

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra technologie staveb



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Robotizace nástřiků ocelových
konstrukcí

Bc. Zbyněk Sedloň

2020

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Kovářík

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sedloň Jméno: Zbyněk Osobní číslo: _____
Zadávací katedra: Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Robotizace nástřiků ocelových konstrukcí
Název diplomové práce anglicky: Robotic coatings of steel structures

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rešerše technologií pro ochranu ocelových konstrukcí. Rešerše robotických systémů ve stavebnictví.
- 2) Návrh robotického systému pro nástřik ocelových konstrukcí
- 3) Návrh sprejovací hlavy pro použití v robotickém systému pro nástřik ocelových konstrukcí
- 4) Výroba a sestavení funkčního prototypu sprejovací hlavy
- 5) Provedení zkoušek prototypu sprejovací hlavy.
- 6) Zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené literatury:

1. GRAMAZIO, Fabio a Matthias KOHLER, ed. Made by robots: challenging architecture at the large scale : May/June 2014. London: Wiley, 2014. Architectural design (Wiley). ISBN 978-1118-535486.
2. ČSN EN ISO 12944. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
3. ČSN 73 2604. Ocelové konstrukce - Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012,
4. BOCK, Thomas a Thomas LINNER. Robot-oriented design: design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction. New York: Cambridge University Press [2015]. ISBN 978-1-107-07638-9.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Michal Kovářik

Datum zadání diplomové práce: 27. 9. 2019 Termín odevzdání diplomové práce: 5. 1. 2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

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

V Praze dne 6. ledna 2020

.....
Bc. Zbyněk Sedloň

Poděkování

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu mojí diplomové práce panu inženýrovi Michalu Kováříkovi, nejen za věcné připomínky a konzultace k mojí práci, ale také za vedení předmětu robotické technologie ve stavebnictví, který ve mě vzbudil nadšení a zájem se o toto odvětví zajímat. Dále bych rád poděkoval panu doktorovi Gaëlu Ecorchardovi za poskytnutí informací k hexapodu a za jeho vypůjčení.

V neposlední řadě bych rád poděkoval svým nejbližším kamarádům a rodině za vytvořené podmínky ke studiu vysoké školy a speciálně pak mému tatínkovi Zbyňku Sedloňovi za rady a pomoc při sestavování prototypu stříkací hlavy.

Česká anotace

V této diplomové práci jsou sepsány požadavky na ochranné protikoroziční nátěrové systémy ocelových konstrukcí. V dalším bodě autor ukazuje nejzajímavější projekty v oblasti robotických technologií použitých ve stavebnictví. Na základě těchto poznatků je navržen robotický autonomní systém na ošetřování ocelových konstrukcí. Dále je jako součást práce sestaven a ozkoušen prototyp stříkací hlavice, tento prototyp je uchycen na robotu hexapod.

Klíčová slova:

- # Údržba
- # Ocelové konstrukce
- # Autonomní robotické technologie
- # Drony
- # Hexapod
- # Nástřikové hmoty
- # Stříkací hlavice

English annotation

In the first part of this diploma thesis there are written requirements for corrosion protection coating systems of steel structures. In the following section of this thesis author points out the most interesting projects which are used in the construction industry. The robotic autonomous system is designed based on this knowledge for steel structure maintenance. Furthermore, as a part of this thesis the prototype of coating head has been designed and tested. This prototype is assembled to the top of the hexapod robot.

Keywords:

- # Maintenance
- # Steel structure
- # Autonomous robotic technology
- # Drones
- # Hexapod
- # Coating materials
- # Coating machine

Obsah

Úvod	9
1 Protikoroziční ochrana ocelových konstrukcí	11
1.1 Obecné zásady ochrany.....	11
1.2 Koroze	11
1.2.1 Obecný popis.....	11
1.2.2 Chemická koroze	12
1.2.3 Elektrochemická koroze	12
1.3 Návrh protikoroziční ochrany.....	12
1.4 Tvarové kritéria navrhování ocelových konstrukcí.....	13
1.4.1 Dosažitelnost a dostupnost.....	13
1.4.2 Úprava spár.....	14
1.4.3 Úprava hran	15
1.4.4 Svary	15
1.5 Klasifikace vnějšího prostředí.....	16
1.6 Příprava povrchu	16
1.6.1 Obecné požadavky	16
1.6.2 Způsoby čištění.....	17
1.6.3 Stupně přípravy povrchu.....	19
1.7 Provádění nátěrů.....	22
1.7.1 Základní požadavky.....	22
1.7.2 Způsoby nanášení.....	23
1.8 Ochranné nátěrové systémy.....	23
1.8.1 Oxidačně vytvrzované nátěrové hmoty	23
1.8.2 Fyzikálně zasychající nátěrové hmoty	24
1.8.3 Chemicky vytvrzované nátěrové hmoty.....	24
1.8.4 Nátěrové hmoty vytvrzované vlhkostí	25
2 Robotické systémy ve stavebnictví	26
2.1 Úvod.....	26
2.2 3D tiskárna betonu	26
2.2.1 Vytištěný dům - Milan design week.....	27
2.2.2 Vytištěný dům - Dubaj.....	27
2.3 Roboticky vytvořené prostorové sítě jako bednění	29
2.4 Humanoidní stavební robot.....	30
2.5 Autonomní vazač výztuže	31
2.6 Drony ve stavebnictví	32
2.6.1 Letecká výstavba	32

2.6.2	Lanový most	33
2.6.3	Inspekce konstrukcí.....	34
3	Návrh robotického systému pro nástřik ocelových konstrukcí	35
3.1	Úvod.....	35
3.2	Základna	37
3.3	Hexapod.....	38
3.4	Dron	39
3.4.1	Inspirace	39
3.4.2	Návrh.....	42
3.5	Styčný bod.....	43
3.6	Stříkáč hlavice.....	44
3.6.1	Inspirace	44
3.6.2	Návrh.....	46
3.6.3	Výpočet plochy konstrukce nastříkané na jednu nádobu.....	47
3.6.4	Výpočet plochy konstrukce nastříkané na jednu baterii	48
3.7	Specifikace systému.....	48
3.8	Postup prací	49
3.9	Kontrola kvality a detekce poruch	50
3.9.1	Požadavky dle normy ČSN EN ISO 12944 - 7	50
3.9.2	Kontrola robotickým systémem	51
4	Sestavení funkčního prototypu stříkáč hlavice.....	52
4.1	Jednotlivé prvky prototypu	52
4.1.1	Ponorné čerpadlo.....	52
4.1.2	Olověný akumulátor.....	52
4.1.3	Dálkově ovládané relé.....	53
4.1.4	Tryska se zpětný ventilem	53
4.1.5	Elektrotechnické zapojení.....	53
4.1.6	Čerpání barvy	54
4.1.7	Konstrukční prvky.....	54
4.2	Výroba prototypu.....	55
4.3	Provedení zkoušek	58
Závěr		61
	Zhodnocení práce	61
	Budoucnost robotické systému	61
Zdroje		63
Seznam obrázků		66
Seznam tabulek		68

Úvod

Moderní technologie obklopují každého z nás, i když si to často už ani neuvědomujeme. Jako nejvýraznější příklad můžeme vzít mobilní telefon, který v dnešní době využívá drtivá většina lidí v civilizovaném světě. Stačí se posunout pouze o jednu generaci zpět a lidstvo si ani nedovedlo představit, co všechno bude možné dělat pomocí tak malého zařízení a co bude pro lidi znamenat. Tento posun však nezaznamenali pouze mobilní technologie, ale i ostatní odvětví jako například automobilový průmysl, který zanedlouho bude produkovat auta, která se budou po silnicích pohybovat zcela autonomně, přispějí tak květší bezpečnosti na silnicích a pohodlí pasažérů. Hlavním důvodem, proč se moderní technologie a robotizace tak posunují dopředu a lidé je používají čím dál více, je fakt, že nám značně šetří finance a ulehčují práci. Vždyť už Tomáš Baťa měl jako jedno ze svých hesel: „*Lidem myšlení, strojům dřinu.*“ [1]

Motivací k výběru tématu robotických technologií ve stavebnictví je mnoho, nejvýraznější je fakt, že se potýká nejen v České republice s nedostatkem pracovní síly zejména na dělnických pozicích. Dalším, a ten platí pro všechny odvětví, je zlevnění procesů přípravných i výrobních. Oba tyto faktory se dají zčásti vyřešit nasazením vhodných a správně fungujících robotických technologií. Stavebnictví není bohužel pro moderní technologie příliš příznivé svým prostředím (prach, nečistoty, hrubé práce) a také neustálým posouváním pracovního prostoru, pokud se nejedná o výrobu prefabrikátů v závodech. Toto jsou hlavní důvody, proč je například strojírenství v implementaci moderních robotických technologií o tolik napřed. Velké továrny, kde je dnes už téměř nemocniční prostředí, jsou jako dělané pro inovace. Při pásové výrobě stroje stojí na místě, posunuje se vyráběný produkt a stroje mají tak jasně definovaný pracovní prostor, který se po celou dobu jejich životnosti mnohdy ani nemusí změnit.

Vždy jsem měl moderní technologie rád a snažím se sledovat jejich vývoj. Moje zaujetí pro využití těchto technologií a robotů vzniklo během absolvování předmětu Robotické technologie ve stavebnictví. V předmětu mají studenti za úkol najít aktuální problém ve stavebnictví a poté navrhnout robotickou technologii, která by stavební proces ulehčila. Téma inovací v oblasti údržby ocelových konstrukcí (zejména mostů) je velmi aktuální a například Praha má ve svém středu stavbu, která se nachází, i díky špatné údržbě, v téměř havarijním stavu a pokud by se most nadále používal beze změny, hrozil by do pěti let jeho úplný kolaps.



Obrázek 1 - Železniční most na Výtoni [2]

1 Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí

1.1 Obecné zásady ochrany

Použití oceli jako stavebního prvku přináší spoustu výhod, ale zároveň několik úskalí. Největší nebezpečí představuje koroze oceli, k té dochází při expozici nechráněné oceli ať už v atmosféře, při kontaktu se zemí nebo i při kontaktu s vodou. Proto musí být ocelové prvky po celou dobu jejich životnosti chráněny. Zásadním předpisem pro ochranu ocelových konstrukcí je norma ČSN EN ISO 12944. Zabývá se zásadami pro navrhování, provádění i kontrolu protikorozi ochrany ocelových konstrukcí. Pro dobře fungující ochranu ocelových konstrukcí je zapotřebí jak kvalitního odborného návrhu, tak i odborné vedení při realizaci, kde se musí řádně dodržovat pracovní kázeň. Pro dobrý výsledek vytvoření protikorozi povlakové ochrany je také důležitý odborný dozor nad vykonávanou prací. [3]

1.2 Koroze

1.2.1 Obecný popis

“V nejširším smyslu máme pod pojmem koroze na mysli rozrušení materiálu fyzikálně - chemickým působením vnějšího prostředí.” [4] Korozi nemusí podléhat pouze kovy, ale týká se i dalších materiálů - plast, beton, dřevo. Ochrana ocelových konstrukcí před korozi se věnuje poměrně velké snažení. Pokud je totiž koroze napadne, znamená to velmi často zásadní znehodnocení materiálů. Jelikož koroze může mít různé mechanismy, je k návrhu protikorozi opatření potřeba celé problematice důkladně rozumět. Aby stavební hmota byla odolná vůči okolnímu prostředí, musí být odolná každá její součást. Při nedostatečné odolnosti jedné ze součástí dojde ke znehodnocení celé konstrukce. “Stavební hmota bude odolávat vnějšímu prostředí, jestliže ji prostředí obklopující nepřinutí k reakcím za vzniku produktů v daných podmínkách stabilnějších.” [4]

Již při návrhu je potřeba uvědomit si, že odolnost materiálu je ovlivněna nejen činiteli vnějšího prostředí, ale mohou ji ovlivňovat i činitelé vnitřní. Vnitřní činitele tvoří struktura a stavba materiálu, dále jeho chemické složení a jeho fyzikálně - chemické vlastnosti. Ve vnějších činitelích se nejvýrazněji vyskytují přírodní vlivy, jedná se zejména o působení vody na konstrukci, střídání teplot a vlhkosti. Další skupinou vnějších činitelů jsou chemické vlivy, v této skupině se nachází působení agresivních vod, par a plynů. Mezi další činitele ještě patří mechanické vlivy a dále ještě biologické (např. plísně, hmyz,..).

Jenom pouze velmi malé množství kovů se v přírodě vyskytuje v čisté formě, jsou to vzácné kovy - zlato a platina. Ostatní se vyskytují v podobě sloučenin. Toto je zapříčiněno termodynamickou stabilitou. Pro většinu kovů je totiž velice výhodné přejít z hlediska termodynamiky na sloučeninu. Některé kovy reagují s vnějším prostředím velice ochotně,

takovým kovem je například ocel. Zvláštním případem je titan, který sice s okolním prostředím reaguje, ale vytváří si u toho zároveň pasivní ochranou povrchovou vrstvu korozních zplodin, která ho chrání před dalším napadením. Při řešení protikorozi ochrany je však potřeba znát také mechanismus a kinetiku korozních dějů. Korozi dělíme podle mechanismu na dvě základní kategorie - chemickou a elektrochemickou.

1.2.2 Chemická koroze

S chemickou korozi se lze nejčastěji setkat v plynném prostředí. Napadnutí kovových konstrukcí nejčastěji probíhá v prostředí vzdušného kyslíku a za vysokých teplot. Při těchto jevech vznikají na kovu korozní produkty (oxidy). Podle charakteru této vrstvy korozních produktů dochází při oxidaci k difuzi částic kovu (iontů) k povrchu této vrstvy a současně k difuzi kyslíku vrstvou korozních produktů k povrchu kovu. Zároveň platí, že čím větší je teplota, tím se rychlost difuze zrychluje.

1.2.3 Elektrochemická koroze

Nejčastějším korozním vnitřním mechanismem je elektrochemická koroze. Tento děj probíhá při kontaktu elektrolytů (např. voda, vodné roztoky) a kovů. Při tomto ději probíhají dvě dílčí reakce - anodová a katodová. Jejich výsledkem je pak samotná elektrochemická koroze. Každá z dílčích reakcí se odehrává na místě, které je pro danou reakci nejvýhodnější. Za anodu je považováno místo, kde probíhá rozpouštění kovu a za katodu je považováno místo, kde se uskutečňuje depolarizační reakce.

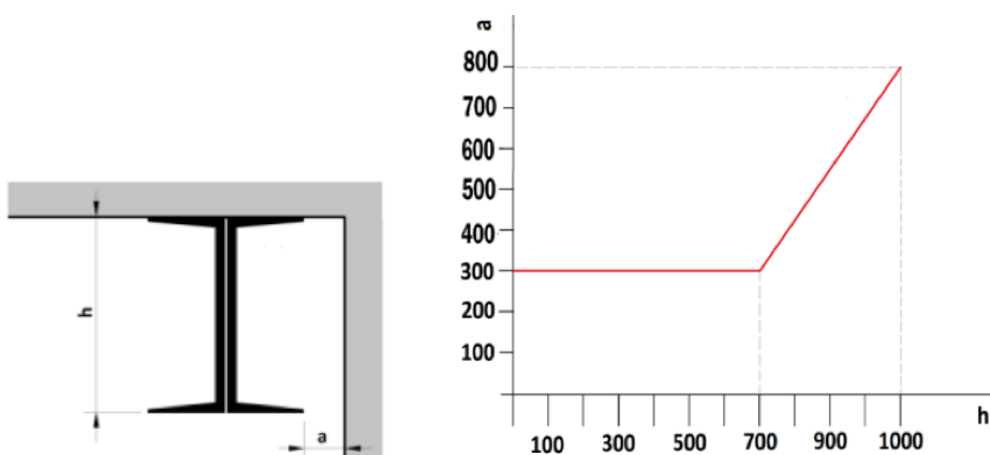
1.3 Návrh protikorozi ochrany

Základním kritériem ovlivňujícím návrh povlakové antikorozi ochrany je její požadovaná minimální životnost, dle normy se rozděluje do čtyř kategorií. V první kategorii se počítá s životností do 7 let, v druhé 7 - 15 let, ve třetí se životností 15 - 25 let a ve čtvrté se životností přesahující 25 let. Druhým neméně důležitým kritériem je samotný návrh ocelové konstrukce. Ocelová konstrukce musí být tvarově vhodně řešena. Čím tvarově jednodušší konstrukce je, tím více se omezuje vznik koroze a zároveň se zjednodušuje následné ošetření konstrukce po konci životnosti povlakové ochrany. Každá nepravidelnost (např. přeplátování, šroubové spoje, nýtování) zvyšují riziko vzniku koroze a zároveň znesnadňují obnovu protikorozi povlakového systému. Pokud je ocelová konstrukce nebo její část zabudovaná tak, že v průběhu životnosti není přístupná, musí být její protikorozi ochrana účinná po celou dobu životnosti stavebního díla. Tento případ může nastat například u zabetonování nebo obezdění ocelové konstrukce. [6]

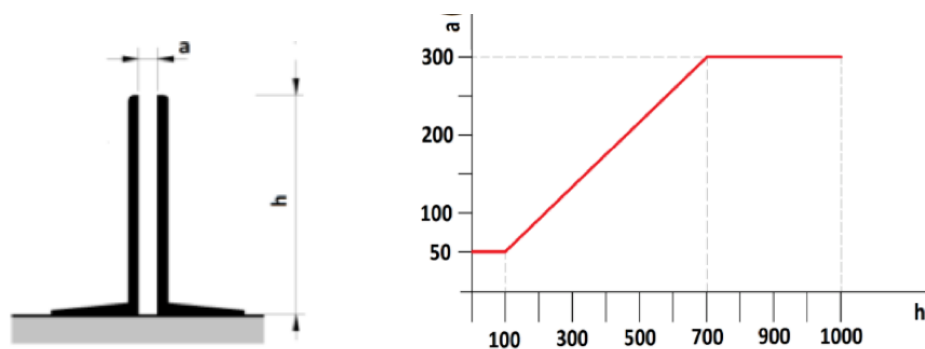
1.4 Tvarové kritéria navrhování ocelových konstrukcí

1.4.1 Dosažitelnost a dostupnost

Na hledisko údržby je samozřejmě potřeba myslet již při návrhu konstrukce a to také z pohledu dostupnosti. Není možné umístit konstrukci příliš blízko sousední konstrukci nebo jiné části vlastní konstrukce. Pokud v návrhu není možné tomuto požadavku vyhovět, například kvůli staticce, je žádoucí tyto místo zhotovit z korozně odolných materiálů nebo na nich provést takový nátěrový systém, který odolá korozi po celou dobu životnosti konstrukce.



Obrázek 2 - Nejmenší vzdálenost mezi vlastní a přilehlou konstrukcí [6]



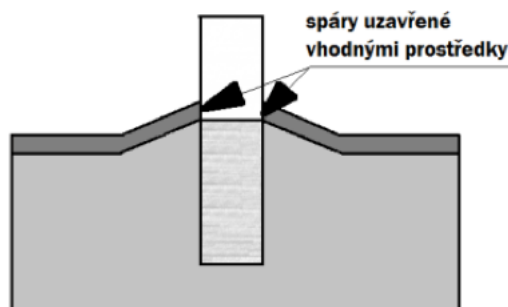
Obrázek 3 - Nejmenší vzdálenost mezi částmi vlastní konstrukce [6]

a... nejmenší povolená vzdálenost [mm]

h... maximální výška konstrukce [mm]

1.4.2 Úprava spár

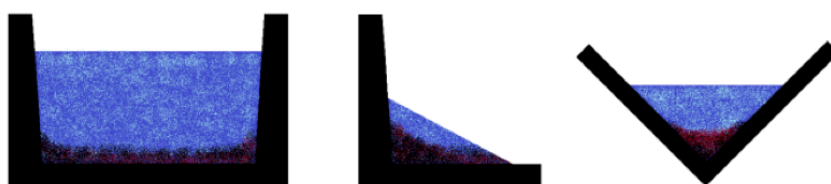
Největší riziko vzniku koroze obecně vykazují místa, kde se zadržují nečistoty či vlhkost. Příkladem takového místa může být spára nebo přeplátování. Pokud se takovým místům nelze vyhnout je vhodné tyto místa ošetřit. Ošetřením je na mysli utěsnění průběžným svarem alternativně úzké prostory vyplnit plechem a přivařit ho. Dalším velice nebezpečným místem je styk ocelového prvku s betonem, zde je nutné vytvořit uzavřenou spáru a ideálně tak, aby voda odtékala ze styku pryč.



Obrázek 4 - Styk ocelového prvku s betonem [6]

- Správně umístění z hlediska nezadržování vody

Všechny ocelové i jiné prvky by měli být umístěny tak, aby na nich nedocházelo k zadržování vody a nečistot. Toho lze v návrhu dosáhnout využitím vhodného opatření. Jedním z nich je vyloučení profilů shora otevřených, pokud je takový profil potřeba využít, musí být uspořádán do sklonu, aby voda a nečistoty mohli volně odtékat. Dalším takovým opatřením může být zabránění vytváření prohlubní v konstrukci. Zásadním pravidlem je umožnit vodě volnou cestu z jednotlivých prvků ocelové konstrukce.



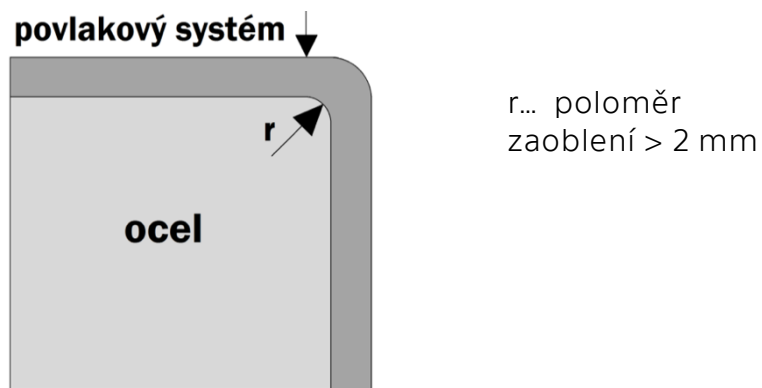
Obrázek 5 - Nevhodně umístěné prvky [6]



Obrázek 6 - Vhodně umístěné prvky [6]

1.4.3 Úprava hran

Aby bylo možné nanést povlakový protikorozi systém rovnoměrně na celou konstrukci je nutné, aby byly všechny hrany zaobleny nebo alespoň seříznuty. Při nanášení povlaku na ostrou hranu vznikne v povlaku slabé místo a hrozí odloupení.



Obrázek 7 - Zaoblení hrany [6]

1.4.4 Svary

Svarové spoje je nutné provést bez vad, rozumí se tím vyvarování se nerovností, prohlubní, pórům. Tyto vady by se následným nanášením povlakového systému těžko překrývaly. [6]

1.5 Klasifikace vnějšího prostředí

Stupeň korozní agresivity	Úbytek hmotnosti na jednotku plochy/úbytek tloušťky (po prvním roce expozice)				Příklady typických prostředí (pouze informativní) ^{NP4)}	
	Nízkouhlíková ocel		Zinek		Venkovní	Vnitřní
	Úbytek hmotnosti g/m ²	Úbytek tloušťky μm	Úbytek hmotnosti g/m ²	Úbytek tloušťky μm		
C1 velmi nízká	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	–	Vytápěné budovy s čistými atmosférami, např. kanceláře, obchody, školy, hotely
C2 nízká	> 10 až 200	> 1,3 až 25	> 0,7 až 5	> 0,1 až 0,7	Atmosféry s nízkou úrovní znečištění: převážně venkovské oblasti	Nevytápěné budovy, ve kterých může docházet ke kondenzaci, např. sklady, sportovní haly
C3 střední	> 200 až 400	> 25 až 50	> 5 až 15	> 0,7 až 2,1	Městské a průmyslové atmosféry, střední úroveň znečištění oxidem siřičitým; pobřežní oblasti s nízkou salinitou	Výrobní prostory s vysokou vlhkostí a malým znečištěním ovzduší, např. potravinářské závody, prádelny, pivovary, mlékárny
C4 vysoká	> 400 až 650	> 50 až 80	> 15 až 30	> 2,1 až 4,2	Průmyslové oblasti a pobřežní oblasti se střední salinitou	Chemické závody, plavecké bazény, loděnice na pobřeží
C5 velmi vysoká	> 650 až 1 500	> 80 až 200	> 30 až 60	> 4,2 až 8,4	Průmyslové oblasti s vysokou vlhkostí a agresivní atmosférou a pobřežní oblasti s vysokou salinitou	Budovy nebo oblasti s téměř trvalou kondenzací a s vysokým znečištěním
CX extrémní	> 1 500 až 5 500	> 200 až 700	> 60 až 180	> 8,4 až 25	Přímořské oblasti s vysokou salinitou a průmyslové oblasti s extrémní vlhkostí a agresivní atmosférou a subtropické a tropické atmosféry	Průmyslové oblasti s extrémní vlhkostí a agresivní atmosférou

POZNÁMKA Hodnoty úbytků pro jednotlivé stupně korozní agresivity jsou shodné s hodnotami uvedenými v ISO 9223.

Tabulka 1 - Klasifikace vnějšího prostředí [5]

1.6 Příprava povrchu

1.6.1 Obecné požadavky

Stav a příprava povrchu ocelové konstrukce je zcela zásadní pro správné fungování navrženého ochranného povlaku. Proto je potřeba už ve fázi výroby projektové dokumentace stanovit stupeň a způsob přípravy ocelového povrchu. Ocelový povrch určený k nanášení ochranného nátěru vystihují tři základní parametry:

- Profil povrchu
- Množství rzi a okují
- Přítomnost nečistot na povrchu materiálu

1.6.2 Způsoby čištění

Odstraňovaná látka	Postup	Poznámky ¹⁾
Mastnoty a oleje	Čištění vodou	Čistá voda s přídavkem detergentu. Může být použit tlak (≤ 70 MPa). Oplach čistou vodou.
	Čištění párou	Čistá voda. Při použití detergentu oplach čistou vodou.
	Emulzní čištění	Oplach čistou vodou
	Alkalické čištění Čištění organickými rozpouštědly	Hliník, zinek a některé jiné typy kovových povlaků mohou být náchylné ke korozi při použití silného alkalického roztoku. Oplach čistou vodou. Řada organických rozpouštědel je zdraví škodlivá. Čištění se provádí pomocí hadrů, které je nutno často měnit, jinak by nebyly mastnoty a oleje odstraněny a po odpaření rozpouštědla by zůstaly na povrchu jako mastný film.
Ve vodě nerozpustné látky, např. soli	Čištění vodou	U všech postupů platí stejné zásady, jako pro mastnoty a oleje, pouze není použit detergent.
	Čištění párou	
	Alkalické čištění	
Okuje	Moření v kyselině	Tento proces není možno provádět v místě montáže. Oplach čistou vodou.
	Suché otryskávání	Broky nebo ostrohranným materiálem. Prach a zbytky uvolněných povlaků musí být odstraněny ofukem suchým tlakovým vzduchem bez příměsí oleje nebo vakuovým odsáváním.
	Mokrě otryskávání	Následné čištění vodou.
	Čištění plamenem	Je požadováno mechanické čištění k odstranění zbytků z procesu hoření, následované odstraněním prachu a uvolněných povlaků.
Rez	Stejné postupy jako u okují a dále:	Mechanizované kartáčování může být použito tam, kde je uvolněná rez. Broušení může být použito i na přilnavou rez. Prach a úsady zbytků musí být odstraněny. Odstranění volné rzi. Profil povrchu oceli není ovlivněn.
	Mechanizované čištění	
	Otryskávání vodou	

	Místní otryskávání	Odstranění rzi na určitých místech.
Staré nátěrové hmoty	Odstranění starého nátěru	Použití past obsahujících ředidla pro nátěry citlivé k organickým rozpouštědlům. Zbytky se odstraní omytím rozpouštědlem. Použití alkalických past pro nátěry podléhající zmýdelnění. Následuje dokonalý oplach čistou vodou. Odstraňovače jsou vhodné pro malé plochy.
	Suché otryskávání	Broky nebo ostrohranným materiálem. Prach a zbytky uvolněných povlaků musí být odstraněny ofukem suchým tlakovým vzduchem bez příměsí oleje nebo vakuovým odsáváním
	Mokré abrazivní otryskávání	Oplach čistou vodou.
	Otryskávání vodou	Pro odstranění nepřilnavých nátěrů. Ultravysokotlaké otryskávání (>170 MPa) může být použito i pro přilnavé nátěry.
	Lehké otryskávání	Pro zdrsnění organických nátěrů nebo odstranění vrchních vrstev nátěru.
	Místní otryskávání	Pro místní odstranění nátěrů.
Korozní produkty zinku	Lehké otryskávání	Lehké otryskávání může být provedeno korundovým, silikátovým nebo olivínovým prostředkem
	Alkalické čištění	5% (hmotnostně) amoniakový roztok v kombinaci s abrazivem uloženým do plastového držáku může být použit pro odstranění skvrn zinkové koroze. Alkalický čistič může být použit u větších ploch. Při vysokém pH je zinek náchylný ke korozi.
1) Při oplachu a sušení se musí věnovat zvláštní péče rýhovaným a nýtovaným konstrukcím		

Tabulka 2 - Způsoby čištění [7]

1.6.3 Stupně přípravy povrchu

Standards stupňů přípravy pro celkovou přípravu povrchu

Stupeň přípravy ¹⁾	Metoda přípravy	Reprezentativní fotografické vzory v ISO 8501-1 ²⁾³⁾⁴⁾	Základní znaky povrchu	Rozsah použití
Sa 1	Otryskávání	B Sa 1 C Sa 1 D Sa 1	Jsou odstraněny špatně přilnavé okuje, rez, vrstvy nátěrů a cizí látky	Příprava povrchu
Sa 2		B Sa 2 C Sa 2 D Sa 2	Je odstraněna většina okují, rzi, nátěrů a cizích látek. Všechny zbytky nečistot musí být pevně přilnavé.	Nenatřené ocelové povrchy
Sa 2 ½		A Sa 2 ½ B Sa 2 ½ C Sa 2 ½ D Sa 2 ½	Jsou odstraněny okuje, rez, nátěry a cizí látky. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn nebo pásů.	Natřené ocelové povrch, jsou-li nátěry odstraněny do stanoveného stupně přípravy. ⁶⁾
Sa 3 ⁷⁾		A Sa 3 B Sa 3 C Sa 3 D Sa 3	Okuje, rez, nátěry a cizí látky jsou odstraněny. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.	
St 2	Ruční nebo mechanizované čištění	B St 2 C St 2 D St 2	Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky. ⁵⁾	
St 3		B St 3 C St 3 D St 3	Jsou odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky. ⁵⁾ Povrch však musí být upraven důkladněji než u St 2. Musí vykazovat kovový odstín daný podkladem.	
Be	Moření v kyselině		Jsou kompletně odstraněny okuje, rez a zbytky nátěrů. Nátěrové hmoty musí být odstraněny před mořením v kyselině vhodnými prostředky.	Např. před žárovým zinkováním ponorem.

1) Použité symboly:
 Sa = Otryskávání
 St = Ruční nebo mechanizované čištění
 Be = Moření v kyselině
 2) A,B,C,D je označení původního stavu nenatřených ocelových povrchů
 3) Reprezentativní fotografické vzorky zobrazují pouze oblasti, které byly již očištěny
 4) V případech ocelových povrchů s natřenými nebo nenatřenými kovovými povlaky může být aplikace obdobných standardů přípravy povrchu odsouhlasena, za předpokladu, že jejich zajištění je za daných podmínek možné.
 5) Okuje jsou hodnoceny jako nepřilnavé, jestliže je můžeme odstranit nadzvednutím tupým sklenářským nožem.
 6) Faktory ovlivňující stanovení musí být dány speciálním vyhodnocením.
 7) Tyto stupně přípravy povrchu mohou být dosaženy a zachovány pouze za určitých podmínek, které někdy nemohou být dosaženy na montážním místě. Tedy se jedná o přípravu povrchu pouze v dílenském prostředí.

Tabulka 3 - Stupně přípravy - celková příprava [7]

Standardy stupňů přípravy pro částečnou přípravu povrchu

Stupeň přípravy ¹⁾	Metoda Přípravy	Reprezentativní fotografické vzorky v ISO 8501-1 ²⁾⁴⁾⁶⁾	Základní znaky povrchu	Rozsah použití
P Sa 2 ³⁾	Místní otryskání	B Sa 2 C Sa 2 D Sa 2 (aplikováno na nenatřené části povrchu)	Pevně přilnavé nátěry musí být intaktní. ⁵⁾ Z povrchu ostatních částí musí být odstraněny nepřilnavé nátěry, většina okují a nečistot. Zbylé vrstvy musí být pevně přilnavé.	Příprava dřívě natřeného povrchu oceli se zbytkem nátěrů. ⁷⁾
P Sa 2½ ³⁾		A Sa 2 ½ B Sa 2 ½ C Sa 2 ½ D Sa 2 ½ (aplikováno na nenatřené části povrchu)	Pevně přilnavé nátěry musí být intaktní. ⁵⁾ Z povrchu ostatních částí musí být odstraněny nepřilnavé nátěry, okuje a nečistoty. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn nebo pásů.	
P Sa 3 ³⁾⁸⁾		C Sa 3 D Sa 3 (aplikováno na nenatřené části povrchu)	Pevně přilnavé nátěry musí být intaktní. ⁵⁾ Z povrchu ostatních částí musí být odstraněny nepřilnavé nátěry, okuje a	

			nečistoty. Povrch musí mít jednotný kovový vzhled.
P Ma ³⁾	Místní strojní broušení	P Ma	Pevně přilnavé nátěry musí být intaktní. ⁵⁾ Z povrchu ostatních částí musí být odstraněny nepřilnavé nátěry, okuje a nečistoty. Všechny zbylé stopy nečistot musí být pouze stíny ve formě skvrn a pásů.
P St 2 ³⁾		C St 2 D St 2	Pevně přilnavé nátěry musí být intaktní. ⁵⁾ Z povrchu ostatních částí musí být odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky
P St 3 ³⁾	Místní ruční nebo mechanizované čištění	C St3 D St3	Pevně přilnavé nátěry musí být intaktní. ⁵⁾ Z povrchu ostatních částí musí být odstraněny nepřilnavé okuje, rez, nátěry a cizí látky. Povrch však musí být upraven důkladněji než u P St 2. Musí vykazovat kovový odstín daný podkladem.
<p>Použité symboly:</p> <p>P Sa = Místní otryskávání dříve natřených povrchů</p> <p>P St = Místní ruční a mechanizované čištění dříve natřených povrchů</p> <p>P Ma = Místní strojní broušení dříve natřených povrchů</p> <p>V případech ocelových povrchů s nátěry nebo s kovovými povlaky může být odsouhlasena analogická aplikace určitých standardů přípravy povrchu, jestliže jejich opatření je za daných technických podmínek možné.</p> <p>P je používáno jako kódové písmeno pro stupeň přípravy v případech již dříve natřených povrchů s pevně přilnavými vrstvami nátěrů, u kterých je přípustné, aby zůstaly zachovány. Základní charakteristiky každé plochy povrchu ze dvou připravených s pevně přilnavými nátěry a bez zbytkových nátěrů, jsou specifikovány jednotlivě v odpovídajícím sloupci. Stupně P se vztahují vždy k celému nově natíranému povrchu a ne pouze k dalším plochám, které jsou po přípravě povrchu bez nátěru.</p> <p>Pro stupně P neexistují žádné zvláštní fotografické vzory, protože vzhled celého takto připraveného povrchu je významně ovlivněn typem původního nátěru a jeho stavem. U povrchů bez nátěrů platí fotografické vzory odpovídající stupni přípravy povrchů bez použití P stupňů. V případě stupňů P Sa 2, P St 2 a P St 3,</p>			

pro které nejsou využitelné fotografie, vzhled zbytkových nátěrů musí být obdobný jako u stupňů P Sa 2 ½ nebo P Ma.

Vrstvy nátěrů jsou hodnoceny jako pevně přilnavé, jestliže je nemůžeme odstranit tupým sklenářským nožem.

6) Obzvláště pečlivě musí být zvažovány faktory ovlivňující vyhodnocování.

7) O stávajících nátěrech by měly být dostupné následující informace:

- a) Typ nátěrové hmoty (např. druh pojiva a pigmentu) nebo kovové vrstvy, společně s jejich přibližnou tloušťkou a datum aplikace
- b) Stupeň koroze, jak je definován v ISO 4628-3, s detaily o korozi pod nátěrem, kde to přichází v úvahu
- c) Stupeň lesku, jak je definován v ISO 4628-2
- d) Dodatečné informace ovlivňující např. přilnavost (prokázané příslušnými zkouškami dle ISO 2409), tvorba trhlinek (ISO 4628-4), odlupování (4628-5), chemické nebo jiné znečištění a některé další skutečnosti.

Nedílnou součástí návrhu ONS je kontrola kompatibility plánovaných nátěrů s již existujícími nebo s jejich zbytky.

8) Tento stupeň přípravy povrchu může být dosažen a udržen pouze za určitých podmínek, které nemusí být zajistitelné na pracovních místech mimo výrobní závod.

Tabulka 4 - Stupně přípravy - částečná příprava [7]

1.7 Provádění nátěrů

1.7.1 Základní požadavky

Práce na vytváření ochranného nátěrového systému mohou vykonávat pouze pracovníci, kteří jsou pro tuto práci kvalifikováni a musí být schopni práci provádět správně a bezpečně. Podklad musí být nachystán tak, jak je specifikováno v normě ČSN EN ISO 12944 část 4 - musí splňovat podmínky čistoty, drsnosti povrchu a podobných. Povrchová teplota musí být vyšší než je teplota rosného bodu. Natíraná konstrukce nebo její část na které se právě pracuje musí být bezpečně přístupná a dostatečně osvětlená. Při manipulaci s nátěrovými hmotami je potřeba postupovat v souladu s technickým předpisem výrobce a respektovat všechny jeho zásady a požadavky.

Při nanášení základního nátěru musí jeho tloušťka překrýt drsnost ocelového prvku. Po nanesení nátěru nesmí na konstrukci zůstat nenatřené plochy a nátěr musí být nanesen rovnoměrně, aby jeho tloušťka byla na celé konstrukci konstantní. Zvětšená pozornost se musí věnovat problémovým místům jako jsou například: hrany, svary, šrouby, nýty. Pokud na ocelový prvek nanášíme povlakovou ochranu s více vrstvami, je potřeba respektovat časové odstupy mezi nimi, které předepisuje výrobce dané nátěrové hmoty. Pokud se v jakékoli vrstvě objeví chybně provedené místo, je potřeba toto místo opravit před začátkem nanášení další vrstvy. Musí být zajištěno, aby během provádění nebyly práce ovlivněny nepříznivými vnějšími podmínkami. To znamená předejít práci ve špatných povětrnostních podmínkách, které by mohli nátěr ovlivnit (zejména se jedná o vlhkost). Dále je potřeba předejít práci v blízkém kontaktu s jinou vykonávanou činností, která by rovněž mohla ovlivnit výslednou kvalitu nátěru (očišťování jiné části konstrukce, svařování atd.).

Pokud to výrobce nátěrové hmoty ve svém technickém listu přímo nepovoluje, je zakázáno nanášet nátěr na mokrou či vlhkou konstrukci.

1.7.2 Způsoby nanášení

- Nanášení štětcem

Štětce se používají zejména pro specifická a hůře dostupná místa. Jsou vhodné například pro: hlavy šroubů, hlavy nýtů, v koutech a podobně.

- Nanášení válečkem

Pro nanášení válečkem je důležité, aby nátěrová hmota byla pro tento způsob vhodná. Důležitá je jeho viskozita kvůli dobrému rozlivu. Při provádění základního protikorozi nátěru se obvykle použítí válečku nedoporučuje.

- Nanášení stříkáním

Nejčastěji používanou technologií je:

- konvenční nízkotlaké pneumatické stříkání
- bezvzduchové stříkání
- vzduchem usměrňování bezvzduchové stříkání
- elektrostatické stříkání

Pro vytvoření rovnoměrné a souvislé vrstvy nátěru musí být veškeré parametry stříkání vhodně zvoleny. Do těchto parametrů patří: viskozita, tlak při stříkání, typ trysky, vzdálenost od povrchu a úhel stříkání. Při stříkání nátěrových hmot je důležité, aby bylo co nejvíce zamezeno rozstříku hmoty do okolí. Pokud jsou na konstrukci místa, kam se při stříkání hmota nedostane, je potřeba tato místa odhalit již před stříkáním a musí se natřít štětcem nebo se musí předem nastříkat jiným způsobem. Při použití nátěrové hmoty, u které hrozí usazování, musí být nádrž na hmotu opatřena mechanickým míchadlem.

1.8 Ochranné nátěrové systémy

Celý povlakový systém se skládá z jednotlivých nátěrových hmot. Těch se může používat velké množství. Každá nátěrová hmota musí být navržena s ohledem na okrajové podmínky využití - vnější vlivy, přípravu povrchu, materiál konstrukce a životnost nátěru. Nátěrové hmoty se dělí na několik typů, mají různá pojiva, je možná jejich další modifikace a například i kombinace různých povliv.

1.8.1 Oxidačně vytvrzované nátěrové hmoty

U tohoto typu nátěrové hmoty dochází k její přeměně na nátěr (vytvrzení) odpařováním rozpouštědla nebo vody a reakcí poviva s okolním kyslíkem. Nejčastěji používanými pojivy v tomto typu nátěrových hmot jsou: alkydové pryskyřice, alkydové pryskyřice

modifikované uretany a epoxyestery. Reakci s kyslíkem výrazněji ovlivňuje teplota, čím nižší, tím pomaleji reakce probíhá = pomalejší vytvrzení. Nejnižší teplotou pro vysychání je 0°C.

1.8.2 Fyzikálně zasychající nátěrové hmoty

Tento typ nátěrových hmot využívá jako těkavé podíly vodu nebo organická rozpouštědla.

- Nátěrové hmoty obsahující rozpouštědla

K přeměně na nátěr dochází díky odpařování rozpouštědla. Tento proces je vratný, důsledkem toho zůstává vytvrzený nátěr rozpustitelný v původním rozpouštědle. Používanými pojivy jsou například: chlorkaučuk, kopolymery vinylchloridu, akrylátové pryskyřice, bitumeny. Doba zasychání výrazně ovlivňuje proudění vzduchu a okolní teplota. Opět platí, že čím nižší teplota, tím pomalejší zasychání, nesmí ovšem klesnout pod 0°C.

- Nátěrové hmoty obsahující vodu

Tyto nátěrové hmoty se vyznačují rozpuštěným pojivem ve vodě. Nátěr se vyváří při odpařování vody a koalescencí rozpuštěného pojiva. Tento pochod je nevratný, zatvrzený nátěr tedy není možné rozpustit ve vodě. Typicky používanými pojivy jsou: disperze akrylátových pryskyřic, disperze vinylických pryskyřic, disperze polyuretanových pryskyřic. Doba zasychání je závislá na proudění vzduchu, jeho vlhkosti a teplotě. Nejnižší možnou teplotou pro vytvrzování je +3°C.

1.8.3 Chemicky vytvrzované nátěrové hmoty

- Dvousložkové epoxidové nátěrové hmoty

Základní složku tvoří pojivo, konkrétně polymery s epoxidovými skupinami. Nejvyužívanějšími pojivy jsou epoxidové a epoxyvinylové pryskyřice nebo jejich kombinace s dehtem. Nevýhodou těchto hmot je, že při vystavení slunečnímu záření křídoují. Pokud chceme na konstrukci udržet stálou barvu a lesk je potřeba tyto hmoty ještě opatřit vrchním nátěrem s fyzikálně zasychajícím pojivem.

Druhou složkou je tvrdidlo. Používají se polyamidy nebo polyaminy, které pro vytvrzování nepotřebují přístup vzduchu.

- Dvousložkové polyuretanové nátěrové hmoty

Jako pojiva se využívá pryskyřic: polyesterových, akrylátových, epoxidových a fluorových. Tvrdidla se používají dvojího druhu. Prvním jsou tvrdidla alifatické, ty dosahují při vytvrzování vynikajícího lesku a drží si svůj barevný odstín. Druhým používaným tvrdidlem jsou aromatické polyisokyanáty. Jejich výhodou je rychlejší vytvrzování, tato vlastnost je však vykoupena horšími vlastnostmi ve vnějším prostředí (křídování, ztráta stálosti barvy). Při zasychání polyuretanových hmot je důležité hlídat vlhkost vzduchu, aby nepřekročila hodnotu stanovenou výrobcem.

Při překročení se totiž mohou na nátěru objevovat vady (např. puchýře a krátery).

1.8.4 Nátěrové hmoty vytvrzované vlhkostí

K přetvoření hmoty na nátěr dochází za odpařování rozpouštědla a chemickou reakcí hmoty se vzdušnou vlhkostí. Jako pojivo působí polyuretany, alkylsilikáty nebo ethylsilikáty. K vytvrzování může docházet i při teplotách nižších než 0°C za podmínek, že vzduch ještě obsahuje dostatek vlhkosti.

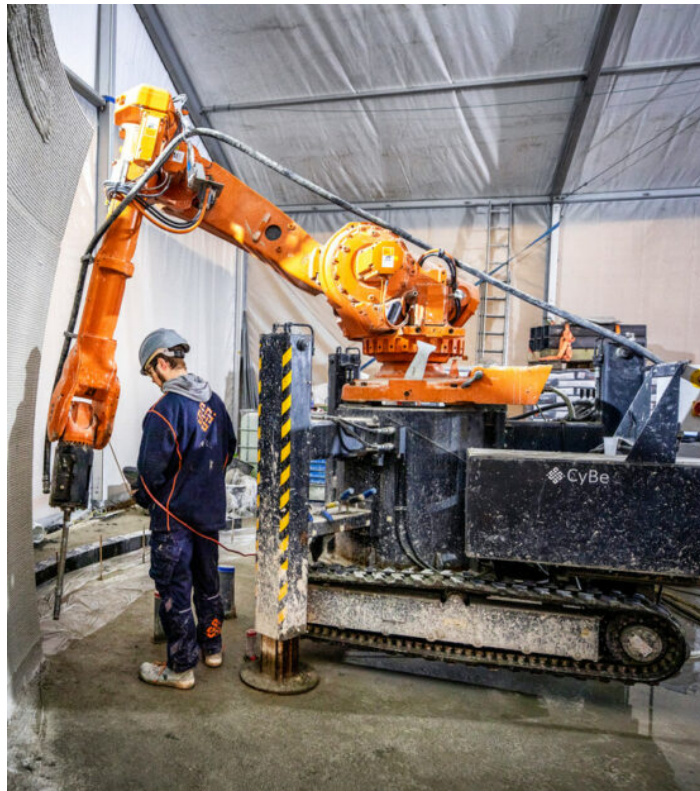
2 Robotické systémy ve stavebnictví

2.1 Úvod

Robotické technologie ve stavebnictví jsou na velkém vzestupu a ukazují směr, jakým se nejspíš bude tento obor ubírat i v dalších letech. Mohou vyplnit chybějící pracovní sílu, urychlit výstavbu nebo přinést zcela nové možnosti, jak v navrhování, tak v provádění. Většina nápadů, prvních prototypů a experimentů vzniká na půdě vysokých škol. Mezi světově nejvyspělejší v tomto ohledu určitě patří švýcarská ETH v Curychu a věhlasná americká MIT. Pro nasazení do klasického staveniště je ovšem potřeba ujit ještě kus cesty. I přesto se již některé projekty cestou start-upů ukazují přímo v terénu.

2.2 3D tiskárna betonu

Holandská společnost CyBe vyvinula v roce 2016 3D tiskárnu betonu. Ta pomocí robotické ruky se šesti stupni volnosti vytlačuje beton z trysky do potřebného tvaru. Společnost nabízí tiskárnu ve dvou různých alternativách. Ruku se stabilním podvozkem, ve většině případů používanou pro tisk jednotlivých betonových prefabrikátů a ruku na pásovém podvozku, která se využívá pro tisk větších dílců a většinou přímo na stavbě. Tiskem betonu můžeme dosáhnout takových tvarů, které běžnými metodami nejsou myslitelné. Zároveň můžeme dosáhnout větší rychlosti a přesnosti betonáže. [39]



Obrázek 8 - 3D tiskárna betonu na pásovém podvozku [39]

2.2.1 Vytištěný dům - Milan design week

Reálnou ukázkou 3D tisku betonu je stavba, která vznikla v roce 2018 v italském Miláně (Milan design week). Jedná se o budovu kompletně vytištěnou, pouze nábytek a výplně otvorů byly vyrobeny z klasických materiálů a dodány později. Je poskládána z 35 betonových částí a rozložená na 100 m². Speciální betonová směs byla připravena společností Italcementi, jednou z největších cementáren na světě. Celý dům byl vytištěn za 48 hodin čistého času. Po skončení festivalu byla tato stavba rozebrán na jednotlivé části a přesunuta do sídla společnosti Italcementi. [11]



Obrázek 10 - Vytištěný dům - exteriér [11]



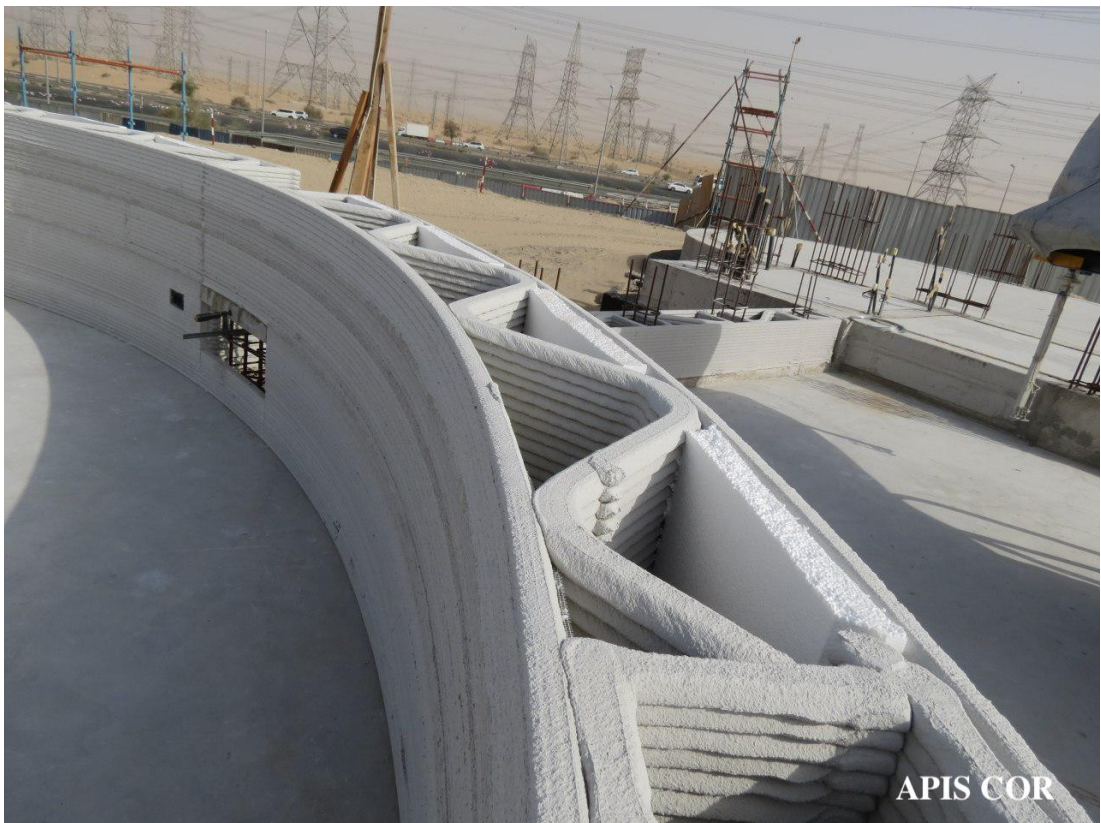
Obrázek 9 - Vytištěný dům - interiér [11]

2.2.2 Vytištěný dům - Dubaj

Americká společnost věnující se roboticky vytvořeným konstrukcím Apis Core vytiskla pomocí 3D tiskárny betou zatím největší budovu, která se nachází v Dubaji. Jedná se o dvoupatrovou budovu s podlahovou plochou zhruba 640 m². Společnost používá pro tisk speciálně vyvinutou směs sádry, betonu a dalších přísad. Tímto tiskem dokázala, že směs lze používat i ve velmi komplikovaném prostředí, jež panuje právě v Dubaji - časté změny teplot a vlhkosti vzduchu. O tisk celého domu se postarala pouze jedna 3D tiskárna, která byla po stavbě přesouvána pomocí mobilního stavebního jeřábu a při zvětšující se výšce budovy se zvyšovala i základna tiskárny. Na stavbě kromě ní pracovali tři dělníci, kteří vytvořili základy (konvenční metodou), osadili výplně otvorů a postarali se o montáž střešního pláště. [35]



Obrázek 12 - Tisk stěn [36]



Obrázek 11 - Detail stěny [36]



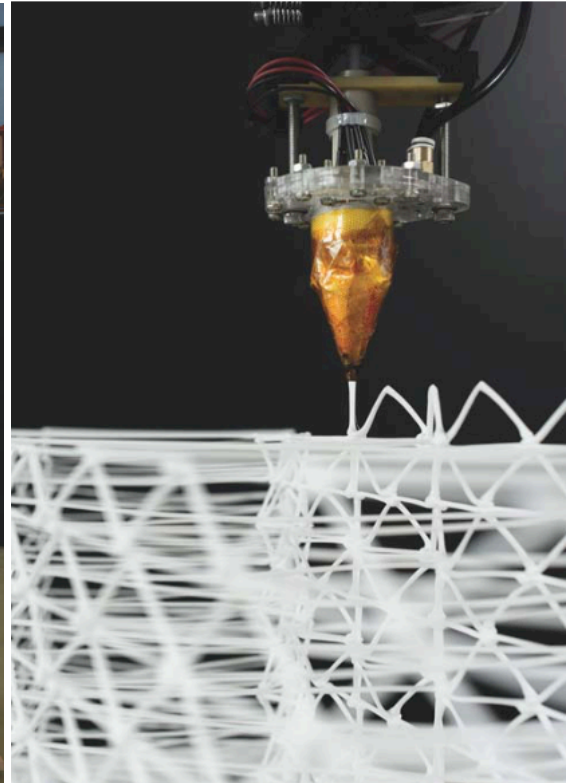
Obrázek 13 - Výsledná podoba stavby [36]

2.3 Roboticky vytvořené prostorové sítě jako bednění

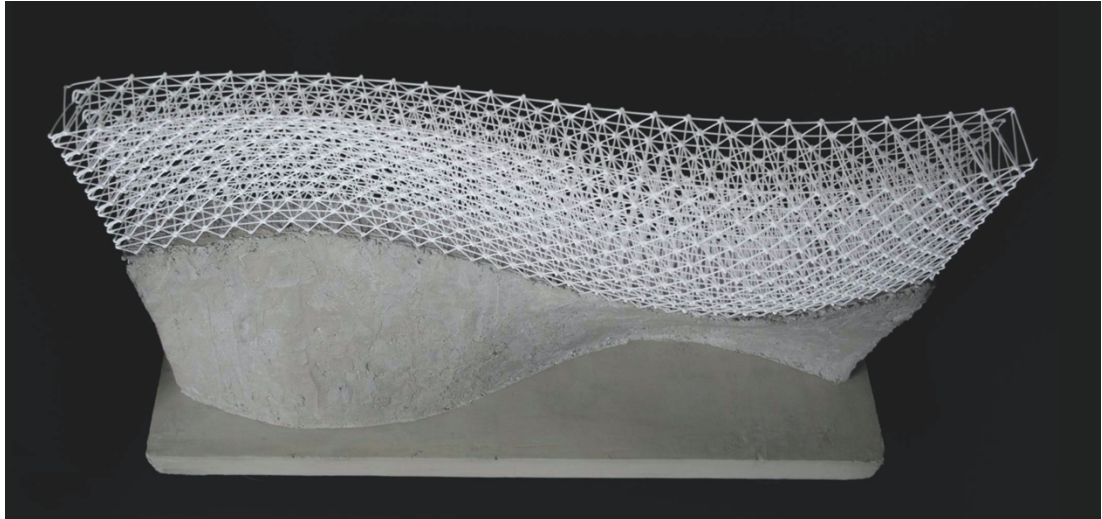
Jedním příkladem technologie, která nejenom urychluje proces výstavby, ale zároveň umožňuje architektům navrhovat s větší volností a rozmanitostí je vytváření prostorové sítě použité jako bednění pro betonové prvky. Tento systém navrhli a vyzkoušeli Fabio Gramazio a Matthias Kohler v roce 2013 ve švýcarském Curychu. Hlavním prvkem je tryska, která vytlačuje prostorovou síť. Jedná se vlastně o speciální typ 3D tiskárny. Tryska se pohybuje přesně podle jasně definované dráhy, to na konci vede k vytvoření tuhé prostorové sítě. Použit je speciální materiál, který je ihned po vytlačení z trysky ochlazován, díky tomu vytlačovaná směs okamžitě zatuhne.. Dokončená síť se poté vyplní betonem. [12]



Obrázek 16 - Tvorba sítě [12]



Obrázek 15 - Tisk sítě - detail [12]



Obrázek 14 - Částečně zabetonovaný prvek [12]

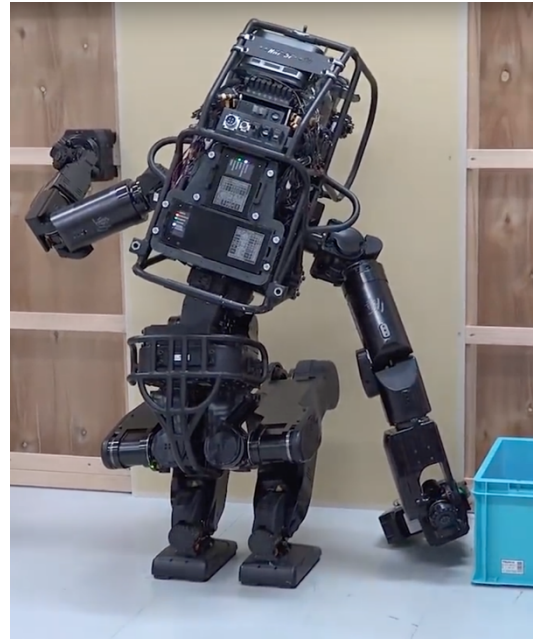
2.4 Humanoidní stavební robot

Jedná se o typ robotické technologie, která se přímo snaží nahradit pracovníka a zlepšit některé jeho vlastnosti. Vznikl v roce 2018 v zemi, která je vývojem robotů přímo vyhlášená, to znamená v Japonsku. Dokáže pracovat naprosto autonomně bez pomoci člověka. Jeho schopnosti byly demonstrovány na montování dřevěných desek na rošt. Robot dokáže vzít jednu desku z balíku, obrátit ji, umístit přesně na správné místo na roštu, poté si ji přidržet, vzít si správný nástroj (aku šroubovák) a desku připevnit.

Aby toto dokázal, je vybaven velkým množstvím senzorů a kamer. Je vysoký zhruba dva metry a váží lehce přes sto kilogramů. [14]



Obrázek 17 - Humanoidní robot - přenos materiálu [14]



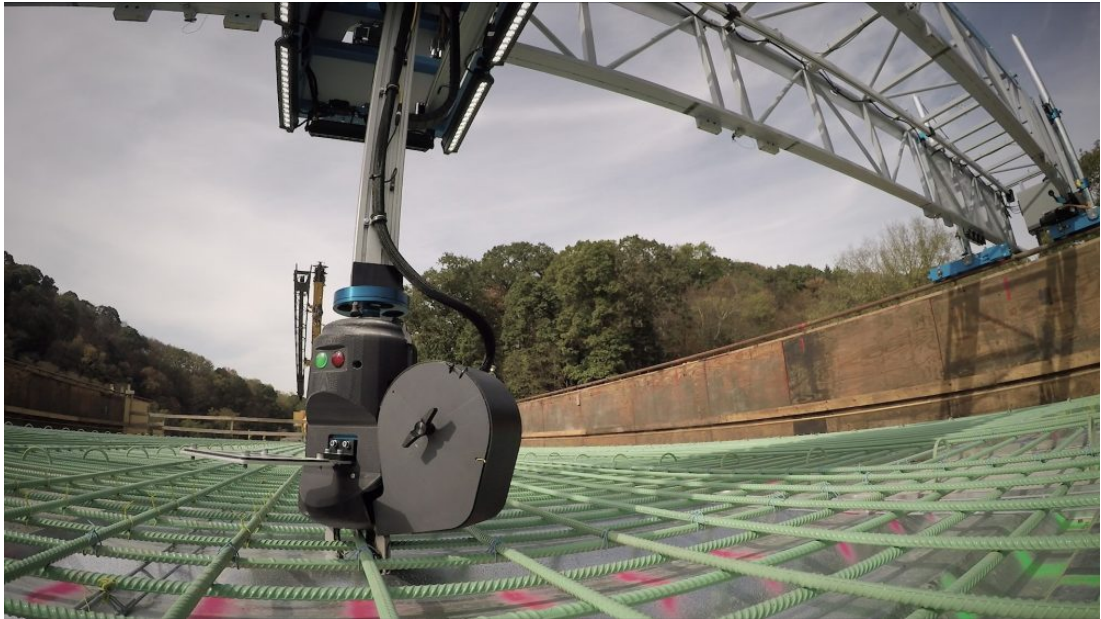
Obrázek 18 - Humanoidní robot - montáž [14]

2.5 Autonomní vazač výztuže

Tento robotický systém se jménem TyBot také přebírá část lidské práce, tentokrát se ale jedná o práci vazačů železné výztuže do betonu. Využívá se zejména u velkých a hustě vyztužených konstrukcí. Typickým příkladem může být betonový most. Robot je uchycen na příhradovém nosníku, který se pohybuje na kolejích vytvořených podél celé délky mostovky, automaticky detekuje křížení jednotlivých prutů výztuže a sváže je k sobě. Takto postupuje stále dokola, může pracovat ve dne i v noci. [15]



Obrázek 19 - Umístění systému na konstrukci [15]



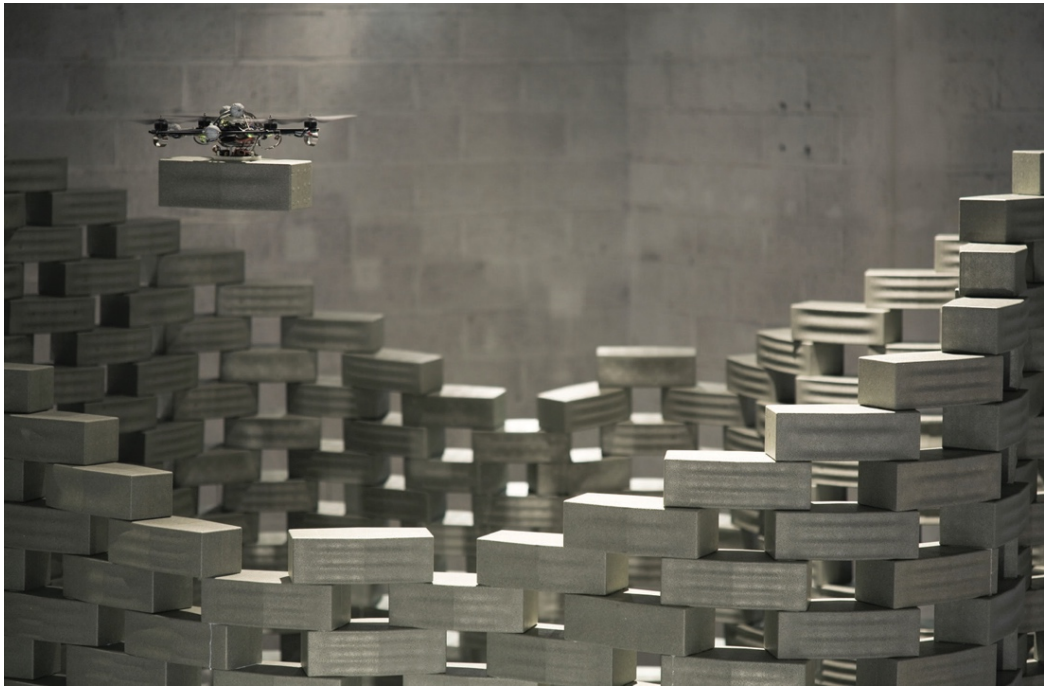
Obrázek 20 - Pracovní nástroj [15]

2.6 Drony ve stavebnictví

Na půdě Spolkové vysoké technické školy v Curychu (ETH Zurich) se nachází speciální místo pro vyvíjení a testování robotických systémů založených na používání dronů (The flying machine arena). Toto místo disponuje spoustou senzorů, pro přesné pozorování dronů i například jimi tvořené konstrukce. Do dnešního dne tam vzniklo spoustu projektů, z hlediska stavebnictví stojí za zmínku zejména dva následně popsané. [16]

2.6.1 Letecká výstavba

Tento pokus byl proveden v roce 2012 a měl za úkol dokázat proveditelnost výstavby velkých výškových budov pomocí leteckých zařízení. V tomto experimentu vyzvedávají drony (kvadrokoptéry) jednotlivé stavební bloky, ty jsou vytvořeny z polystyrenu a na spodní straně mají speciální pruhy pro zachycení na další bloky. Pokládáním jednotlivých bloků tvoří drony jedinečnou předdefinovanou konstrukci. Tvůrci v budoucnu plánují automatizaci celého systému včetně přípravy a plánování letů pouze na základě tvaru navrhované konstrukce. Výzkumný tým z ETH Zurich vidí létající roboty jako velký příslib pro budoucnost stavebnictví, ať už těch létajících samostatně, v rojích nebo kooperujících s jinými roboty. [12]



Obrázek 21 - Dron převážející blok na konkrétní místo [12]

2.6.2 Lanový most

Druhým velice zajímavým pokusem je výstavba provazového mostu pouze pomocí dronů. Tvůrci si dali za úkol vytvořit most, po kterém po dokončení může přejít člověk z jedné strany na druhou. Na každém z konců vzdálených 7,4 metrů od sebe se nachází lešení, z kterého most začíná. Na konstrukci mostu bylo použito celkem 120 metrů lana. Celou délku lana zvládli kvadrokoptéry použít samostatně a to i pro vytvoření různých smyček, uzlů a spojek. Pro pokus bylo použito speciální lano, které váží pouze sedm gramů na jeden metr délky a při průměru čtyři milimetry dokáže unést zatížení až 1300 kilogramů. Má tedy velmi nízký poměr hmotnosti a pevnosti. [13]



Obrázek 22 - Výroba mostu [13]

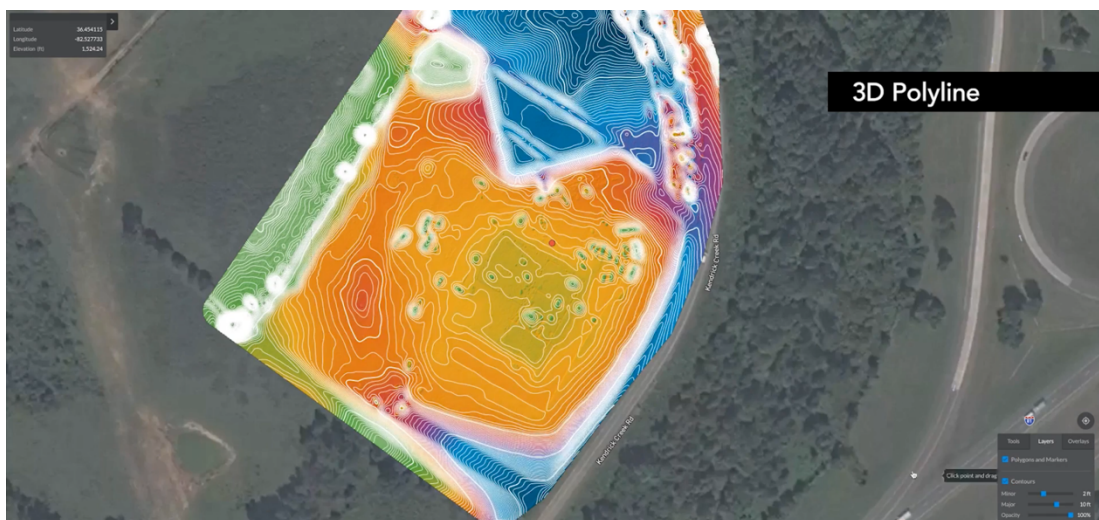


Obrázek 23 - Testování mostu člověkem [13]

2.6.3 Inspekce konstrukcí

V dnešní době se reálně používají drony ve stavebnictví převážně k různým druhům inspekci. Prvním a dá se říct nejzákladnějším příkladem je požití dronu s kamerou pro vizuální inspekci stavebního díla. Může se jednat i o specifická špatně dostupná místa, například komíny. Pokud dron použije jako svůj pracovní nástroj termokameru, může snímat obvodové pláště a střechy. Po vyhodnocení snímaných záběrů lze určit slabá místa konstrukce z hlediska tepelné fyziky a případně odhalit tepelné mosty. [17]

Kombinací snímků z dronu a softwaru pro fotogrammetrické modelování lze získat modely aplikovatelné při zemních pracích. Toho lze využít například ke kontrole rozměrů stavební jámy nebo pro výpočet množství odtěžené zeminy. Dále se tento systém využívá v důlním průmyslu pro analýzu povrchových dolů. [18]



Obrázek 24 - Ukázka analýzy stavební jámy [18]

3 Návrh robotického systému pro nástřik ocelových konstrukcí

3.1 Úvod

Ocelové konstrukce se po dobu svojí životnosti musí kontrolovat a udržovat. Často to bývají konstrukce obtížně dostupné (mosty, stožáry, haly,..). Pro kontrolu a údržbu se tedy musí vynaložit poměrně veliké úsilí a pracovníci jsou při pracích ohroženi na zdraví či dokonce na životě a to zejména pádem z výšky. Cílem této práce je návrh vhodné robotické technologie, která by těmto problémům předešla a vytvoření demonstrátoru stříkací hlavy, který by měl ověřit možnost jejího upevnění na hexapod a otestovat nanášení hmoty stříkáním v různých polohách. Jelikož se jedná o naprosto novou technologii údržby, je zapotřebí vyřešit všechny operace a procesy. Zejména se jedná o:

- Pohyb po konstrukci
- Nanášení barvy
- Dodávání barvy
- Dodávání energie
- Kontrolu kvality

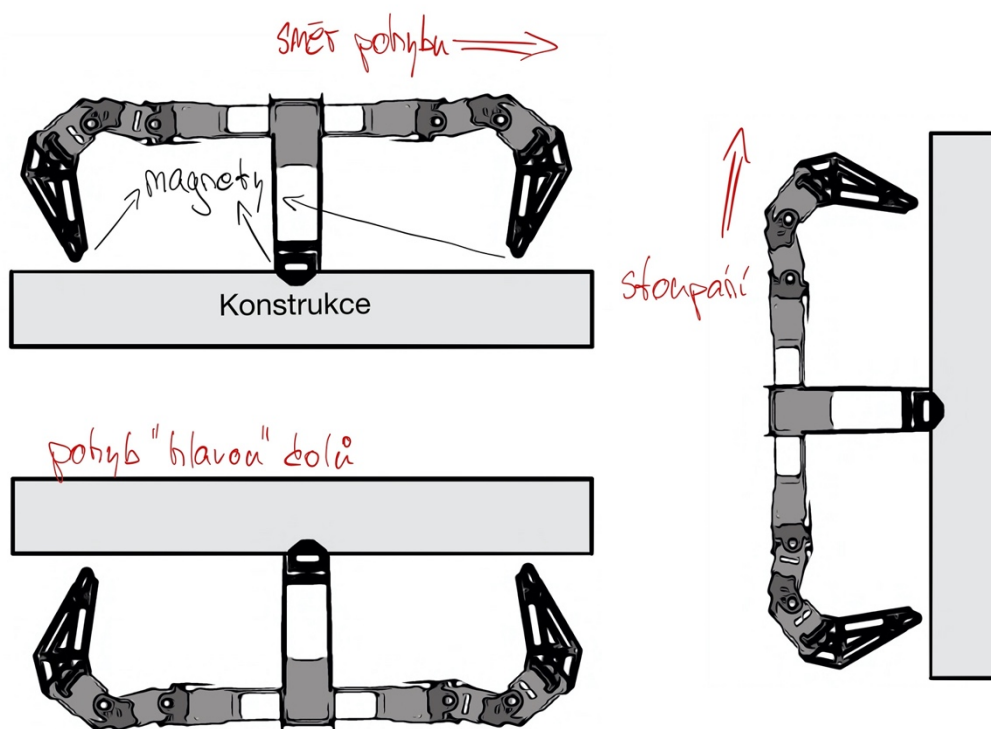


Obrázek 25 - Natírání ocelové konstrukce [19]

Pro ochranu ocelových konstrukcí se jeví jako vhodné využití mobilního robotického systému, který se bude sám pohybovat po konstrukci. Využití robota s kolovým nebo pásovým podvozkem není příliš vhodné a to hlavně kvůli tvaru ocelových konstrukcí, které mají velké množství ostrých hran, rohů a koutů. Ty jsou těmito podvozky těžko dosažitelné či překonatelné vzhledem k dalšímu pohybu po konstrukci a to také kvůli tomu, že se mohou pohybovat pouze podvozkem dolů. Pro dosažitelnost všech míst je potřeba, aby se robot dokázal pohybovat jak svisle nahoru, tak i "hlavou" dolů. Všem těmto problémům by bylo možné předejít využitím robota, který by díky svému konstrukčnímu řešení umožnil téměř neomezený pohyb po ocelových konstrukcích a dosažení všech částí svým pracovním nástrojem. Toto vše se dá splnit při využití speciálního robota hexapod. Jedná se o robota, který se díky konstrukčnímu řešení se šesti nohama pohybuje podobně jako někteří zástupci členovců a tím dokáže překonat různé překážky a obtížně přístupná místa na konstrukci. Při osazení magnetické koncovky na každou nohu robota lze pohyb po ocelové konstrukci ještě výrazně vylepšit. Toto zdokonalení přidá hexapodu schopnost chodit po svislých částech konstrukce a dokonce lze s robotem chodit i "hlavou" dolů. (viz. obrázek č. 27)



Obrázek 26 - Hexapod PhantomX [20]



Obrázek 27 - Polohy hexapodu při chození po konstrukci

Po vyřešení pohybu po ocelové konstrukci je zapotřebí se věnovat pracovnímu nástroji. Hlavním úkonem robotického systému je nanášet barvu na konstrukci, proto je potřeba vytvořit takový nástroj, který toto umožní. Z důvodů technického omezení je nutné, aby bylo zařízení co nejmenší a zároveň umožňovalo nanášení barvy na ocelovou konstrukci v jakékoliv poloze. Jako ideální se tedy z těchto důvodů jeví využít technologii bezvzduchového stříkání.

Dalším důležitým bodem křešení je zásobování robota pohybujícího se po konstrukci barvou a elektrickou energií pro pohyb a

pro napájení stříkací hlavičky. Robotovi nelze na konstrukci dodávat barvu a elektřinu klasickým kabelovým vedením. Nabízí se tedy vytvořit systém, ve kterém bude hexapod kooperovat s další robotickou technologií a to s dronem umístěným v základně poblíž ošetřované konstrukce. Hexapod má na svém těle umístěnou baterii a kartuš na barvu tak, že si v případě potřeby přivolá dron a ten mu jednu z těchto součástí vymění přímo na místě. Hexapod poté může pokračovat v práci. Všechny důležité součásti celého systému jsou podrobněji popsány v dalších kapitolách.

3.2 Základna

Základna je domovem celého systému. Je napojena na elektrickou síť a obsahuje dostatek barvy pro nástřik požadované plochy. Uvnitř základny probíhají různé úkony pro vykonávání nástřiku ocelové konstrukce. V nitru základny funguje jedna automatická linka pro výplach a znovunaplnění kartuší s barvou. Druhá linka plní funkci nabíječky akumulátorů pro pohon hexapodu a fungování stříkací hlavičky. Při vzletu dronu se ve střeše otevře otvor a dron jím proletí. Základna může mít různý tvar, různé rozměry a mohou být použité různé materiály na její výstavbu. Je zapotřebí, aby základna stála na stabilním pevném podkladu a minimalizovaly se tak veškeré otřesy a pohyby po spuštění prací. Příkladem může být podklad ze silničních panelů položených na dostatečně pevné nebo zhutněné zemině. Jako vzor vzhledu základny, která bude použita na rekonstrukci stavby a nebude do ni přímo integrovaná, lze použít stanici imisního monitoringu, kterou používá Český hydrometeorologický ústav. [21] Při trvalé integraci do systému se vzhled základny tvoří v souladu se stavbou a jejím nejbližším okolím. V základně se vykonávají tyto činnosti:

- Vzlet dronu na konstrukci
- Připevnění prvku k dronu - hexapod / styčný bod / kartuš s barvou / baterie pro hexapod / kamera
- Výměna baterie dronu a její dobíjení
- Dobíjení baterie hexapodu
- Doplnění kartuší na barvu
- Kontrola povětrnostních podmínek v místě stavby

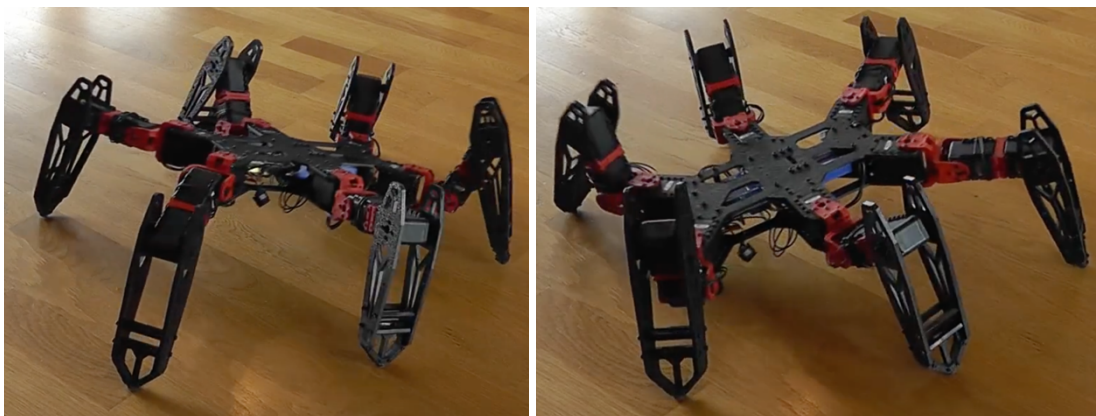
Prvkem základny je také zabezpečovací systém a meteostanice pro určování aktuálních povětrnostních podmínek. Pokud podmínky nevyhovují letu, dron není vypuštěn do vzduchu. Pokud meteostanice vyhodnotí předpověď počasí jako rizikovou pro práci hexapodu na konstrukci, doletí pro něj dron a oba zůstanou v základně.



Obrázek 28 - Stanice imisního monitoringu - ČHMÚ [21]

3.3 Hexapod

Nejdůležitější součástí celého systému je hexapod. Jedná se o robota s šesti magnetickými nohama od společnosti Trossen Robotics a konkrétně jde o model PhantomX AX Metal Hexapod Mark III. Jeho hmotnost činí 2,5 kilogramu. Tento robot může chodit po konstrukci velmi obratně, překonávat všemožné překážky a při přidání magnetického kontaktu na konec každé nohy se může pohybovat svisle i "hlavou" dolů. Další úpravou pro práci na údržbě ocelových konstrukcí je zakomponování pracovního nástroje pro vykonávání činnosti. K dosažení složitě dostupných míst hexapodu dopomáhá jeho schopnost naklánět se a to zároveň při držení všech nohou na místě. Jeho nosnost je zhruba něco málo přes dva kilogramy, tudíž je zapotřebí navrhnout pracovní nástroj co nejvíce optimalizovaný z hlediska hmotnosti. V případě potřeby si přivolá dron a oba doputují na styčný bod. Pro přesné nalezení styčného bodu se na spodní straně hexapodu nachází dva bezkontaktní kapacitní snímače. Dále má hexapod na svém těle dvě baterie. Jednu hlavní, která mu dodává energii pro pohyb a pro vykonávání činnosti podle využívaného pracovního nástroje a druhou, záložní (značně menší kapacity), která se využívá při výměně hlavní baterie dronem, aby mohl být hexapod během této výměny stále zapnutý. (Magnetické kontakty pro pohyb robota po ocelové konstrukci nejsou předmětem této práce)



Obrázek 29 - Náklon hexapodu [38]

3.4 Dron

3.4.1 Inspirace

Zásobování hexapodu, který se pohybuje po konkrétní ocelové konstrukci zajišťuje dron popřípadě více dronů podle typu a velikosti konstrukce. První inspirací pro zásobování pomocí dronů je moje osobní zkušenost s dronem (kvadrokoptéra) DJI Mavic Air, tento dron umí být ve vzduchu na jednu baterii po dobu 30 minut, dokáže letět rychlostí až 55 km/h a zároveň dokáže například následovat konkrétní osobu nebo věc. Při jakýkoli potížích (například ztráta signálu) se téměř vždy zvládne vrátit přesně na místo vzletu. [22] Druhým dronem, ze kterého vychází návrh, patří opět společnosti DJI, ale tentokrát se jedná o profesionální dron (hexakoptéra) DJI Matrice 600 Pro. Tento dron disponuje 6 vrtulemi, každá má svůj vlastní motor. DJI vyvinula tento dron hlavně pro profesionální natáčení filmů. DJI Matrice 600 Pro umožňuje nést až 6 kg vážící kameru a vydrží s ní létat až 16 minut s maximální rychlostí 65 km/h. Se svými půdorysnými rozměry při rozložení (přibližně 1,6 x 1,5 m) a vzletovou hmotností (15,5 kg), se řadí mezi největší prodávané drony vůbec a je největším z těch, ze kterého vychází návrh. [23] Oba drony se dají ovládat z dálkového ovladače připevněného na chytrý telefon uživatele. Spojení mezi ovladačem a dronem funguje na systémech Wi-Fi a FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), který zajišťuje bezpečnost a stabilitu připojení velmi častým měněním kanálu připojení. [24] Další inspirací pro zásobování hexapodu dronem je projekt společnosti Wing, která patří pod skupinu Alphabet, ta je i mateřskou společností amerického gigantu Google. Wing má vlastní létající prostředek, který už reálně dopravuje zásilky od obchodníků k zákazníkům a to ve třech státech světa: Austrálii, Finsku a ve Spojených Státech Amerických (pouze Virginie). [26] Letoun pohání 12 vrtulí orientovaných horizontálně a 2 vrtule umístěné vertikálně. Má délku 1,3 metru, šířku 1 metr a dokáže letět rychlostí až 113 km / h. [25] Porovnání všech dronů, které slouží jako inspirace se nachází v tabulce níže.

NÁZEV	DJI MAVIC AIR	DJI MATRICE 600 PRO	WING AIRCRAFT
PŮDORYSNÉ ROZMĚRY [MM]	168 x 83	1668 x 1518	1300 x 1000
POČET VRTULÍ	4	6	12
HMOTNOST [KG]	0,43	15,5	4,8
MAX. HMOTNOST NÁKLADU [KG]	-	6	1,5
DOLET [KM]	-	-	20
DOBA LETU [MIN]	21	16	
MAX. RYCHLOST [KM / H]	68	65	113

Tabulka 5 - Porovnání dronů



Obrázek 30 - DJI Mavic Air [22]



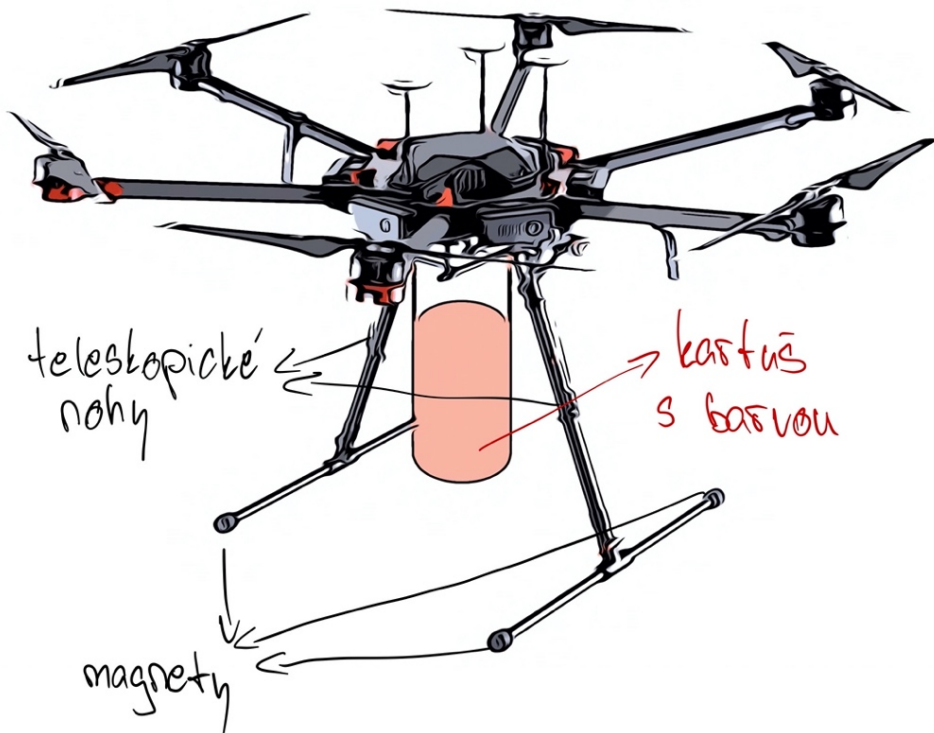
Obrázek 31 - DJI Matrice 600 Pro [23]



Obrázek 32 - Wing Aircraft [26]

3.4.2 Návrh

Pro systém robotizace nástřiků ocelových konstrukcí se tedy nejvíce hodí profesionální dron Matrice 600 Pro od společnosti DJI. Na něm je nutné provést tři úpravy. Vylepšit dron o teleskopické magnetické nohy, které se po přistání přichytí na konstrukci. Díky teleskopickým nohám je možné dron snížit a dosednout tak na hexapod. Tyto dva úkony zajistí pevnou polohu dronu pro výměnu baterie, kartuše s barvou či naložení celého hexapodu. Druhým nutným vylepšením je manipulátor, kterým lze tyto úkony vykonávat. Na manipulátor lze také připevnit kamera pro vizuální kontrolu konstrukce. Třetím vylepšením je integrování bezkontaktního kapacitního snímače na dolní část dronu. Letové vlastnosti, zejména únosnost (6 kilogramů) a maximální doba letu na jedno nabití (16 minut), vyhovují požadavkům. Dron může vykonávat čtyři různé činnosti: výměnu nádoby s barvou (kartuše), výměnu baterie hexapodu, převoz hexapodu do základny a vizuální kontrolu konstrukce. Dron je schopný přenést hexapod do základny včetně stříkací hlavice. Hmotnost hexapodu je 2,5 kilogramu a hmotnost stříkací hlavice by neměla přesáhnout hodnotu dva kilogramy.

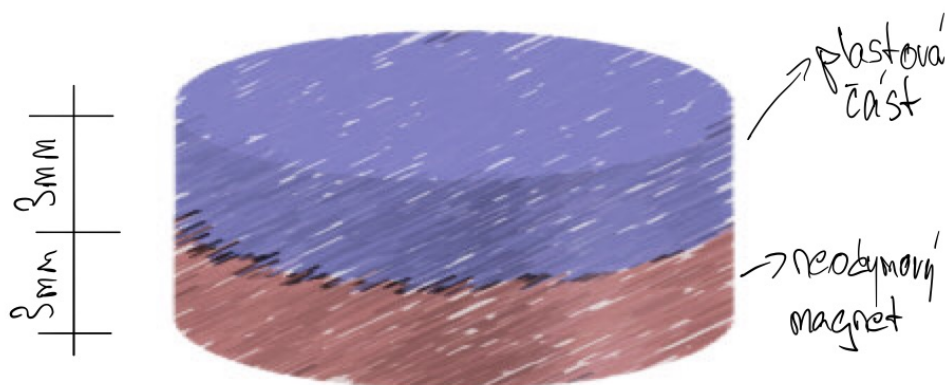


Obrázek 33 - Skica úprav dronu

3.5 Styčný bod

Styčný bodem je místo konkrétně určené na konstrukci. Jedná se o místo, kde se střetává hexapod s dronem pro zásobování či odvoz. Pro přesné určení místa střetnutí mají oba roboti na spodní straně své konstrukce umístěné bezkontaktní kapacitní snímače. Tyto kapacitní snímače dokáží rozeznat změnu materiálu, který se nachází v jejich blízkosti. Využívají se zejména ve strojním nebo potravinářském průmyslu pro detekci materiálu a spuštění jednotlivých prací na montážních linkách. [27] Dalším příkladem využití, se kterým se setkáváme prakticky všichni, aniž bychom o tom věděli, je použití těchto senzorů jako součást chytrých telefonů. Tyto senzory zaručují, že při telefonování mobilní telefon po přiložení k uchu zhasne displej. Je to právě díky kapacitnímu snímači, který pozná, že se během hovoru přiblížil k lidské kůži, tím je zapříčiněno zhasnutí displeje.

Před započítáním prací se na konstrukci umístí neodymové magnety s horní plastovou vrstvou o průměru 15 milimetrů, přesně na místo, které je v BIM modelu označené jako styčný bod pro střetávání dronu a hexapodu. Na každý styčný bod se umístí dva magnety (s osovou vzdáleností 100 mm), aby bylo jasně definované jak místo styku, tak i natočení hexapodu. Hexapod se k místu přiblíží a jakmile se senzory nachází přímo nad plastovými ploškami, hexapod se zastaví. Jelikož při čekání na dron hexapod zakryje plastové plošky, jsou také umístěny na jeho horní straně a to se stejným rozměrem a osovou vzdáleností jako na ocelové konstrukci. O počtu styčných bodů na konstrukci a jejich umístění rozhoduje složitost a velikost konstrukce.



Obrázek 34 - Magnet s plastovou částí

3.6 Stříkácí hlavice

3.6.1 Inspirace

Návrh sprejovací hlavice pro hexapod vychází z výrobku Aku Ultramax od společnosti Graco. Jedná se o vysokotlaké stříkácí zařízení v akumulátorovém provedení. Toto zařízení funguje na principu nanášení hmoty bezvzduchovým nástřikem, který zmiňuje norma ČSN EN ISO 12944. Srdcem stříkácího zařízení je trojitě pístové čerpadlo, které je vyrobeno z nerezové oceli, karbidových součástí a vysokopevnostního polymeru. Tím je dosaženo nízké hmotnosti. Čerpadlo dokáže vyvinout tlak 34 - 134 barů, kterým vhání barvu přes zpětné ventily s keramickými kuličkami do trysky. Kapalina se nachází ve speciálním plastovém obalu (sáčku), který se při spotřebování barvy zmenšuje a nepouští tak k barvě vzduch. Před použitím se barva doplní do sáčku a vytlačí se přebytečný vzduch. Barva může být ředitelná vodou či rozpouštědlem, sáček má objem jeden litr, dá se po použití umýt a znovu použít. Stříkácí zařízení napájí osmnácti voltový akumulátor s kapacitou dvě ampérhodiny. Tento akumulátor dokáže dodat energii k vystříkání až čtyř litrů hmoty. Ruční stříkácí zařízení také disponuje regulátorem rychlosti motoru tudíž i průtoku a tím dosahuje konstantní šířky rozstříku při použití jakékoli nástřikové hmoty. Výrobce zařízení slibuje možnost stříkat barvu v kterémkoliv směru, to se přesně hodí pro hexapod s magnetickými koncovkami, který se taktéž může pohybovat v kterémkoliv natočení (viz. obrázek 27). Celý systém s prázdnou nádobou na barvu váží 1,76 kilogramů. [28]



Obrázek 35 - Sáček na barvu [28]

EXKLUZIVNÍ PRŮLOMOVÁ TECHNOLOGIE!

Patentované otočné trysky RAC X™ FFLP SwitchTips™ †

S každým zařízením se dodávají dvě trysky

Otočné trysky Reverse-A-Clean (RAC™) SwitchTips™ dosahují výjimečných výsledků stříkání a zjednodušují čištění zanesených trysek

Pracujte při nižším tlaku s KTERÝMKOLI stříkacím zařízením Graco

SmartTip™ TECHNOLOGY

Zpětné ventily True PRO na výstupu s keramickými kuličkami

FlexLiner™ †, 1 l
Zcela nový design umožňující snadné čištění!

Jednorázové vložky zkracují dobu čištění

Stříkání je možné v JAKÉKOLI poloze pistole – dokonce i úplně obráceně!

Dokonalý povrch Perfect Airless Finish™ – jako se zařízením CLASSIC S 395pc!



**NEJLEHČÍ PROFESIONÁLNÍ AIRLESS
RUČNÍ ZAŘÍZENÍ!**

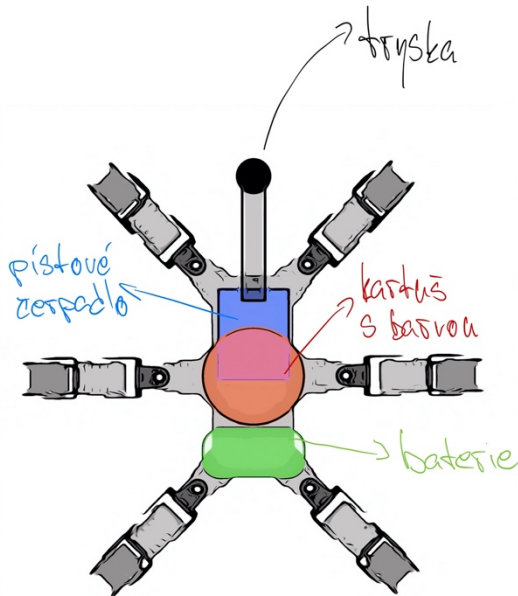
Obrázek 36 - Stříkací zařízení Graco UltraMax - 1/2 [28]



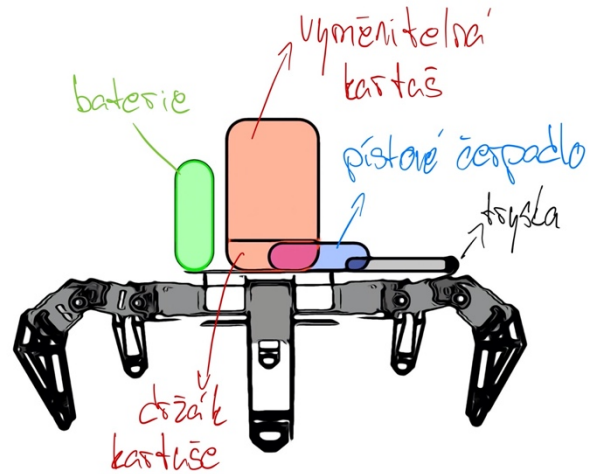
Obrázek 37 - Stříkácí zařízení Graco UltraMax - 2/2 [28]

3.6.2 Návrh

Pro potřeby našeho robotického systému lze tento systém využít prakticky celý bez jakýchkoli vylepšení, co se týče vlastností. Jedinou změnou je fakt, že bude stříkácí hlavice sdílet baterii spolu s hexapodem, tudíž musí být větší. Dále se změní rozložení na hexapodu tak, aby byla nádoba na barvu (kartuš) dostupná pro dron ze shora a umožňovala jednoduchou výměnu. Doplnění kartuše barvou probíhá v základně stejně tak jako prvotní vytlačení vzduchu z ní. Rozmístění nejdůležitějších prvků je vidět na přiložené skice.



Obrázek 38 - Skica rozložení stříkáčské hlavičky pohledem shora



Obrázek 39 - Skica rozložení stříkáčské hlavičky pohledem z boku

3.6.3 Výpočet plochy konstrukce nastříkané na jednu nádobu

- Základní nátěr

Pokud bude nanášena základní nátěrová hmota SikaCor Aktivprimer Plus od společnosti Sika můžeme zjistit plochu, kterou nastříkáme na jednu nádobu jednoduchým výpočtem, jelikož z katalogového listu [29] známe měrnou hmotnost a spotřebu barvy. Budeme uvažovat střední hodnotu udávané spotřeby a 10 % ztráté barvy.

Objem nádoby: 1 l

Měrná hmotnost: 1,4 kg / l

Spotřeba: 0,235 kg / m²

Ztráté: 10 %

Plocha: $(1 * 1,4) / (0,235 * 1,1) = 5,42 \text{ m}^2$

Nádobu o objemu jeden litr stačí zhruba na 5,4 m².

vrchní nátěry, základní nátěry a mezivrstvy	popis produktu	měrná hmotnost cca kg/l	obsah sušiny cca v %		mísící poměr ve hmotnostních dílech	doba zpracování při 20 °C	tl. povlaku v jedné vrstvě µm	teoretická spotřeba cca kg/m ²
			obj.	hm.				
SikaCor® Aktivprimer Plus	aktivní základní nátěrová hmota s pigmenty, také pro ručně odrezané a zinkované podklady	1,4	55	74			80-100	0,205-0,265
SikaCor® Steel Protect VHS Rapid	mnohostranně použitelná základní a vrchní nátěrová hmota	1,55	65	81			80-120	0,190-0,300
Sika® Poxicolor Rapid	rychle vytvrzující epoxidová nátěrová hmota na ocel a zinek	1,6	76	87	94 : 6	6 h	100	0,210

Obrázek 40 - Výřez katalogového listu Sika [29]

- Vrchní nátěr

Obdobný výpočet můžeme použít i na vrchní nátěr, pro který jsme uvažovali použití hmoty Sika CorroTop.

Objem nádoby: 1 l

Měrná hmotnost: 1,25 kg / l

Spotřeba: 0,150 kg / m²

Ztratné: 10 %

Plocha: $(1 * 1,25) / (0,15 * 1,1) = 7,58 \text{ m}^2$

Nádoba o objemu jeden litr stačí zhruba na 7,6 m².

vrchní nátěry, základní nátěry a mezivrstvy	popis produktu	měrná hmotnost cca kg/l	obsah sušiny cca v %		mísící poměr ve hmotnostních dílech	doba zpracování při 20 °C	tl. povlaku v jedné vrstvě μm	teoretická spotřeba cca kg/m ²
			obj.	hm.				
Sika® CorroTop	alkydová nátěrová hmota s hladkým lesklým povrchem	1,25	50	68			60	0,150
SikaCor® 6630 high-solid	nízkorozpouštědlová nátěrová hmota, kombinace syntetických pryskyřic s aktivními protikorozními pigmenty	1,4 1,5 ²⁾	62 61 ²⁾	77 77 ²⁾			80	0,180 0,195 ²⁾
Sika® Poxicolor Plus	nízkorozpouštědlová nátěrová hmota, kombinace epoxidových pryskyřic	1,6	76	87	94 : 6	6 h	100	0,210

Obrázek 41 - Výřez katalogového listu Sika [29]

3.6.4 Výpočet plochy konstrukce nastříkané na jednu baterii

Pokud budeme vycházet z dat od výrobce stříkácké zařízení Graco Ultramax, tak nám baterie stačí na zhruba 3,5 nádoby. To znamená, že baterii je potřeba měnit zhruba po **19 m²** u základního nátěru a zhruba po **26,5 m²** u vrchního nátěru.

3.7 Specifikace systému

Prvním faktorem, který rozhoduje o specifikaci systému, je frekvence jeho používání. Systém může být nasazen na konstrukci po celou dobu její životnosti bez přestávek (ihned po dokončení jednoho cyklu začíná znovu pracovat na dalším). Typickým příkladem může být most Golden Gate Bridge v kalifornském San Franciscu, jelikož se jedná o rozsáhlou a složitou stavbu, u které kvůli své ikončnosti záleží i na barvě. Další variantou je občasné nasazení, kdy se systém používá pouze při rekonstrukci dané konstrukce, například u plechových střech a to při nástřiku antikorozi ochranné vrstvy nebo nanášení nové barvy.

Druhým faktorem ovlivňujícím specifikaci je implementace robotického systému do stavby. V první variantě se počítá se zabudováním systému přímo do stavby a jejího blízkého okolí. Příkladem může být stavba nového ocelového mostu, kde se již v přípravné fázi projektu zajistí místo pro základnu a na konstrukci se zabudují kontaktní místa. Varianta dva se vyskytuje při nasazení na již stojící konstrukci. Základna a kontaktní místa se vytvoří až při nasazení robotického systému a po skončení práce se mohou znovu odvézt / odstranit.



Obrázek 42 - Golden Gate Bridge [30]

3.8 Postup prací

Po prvním průzkumu místa nástřiku se musí určit místo, kde se usadí základna a kde na konstrukci budou určeny styčné body. Přesná poloha základny se musí vnést do BIM modelu, který následně využívá hexapod pro pohyb po konstrukci i dron pro orientaci na staveništi a nalezení základny a styčného bodu. Dále vše funguje autonomně. Při prvním vzletu dron uchopí styčný bod a přichytí jej na konstrukci. Vráť se zpět na základnu, kde uchopí hexapod, dopraví jej na styčný bod, letí zpět do základny pro baterii a dále pro kartuš s nástřikovou hmotou. Po sestavení celého systému začíná hexapod vykonávat svou práci na konstrukci. Při dokončení nástřiku na určitém úseku konstrukce se vydává ze základny dron s připevněnou kamerou, úsek natočí a získané záběry může zaslat pověřeným osobám na vizuální kontrolu provedeného nástřiku.

Pokud kapacita baterie hexapodu, která zároveň napájí i pracovní nástroj klesne pod kritickou hodnotu, vydá se hexapod k nejbližšímu styčnému bodu a díky spojení přes systém Wi-Fi dá signál do základny. Základna připraví pro dron nabitou baterii, ten s ní letí až na styčný bod a provede tam výměnu. Obdobně probíhá i výměna kartuše s hmotou. Při přerušení práce, kvůli nepříznivému počasí nebo při kompletním dokončení práce se hexapod rovněž vydá na styčný bod a dron ho opět přesune do základny, akorát v opačném pořadí oproti nasazení na konstrukci při zahájení práce. To znamená, že prvně odletí s kartuší, poté

s akumulátorem a na závěr přesune do základny hexapod. Styčné body mohou na konstrukci zůstat, jelikož jedná pouze o malé magnety s plastovou ploškou na jejich horní hraně. Mohou být také znovu využity při případné další práci na stejné konstrukci.

3.9 Kontrola kvality a detekce poruch

3.9.1 Požadavky dle normy ČSN EN ISO 12944 - 7

Norma nařizuje kontrolu prováděných prací ve všech etapách. Míra kontroly závisí na parametrech stavby a povlakového nátěrového systému (místní podmínky, životnost nátěru, obtížnost práce, důležitost projektu,..). Nátěrový systém se hodnotí na míře shody se specifikací v projektové dokumentaci zejména dvěma parametry. Dozor nad prováděnými pracemi musí být prováděn kvalifikovanými a zkušenými osobami.

- Vizuální hodnocení

Hodnotí se: krytí konstrukce, rovnoměrnost, barevný odstín, vrásnění, odlupování, trhliny, puchýře a krátery.

- Hodnocení suchého filmu pomocí přístrojů

- Tloušťka suchého filmu - hodnocení probíhá nedestruktivními metodami za použití tloušťkoměru.
- Přílnavost - hodnocení probíhá destruktivní odtrhovou zkouškou pomocí odtrhoměru.
- Pórovitost - lze hodnotit pomocí nízkonapěťové metody (metoda mokré houbičky) nebo vysokonapěťovou metodou (jiskrová zkouška).

"Kontrola kvality nátěru probíhá na kontrolních plochách na konstrukci. Používají se ke stanovení nejnižšího přijatelného standardu prací, ke kontrole, že údaje výrobce nebo dodavatele jsou správné a k hodnocení vlastností nátěru v každém okamžiku po jeho nanesení." [7]

Velikost konstrukce (natíraná plocha) m ²	Doporučený maximální počet kontrolních ploch	Doporučený maximální podíl kontrolních ploch na celkové ploše konstrukce %
≤ 5 000	1	0,3
> 5 000 ≤ 10 000	2	0,3
> 10 000 ≤ 25 000	3	0,2
> 25 000 ≤ 50 000	4	0,15
> 50 000	5	0,1

Tabulka 6 - Počet kontrolních ploch [7]

3.9.2 Kontrola robotickým systémem

Navrhovaný robotický systém lze využít pro vizuální hodnocení, které zmiňuje norma. Jelikož norma nakazuje dozor kvalifikovanými a zkušenými osobami, může dron konstrukci pouze natočit a následné záběry poskytnou dozoruující osobě. Oblet natřené konstrukce dronem může probíhat autonomně, to znamená, že dron, vždy po dokončení nástřiku určitého úseku, vyletí s kamerou a pořídí záběry konstrukce. Nebo manuálním řízením, kdy je dron s kamerou ovládán člověkem a pořídí záběry, které si dozoruující osoba vyžádá.

Hodnocení suchého filmu pomocí přístrojů není v současné době pomocí robotického systému zamýšleno. Je tedy nutné využít konvenční metody získávání informací o nátěru.

4 Sestavení funkčního prototypu stříkací hlavičky

Návrh prototypu sprejovací hlavičky vychází ze stříkací lajnovačky LinoGold od společnosti Eurogreen, která se používá pro lajnování travnatých hřišť (fotbal, ragby,...). Návrh stříkací hlavičky pro robotický systém a návrh hlavičky pro potřeby prototypu se liší zejména kvůli podmínkám diplomové práce (finance, čas, znalosti programování, strojírenství a elektrotechniky). Nicméně se jedná o podobné návrhy se společnými komponenty. Hlavními prvky lajnovačky jsou: kanystr se sacím košem, membránové čerpadlo, baterie, tryska. [31] Největší rozdíl lajnovačky a sprejovací hlavičky spočívá v okrajových podmínkách. Zatímco u lajnovačky je spousta místa a je vlastně žádané, aby byla kvůli stabilitě co nejtěžší, tak u návrhu sprejovací hlavičky pro prototyp jsou tyto okrajové podmínky opačné. Je zde potřeba co nejlehčí a co nejmenší konstrukce sprejovací hlavičky. Dalším rozdílem je to, že pro sprejovací hlavičku je potřeba vytvořit takovou sestavu, aby fungovala v jakékoli poloze, kterou může hexapod využívat pro svou činnost - od pohybu vodorovně dnem dolů přes pohyb svisle až k vodorovnému pohybu dnem nahoru. Sprejovací hlavička může stříkat různé nástřikové hmoty.



Obrázek 43 - Lajnovačka LinoGold [31]

4.1 Jednotlivé prvky prototypu

4.1.1 Ponorné čerpadlo

Klíčové vlastnosti:

Provozní napětí	12 V
Maximální dopravní výška	6 m
Maximální průtok	10 l / h
Výrobce	Barwig

Tabulka 7 - Klíčové vlastnosti - Ponorné čerpadlo [32]



Obrázek 44 - Ponorné čerpadlo [32]

4.1.2 Olověný akumulátor

Klíčové vlastnosti:

Napětí	12 V
Kapacita	1.2 Ah
Hmotnost	520 g

Tabulka 8 - Klíčové vlastnosti - Olověný akumulátor [33]



Obrázek 45 - Olověný akumulátor [33]

4.1.3 Dálkově ovládané relé

Klíčové vlastnosti:

Napětí	12 V
Frekvence ovladače	433 MHz

Tabulka 9 - Klíčové vlastnosti - Relé [34]

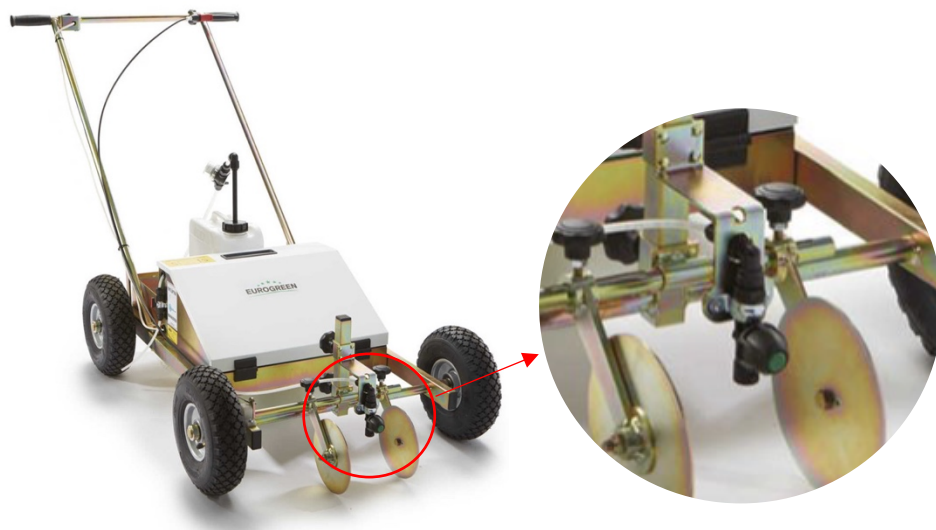
Nezbytnou součástí prototypu stříkací hlavice je dálkové ovládání, které spouští stříkání kapaliny. Toto ovládání funguje na frekvenci 433 MHz a běžně se používá na ovládání například vjezdových nebo garážových vrat.



Obrázek 30 - Relé [34]

4.1.4 Tryska se zpětný ventilem

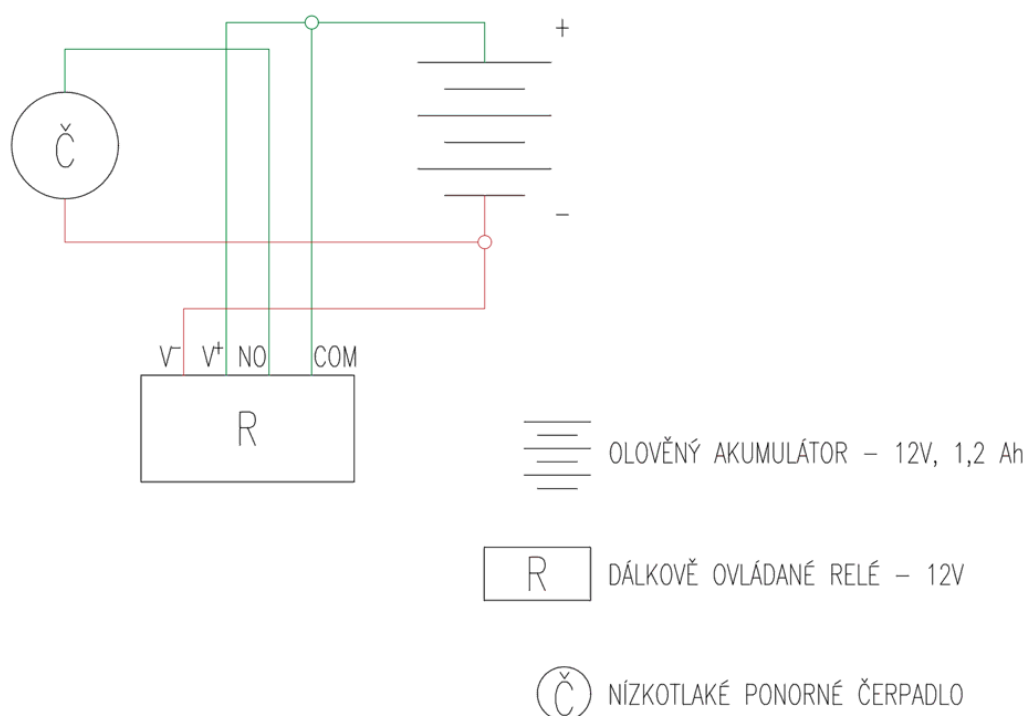
Jedná se o trysku, která se využívá ve stříkací lajnovačce. Jelikož využití ponorné čerpadlo nedokázalo dodat dostatečný tlak pro překonání zpětného ventilu, musel být upraven a již neplní svoji funkci zcela dokonale, proto se může stát, že po dokončení stříkání bude kapalina kapat z trysky.



Obrázek 47 - Lajnovačka + tryska [31]

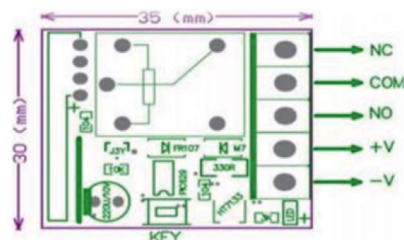
4.1.5 Elektrotechnické zapojení

Propojení čerpadla, baterie a relé je zaručeno odporovými drátky a pružinovými svorkovnicemi s páčkou na dva či tři dráty. Při vytváření elektrického obvodu je vycházeno z učebnice: Malá škola praktické elektroniky. [37] Celý obvod je zapojen dle následujícího schématu:



Obrázek 48 - Schéma elektrického obvodu

- napájecí napětí 10-14V DC
- klidový odběr <5mA
- pracovní frekvence 433MHz
- dosah 100m (otevřený prostor)
- paměť na 50 ovladačů
- spínaná zátěž 10A/250V



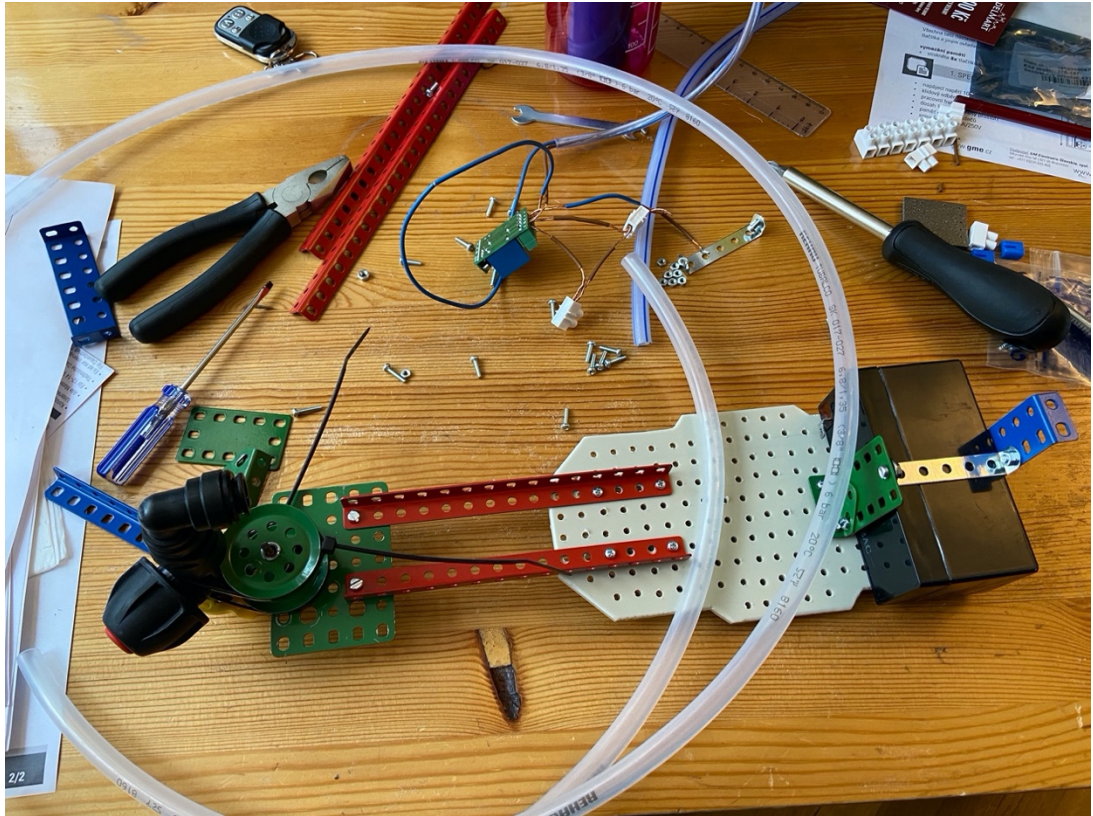
Obrázek 49 - Schéma a specifikace dálkově ovládaného relé [34]

4.1.6 Čerpání barvy

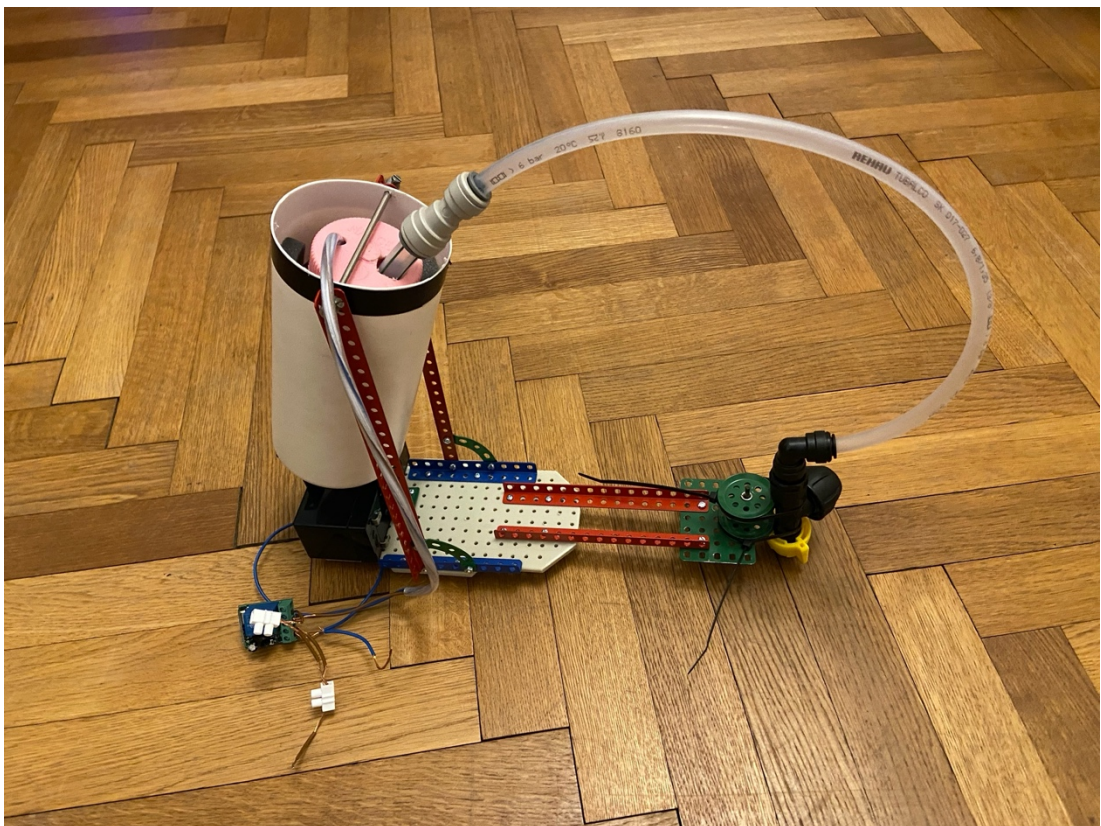
Pro spojení ponorného čerpadla na trysky na konci hlavice je využito plastových hadic a spojek, které se obvykle používají k zapojení výčepní techniky. Z ponorného čerpadla vede kapalinu do rychlospojky tvrdá hadice o vnitřním průměru 9,5 milimetrů a vnějším 12,7 milimetrů. Z rychlospojky pak proudí kapalina do trysky hadic s vnitřním průměrem 6,7 milimetrů a vnějším průměrem 9,5 milimetrů.

4.1.7 Konstrukční prvky

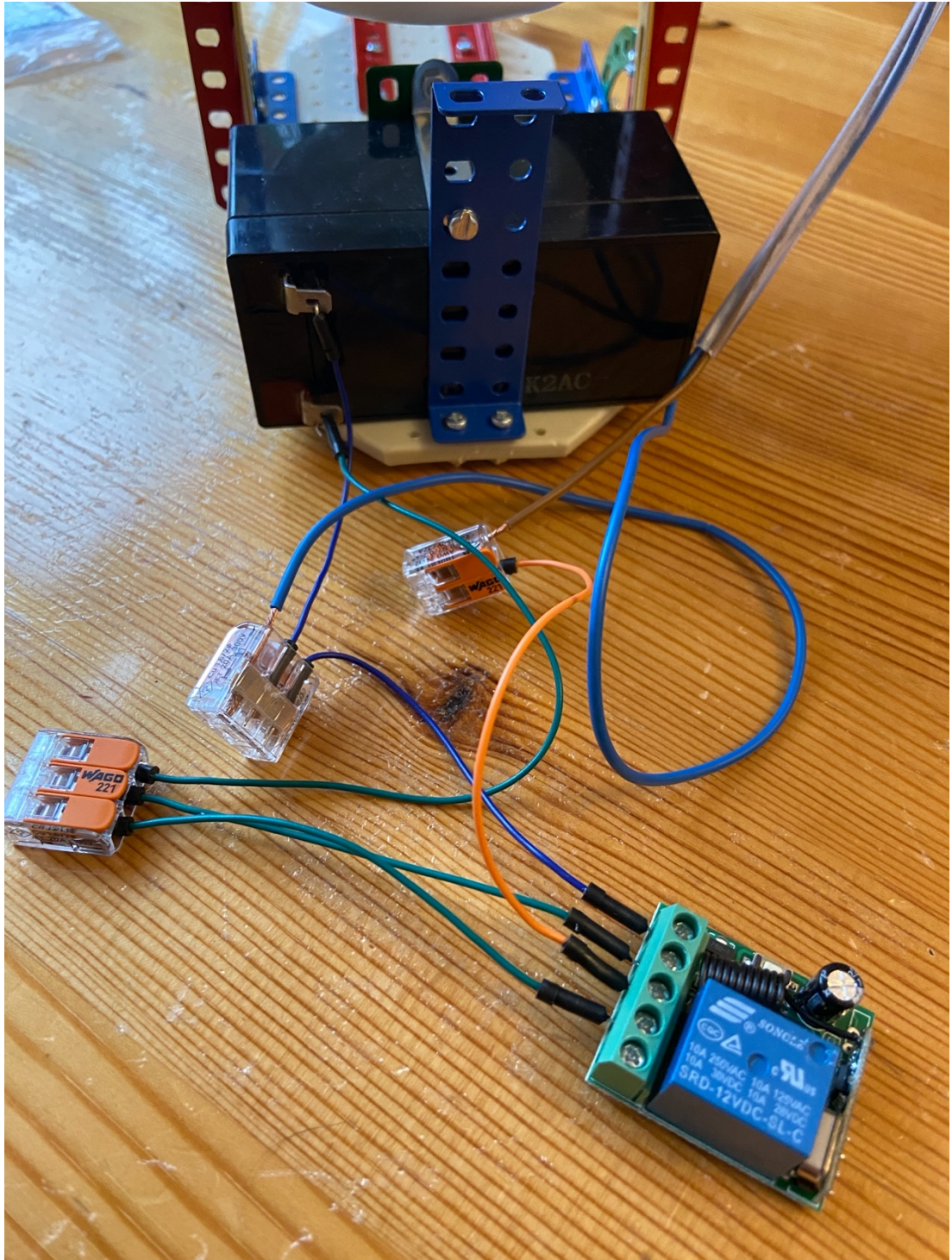
Jako konstrukční materiál je použita stavebnice Merkur. Dnem stříkací hlavice je plastová podlaha shodná s vrchním dílem hexapodu, aby se při uchycení na hexapod přesunuli pouze jednotlivé komponenty a vynecháním dna stříkací hlavice se tak snížila její celková hmotnost. Na přední straně je uchycena baterie včetně dálkově ovládaného relé a elektroinstalace. Zhruba uprostřed se nachází "houpačka", která díky



Obrázek 52 - Montáž komponentů na dno hlavice



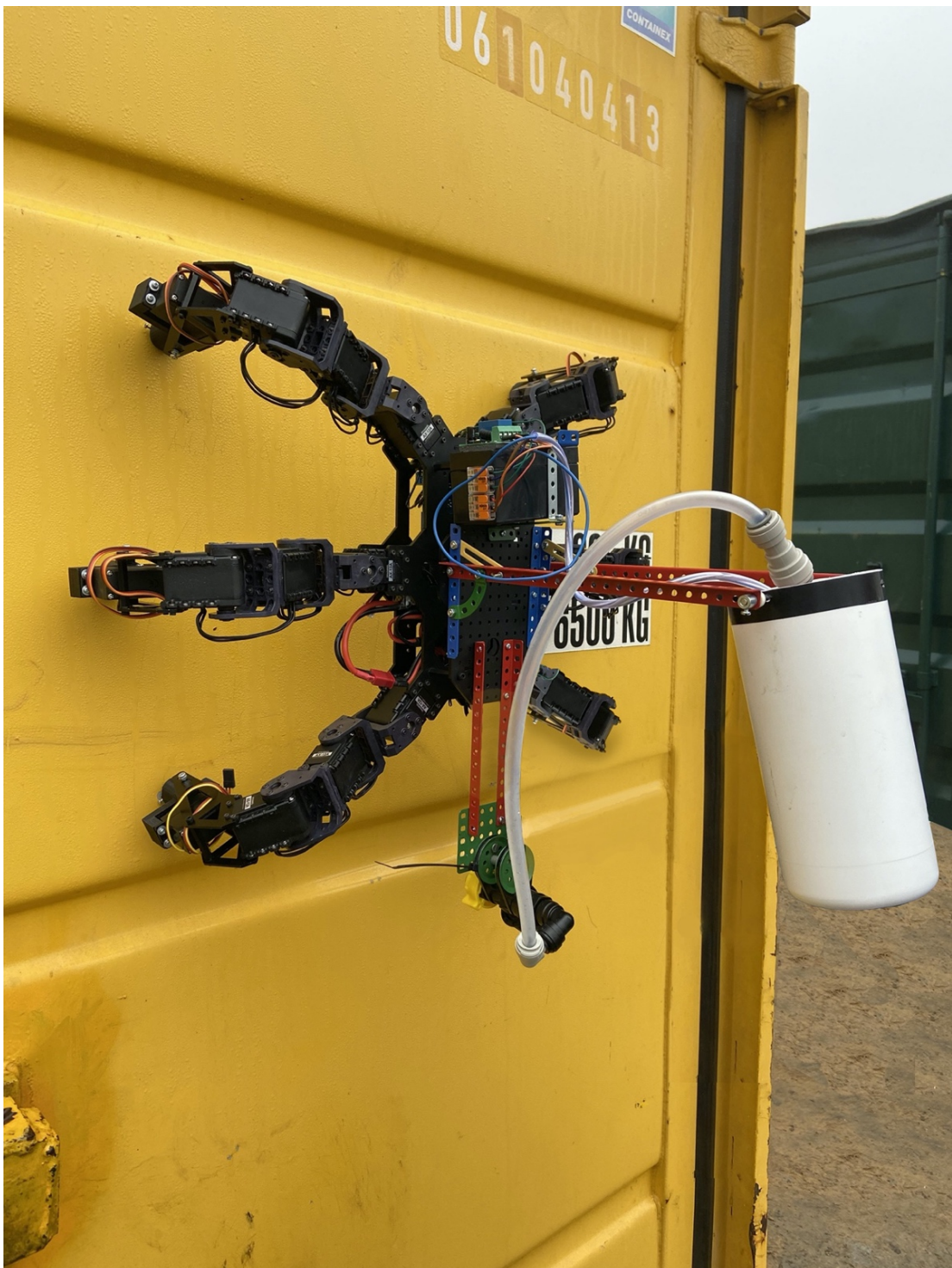
Obrázek 53 - První verze kompletní hlavice



Obrázek 54 - Finální podoba elektrotechnické instalace

4.3 Provedení zkoušek

Po úspěšném sestavení byl prototyp stříkací hlavičky vyzkoušen v šířce rozstříku a možnosti jeho připevnění na tělo hexapodu, ten byl laskavě zapůjčený pro potřeby této diplomové práce z Českého institutu informatiky, robotiky a kybernetiky (CIIRC). Hexapod již měl na konci každé nohy připevněné magnetické kontakty (kontakty ani řešení pohybu hexapodu po ocelové konstrukci není předmětem této práce).



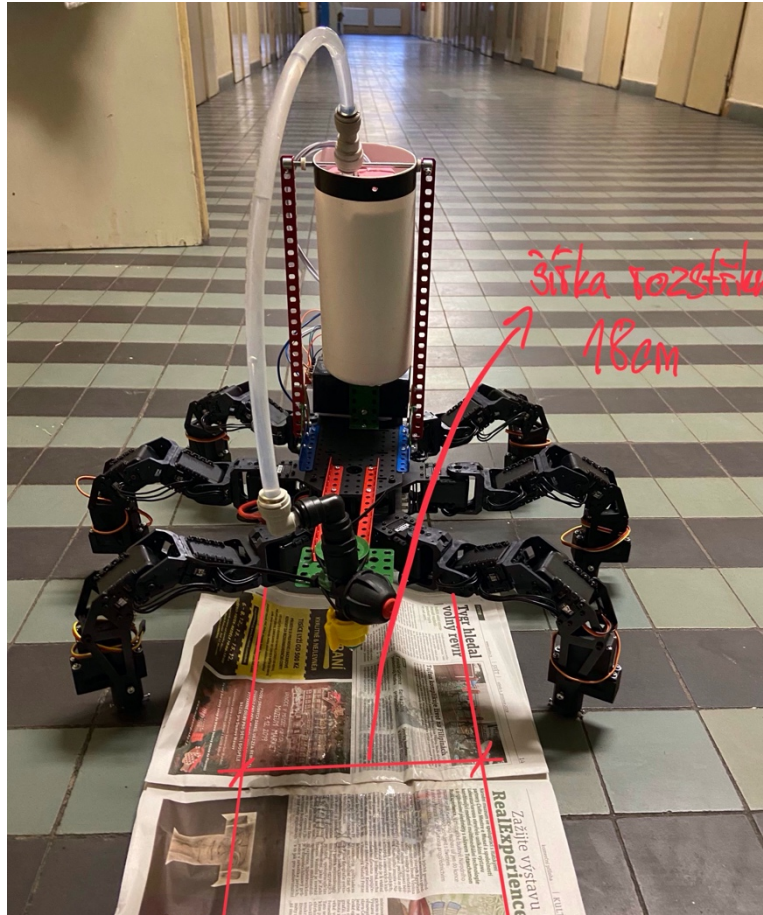
Obrázek 55 - Testování uchycení hlavičky na hexapod - svislá poloha

Zapůjčený robot hexapod PhantomX AX Metal Mark III bohužel nebyl schopný pohybu, kvůli velké obtížnosti a omezenému časovému prostoru pro naprogramování chůze současně s odepínáním a připínáním magnetických koncovek na jeho nohách (magnetické koncovky a programování pohybu není předmětem této práce). Z tohoto důvodu nebylo možné otestovat stříkání kapaliny při chůzi ani v jednom směru pohybu.

Při stříkání na místě se podařilo zjistit, že po nasazení hlavice na hexapod činí šířka rozstříku kapaliny 18 centimetrů. Při nasazení hexapodu na ocelovou konstrukci stavební buňky se ověřila funkčnost jednoho z důležitých komponentů stříkací hlavice tzv. houpačky, díky které se dno nádoby na barvu nachází vždy směrem k zemi a ponorné čerpadlo umístěné uvnitř může nasávat kapalinu v jakékoli poloze. Úspěšně dopadlo i testování funkčnosti dálkově ovládaného relé, které lze ovládat pomocí ovladače na frekvenci 433 MHz bez problému zhruba na vzdálenost dvou metrů.



Obrázek 56 - Testování uchycení hlavice na hexapod - vodorovná poloha



Obrázek 57 - Test rozstřiku při stříkání



Obrázek 58 - Detailní pohled na trysku

Závěr

Zhodnocení práce

V první kapitole je podrobně popsáno, jak se ošetřují ocelové konstrukce protikorozními nátěrovými hmotami. Je rozebráno, jak postupovat při návrhu konstrukce, aby se co nejvíce předešlo následné korozi oceli. V dalším bodě se práce věnuje přípravě povrchu pro nanášení ochranného povlaku a postupech při jejich provádění. Dále jsou v první kapitole rozebrány jednotlivé ochranné nátěrové systémy na základě jejich složení a fungování.

Druhá kapitola se věnuje rozebrání aktuální situace využívání robotických technologií ve stavebnictví, ukázkou nejzajímavějších projektů, ať už těch, které se zatím provádějí pouze v laboratořích nebo těch, které již opustili zkušební centra a využívají se při realizaci skutečných projektů.

V kapitolách věnujících se návrhu inovativního robotického systému byly popsány jeho jednotlivé části, z kterých by bylo možné celý systém poskládat. Robotický systém je možné využít na téměř všechny ocelové stavby. Může se jednat o rekonstrukci ochranného nátěru, ale zároveň i o prvotní nátěr ochranné hmoty.

V rámci práce byl sestaven i prototyp stříkací hlavice, který demonstruje její možnosti. Z důvodu omezených možností diplomové práce, jedná se zejména o omezení možností časových a finančních, je návrh stříkací hlavice upraven. Návrh se skládá převážně z komponentů, které jsou finančně dostupné. I přesto se podařilo stříkací hlavici připevnit na vypůjčeného robota hexapod a vyzkoušet tak šířku rozstříku a nanášení barvy ve vodorovné i svislé pozici.

Budoucnost robotické systému

Při snaze pokračovat ve vývoji celého navrženého robotického systému zde vyvstává poměrně velké množství nevyřešených problémů a výzev. Zřejmě největší výzvou je naprogramovat celý systém a to zejména pohyby hexapodu po konstrukci. Problémů z oblasti programování a softwaru je obecně v každém návrhu robotických technologií mnoho. Další výzvy jsou z oblasti strojního inženýrství, jedná se konkrétně o sestavení reálné stříkací hlavice navržené v diplomové práci a vylepšení stávajícího dronu od společnosti DJI o prvky také navržené v této práci. Po úspěšném dokončení výzkumu se navržený robotický systém jeví jako velmi dobře využitelný při údržbě ocelových konstrukcí, kde by mohl značně zvýšit bezpečnost práce a ušetřit nemalé náklady vynaložené na lidskou práci. Systém by mohly využívat státní podniky (SŽDC, ŘSD apod.), které mají ve své správě velký počet především dopravních staveb, které jsou často tvořeny alespoň z části právě ocelovými prvky. Další využití by se samozřejmě našlo i v soukromém sektoru, může se jednat o velké

stavby jakou jsou například kovové skladovací haly, ale také se může jednat o malé stavby, příkladem mohou být rodinné domy s plechovou střechou.

Do budoucna se ještě dá předpokládat další vylepšení, která jsou závislá na vývoji použitých technologií. Značným vylepšením, které se dá s ohledem na tlak z mnoha významných odvětvích očekávat (např. mobilní telefony, elektromobilita), může být zvýšení kapacity baterie při stejné hmotnosti a velikosti, to by znamenalo větší objem nanesené barvy hexapodem na konstrukci na jednu baterii dále také větší dolet a nosnost dronu. V budoucím výzkumu se lze také věnovat návrhu a vývoji dalších pracovních nástrojů pro hexapod. Může to být pracovní nástroj pro očištění konstrukce od starých nátěrů, rzi nebo okují či se může jednat o pracovní nástroj, který se bude věnovat inspekci konstrukcí a mohl by měřit například tloušťku povlakové vrstvy nebo její přilnavost a porozitu.

Zdroje

- [1] POSPÍŠIL, Jaroslav a Hana POSPÍŠILOVÁ. Rub a líc baťovských sporů. Zlín: Kniha Zlín, 2012. ISBN 978-80-7473-037-5.
- [2] Švýcarský expert o železničním mostu na Výtoni: Nový se stavět nemusí, stál by víc než rekonstrukce. In: IRozhlas.cz [online]. [cit. 2019-12-2]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/eugen-bruhwiler-zeleznicni-most-vyton-sprava-zeleznicni-dopravni-cesty_1911290650_pj
- [3] ČSN EN ISO 12944 - 1. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 1: Obecné zásady. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [4] Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy: Technické kvalitativní podmínky staveb. Praha: Česká republika – Ředitelství vodních cest ČR, 2013.
- [5] ČSN EN ISO 12944 - 2. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [6] ČSN EN ISO 12944 - 3. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 3: Navrhování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [7] ČSN EN ISO 12944 - 4. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 4: Typy povrchů podkladů a jejich příprava. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [8] ČSN EN ISO 12944 - 5. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 5: Ochranné nátěrové systémy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [9] ČSN EN ISO 12944 - 7. Nátěrové hmoty – Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 7: Provádění a dozor při zhotovování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018
- [10] ČSN 73 2604. Ocelové konstrukce - Kontrola a údržba ocelových konstrukcí pozemních a inženýrských staveb. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
- [11] CLS Architetti and Arup use a portable robot to 3D print a house in Milan. *Dezeen.com* [online]. 20. 4. 2018 [cit. 2019-11-28]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2018/04/20/cls-architetti-arup-use-portable-robot-3d-print-house-milan/>
- [12] GRAMAZIO, Fabio a Matthias KOHLER, ed. Made by robots: challenging architecture at the large scale : May/June 2014. London: Wiley, 2014. Architectural design (Wiley). ISBN 978-1118-535486
- [13] BOCK, Thomas a Thomas LINNER. Robot-oriented design: design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction. New York: Cambridge University Press [2015]. ISBN 978-1-107-07638-9
- [14] HRP-5P. *Robots.ieee.org* [online]. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <https://robots.ieee.org/robots/hrp5p/>

- [15] TyBotLLC.com [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.tybotllc.com>
- [16] Flying Machine Arena [online]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://www.flyingmachinearena.ethz.ch>
- [17] Inspekce ve stavebnictví. Pro-drony.cz [online]. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: <http://www.pro-drony.cz/aplikace/inspekce-ve-stavebnictvi/>
- [18] Earthworks Project Management. Kespry.com [online]. [cit. 2019-12-21]. Dostupné z: <https://www.kespry.com/earthworks-management/>
- [19] The history of design and construction. GoldenGate.org [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.goldengate.org/exhibits/a-lasting-monument/>
- [20] PhantomX AX Metal Hexapod Mark III Kit. TrossenRobotics.com [online]. [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: <https://www.trossenrobotics.com/phantomx-ax-hexapod.aspx>
- [21] Typy a klasifikace stanic imisního monitoringu. CHMI Brno.org [online]. [cit. 2019-12-25]. Dostupné z: <https://chmibrno.org/blog/2018/11/25/typy-stanic-imisniho-monitoringu/>
- [22] Mavic Air. DJI.com [online]. [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/mavic-air?site=brandsite&from=nav>
- [23] Matrice 600 Pro. DJI.com [online]. [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://store.dji.com/product/matrice-600-pro>
- [24] NOVÁK, Jan. Proč dron poslouchá (a proč poslouchá právě jen vás). DroneWeb.cz [online]. 9. 9. 2019 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <http://droneweb.cz/konstrukce/item/323-drony-ovladani-prenos-systemy>
- [25] How it works. Wing.com [online]. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://wing.com/how-it-works/>
- [26] HAWKINS, Andrew. Wing's delivery drones take flight for the first time in Virginia. TheVerge.com [online]. 18. 11. 2019 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2019/10/18/20921310/wings-delivery-drones-virginia-first-flight>
- [27] Kapacitní senzory. EatonElektrotechnika.cz [online]. [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/kapacitni-senzory.html>
- [28] Ruční bezvzduchové zařízení Ultra bez kabelu. Graco.com [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.graco.com/cz/cs/products/contractor/emea-ultra-cordless-airless-handheld.html>
- [29] Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí. Sika CZ, 2010. Dostupné také z: <https://cze.sika.com/cs/group.html>
- [30] Golden Gate Bridge. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Golden_Gate_Bridge
- [31] Lajnování. EuroGreen.cz [online]. [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://www.eurogreen.cz/nase-nabidka/udrzba-travniku/lajnovaci-zarizeni/>
- [32] Barwig Ponorné čerpadlo Barwig Typ 04. Conrad.cz [online]. [cit. 2019-10-12]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/ponorne-cerpadlo-barwig-typ-04-0444-12-v-dc-0-9-1-7-a-10-l-min-6-m.k539090>
- [33] Olověný akumulátor, 12 V/1,2 Ah, Conrad energy. Conrad.cz [online]. [cit. 2019-10-12]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/oloveny-akumulator-12-v-1-2-ah-conrad-energy.k250165#>

- [34] Dálkově ovládané relé 433MHz, 12V. *GME.cz* [online]. [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/dalkove-ovladane-rele-433mhz-12v>
- [35] BLOCK, India. World's largest 3D-printed building completes in Dubai. *Dezeen.com* [online]. 22. 12. 2019 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2019/12/22/apis-cor-worlds-largest-3d-printed-building-dubai/>
- [36] COLLABORATIVE PROJECT WITH DUBAI MUNICIPALITY. *Apis-Cor.com* [online]. [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.apis-cor.com/dubai-project>
- [37] HAVLÍČEK, Vladimír a Jiří ZUSKA. *Malá škola praktické elektroniky: 1. díl*. Rádio plus KTE, 2005, 184 s. Dostupné také z: <http://kme.wz.cz/index.php?id=ke-stazeni>
- [38] PhantomX running Phoenix code. *YouTube.com* [online]. 26. 8. 2012 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rAeQn5QnyXo&t=136s>
- [39] 3D Printers. *CyBe.eu* [online]. [cit. 2019-12-14]. Dostupné z: <https://cybe.eu/technology/3d-printers/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Železniční most na Výtoni [2]	10
Obrázek 2 - Nejmenší vzdálenost mezi vlastní a přilehlou konstrukcí [6].....	13
Obrázek 3 - Nejmenší vzdálenost mezi částmi vlastní konstrukce [6]	13
Obrázek 4 - Styk ocelového prvku s betonem [6]	14
Obrázek 5 - Nevhodně umístěné prvky [6]	14
Obrázek 6 - Vhodně umístěné prvky [6]	14
Obrázek 7 - Zaoblení hrany [6].....	15
Obrázek 8 - 3D tiskárna betonu na pásovém podvozku [39]	26
Obrázek 9 - Vytištěný dům - interiér [11]	27
Obrázek 10 - Vytištěný dům - exteriér [11].....	27
Obrázek 11 - Detail stěny [36].....	28
Obrázek 12 - Tisk stěn [36]	28
Obrázek 13 - Výsledná podoba stavby [36].....	29
Obrázek 14 - Částečně zabetonovaný prvek [12].....	30
Obrázek 15 - Tisk sítě - detail [12]	30
Obrázek 16 - Tvorba sítě [12].....	30
Obrázek 17 - Humanoidní robot - montáž [14].....	31
Obrázek 18 - Humanoidní robot - přenos materiálu [14].....	31
Obrázek 20 - Pracovní nástroj [15]	32
Obrázek 19 - Umístění systému na konstrukci [15].....	31
Obrázek 21 - Dron převážející blok na konkrétní místo [12].....	33
Obrázek 22 - Výroba mostu [13]	33
Obrázek 23 - Testování mostu člověkem [13]	34
Obrázek 24 - Ukázka analýzy stavební jámy [18].....	34
Obrázek 25 - Natírání ocelové konstrukce [19]	35
Obrázek 26 - Hexapod PhantomX [20]	36
Obrázek 27 - Polohy hexapodu při chození po konstrukci.....	36
Obrázek 28 - Stanice imisního monitoringu - ČHMÚ [21]	38
Obrázek 29 - Náklon hexapodu [38].....	39
Obrázek 30 - DJI Mavic Air [22]	40
Obrázek 31 - DJI Matrice 600 Pro [23].....	41
Obrázek 32 - Wing Aircraft [26].....	41
Obrázek 33 - Skica úprav dronu	42
Obrázek 34 - Magnet s plastovou částí.....	43
Obrázek 35 - Sáček na barvu [28]	44
Obrázek 36 - Stříkací zařízení Graco UltraMax - 1/2 [28]	45
Obrázek 37 - Stříkací zařízení Graco UltraMax - 2/2 [28]	46
Obrázek 38 - Skica rozložení stříkací hlavice pohled shora	47
Obrázek 39 - Skica rozložení stříkací hlavice pohled z boku	47
Obrázek 40 - Výřez katalogového listu Sika [29].....	47
Obrázek 41 - Výřez katalogového listu Sika [29].....	48
Obrázek 42 - Golden Gate Bridge [30]	49
Obrázek 43 - Lajnovačka LinoGold [31].....	52
Obrázek 44 - Ponorné čerpadlo [32].....	52
Obrázek 45 - Olověný akumulátor [33].....	52
Obrázek 46 - Relé [34]	52
Obrázek 47 - Lajnovačka + tryska [31]	52
Obrázek 48 - Schéma elektrického obvodu	52
Obrázek 49 - Schéma a specifikace dálkově ovládaného relé [34].....	52
Obrázek 50 - Prvotní sestavování.....	55

Obrázek 51 - Testování vedení kapaliny	55
Obrázek 52 - Montáž komponentů na dno hlavice	56
Obrázek 53 - První verze kompletní hlavice.....	56
Obrázek 54 - Finální podoba elektrotechnické instalace	57
Obrázek 55 - Testování uchycení hlavice na hexapod - svislá poloha	58
Obrázek 56 - Testování uchycení hlavice na hexapod - vodorovná poloha	59
Obrázek 57 - Test rozstříku při stříkání.....	60
Obrázek 58 - Detailní pohled na trysku.....	60

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Klasifikace vnějšího prostředí [5].....	16
Tabulka 2 - Způsoby čištění [7].....	18
Tabulka 3 - Stupně přípravy - celková příprava [7].....	20
Tabulka 4 - Stupně přípravy - částečná příprava [7].....	22
Tabulka 5 - Porovnání dronů	40
Tabulka 6 - Počet kontrolních ploch [7].....	50
Tabulka 7 - Klíčové vlastnosti - Ponorné čerpadlo [32].....	52
Tabulka 8 - Klíčové vlastnosti - Olověný akumulátor [33].....	52
Tabulka 9 - Klíčové vlastnosti - Relé [34]	53