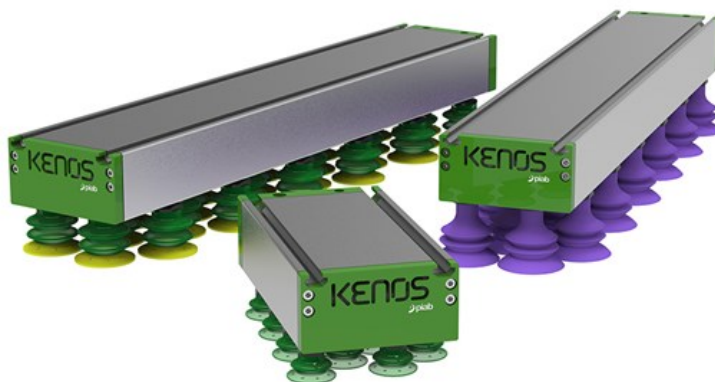
- Šířka: 575 mm
- Délka: 1420 mm
- Výška: 1280 mm
- Hmotnost: 165 kg
- Max. tlak: 10 bar



[Obr. 19] Kompresor AtlasCopco GX 2-10 EPP

6.4.4. Podtlaková přísavka

Pro manipulaci s dlaždicemi a nástrojem pro aplikaci lepidla autor navrhl použít systém KENOS KVG120C. Jedná se o lištu osazenou gumovými přísavkami pro zajištění dobré přilnavosti na dlaždici. Podtlak je vytvářen na principu Venturiho trubice to znamená, že stlačený vzduch proudí ve vysoké rychlosti kolmo na trubici do gumové přísavky a vytváří tak podtlak. [16]



[Obr. 20] Systém KENOS KVG120C [16]

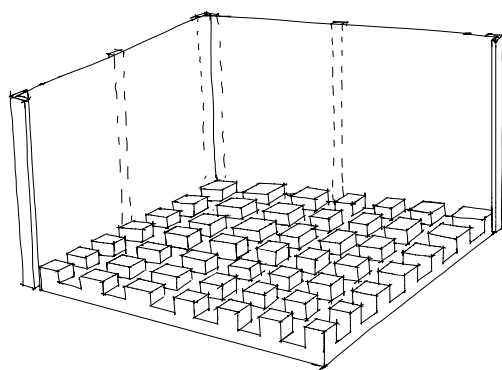
Rozměr podtlakové lišty je:

- Šířka: 120 mm
- Délka: 500 mm

Rozměr KENOSu je sice větší než rozměr malé dlaždice, ale systém KENOS je obohacen o kontrolní klapky, které hlídají, zda je každá přísavka uzavřená a pakliže není, tak se následně uzavřou pro zajištění dostatečného podtlaku. [16]

6.4.5. Zásobník na dlaždice

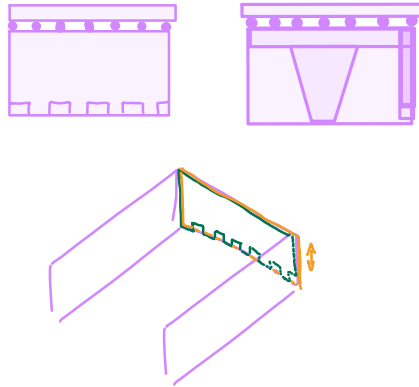
Jedná se o autorem navržené jednoduché zařízení, které má za úkol vycentrovat a držet dlaždice na místě v jednom stohu. Dvě strany jsou ohraničeny pevnými dorazy.



[Obr. 21] Skica zásobníku na dlaždice

6.4.6. Nástroj pro aplikaci lepidla

Nástroj je navržen autorem, neboť se jedná o prototyp, jak nanést lepidlo při použití metody floating a zároveň jej uhladit. Princip byl převzat z technologie 3D tisku. Do nástroje je tlačeno lepidlo, a to je následně přes trysku aplikováno na konstrukci. V druhé části nástroje je hladká a zubatá stěrka, která má možnost měnit svojí pozici. Tzn. V prvním kroku použijí hladkou stěrku v pozici dole a následně pro druhý krok, hladkou stěrku si automaticky zvedneme nahoru abychom mohli použít zubaté hladítko.



[Obr. 22] Schéma nástroje pro aplikaci lepidla

6.4.7. Zásobník lepidla

Lepidlo je uloženo v sudovém zásobníku a pomocí stlačeného vzduchu tlačeno do nástroje díky nasazení pneumatické sudové pumpy o objemu 15 kg. Dopravní výkon je 1,1kg za minutu, což je dostačující pro použití na robotu. Koncovka hadice musí být modifikována pro připojení na nástroj pro aplikaci lepidla. [18]



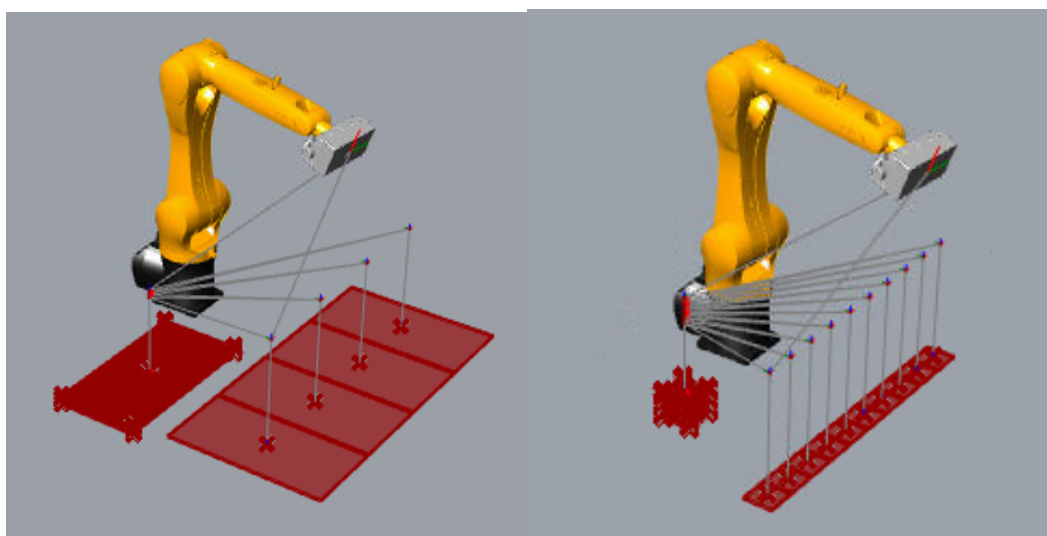
[Obr. 23] Pneumatická sudová pumpa

6.4.8. Senzory a snímače

Pro kontrolu kvalitu práce, autor navrhuje využít moderní technologie optické a laserové snímání. Byl by použit systém od firmy KINALI pro optické snímání, které je schopno zachytit i ty nejmenší vady na povrchu. Pro kontrolu rozměrů je nasazen LiDAR scanner.

6.5. NÁVRH OVLÁDACÍHO SKRIPTU PRO POKLÁDKU OBKLADŮ

Autor navrhl skript pro robota, který má za úkol pokládku dlaždic nasucho. Robot umí manipulovat s dlaždicemi o různém formátu které pokládá po řadách až do maximálního dosahu následně se robot přesune a pokračuje s další řadou až do dokončení celé plochy. Dlaždice budou umístěny vedle robota a pokládka bude probíhat před ním na volné ploše, aby byla využitelná šířka co největší. Následně vše ověříme ve virtuálním simulátoru.



[Obr. 24] Náhled na simulaci robota v programu Grasshopper během simulace

7. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

Pro ověření autorem navrženého robota je v programu Grasshopper, obohacený o plug-in KUKApcr, navržen skript pro pokládku dlaždic nasucho. Program Grasshopper byl zvolen, protože se jedná o vizuální programovací jazyk tudíž je každý krok jasně vidět. A na závěr, je program schopen provést simulaci ve 3D.

Program je navržen v co největší míře parametricky, a tak je možné upravovat jednotlivé vstupní parametry jako jsou:

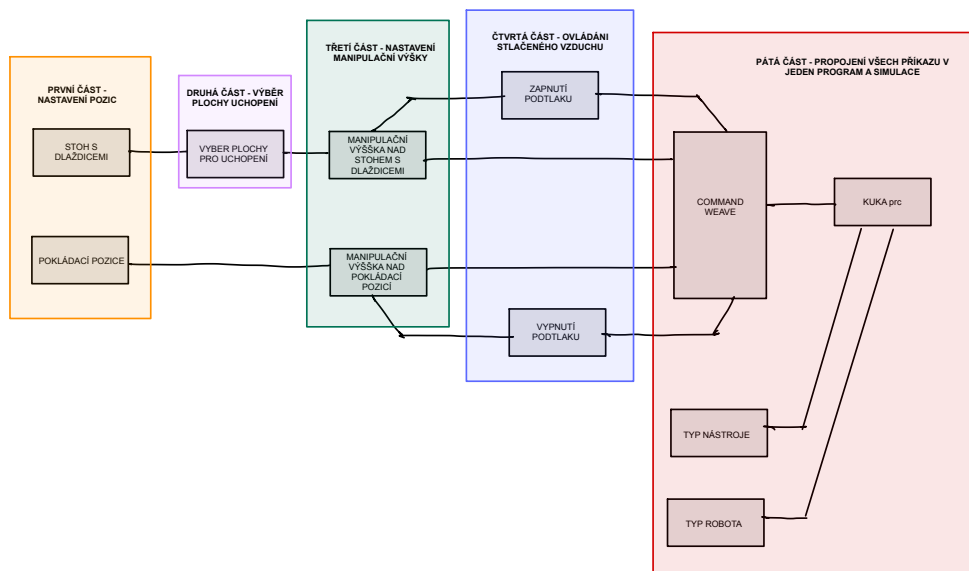
- Rozměr dlaždic
- Počet dlaždic na odebírací ploše
- Počet dlaždic v řadě

Pro simulaci pokládky dlažby na sucho autor zvolil dlažbu o velikost 100x100 mm, 200x200 mm, 250x250 mm a 500x500 mm z důvodů lepší představitelnosti pro pokládku 1 m² a zjištění rychlosti pokládky napříč různými formáty dlažby. Dále autor vybral rozměr dlažby na základě vybraných veřejných zakázek, na kterých porovná rychlost při nasazení robota a při použití tradičních technologií. Jedná se o rozměr dlažby 300x300 mm 350x350 mm a 600x600 mm.

Simulace probíhala od nejmenších rozměrů až po největší. Nejprve byly do skriptu zadány rozměry a následně se z ovládacího prvku robota odečetl čas potřebný pro pokládku dlažby. Následně byly informace zapsány do tabulky a postupně vyhodnoceny.

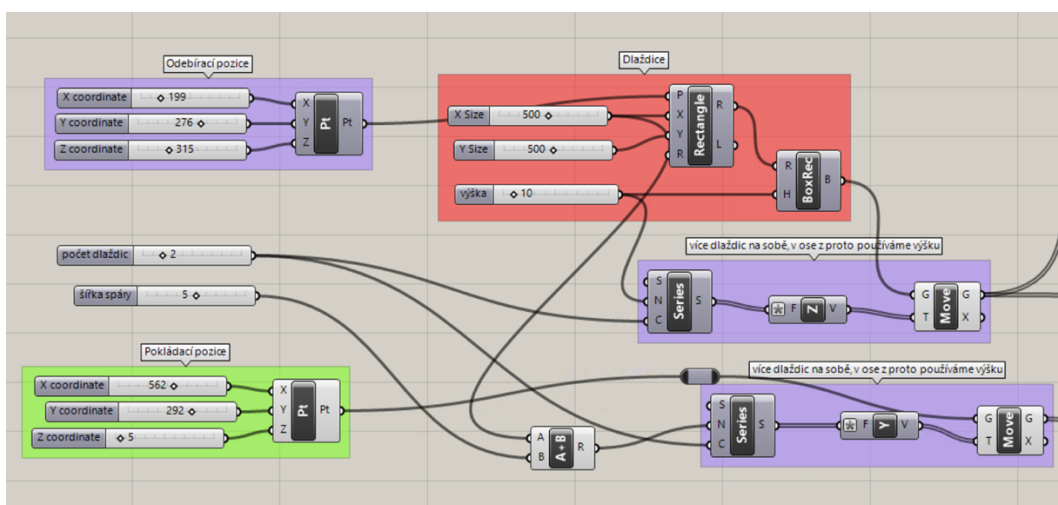
7.1. POPIS SKRIPTU

Nejprve bylo potřeba ověřit, zda je použití robota vhodné pro aplikaci na pokládku dlažby. Proto byl napsán skript pro ověření času potřebného na pokládku dlažby a pro ověření dosahu robota. Daný skript se přesně neshoduje s navrhovaným strojem a jeho funkcemi.



[Obr. 25] Názorné schéma návazností skriptu

7.1.1. První část – nastavení pozic

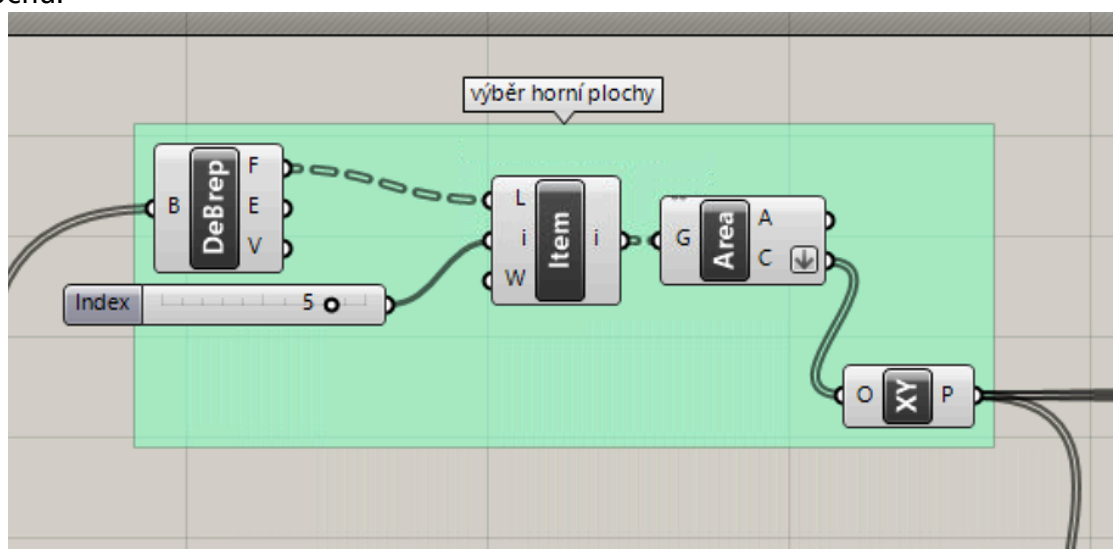


[Obr. 26] Skript nastavení pozic

Před spuštěním testování je nutno nastavit odebrací pozici dlažby (fialové pole vlevo nahoře) tzn. kde umístíme stoh s dlažbou. Následně vybereme, kolik dlaždic uložíme do stohu a jaká bude šíře spár. V zeleném poli se zvolí střed pozice první dlaždice. Dále zvolíme rozměr dlaždice a její tloušťku (červené pole). Fialová vpravo dole pole kopírují dlaždice na více kusů. Horní část pokládá dlaždice na sebe do stohu, proto používáme osu Z. Pro správné fungování funkce musíme předat informace o tloušťce dlaždice pro přesun o správnou délku v ose Z a počet kusu dlaždic pro počet kopií. Dolní část přesouvá dlaždice v ose Y, a proto musíme předat informace o šířce dlaždice a tloušťce spáry, abychom měli dlaždice rozmístěny pravidelně vedle sebe. Opět musíme předat informaci o počtu kusu, abychom věděli kolik kopií vytvořit tentokrát v jiné ose.

7.1.2. Druhá část – Výběr plochy pro uchopení

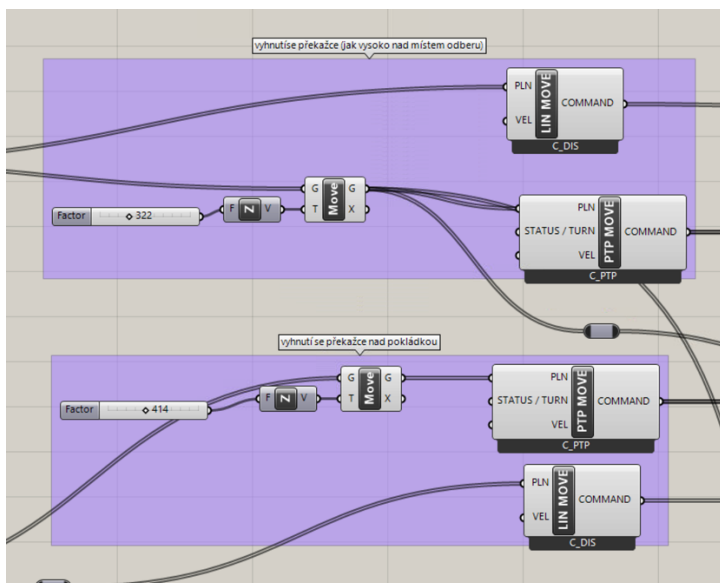
V druhé části skriptu vybíráme plochu, za kterou budeme uchopovat dlaždice. Pro správné fungování vakuové přísavky je potřeba vybrat plochu horní. Tento krok provedeme pouze jednou, neboť vždy budeme manipulovat s dlaždicemi za horní plochu.



[Obr. 27] Skript výběr plochy pro uchopení

7.1.3. Třetí část – Nastavení manipulační výška

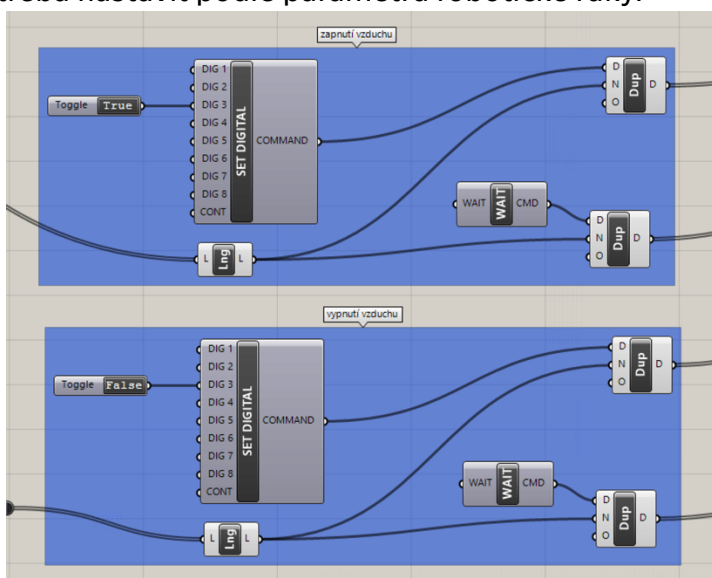
Ve třetí části skriptu je potřeba určit bezpečnou výšku, ve které budeme manipulovat s dlaždicemi abychom dlaždicí o nic nezavadili. V programu jsem zvolil možnost nastavit, jak vysoko se má robot s dlaždicí zvednout nad odebrací místo (horní část) a jak vysoko se má robot zvednout nad položenou dlaždicí (spodní část) Následně jsou horní body propojeny přímkou, po které se pohybuje robot s dlaždicí.



[Obr. 28] Skript manipulační výška

7.1.4. Čtvrtá část – Ovládání stlačeného vzduchu

V této části skriptu je nastaven digitální input a čekání při uchycení a položení dlaždice. Horní část zapíná vzduch při uchopení dlaždice a čeká 2 vteřiny pro dostatečné zvýšení podtlaku. Dvě vteřiny jsou ověřeny jako dostačující. Po přesunu dlaždice je stejným postupem vzduch vypnut. Zvolený digitální input je potřeba nastavit podle parametru robotické ruky.



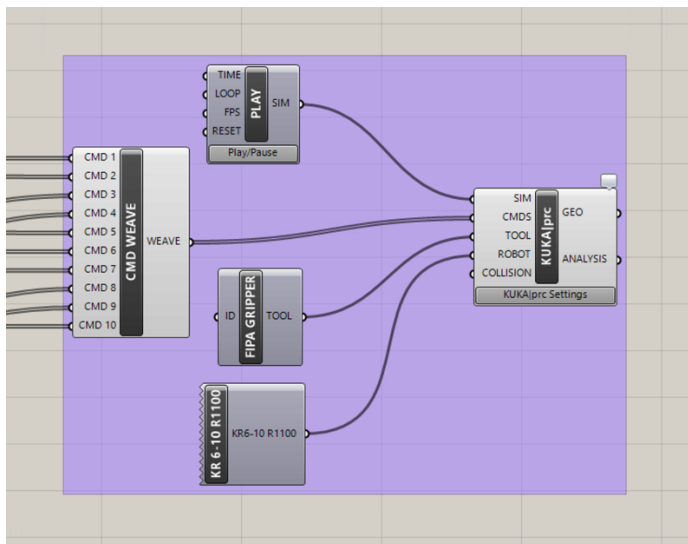
[Obr. 29] Skript ovládání vzduchu

7.1.5. Pátá část – Propojení všech příkazu v jeden program a simulace

V poslední části programu je v levé části příkaz pro tvorbu programu (připojíme, jak jsou jednotlivé činnosti za sebou). Skládá se z 10 příkazu které určují pohyb uchopení, trasu a dimenze. Tento uzel je následně napojen do řídicího systému robota. Pro správné fungování musíme zvolit a připojit i jakého robota budeme používat (byl vybrán robot laboratoře pro robotizaci stavebních procesů KUKA KR10) a základní typ vakuové přísavky. Po napojení do řídicí jednotky připojíme funkci na simulaci a můžeme vizuálně kontrolovat celý proces.

Postup příkazů:

- CMD 1: přesun do pozice nad odebírací stoh
- CMD 2: klesnutí na odebírací místo
- CMD 3: zapnutí vzduchy pro tvorbu podtlaku
- CMD 4: čekání 2 sekundy
- CMD 5: zvednutí se nad odebírací stoh
- CMD 6: přesun nad místo položení dlaždice
- CMD 7: klesání pro umístění dlaždice
- CMD 8: vypnutí vzduchu pro tvorbu podtlaku
- CMD 9: čekání 2 sekundy
- CMD 10: stoupaní nad místo poležení dlaždice



[Obr. 30] Skript zapojení příkazů a robota

7.2. SLEDOVANÉ PARAMETRY

Během simulace sledujeme rychlost manipulace robota s dlaždicemi abychom zjistili čas, který je potřeba na položení 1 m² o různých rozměrech dlažby. Čas budeme sledovat pomocí analytické funkce v programu KUKApcr, která nám poskytne čas potřebný pro položení dlaždic.

Tyto parametry následně porovnáme s normohodinou na pokládku dlažby a provedeme závěr, zda se automatizace oplatí či nikoliv.

Během simulace ovšem zanedbáváme několik úkonu a to:

- 1) Příprava pokladu – zajištění celistvosti, čistoty a rovinnosti povrchu
- 2) Penetrace – rozetření penetrace gumovou stěrkou
- 3) Kontrola dlažby – překontrolování jednotného odstínu dlažby pomocí výrobní série
- 4) Příprava dořežu
- 5) Příprava lepidla – míchání směsi
- 6) Nanášení lepidla – nános lepidla zubatou stěrkou (zub 10 mm)
- 7) Osazení soklové pásky
- 8) Pokládka soklových dlaždic
- 9) Spárování – pomocí gumové stěrky roztíráme po podlaze
- 10) Čištění přebytečné spárovací hmoty – pomocí houby odstraníme přebytečné zbytky spárovací hmoty a otřeme znovu houbou namočenou v čisté vodě
- 11) Aplikace silikonu – spáry mezi konstrukcemi vyspárujeme trvale elastickou spárovací hmotou

Simulací zanedbané úkony:

- 1) Pokládka podlahových dlaždic
- 2) Šířka spár – dodržení dané šířky pomocí přesnosti robotické ruky a zacentrování osazované dlaždice
- 3) Vyrovnání – Vyrovnat dlažbu do jedné roviny

Z těchto seznamu jasně vyplývá, že robot není schopen nahradit většinu činností během pokládky dlažby, ale pomůže během té nejvíce fyzicky náročné.

Postup simulací

Nejprve byla simulace provedena na dlažbě o rozměru 100x100 mm, kdy pokládka pruhu o délce 1 m trvala 46 vteřin. Dalším výpočtem bylo zjištěno, že po přesunu robota na autonomním vozíku a znovu vycentrování by pokládka jednoho metru trvala 580 vteřin to znamená že robot, je schopen položit 6,2 m² dlažby za hodinu. Následně byly upraveny parametry pro dlažbu o rozměru 200x200 mm a robot položil dlažbu do jednoho pruhu o jednom metru za 23 vteřin. Stejným

výpočtem bylo zjištěno, že robot je schopen položit za jednu hodinu 19,45 m² dlažby. Dále byl simulován rozměr 250x250 mm, u kterého vyšlo, že robot je schopen položit za jednu hodinu 26,5 m² dlažby. Nakonec byla provedena simulace pro dlažbu o velikosti 500x500 mm, kdy robot položil pruh o délce 1 m za 10 vteřin to znamená že za 1 hodinu robot dokáže položit 90 m².

Dále byla provedena simulace u rozměrů 300x300 mm, 350x350 mm a 600x600 mm pro porovnání s reálným řešením.

Podrobné výpočty

Dané parametry

Rychlost pojezdu autonomního vozíku je 1 m za 20 vteřin

Kalibrace nové řady 10 vteřin

Čas nanesení lepidla na 1 m² = 120 vteřin (bylo vypočteno pomocí rychlosti robota)

Použité vzorce

Počet řad v 1 m = 1 m / délka dlažby [m]

Čas položení 1 m² = čas položení pásu o délce 1 m * počet řad v 1 m

Pojez do 1 m = 1 m – délka dlaždice [m]

Čas pojezdu = pojez do 1 m * rychlost pojezdu autonomního vozíku

Čas kalibrace = počet řad v 1 m * čas kalibrace

Celkový čas na položení 1 m² = čas položení 1 m² + čas pojezd + čas kalibrace + čas nenesení lepidla na 1 m²

m² za hodinu = hodina ve vteřinách / celkový čas na položení 1 m²

1) 100x100 mm

Čas na položení pásu o délce 1 m (zjištěno simulací) = 46 vteřin

Počet řad v 1 m = 1 / 0,1 = 10

Čas položení 1 m² = 46 * 10 = 460 vteřin

Pojez do 1 m = 1 – 0,1 = 0,9

Čas pojezdu = 0,9 * 20 = 18 vteřin

Čas kalibrace = 10 * 10 = 100 vteřin

Celkový čas = 460 + 18 + 100 + 120 = 698 vteřin

m² za hodinu = 3600 / 698 = 5,16 m² / h

2) 200x200

Čas na položení pásu o délce 1 m (zjištěno simulací) = 23 vteřin

Počet řad v 1 m = $1 / 0,2 = 5$

Čas položení 1 m² = $23 * 5 = 115$ vteřin

Pojez do 1 m = $1 - 0,2 = 0,8$

Čas pojezdu = $0,8 * 20 = 16$ vteřin

Čas kalibrace = $10 * 5 = 50$ vteřin

Celkový čas = $115 + 16 + 50 + 120 = 301$ vteřin

m² za hodinu = $3600 / 301 = 11,96$ m² / h

3) 250x250 mm

Čas na položení pásu o délce 1 m (zjištěno simulací) = 19 vteřin

Počet řad v 1 m = $1 / 0,25 = 4$

Čas položení 1 m² = $19 * 4 = 76$ vteřin

Pojez do 1 m = $1 - 0,25 = 0,75$

Čas pojezdu = $0,75 * 20 = 15$ vteřin

Čas kalibrace = $10 * 4 = 40$ vteřin

Celkový čas = $76 + 15 + 40 + 120 = 251$ vteřin

m² za hodinu = $3600 / 251 = 14,34$ m² / h

4) 300x300 mm

Čas na položení pásu o délce 1,2 m (zjištěno simulací) = 19 vteřin

Počet řad v 1,2 m = $1,2 / 0,3 = 4$

Čas položení 1 m² = $19 * 4 / 1,44 = 52,78$ vteřin

Pojez do 1,2 m = $1,2 - 0,3 = 0,9$

Čas pojezdu = $0,9 * 20 = 18$ vteřin

Čas kalibrace = $10 * 4 = 40$ vteřin

Celkový čas = $52,78 + 18 + 40 + 120 = 230,52$ vteřin

m² za hodinu = $3600 / 230,52 = 15,61$ m² / h

5) 350x350 mm

Čas na položení pásu o délce 1 m (zjištěno simulací) = 16 vteřin

Počet řad v 1,05 m = $1,05 / 0,35 = 3$

Čas položení 1 m² = $19 * 3 / 1,1025 = 48,98$ vteřin

Pojez do 1,05 m = $1,05 - 0,35 = 0,7$

Čas pojezdu = $0,7 * 20 = 14$ vteřin

Čas kalibrace = $10 * 3 = 30$ vteřin

Celkový čas = $48,97 + 15 + 30 + 120 = 213,98$ vteřin

m² za hodinu = $3600 / 213,98 = 15,52$ m² / h

6) 500x500 mm

Čas na položení pásu o délce 1 m (zjištěno simulací) = 10 vteřin

Počet řad v 1 m = $1 / 0,5 = 2$

Čas položení 1 m² = $10 * 2 = 20$ vteřin

Pojez do 1 m = $1 - 0,5 = 0,5$

Čas pojezdu = $0,5 * 20 = 10$ vteřin

Čas kalibrace = $10 * 1 = 10$ vteřin

Celkový čas = $20 + 10 + 10 + 120 = 160$ vteřin

m² za hodinu = $3600 / 160 = 22,5$ m² / h

7) 600x600 mm

Čas na položení pásu o délce 1,2 m (zjištěno simulací) = 10 vteřin

Počet řad v 1,2 m = $1,2 / 0,6 = 2$

Čas položení 1 m² = $10 * 2 / 1,44 = 13,89$ vteřin

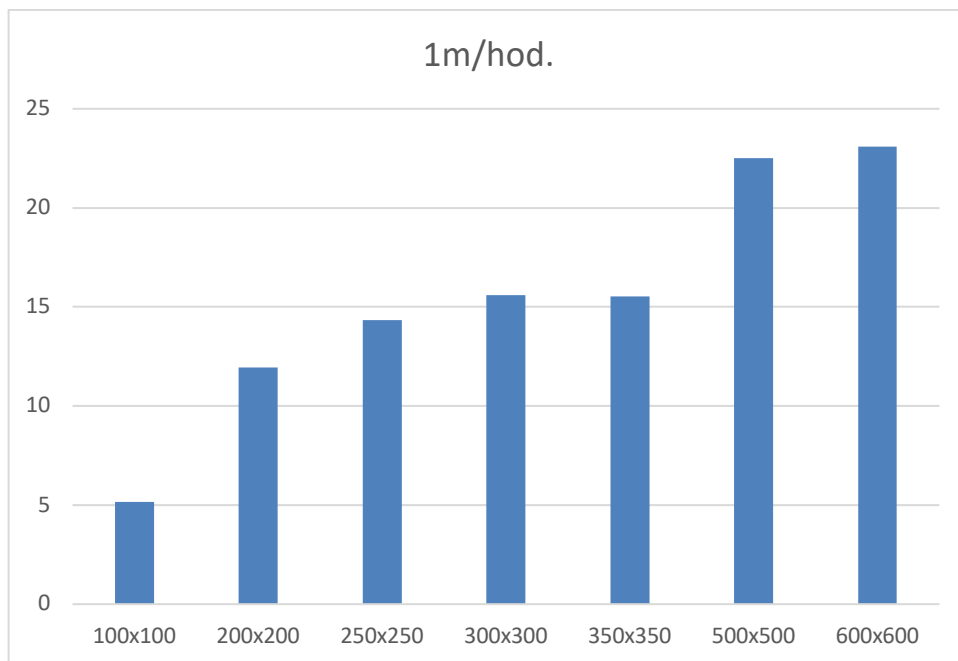
Pojez do 1,2 m = $1,2 - 0,6 = 0,6$

Čas pojezdu = $0,6 * 20 = 12$ vteřin

Čas kalibrace = $10 * 1 = 10$ vteřin

Celkový čas = $13,89 + 12 + 10 + 120 = 155,89$ vteřin

m² za hodinu = $3600 / 155,89 = 23,09$ m² / h



[Obr. 31] Graf výsledků simulace

m ² za hodinu	celkový čas [s]	čas kalibrace [s]	čas pojezdu [s]	čas položení 1 m ²	čas pokládky dlaždic [s]	počet dlaždic [ks]	rozměr
5,16	689	100	18	460	46	10	100x100
11,96	301	50	16	115	23	5	200x200
14,34	251	40	15	76	19	4	250x250
15,61	230,52	40	18	52,78	19	4	300x300
17,16	209,71	30	14	45,71	16	3	350x350
22,5	160	10	10	20	10	2	500x500
23,09	155,89	10	12	13,89	10	2	600x600

7.3. NÁVRH TECHNOLOGIE A PRACOVNÍHO POSTUPU POKLÁDKY DLAŽBY PŘI NAsAZENÍ ROBOTA

7.3.1. Popis technologie robota při pokládce dlaždic

Robotické pokládání dlažby zahrnuje aplikaci lepidla, pokládku dlažby a její vyrovnání. Proto musí nejdříve dělník připravit povrch, aby mohl robota nasadit. Je důležité povrch očistit, penetrovat a co nejvíce vyrovnat. Jakmile je dělník hotov musí celé pracoviště přeměřit nebo naskenovat pomocí scanneru či LiDARu, aby mohl předat přesný plán místnosti robotu pro pokládku dlažby. Je to z důvodů, aby mohly být naplánovány odkud budou pokládány dlaždice a kolik lepidla je potřeba nanést v různých částech konstrukce. Robot totiž dokáže přesně dávkovat lepidlo dle potřeby, aby byl robot schopen povrch co nejvíce vyrovnat, protože finální povrch musí být v co nejlepším stavu, neboť následné opravy jsou náročné a drahé.

Autor navrhuje využít pro lepení dlažby technologii floating. Neboť je vhodnější pro kombinaci s využitím robota. Při použití technologie floating není potřeba manipulovat s dlaždicí potřenou lepidlem ale pouze suchou dlaždicí, a tak nehrozí že by lepidlo odpadlo a spoj nebyl dostatečně pevný. Metoda se provádí ve dvou krocích nejprve nanese vrstvu lepidla na podlahu a v druhém kroku nanese lepidlo zubovým hladítkem se sklonem cca 60 stupňů. Proto autor navrhl speciální nástroj pro tuto aplikaci. Nejprve se nanese lepidlo v tenké vrstvě v příčném směru, které vyrovná povrch konstrukce a následně se nanáší druhá vrstva v podélném směru uhlazena pomocí speciálního zubového hladítka osazeného na nástroji.

Následně robot položí dlaždici do naneseného lepidla, které přitlačí a pomocí senzorů odporu pozná, kdy je dlaždice dostatečně přitlačena. Kontrola že je vše položeno v jedné rovině probíhá pomocí LiDAR scanneru, který průběžně monitoruje povrch a hlídá, že každé hrany na sebe navazují.

7.3.2. Pracovní postup

1. Krok

Příprava podkladu – podklad musí být nosný, čistý, rovný a bez prasklin. Čistý povrch zajistíme zametením celé plochy, následně srovnáme podlahu pomocí nivelační hmoty.

2. Krok

Penetrace podlahy – pomocí gumové stěrky rozetřeme penetrační nátěr, který necháme vyschnout dle technických listů materiálů.

3. Krok

Kontrola a příprava dlažby – příprava dlažby pro robota do stohů.

4. Krok

Měření konstrukce – celou konstrukci naskenujeme a připravíme pro robota.

5. Krok

Instalace robota – na pracoviště dopravíme a nainstalujeme robota pro pokládku dlažby. Nahrajeme do programu 3D model místnosti, připravíme k robotu stoh s dlažbou a zreferujeme roh první dlaždice a stohu s dlažbou.

6. Krok

Lepidlo – připravíme lepidlo pro pokládku dlažby smícháním lepící hmoty a vody pomocí ruční míchačky na malé otáčky. Vložení lepidla do sudového čerpadla.

7. Krok

Aplikace lepidla pomocí robota – nanese lepidlo na podlahu pomocí speciálního nástroje v příčném směru a robot stírá rovným hladítkem. Následně nanese lepidlo v podélném směru a stírá pomocí zubaté stěrky.

8. Krok

Pokládka dlažby pomocí robota – Zapneme robota a necháme jej pracovat. Robot pokládá dlažbu pomocí vakuové přísavky.

9. Krok

Opakujeme krok 6 a 7 až do položení celé plochy.

10. Krok

Dořezy – v případě že jsou potřeba dořezy musí obsluha nařezat dlažbu na příslušný rozměr a položit ručně.

11. Krok

Spárování – připravíme si spárovací hmotu a aplikujeme ji v místě spár pomocí gumové stěrky.

12. Krok

Čistění spár – pomocí houby očistíme přebytečnou spárovací hmotu a po vytvrzení očistíme podruhé, houbou namočenou v čisté vodě.

7.3.3. Kontrolní plán činnosti robota

V průběhu pracovního cyklu robota je potřeba kontrolovat kvalitu odvedené práce, neboť robot na práci nevidí, obohatíme jej o kameru na kontrolu kvality od firmy KINALI. Robot je sice přesné zařízení, ale je možné vnést nepřesnost při špatné kalibraci, přesunu robota nebo špatně založenému stohu.

Seznam kontrol

1. Kontrola rovinnosti vrstvy z lepidla

Kontrola probíhá pomocí LiDAR senzoru, který pozoruje, zda je vrstva položena ve správné tloušťce. Měření probíhá po celou dobu aplikace lepidla.

2. Kontrola šířky spár

Kontrola šířky spár probíhá pomocí kamery KINALI pro sledování kvality povrchu. Na položené dlažbě kamera sleduje, zda jsou spáry v celé délce konstantní šířky. Kontrola probíhá průběžně během pokládky dlažby.

3. Kontrola rovinnosti dlažby

Kontrola probíhá pomocí LiDAR senzoru, který hlídá, zda jednotlivé dlaždice navazují na okolní dlaždice. Kontrola probíhá v průběhu celé pokládky dlažby.

7.4. ANALÝZA POUŽITÍ ROBOTŮ PRO POKLÁDKU DLAŽEB

7.4.1. Simulace aplikace robota na reálné příklady z veřejných zakázek

Byly vyhledány veřejné zakázky, ve kterých docházelo k pokládce, či opravě dlažby. Z výkazu výměr byly vytaženy informace o rozsahu prací a pomocí normohodin byl vypočten potřebný čas pro realizace povrchu. Normohodina pro pokládku dlažby malého formátu je XXX m²/h a u velkoformátové dlažby je XXX m²/h.

Vybíral jsem realizace, aby splňovali podmínky pro vhodné použití automatické pokládky dlažby. To znamená že museli splňovat následující podmínky: plocha byla o velké rozloze a zároveň v jedné rovině.

Vybrané realizace

1) Rekonstrukce povrchů chodeb základní škola Řeporyje

Při realizaci byly použity dva typy dlažby, a to velkoformátová keramická dlažba do 4ks / m² o rozměru 60 x 60 cm na ploše 540 m² a velkoformátová keramická dlažba s protiskluzným povrchem do 4ks/m² o rozměru 60 x 60 cm na ploše 621 m². [13]

Výpočet časové náročnosti pokládky dlažby za požití tradiční technologie při nasazení dvou obkladačů

$$\text{Celková položená plocha} = 540 + 621 = 1161 \text{ m}^2$$

Normohodina pro položení dlažby je 1,89 m² / hod.

Z důvodů jednoduchosti pokládky dlažby upravíme koeficientem rychlosti 2. Vypočtená normohodina je 1,89 * 2 = 3,78 m² / hod.

Časová náročnost = celková položená plocha / normohodina položení dlažby = 1161 / 3,78 = 307,14 hod

počet pracovníků = 2

časová náročnost pro 2 obkladače = $307,14 / 2 = 153,57$ hod

Dvěma obkladačům bude trvat pokládka celkem 153,57 hodin.

Výpočet časové náročnosti při nasazení stroje pro automatizované pokládání dlažby.

Stroj na pokládku dlaždic položí za jednu hodinu 23,09 m² / hod.

Celkový čas pokládky vypočteme jako celková plocha / výkon stroje za jednu hodinu = $1161 / 23,09 = 50,28$ hod.

Tabulka s konečnými výsledky

	Počet pracovníků	Doba pokládky
Bez automatizace	2	153,57 hod
S automatizací	1	50,28 hod

[Tab. 2] Výsledky porovnání realizace ZŠ Řeporyje

Závěr

Doba pokládky při nasazení dvou pracovníků je 3x delší jak při nasazení robota pro pokládku dlažby. Při nasazení bychom šetřili čas i peníze.

2) Oprava dlažby v šatnách základní školy Chlumec

Při realizaci jsou zvoleny dva typy dlažby, a to keramická dlažba do 9 ks / m² o rozloze 273,7 m² a protiskluzová dlažba do 12 ks / m² o rozloze 301,7 m². Rozměr dlažby nebyl blíže specifikován. [12]

Výpočet časové náročnosti pokládky dlažby za požití tradiční technologie při nasazení dvou obkladačů

Položená plocha do 9 ks / m² = 273,7 m²

Položená plocha do 12 ks / m² = 301,7 m²

Normohodina pro položení dlažby do 9 ks / m² je 0,84 m² / hod.

Z důvodů jednoduchosti pokládky dlažby upravíme koeficientem rychlosti 2. Vypočtená normohodina je $0,84 * 2 = 1,68$ m² / hod.

Normohodina pro položení dlažby do 12 ks / m² je 0,63 m² / hod.

Z důvodů jednoduchosti pokládky dlažby upravíme koeficientem rychlosti 2.
Vypočtená normohodina je 0,63 * 2 = 1,26 m² / hod.

Časová náročnost pro položení dlažby do 9 ks / m² = položená plocha / normohodina položení dlažby = 273,7 / 1,68 = 162,9 hod

Časová náročnost pro položení dlažby do 12 ks / m² = položená plocha / normohodina položení dlažby = 301,7 / 1,26 = 239,44 hod

počet pracovníků = 4

časová náročnost pro 2 obkladače u 9 ks / m² = 162,9 / 2 = 81,45 hod

časová náročnost pro 2 obkladače u 12 ks / m² = 239,44 / 2 = 119,72 hod

Dvěma obkladačům bude trvat pokládka dlažby u 9 ks / m² a 81,45 hodin u pokládka dlažby u 12 ks / m² 119,72 hodin.

Výpočet časové náročnosti při nasazení stroje pro automatizované pokládání dlažby.

Stroj na pokládku dlaždic položí za jednu hodinu 15,52 m² / hod u 9 ks / m² a 15,61 m² / hod u 12 ks / m².

Celkový čas pokládky vypočteme jako celková plocha / výkon stroje za jednu hodinu. u 9 ks / m² = 273,7 / 15,52 = 17,63 hod

u 12 ks / m² = 301,7 / 15,61 = 19,3 hod

Tabulka s konečnými výsledky

	Počet pracovníků	Doba pokládky
Bez automatizace do 9 ks / m ²	2	81,45 hod
Bez automatizace do 12 ks / m ²	2	119,72 hod
S automatizací do 9 ks / m ²	1	17,63 hod
S automatizací do 12 ks / m ²	1	19,3 hod

[Tab. 3] Výsledky porovnání realizace ZŠ Chlumec

Závěr

Doba pokládky při nasazení dvou pracovníků je až 5x delší jak při nasazení robota pro pokládku dlažby. Při nasazení bychom šetřili čas i peníze.

Zvolil jsem tyto dvě realizace, aby bylo možné porovnání výkonu při pokládce klasické dlažby a velkoformátové dlažby. Jak porovnání ukázalo při nasazení robota můžeme snížit nasazení pracovníků a zároveň mnohonásobně zvýšit výkon.

Je pravda, že robot nevykonává každou činnost, ale pouze pomáhá s pokládkou dlažby. Z toho důvodů nelze tvrdit, že by nasazení robota opravdu pomohlo s rychlostí pokládky.

8. POROVNÁNÍ TRADIČNÍ POKLÁDKY DLAŽBY S POKLÁDKOU PŘI NASAZENÍ ROBOTA

Pomocí multikriteriální analýzy posoudíme, jak výhodné je použít robota při dláždění. Pro získání co nejpřesnějšího výsledku je potřeba stanovit kritéria, se kterými se setkáváme při realizaci dlažby.

Seznam kritérii:

1. Kvalita
2. Rychlost
3. Počet pracovníků
4. Délka pracovní směny
5. Počáteční investice
6. Logistika

Pořadí	Kritérium	Váha	Tradiční způsob pokládky		Pokládka pomocí robotické ruky	
			Pořadí	Výsledek	Pořadí	Výsledek
1	Kvalita	0,22	1	0,22	2	0,44
2	Rychlost	0,25	2	0,5	1	0,25
3	Počet pracovníků	0,15	2	0,3	1	0,15
4	Délka pracovní doby	0,15	2	0,3	1	0,15
5	Počáteční investice	0,1	1	0,1	2	0,2
6	Logistika	0,13	2	0,26	1	0,13
		1		1,68		1,32

Dle výsledků multikriteriální analýzy je použití robotizace pro pokládku dlažby nejvýhodnější volba. Výsledky jsou ale vyrovnané, a tak bude záležet na parametrech dané stavby pro vybrání vhodného řešení.

9. DISKUSE

Autor navrhl koncept robotického stroje pro pokládku dlažby, který má za úkol nanést lepidlo, položit dlažbu a vyrovnat plochu do roviny. Stroj je navržen s aplikací moderních technologií a kombinací funkčních systémů. Stroj se skládá z robotické ruky KUKA KR 16, autonomního vozíku MiR 1350, autorem navržený centrovací zásobník na dlažbu, autorem navržená nástroj pro aplikaci lepidla a sudovou pumpou na lepidlo. Stroj je také doplněn o kompresor se vzdušníkem pro dostatečnou zásobu stlačeného vzduchu. Jedná se o zajímavý koncept, neboť nahrazuje těžkou a únavnou práci tudíž může zvýšit zájem o obor.

Autor napsal a otestoval ovládací skript pro robotickou pokládku dlažby pomocí průmyslového robota KUKA KR 16 R1610-2. Proces byl následně virtuálně ověřen v simulátoru pro daný typ úkolu a bylo provedeno měření výkonu pro různé rozměry dlažby. V programu byly simulovány různé pozice a rozměry pro dosažení nejvyšší efektivity pokládky. Na závěr bylo zjištěno že robot je výkonnější jak lidský pracovník, ale není schopen jej plně nahradit. Dělník je stále potřeba pro přípravu pracoviště, asistenci a dokončení konstrukce. Jasnou výhodou je že můžeme ale nasadit méně pracovníků pro splnění stejné nebo i větší efektivity práce.

Dle mého odborného názoru je stroj pro robotickou pokládku dlažby použitelný při velkém rozsahu prací, neboť zrychlí proces pokládky. Systém je také na vyšší úrovni oproti konvenčním technologiím což znamená, že je potřeba lépe vzdělaný pracovník pro jeho obsluhu, a to zužuje možnost najít vhodného pracovníka který musí také pracovat ručně při dodělávání přířezů. I přes tyto překážky je robot pro automatickou pokládku dlažby řešením, které by se mělo dále rozvíjet. Nasazením robotických a autonomních strojů do procesu výstavby nám přináší drahocenné zkušenosti díky kterým jsem schopni stroje modernizovat a vytvořit stroj který bude jednoduchý a ekonomicky vhodný pro použití na více stavbách.

10. ZÁVĚR

Po shrnutí výsledků práce je možné dojít k těmto závěrům a tvrzením:

- Napsání skriptu pro robota je jednodušší a bezpečnější než kdy dříve díky možnosti vizuálního programování.
- Robotické řešení pro pokládku dlažby je velice výkonné ale pouze při nasazení na práce o velkém rozsahu.
- Nasazení robotického stroje pro nahrazení lidské práce dává možnost pracovat s menším počtem pracovníků.
- Rychlost robotické pokládky dlažby silně závisí na rozměru dlaždice.
- Robotická pokládku může zrychlit proces pokládání dlažby až o 300 %.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STANGE, Peter-Michael. Obklady a dlažba. Vyd. 1. Praha: Ikar, 1999. 111 s. Udělej si sám. ISBN 80-7202-399-3.
- [2] Lemmen. 5000 Years of Tiles. 1. Anglie: British Museum Press, 2013. ISBN 9780714150994.
- [3] BLOXHAM, Terry. The Tile Book. 1. Anglie: Thames & Hudson, 2019. ISBN 500480257.
- [4] ROB, Adaptive Processing [online]. Dostupné z: <https://rob-technologies.com/adaptive-processing>
- [5] NRF, RObotic tiling machine [online]. Dostupné z: <https://www.nrf.gov.sg/innovation-enterprise/innovative-projects/advanced-manufacturing-and-engineering/robotic-tiling-machine>
- [6] Research prototype assisting tiler robot | laying tiles with the help of a robot. - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2023 Google LLC [cit. 02.05.2023]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=8M1OCqKkbyA>
- [7] The International Association for Automation and Robotics in Construction – The International Association for Automation and Robotics in Construction [online]. Copyright © [cit. 03.05.2023]. Dostupné z: <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/isarc2003-97.pdf>
- [8] Poslední soud | České mozaiky. Projekt | České mozaiky [online]. Copyright © 2023 [cit. 03.05.2023]. Dostupné z: <https://ceskemozaiky.cz/zaznam/384>
- [9] Poterie – Piastrelle in Ceramica | Laggioni Tradizionali | Genova. Wellmade | Piattaforma per scoprire i Migliori Artigiani d'Italia [online]. Copyright © 2020 [cit. 03.05.2023]. Dostupné z: <https://www.well-made.it/artigiano/poterie-decoratori-di-ceramiche-genova/>
- [10] Katalogy RAKO | výrobce keramických obkladů d dlažeb RAKO. RAKO | keramické obklady a dlažby | LASSELSBERGER, s.r.o. [online]. Copyright © 2023 [cit. 03.05.2023]. Dostupné z: <https://www.rako.cz/cs/ke-stazeni/katalogy-rako>
- [11] Přednáška TS1A Technologie povrchových úprav – obklady
- [12] Oprava dlažby v šatnách ZŠ Chlumeč, Veřejné zakázky a profily zadavatelů. Portál pro vhodné uveřejnění [online]. Copyright © 2021 vhodné [cit. 03.05.2023]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/zakazka/oprava-dlazby-v-satnach-zs-chlumeč>
- [13] Rekonstrukce povrchů chodeb ZŠ Řeporyje, Veřejné zakázky a profily zadavatelů. Portál pro vhodné uveřejnění [online]. Copyright © 2021 vhodné [cit. 03.05.2023]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/zakazka/rekonstrukce-povrchu-chodeb-zs-reporyje>
- [14] MiR1350. MiR | Automate your internal transportation | Mobile Industrial Robots [online]. Copyright © Mobile Industrial Robots 2023 [cit. 18.05.2023]. Dostupné z: <https://www.mobile-industrial-robots.com/solutions/robots/mir1350/kmkm>
- [15] KR CYBERTECH | KUKA AG. industrial intelligence 4.0_beyond automation | KUKA AG [online]. Copyright © KUKA AG 2023 [cit. 18.05.2023]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-služby/robotické-systémy/průmyslové-roboty/kr%C2%A0cybertech>
- [16] Piab gripping, lifting and moving solutions - piab.com [online]. Copyright © 2023 [cit. 20.05.2023]. Dostupné z: <https://www.piab.com/robot-and-cobot-gripping-solutions/kenos-vacuum-gripping-systems/kvg/kenos-vacuum-gripper-kvg120c/#features>
- [17] Šroubový kompresor AtlasCopco GX 2-10 EP P - PROSTROJECZ. Kategorie produktů - PROSTROJECZ [online]. Dostupné z: <https://www.prostrojecz.cz/produkt/sroubovy-kompresor-atlascopco-gx-2-10-ep-p/>

- [18] RoboStav.cz: Robotické dláždění. RoboStav.cz: Laboratoř pro Robotizaci Stavebních Procesů. ČVUT v Praze, Katedra technologie staveb. [online]. Copyright © [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: <http://www.robostav.cz/robostav-foto-video-galerie-roboticke-dlazdeni>
- [19] Pneumatická sudová pumpa Pressol FB-WA 18415 051 - 15kg - Enaradinastroje. Nářadí a nástroje | Prodej nářadí a nástrojů | Enaradinastroje.cz [online]. Copyright © Pobo Page Builder [cit. 21.05.2023]. Dostupné z: https://www.enaradinastroje.cz/pneumaticka-sudova-pumpa-pressol-fb-wa-18415-051-15kg/?gclid=CjwKCAjwgqejBhBAEiwAuWHioGvmJek3b7nMEu6l1x_5VjZNxg171EDkkTXvnUiHZInPpEPywScWJhoCDUEQAvD_BwE
- [20] [online]. Copyright © 2014 [cit. 22.05.2023]. Dostupné z: <https://www.stonegallery.cz/vyrovnacni-nivelacni-system-usnadni-pokladku-obkladu-a-dlaz>
- [21] Technologický postup vnitřní dlažby a obklady. Diplomová práce na Katedře technologie staveb. Autor: Bc. Jan Ribár. [online]. Copyright © [cit. 22.05.2023]. <https://dspace.cvut.cz>
- [22] Technické normy | Cech obkladačů. Domů | Cech obkladačů [online]. Copyright © 2023 [cit. 22.05.2023]. Dostupné z: <https://www.cech-obkladacu.cz/ke-stazeni/technicke-normy/>
- [23] ČSN 73 3451. Obecná pravidla pro navrhování a provádění keramických obkladů. Praha. 2005. 24 s .

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

- [OBR. 1] LAGGONI [9]
[OBR. 2] MOZAIKA NA PRŮČELÍ JIŽNÍHO VSTUPU DO KATEDRÁLY SV. VÍTA [8]
[OBR. 3] MOZAIKOVÉ PLÁTNO [10]
[OBR. 4] KAMENNÝ SPOJ [11] [OBR. 5] LIŠTA [11]
[OBR. 6] DISTANČNÍ KŘÍŽEK [21] [OBR. 7] KLÍNEK [20]
[OBR. 8] SCHÉMA POKLÁDKY DLAŽBY [7]
[OBR. 9] APLIKACE POJIVA [4]
[OBR. 10] POKLÁDKA DLAŽBY [4]
[OBR. 11] MANIPULACE OBKLÁDACÍHO ROBOTA S DLAŽDICÍ [6]
[OBR. 12] ROBOT SCHEMA [7] [OBR. 13] ROBOT TILING [7]
[OBR. 14] FOTO ROBOTA PRO POKLÁDKU DLAŽBY [18]
[OBR. 15] SKICA NÁVRHU STROJE PRO POKLÁDKU DLAŽBY
[OBR. 16] MIR 1350 [14]
[OBR. 17] KUKA KR 16 R1610-2[15]
[OBR. 18] KUKA KR 16 R1610-2 OBRÁZEK PRACOVNÍ ZÓNY [15]
[OBR. 19] KOMPRESOR ATLASCOPCO GX 2-10 EPP
[OBR. 20] SYSTÉM KENOS KVG120C [16]
[OBR. 21] SKICA ZÁSOBNÍKU NA DLAŽDICE
[OBR. 22] SCHÉMA NÁSTROJE PRO APLIKACI LEPIDLA
[OBR. 23] PNEUMATICKÁ SUDOVÁ PUMPA
[OBR. 24] NÁHLED NA SIMULACI ROBOTA V PROGRAMU GRASSHOPPER BĚHEM SIMULACE
[OBR. 25] NÁZORNÉ SCHÉMA NÁVAZNOSTÍ SKRIPTU
[OBR. 26] SKRIPT NASTAVENÍ POZICÍ
[OBR. 27] SKRIPT VÝBĚR PLOCHY PRO UCHOPENÍ
[OBR. 28] SKRIPT MANIPULAČNÍ VÝŠKA
[OBR. 29] SKRIPT OVLÁDÁNÍ VZDUCHU
[OBR. 30] SKRIPT ZAPOJENÍ PŘÍKAZŮ A ROBOTA
[OBR. 31] GRAF VÝSLEDKŮ SIMULACE

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

- [TAB. 1] PŘEHLED VÝSLEDKŮ SIMULACE ROBOTICKÉ POKLÁDKY DLAŽBY
[TAB. 2] VÝSLEDKY POROVNÁNÍ REALIZACE ZŠ ŘEPORYJE
[TAB. 3] VÝSLEDKY POROVNÁNÍ REALIZACE ZŠ CHLUMEC

