

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

Skenování svařovacích linek ve ŠKODA AUTO a.s. Bakalářská práce

Tadeáš Haase

Vedoucí práce: Ing. Josef Bradáč, Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Tadeáš Haase**

Studijní program: **Ekonomika a management**

Obor: **Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality**

Název tématu: **Skenování svařovacích linek ve ŠKODA AUTO a.s.**

Cíl: Cílem bakalářské práce je analyzovat současné principy 3D skenování budov a na základě provedené analýzy vybrat vhodnou metodu pro účely 3D modelování svařovacích linek ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi.

Rámcový obsah:

1. Charakteristika vybavení svařoven v Mladé Boleslavi.
2. Digitální továrna, využití virtuální reality.
3. Popis jednotlivých metod 3D skenování.
4. Analýza metod skenování z hlediska požadovaných parametrů pro účely svařoven.
5. Vyhodnocení analýzy a výběr vhodné metody 3D skenování.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. VRABEC, M. *Základy strojírenské výroby*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. 107 s. ISBN 978-80-01-05669-1.
2. JUROVÁ, M. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. 1. vyd. Grada Publishing, 2016. 254 s. Expert. ISBN 978-80-247-5717-9.
3. ŠTRONER, M. – POSPÍŠIL, J. *Terestrické skenovací systémy*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-04141-3.
4. BOARDMAN, C. – BRYAN, P. *3D Laser Scanning for Heritage*. Swindon: Historic England Publishing, 2018. 119 s. ISBN 978-1-84-802521-9.

Datum zadání bakalářské práce: únor 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2019

L. S.


Ing. Josef Bradáč, Ph.D.
Vedoucí práce


Mgr. Petr Šulc
Prorektor ŠAVŠ


prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.
Vedoucí katedry


Tadeáš Haase
Autor práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.09 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 11. 12. 2019

Děkuji Ing. Josefu Bradáčovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, poskytování cenných rad a věnovanému času při konzultacích. Poděkování patří také mé rodině, která mě po celou dobu studia plně podporuje a přítelkyni, která mi byla při psaní této práce velkou oporou. Velký vděk patří také specialistům z oddělení plánování svařoven za odborné konzultace a poskytování informačních podkladů.

Obsah

Úvod.....	7
1 Charakteristika svařoven ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav	8
1.1 Robotizace, automatizace výroby	10
1.2 Technologie stavby karosérie ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s.	12
1.2.1 Svařování	14
1.2.2 Pájení	18
1.2.3 Lepení.....	18
1.2.4 Lemování.....	19
2 Průmysl 4.0.....	20
2.1 Tecnomatix – komplexní řešení digitální továrny	20
2.1.1 Process Designer	21
2.1.2 Process Simulate.....	22
3 Laserové skenování.....	23
3.1 Laserové skenovací systému dle způsobu sběru dat.....	23
3.2 Princip laserového skenování	25
3.3 Komponenty laserového skeneru	27
3.3.1 Laser.....	27
3.3.2 Optika - principy rozmítání laserových paprsků	27
3.3.3 Přijímač.....	29
3.4 Zpracování naskenovaných dat	29
3.4.1 Refereční body	30
3.4.2 Výsledný produkt laserového skenování	31
4 Analýza laserových skenerů pro svařovny ŠKODA AUTO a.s.....	32
4.1 Představení vybraných laserových skenerů	33
4.2 Zhodnocení laserových skenerů dle určených parametrů.....	38
5 Vyhodnocení výsledků analýzy.....	43
Závěr	46
Seznam literatury	47
Seznam obrázků, tabulek a příloh	48

Seznam použitých zkratk a symbolů

3D	Trojdimenzionální
CCD	Charge-Coupled Device
CMT	Cold Metal Transfer
GEO	Geometrická stanice
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning Systém
HDR	High Dynamic Range
IP	Ingress Protection
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
PD	Process Designer
PLC	Programmable Logic Controller
PS	Process Simulate
SD	Secure Digital
WLAN	wireless LAN

Úvod

V úrovni automobilového průmyslu a rychlému rozvoji technologií je velmi důležité udržovat, nebo v lepším případě navyšovat, konkurenceschopnost společnosti a naplňovat v maximální míře požadavky zákazníka. Pro dosažení přijatelných výsledků je nezbytné zvyšovat efektivitu výroby nejen při samotné produkci, ale již ve fázi plánování výrobního procesu. Tohoto faktu si je vědoma také společnost ŠKODA AUTO a.s., která je největším producentem automobilů v České republice. Společnost patří do koncernu Volkswagen, a kromě České republiky vyrábí vozy v Rusku, Číně, Alžírsku, na Slovensku a v Indii.

Bakalářská práce je orientována na jednu z dílčích možností zvyšování efektivity při plánování výrobních svařovacích linek určených pro stavbu karosérií několika automobilů z portfolia společnosti ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Plánování svařovacích linek probíhá v 3D digitálním prostředí. Tato práce je přímou reakcí na problém, který nastává při vytváření, či optimalizaci digitálních výrobních linek, kde měření konvenční metodou nelze dosáhnout přesné polohy 3D modelů vůči poloze v realitě. V současnosti lze tuto situaci řešit pomocí 3D laserových skenovacích systémů, určených ke skenování rozsáhlých objektů.

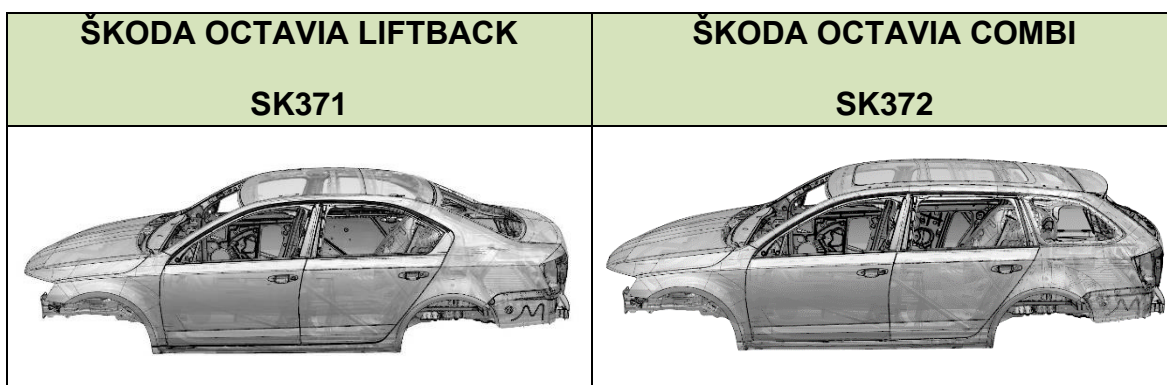
Cílem bakalářské práce je analyzovat současné laserové skenery určené pro 3D skenování budov a na základě provedené analýzy vybrat přístroj, který bude mít výstupní data vyhovující pro účely plánování svařovacích linek.

V teoretické části bakalářské práce budou v první kapitole charakterizovány svařovny ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Druhá kapitola bude věnována průmyslové revoluci 4.0 v souvislosti s digitální továrnou. A poslední kapitola teoretické části bude orientována na 3D laserové skenování.

V praktické části bakalářské práce budou v úvodu představeny doposud realizované projekty skenování výrobních svařovacích linek ve společnosti ŠKODA AUTO a.s., v Mladé Boleslavi. Posléze bude objasněna významnost disponování vlastním laserovým skenerem v rámci svařoven, namísto poptávání externích společností. Poté budou představeny vybrané laserové skenery a provedena analýza týkající se porovnání zvolených přístrojů. V závěru praktické části práce budou vyhodnoceny výsledky a doporučen laserový skener vhodný pro účely plánování svařovacích linek ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi.

1 Charakteristika svařoven ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav

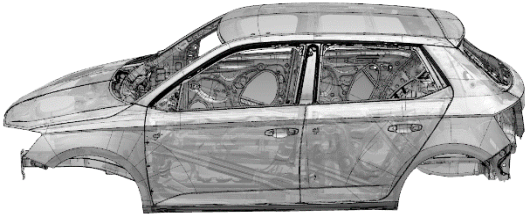
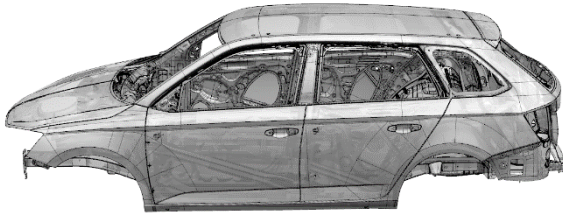
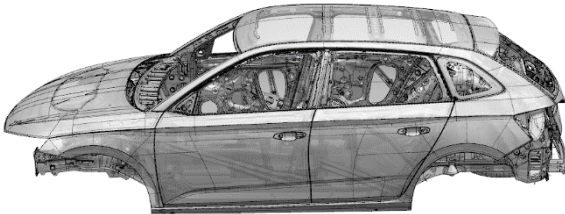
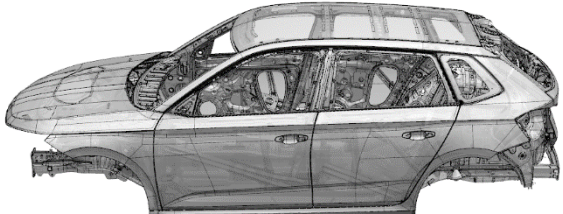
V Mladé Boleslavi se nacházejí dvě haly určené pro svařování karosérií několika modelů z portfolia společnosti ŠKODA AUTO a.s. V první hale značené jako M12 jsou aktuálně stavěny karosérie pro model ŠKODA OCTAVIA (viz Obr. 1). Jedná se o třetí generaci tohoto modelu. V nabídce portfolia se nachází od roku 2012, v roce 2016 prošel faceliftem. Tento model je vyráběn ve variantě LIFTBACK (interní značení SK371) a COMBI (interní značení SK372). Výrobní kapacity svařovny M12 jsou omezeny 1050 kusy v součtu pro obě vyráběné varianty během tří směn v jeden den. Provoz zde zajišťuje přibližně 900 lidí. Svařovna M12 má rozlohu 63 000 m² (viz Příloha 1).



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 1: Modely vyráběné ve svařovně M12

Ve druhé hale, značené názvem M14, jsou díky rozsáhlým integracím, které proběhly v aktuálním roce 2019, stavěny karosérie pro tři modely (viz Obr. 2). Prvním a již tradičním modelem je ŠKODA FABIA. Tento aktuální model je také již třetí generací a v portfoliu se nachází od roku 2014, v roce 2018 prošel faceliftem. Model je vyráběn ve variantách HATCHBACK (interní značení SK260) a COMBI (interní značení SK262). Další dva modely jsou vyráběny od roku 2019. Jedná se o kompaktní vůz ŠKODA SCALA (interní značení SK370/3) a ŠKODA KAMIQ (interní značení SK370/4). V M14 pracuje přibližně 1000 lidí. Současné výrobní kapacity dovolují vyrábět 850 karosérií modelu ŠKODA FABIA nebo 800 karosérií modelů ŠKODA SCALA+KAMIQ. Počet stavěných karosérií se může každým dnem lišit, ale celkový počet karosérií stavěných v jeden den během tří směn je omezen kapacitou 1300 kusů. Svařovna M14 má rozlohu 71 600 m² (viz Příloha 2).

ŠKODA FABIA HATCHBACK SK260	ŠKODA FABIA COMBI SK262
	
ŠKODA SCALA SK370/3	ŠKODA KAMIQ SK370/4
	

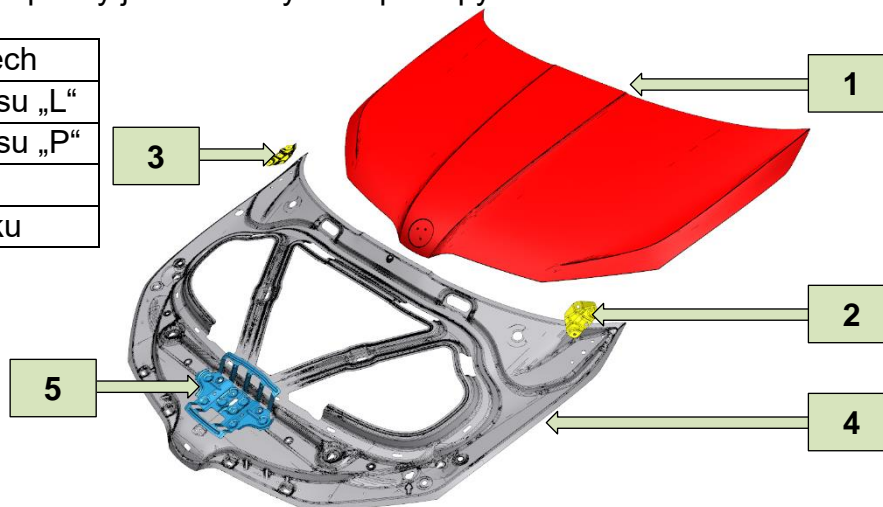
Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 2: Modely vyráběné ve svařovně M14

Výrobní zařízení ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav

Pro demonstraci výrobního zařízení ve svařovnách je použita názorná ukázka výrobního toku při stavbě motorové kapoty pro model ŠKODA FABIA (SK26x) ve svařovně M14. Na obrázku 3 je vyobrazena motorová kapota v rozpadu na jednotlivé díly, v příloze 3 je výrobní linka motorové kapoty vizuálně vyobrazena a v příloze 4 jsou popsány jednotlivé výrobní postupy.

1	Povrchový plech
2	Výztuha závěsu „L“
3	Výztuha závěsu „P“
4	Vnitřní plech
5	Výztuha zámku



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

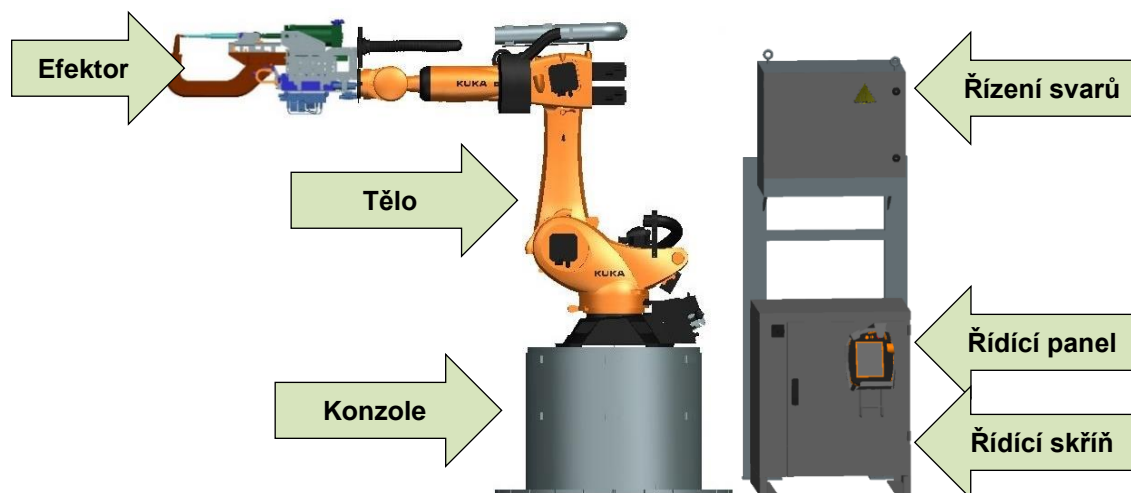
Obr. 3: Motorová kapota ŠKODA FABIA (SK26x)

1.1 Robotizace, automatizace výroby

Jak je patrné v příloze 3 na demonstrováné výrobní lince motorové kapoty, díky průmyslovým robotům je téměř celá výroba ve svařovnách automatizována. Momentálně je stupeň automatizace na relativně vysoké procentuální hodnotě 81 %. Většina výrobního procesu je v režii naprogramovaných průmyslových robotů, jejichž úkolem je nahradit při výrobě lidský kapitál, zejména při vykonávání opakujících se jednoduchých výrobních operacích, či při manipulaci s komponenty nebo materiálem. Vlivem tohoto faktu došlo v průběhu let ke značnému zvýšení kvality, efektivity a produktivity výroby.

Popis průmyslových robotů

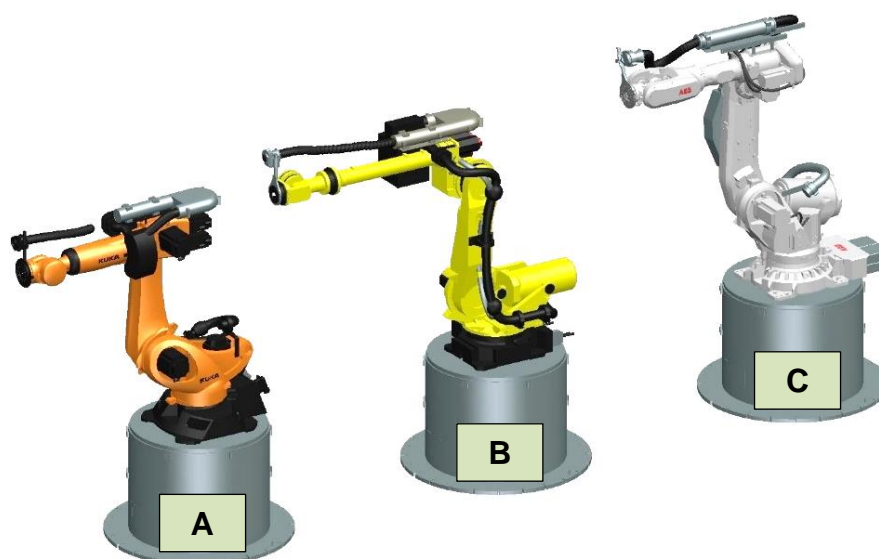
Pro stavbu karosérií se využívají šestiosé roboty (viz Obr. 4). Jejich typická konstrukce se skládá z pevných ramen a pohyblivých kloubů, které dohromady tvoří tělo robota. Dále je na robotu nasazen efektor, který slouží jako jeho pracovní nástroj - na obrázku 4 se jedná o odporové svařovací kleště. Poslední částí je usazení robota. Při usazení je nutné posuzovat prostorové možnosti a také výrobní požadavky. Možností pro usazení je hned několik. První a nejběžnější je stacionární usazení, v tomto případě je robot usazen na konzoli (viz Obr. 4). Další možností je upevnění na pojezdovou osu, díky které se stává robot z šestiosého sedmiosý a je pojízdný ve vzdálenosti, kterou určuje svými parametry délka osy. V příloze 3 je možné si prohlédnout dvě pojezdové osy na výrobní lince motorové kapoty ŠKODA FABIA (SK26x), nachází se na nich roboti č. 4, 6, 23. Toto upevnění je využíváno například v místě, kde je zapotřebí, aby robot zvládal operace, které má nadefinované na více místech. Pojezdové osy dodávají do ŠKODA AUTO a.s. společnosti F.EE GmbH, Kuka a Güdel, o výběru dodavatele rozhoduje cena. Ve výjimečných situacích může být robot upevněn k výškové konstrukci a viset směrem dolů, ovšem tento způsob uchycení, alespoň ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s., není zcela běžný. Roboti jsou ovládáni díky řídicím skříním, které se naprogramují přes řídicí panely. Roboti s efektozem v podobě odporových svařovacích kleští mají navíc zařízení na řízení svarů, které řídí parametry svařování (viz Obr. 4).



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s

Obr. 4: Popis průmyslového robota

ŠKODA AUTO a.s. využívá pro výrobu průmyslové roboty od tří renomovaných dodavatelů, všichni splňují technické požadavky a výběr je otázkou pořizovací ceny. Těmito dodavateli jsou německá technologická společnost KUKA, japonská společnost Fanuc a švédsko-švýcarská korporace ABB (viz Obr. 5). Dle účelu využití jsou roboti nakupováni s ohledem na nosnost a dosah. Nosnost se pohybuje v rozmezí od 210 kg do 600 kg, dosah dle délky ramene od 2 700 mm do 3 330 mm. V hale M12 se nachází přibližně 1100 průmyslových robotů a v hale M14 přibližně 1050. Životnost jednoho robota je odhadována na 50 000 motohodin.



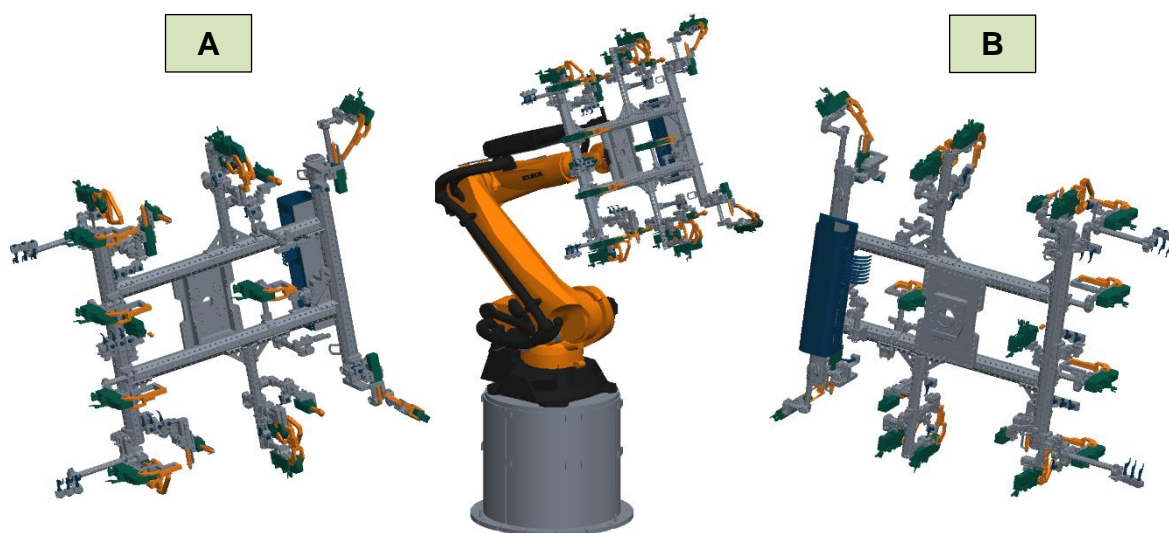
Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 5: Průmysloví roboti značky: Kuka (A), Fanuc (B), ABB (C)

Manipulační a uchopovací efektor

V příloze 3 na výrobní lince motorové kapoty pro model ŠKODA FABIA (SK26x) bylo patrné, že ve výrobním toku je velmi často zapotřebí přesouvat díly mezi výrobními operacemi. K těmto účelům je využíván tzv. chapač, který slouží jako manipulační a uchopovací efektor k průmyslovým robotům (viz Obr. 6).

Výhradním dodavatelem chapačů do svařoven ŠKODA AUTO a.s. je německá společnost TÜNKERS. Dle zadaných technických výkresů dojde k dodání kompletního chapače, připraveného k umístění na robota. Díky variabilitě plechových dílů na karosérii je každý chapač originál.

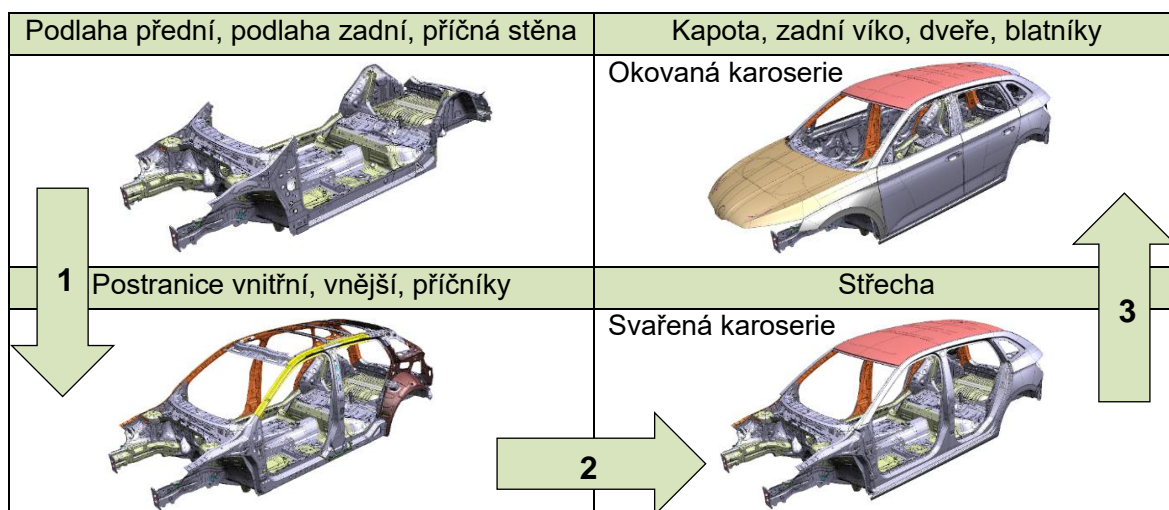


Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 6: Chapač od společnosti TŮNKERS, pohled zepředu (A) a zezadu (B)

1.2 Technologie stavby karosérie ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s.

Při stavbě karosérie je nutné brát ohled na rozdílné požadavky v případě stavby karosérie „svažené“ a karosérie „okované“. Svažená karosérie je nerozebíratelná a tvoří ji přední podlaha, zadní podlaha, příčné stěny, postranice a střecha. Karosérie okovaná je osazena panelovými díly, kterými jsou dveře přední, dveře zadní, motorová kapota, zadní víko a blatníky. Na obrázku 7 je demonstrován výrobní tok stavby karosérie na modelu ŠKODA SCALA (SK370/3).



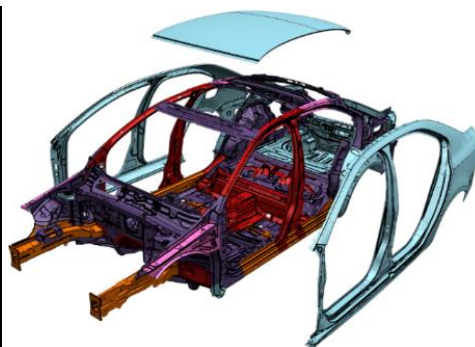
Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 7: Stavba karosérie - ŠKODA SCALA (SK370/3)

Karosérie v Mladé Boleslavi jsou stavěny z ocelových plechů s rozdílnými specifickými vlastnostmi vhodnými pro každý díl karosérie individuálně. Vlastnosti ocelových plechů použitých na stavbu karosérie svařené musí zaručovat výslednou vysokou pevnost a odolnost vůči namáhání, aby zajistily maximální ochranu posádky. Jiné požadavky jsou kladeny na ocelové plechy pro díly na karosérii okovanou, která utváří výsledný design vozu. Pro tyto plechy je velmi důležitou vlastností zejména dobrá plasticita, z důvodu dobré tvárnosti.

Ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. jsou na karosériích používány ocelové plechy o tloušťce přibližně od 0,7 mm do 3 mm. Na obrázku 8 je pro příklad vyobrazen materiálový koncept svařené karosérie modelu ŠKODA OCTAVIA (SK371).

LSS	Hlubokotažná ocel <200 MPa	21,2 %
HSS	Vysokopevnostní ocel 200-400 MPa	33,6 %
UHSS	Ultra vysokopevnostní ocel 400-700 MPa	16,2 %
AHSS	Ultra vysokopevnostní ocel 700-1000 MPa	2,9 %
PHS	Za tepla tvářená vysokopevnostní ocel 1000-1200 MPa	26,1 %



Zdroj: www.mmspektrum.com

Obr. 8: Materiálový koncept karosérie modelu ŠKODA OCTAVIA (SK371)

Spojovací technologie

Po výběru vhodného materiálu pro stavbu karosérie je dalším důležitým článkem výrobního procesu použití vhodné spojovací technologie, aby byla výsledná karosérie pevná a zabezpečila maximální ochranu posádky. Při stavbě karosérie je využito hned několik metod spojování. V tabulce 1 jsou uvedeny metody spojování použité při stavbě karosérie modelu ŠKODA FABIA (SK26x), níže v podkapitolách 1.2.1 až 1.2.3 jsou tyto spojovací technologie podrobněji rozepsány.

Tab. 1: Spojovací technologie karosérie ŠKODA FABIA (SK26x)

Technologie	FABIA (SK26x)
Bodové odporové svařování [ks]	3 884
MAG svařování [mm]	1 658
MIG pájení [mm]	903
Laserové pájení a svařování [mm]	4 425
Lepení [mm]	35 399

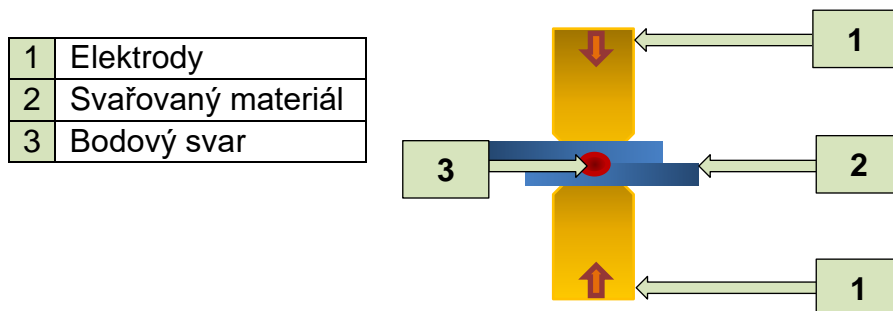
Zdroj: MM Průmyslové spektrum, 2017/7

1.2.1 Svařování

„Svařování je proces vytváření nerozebíratelných spojů (svarové spoje) prostřednictvím meziatomových vazeb mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, nebo při společném působení obou faktorů.“ (Vrabec a kol., 2015, str. 34)

Bodové odporové svařování

Jedná se o technologii spojování plechů, která má v automobilovém průmyslu při stavbě karosérií největší zastoupení. Využívá se ke spojení dvou až čtyř ocelových plechů. Na obrázku 9 je naznačen princip této metody.



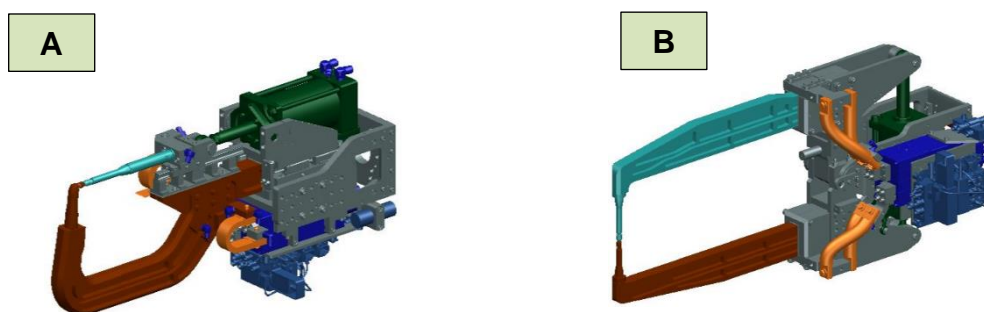
Zdroj: www.schinkmann.cz

Obr. 9: Bodové odporové svařování

Metoda bodového odporového svařování je založena na využití odporového tepla vznikajícího při průchodu svařovacího proudu mezi svařovanými plechy. Proces je velmi rychlý a není zde zapotřebí přídavného materiálu. Princip je následující - plechy jsou vloženy mezi dvě měděné elektrody, které jsou napájeny ze sítě pomocí transformátoru a jsou chlazené vodou. Pomocí přitlačných ramen, na kterých jsou elektrody připevněny, dojde k přitlačení elektrod k sobě. Souběžně dojde k přitlačení svařovaného materiálu. Po zapnutí proudu vznikne teplo přímo ve spojovaných dílech a je kumulováno výhradně v přechodných oblastech v místech styku svařovaných plechů. Důvodem je, že v tomto místě je na základě Jouleova zákona největší přechodový odpor. Je-li materiál dostatečně nataven, dojde působením tlaku ke vzniku svaru. (Novotný a kol., 2006)

Odporové svařovací kleště

Bodové odporové svařování lze velmi dobře robotizovat. Je k tomu zapotřebí osadit robota efektozem v podobě odporových svařovacích kleští, kterých je ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s. více než sto druhů. Na obrázku 10 jsou pro ukázkou uvedeny kleště typu C a X. Toto označení je odvozeno z tvaru konstrukce. Kleště C tvoří konstrukce připomínající stolařskou svěrku a kleště X nůžkovou konstrukci. Dodavatelem odporových svařovacích kleští do svařoven ŠKODA AUTO a.s. jsou německé společnosti Düring Schweisstechnik a NIMAK GmbH.



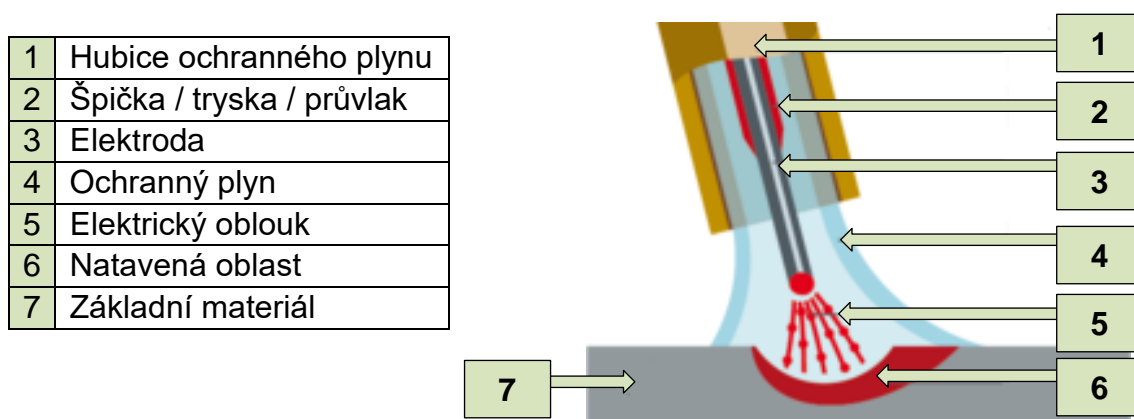
Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 10: Svařovací kleště typu C (A) a X (B)

MAG svařování

MAG neboli Metal Active Gas je technologie obloukového svařování tavící se elektrodou v aktivním ochranném plynu (účastní se metalurgických procesů ve svarové lázni). U této technologie je využíváno stejnosměrného i střídavého svařovacího proudu. Jako elektroda slouží drát, který je zároveň přídavným

materiálem. Ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s. je používán poměděný drát G3Si1. Princip MAG svařování je následující (viz Obr. 11) - elektroda je pomocí kladek přisouvána do svařovacího hořáku. Po doteku elektrody a svařovaného plechu začne elektrický oblouk hořet mezi elektrodou (drátem) a svařovaným materiálem. Z centrálního rozvodu je přiváděn do svařovacího hořáku ochranný plyn, který chrání část svarové housenky a svarovou lázeň před okolní atmosférou. Ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s. je jako ochranný plyn používán Corgon 18, který je tvořen z 82 % Ar a 18 % CO₂. Tuto metodu lze díky průmyslovým robotům snadno automatizovat, svařovací hořák je tedy možné do místa svaru dopravit manuálně s pomocí svářeče nebo pomocí průmyslového robota. (Novotný a kol., 2006)



Zdroj: www.lorch.eu

Obr. 11: MAG svařování

Metoda CMT

V dnešní době je stále rozšiřejnější svařovací metoda CMT (Cold Metal Transfer), vyvinuta rakouským výrobcem svářecí techniky, společností FRONIUS International GmbH. V překladu znamená „přenos studeného kovu“ a jedná se o inovaci metod MIG/MAG svařování. Metoda MIG svařování (Metal Inert Gas) v této práci uváděná není, jelikož není při stavbě karosérií ve ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi využívána. Oproti klasickým metodám MIG/MAG je elektrický oblouk mnohem stabilnější a snížilo se vnosené teplo, díky této skutečnosti je metoda vhodná pro svařování tenkých plechů. Při této metodě je využit pohyb kmitavého drátu, kde při dopředném pohybu dojde ke zkratu mezi drátem a tavnou lázní. Při zkratu je drát následně ve zpětném pohybu a díky tomu dojde k přenosu přídavného materiálu a vzniká tak svar (viz Obr. 12). (Technologický týdeník, 2006)



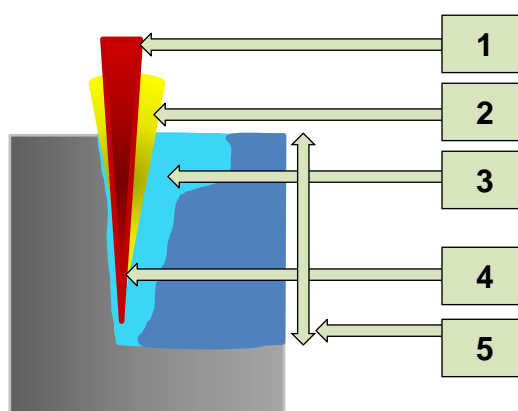
Zdroj: www.fronius.com

Obr. 12: CMT svařování

Laserové svařování

Jedná se o jednu z nejmodernějších technologií. Metoda je velmi efektivní, rychlá a díky nízké hodnotě vneseného tepla je svařenec minimálně deformován, proto je laserové svařování vhodné při potřebě precizních svarů. Slovo LASER je akronymem z anglického „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“, který v překladu znamená „zesilování světla stimulovanou emisí záření“. Na obrázku 13 je vyobrazen princip laserového svařování, který funguje následovně - pomocí optiky je paprsek z laseru zaostřen do bodu svaru a stává se z něho kapilára, ze které vycházejí plyny, které brání uzavření svarové lázně. Do taveniny se z laserového paprsku dostává energie pomocí stěn kapiláry, jejichž tvar ovlivňuje plazma na povrchu. Díky velké koncentraci energie vzniká efekt zvaný „key hole“, který utváří hluboký a úzký svar. Při svařování ocelových plechů, které jsou tenké 5 mm a více, je používáno tzv. hybridní svařování. Při této metodě dojde pomocí laserového paprsku k hlubokému ohřátí a elektrický oblouk zajistí vyplnění prostoru svaru. (LAO, 2013)

1	Laserový paprsek
2	Plasma
3	Roztavený materiál
4	Keyhole
5	Hloubka svaru



Zdroj: www.lao.cz

Obr. 13: Laserového svařování

1.2.2 Pájení

„Pájením se nerozebíratelně metalurgickou cestou působením vhodného zdroje tepla, spojují stejné nebo různé kovové materiály (popř. i s nekovy) pomocí přídavného materiálu – tzv. pájky, která má odlišené chemické složení a nižší bod tavení, než základní (pájený) materiál.“ (Novotný a kol., 2006, str. 158)

MIG pájení

V případě MIG pájení je jako ochranná atmosféra používán inertní plyn. Pro přídavný materiál je důležité, aby jeho teplota tavení byla nižší než v případě spojovaného materiálu. Při pájení nedochází k natavení pájeného materiálu, ale spoj je zajištěn difusí mezi pájeným materiálem a pájkou. Tato metoda je vhodná pro méně namáhané spoje, jelikož oproti svařování mají spoje nižší pevnost. MIG pájení je vhodné ke spojování pozinkovaných plechů, jelikož díky menšímu vnesenému teplu nedochází k vypalování zinku. Při stavbě karosérií ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. je jako přídavný materiál využíván pájecí drát CuSi3 a jako ochranný plyn pouze argon.

Laserové pájení

Stejně jako u metody MIG pájení nedochází ani v případě laserového pájení k natavení pájeného materiálu. Proces probíhá zcela bezkontaktně, úzký laserový paprsek taví přídavný materiál neboli pájku, a vzniká spoj. Díky úzkému laserovému paprsku je spoj precizní a již není třeba ho dále opracovávat, je tedy připraven na další krok při stavbě automobilu, na lakování. Pájka může být ze slitiny cínu, či mosazi.

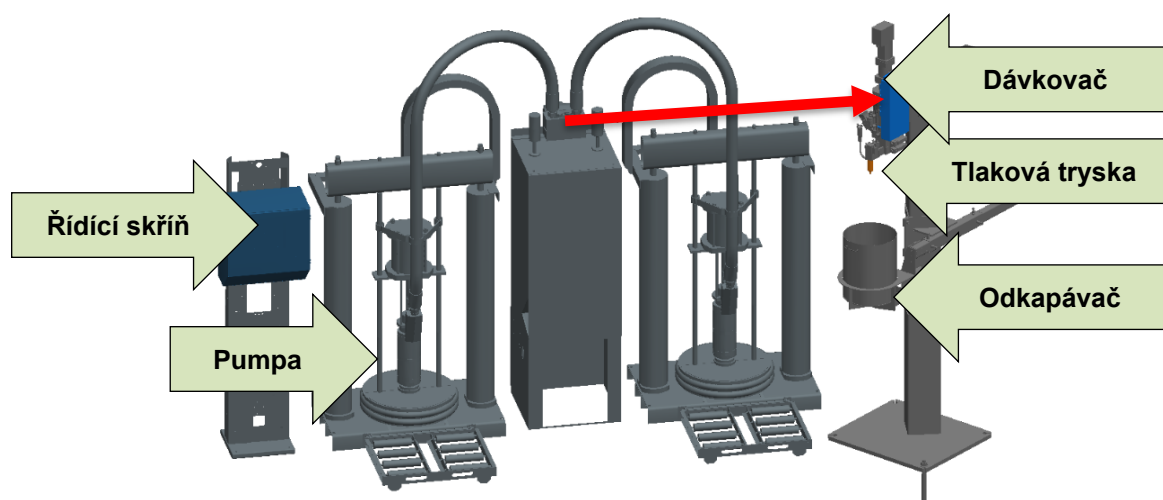
1.2.3 Lepení

Lepení má při stavbě karosérie stále větší zastoupení. Výhodou lepení oproti svařování či pájení je například odolnost vůči korozi, či dobré izolační vlastnosti. Naopak nevýhodou jsou technologické nároky. Ve ŠKODA AUTO a.s. jsou používány dva druhy lepidel. Lepidla kaučuková - butilkaučuk, která díky dobrým antivibračním vlastnostem slouží jako těsnící. Tato lepidla jsou využívána například pro vnitřní výztuhy kapoty, či střechy. Druhou skupinou jsou lepidla na bázi epoxidová pryskyřice¹, která slouží jako lepidla pevnostní a navyšují celkovou tuhost

¹ Při zahřátí epoxidového lepidla je uvolňován velmi těkavý kyanovodík (HCN), z tohoto důvodu není vhodné například kombinovat svary s pevnostními lepidly.

karosérie. Využívají se zejména na lemové spoje v případě panelových dílů. Zařízení, které nanáší housenku lepidla do místa spoje, může být obsluhováno operátorem výroby – ruční lepení. Dále pomocí průmyslového robota – robotické lepení, v tomto případě je housenka lepidla nanášena na spojovaný materiál pomocí lepícího efektoru na robotovi. Třetí možností je stacionární lepení, při kterém je slepovaný materiál dopraven k zařízení nanášejícímu housenku lepidla pomocí uchopovacího manipulátoru připevněnému na robotovi. Na obrázku 14 je vyobrazena řídicí skříň a pumpy, tato dvě zařízení jsou stejná pro všechny tři varianty lepení, zařízení v pravé části obrázku slouží pro variantu stacionárního lepení. Dodavatelem lepících systémů do ŠKODA AUTO a.s. je švédská společnost Atlas Copco. (Pilvousek, Roleček, Šanovec, 2017)

Pozn.: Na obrázku 14 není naznačena hadice, která pomocí pumpy přivádí lepidlo do dávkovače, proto je nahrazena naznačením v podobě červené šipky.



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 14: Automatické stacionární lepení

1.2.4 Lemování

Proces lemování byl uveden v příloze 3 při demonstraci výrobního toku motorové kapoty pro model ŠKODA FABIA (SK26x). Jedná se o technologii, při které dochází obýbáním okrajů dílů k zaoblení a zpevnění ostrých hran. V uvedeném příkladě došlo k předlemování v problematické oblasti světel. Lemování je při stavbě karosérie obecně využíváno v případě panelových dílů a blatníků. Lemování povrchových a vnitřních dílů probíhá v geometrické stanici pomocí válečků na robotovi, nebo v hydraulickém lisu.

2 Průmysl 4.0

Pojem „Průmysl 4.0“ je označení pro čtvrtou průmyslovou revoluci, jejíž počátky jsou datovány k roku 2011. Předchozí, tedy třetí průmyslová revoluce, znamenala automatizaci jednotlivých výrobních procesů, které byly sice automatizované, ale stále izolované od ostatních výrobních procesů. Čtvrtá průmyslová revoluce přináší zcela nový pohled na průmyslovou výrobu. Důvodem jsou kyberneticko-fyzikální systémy, které jsou hlavním znakem této revoluce. S jejich nástupem dochází ke zcela inovativnímu řízení výroby, plánování materiálových toků, či řízení logistických skladů. Základním nástrojem Průmyslu 4.0 je internet věcí, který má za úkol propojovat zařízení za pomoci bezdrátového internetu, díky čemuž spolu mohou vzájemně komunikovat a spolupracovat. V realitě tento model znamená komplexní propojení všech výrobních procesů a vznik tzv. digitální továrny. (Mařík, 2016)

Digitální továrna

Pod termínem digitální továrna si lze představit kopii výrobního procesu v digitálním světě, na které je možné plánovat výrobu, simulovat výrobní operace a optimalizovat výrobní procesy již ve fázi plánování. Pro výrobní společnosti to znamená snížení nemalých budoucích výdajů při změnách po náběhu výroby. Odhaduje se, že náklady na změny jsou 1:10 ve fázi plánování a 1:1000 při výrobě. Vlivem digitální továrny lze zvyšovat efektivitu, produktivitu a kvalitu výroby. Dále lze odhalovat úzká místa ve výrobě, či zvyšovat šetrnost výrobního procesu vůči životnímu prostředí.

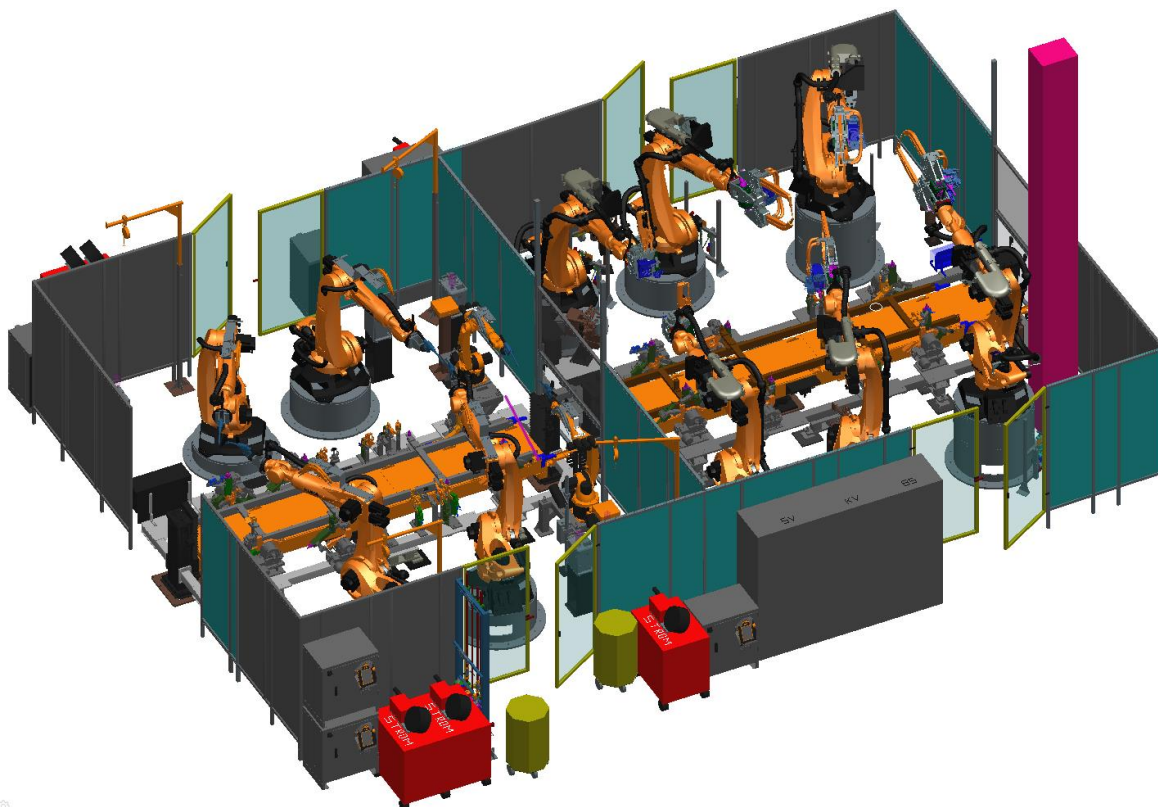
Pro digitální továrnu jsou vyvíjeny specializované softwarové systémy, díky kterým lze zařadit digitální továrnu do životního cyklu výrobku (PLM - Product Lifecycle Management). PLM systémy obsahují kompletní informace od konceptu produktu, přes výrobu, prodej zákazníkovi, následný servis po dobu užívání, až po likvidaci. Zavedení takového systému ve firmě je velmi dlouhý a nákladný proces, který s sebou nese mnoho změn, včetně personálních.

2.1 Tecnomatix – komplexní řešení digitální továrny

Ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s. jsou využívány jako komplexní řešení digitální továrny nástroje Process Designer a Process Simulate, které jsou obsaženy v softwarovém balíku Tecnomatix, který je vyvíjen společností Siemens PLM.

2.1.1 Process Designer

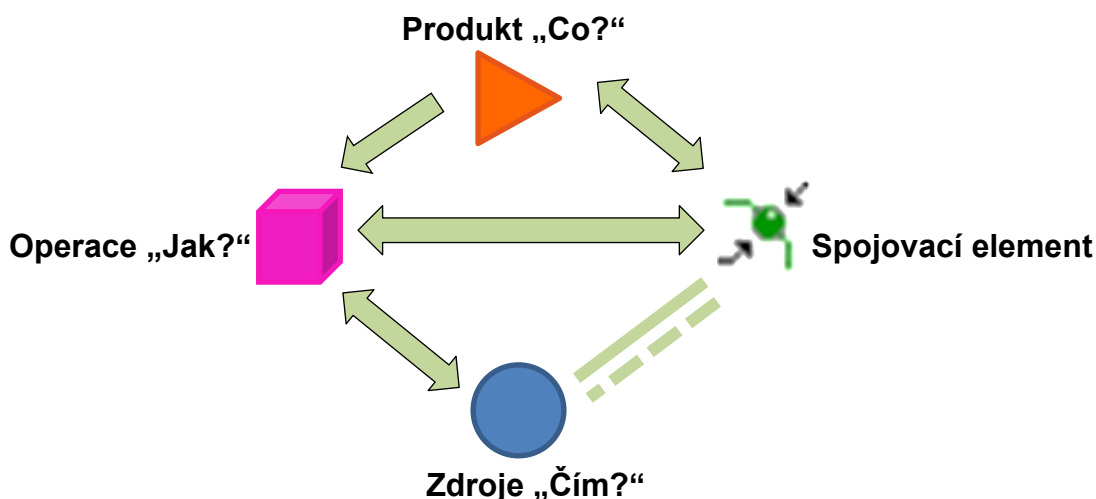
Základním nástrojem digitální továrny v rámci svařoven ŠKODA AUTO a.s. je Process Designer. Tento software slouží k plánování výrobního systému. Lze v něm také zobrazovat 3D vizualizace výrobních linek (viz Obr. 15) nebo výsledný produkt.



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 15: Vizualizace výrobní linky v systému Process Designer

Při plánování výroby dochází v Process Designeru k propojení několika typů dat, která jsou rozdělena logicky, dle jejich charakteru. Prvně je nutné si určit vyráběný produkt, jsou tedy zapotřebí „produktová data“. Poté je stanoveno, pomocí jakých zdrojů bude produkt vyráběn, jsou tedy zapotřebí „zdrojová data“. A v konečném důsledku je nutné vědět, jak bude produkt vyráběn, k tomu slouží „výrobní operace“, na které se vážou spojovací elementy, tzn. informace o použité spojovací technologii. Poslední otázkou, na kterou je zapotřebí znát odpověď: „Kde bude produkt vyráběn?“ K těmto účelům slouží 2D výkresy výrobních hal neboli layouty. Takto rozdělená data vytváří tři samostatné struktury, které jsou vzájemně provázány a dohromady se spojovacími elementy vytváří technologický kusovník (viz Obr. 16).



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 16: Provázanost struktur v systému Process Designer

2.1.2 Process Simulate

Pomocí nástroje Process Designer jsou tedy definovány produkty, operace a zdroje potřebné k výrobním procesům. Nyní je vytvořen statický model, na kterém je zapotřebí provést cílené simulace, aby bylo možné, například v případě robotů, ověřit kolize, dosažitelnost, či svařitelnost v různých pozicích. Pro provedení simulací je zapotřebí statický model výrobního zařízení kinematizovat. Pro tyto účely je ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s. využíván nástroj Process Simulate. Pomocí tohoto nástroje lze kromě simulací provádět například sledování časového průběhu výrobních operací pomocí Ganttova diagramu a odhalovat tak úzká místa ve výrobě a následně hledat vhodná nápravná opatření.

Virtuální zprovoznění

Pokud nedostačují simulace robotů, je žádoucí simulovat komplexní výrobní stanice. K tomu je zapotřebí definovat veškeré signály, pomocí nichž je výrobní stanice řízena. Dále je zapotřebí Process Simulate rozšířit o řídicí jednotku (PLC), díky které lze řídit reálné zařízení a jeho dvojče v podobě virtuálního modelu. Toto propojení přinese velké množství výhod, jelikož již ve fázi plánování lze na virtuálním modelu stanice naprogramovat veškerá zařízení, provést simulace a kontrolu PLC. Po zprovoznění reálného zařízení je teoreticky ihned možné začít vyrábět, jelikož bylo vše prověřeno na virtuálním modelu. Hlavní výhodou virtuálního zprovoznění je ušetřený čas při zprovoznění reálného výrobního zařízení. Ve ŠKODA AUTO a.s. byla analyzována časová úspora 2 až 4 týdny.

3 Laserové skenování

Aby bylo možné provádět na digitálních datech simulace, na jejichž výsledky se lze spolehnout, je žádoucí, aby data použita pro simulaci svojí polohou a plošnými proporcemi v maximální míře odpovídala své reálné předloze. Jak bylo zjištěno, konvenčními měřicími metodami tohoto stavu nelze dosáhnout. Tento problém lze řešit za pomoci tzv. mračen bodů (angl. Point Clouds), které jsou vyobrazeny pomocí milionů bodů získaných ze 3D laserových skenovacích systémů. Díky těmto systémům lze zaměřovat rozsáhlé výrobní plochy a po zpracování naměřených dat vzniklé mračno bodů využívat v systému Process Simulate při polohování CAD objektů výrobních zařízení v digitálních svařovacích linkách.

I přes existenci mnoha metod 3D skenování objektů, byla metoda 3D laserového skenování vybrána pro účely svařoven z několika důvodů. Data z laserových skenovacích systémů jsou velmi přesná a jejich sběr je v případě rozsáhlých výrobních ploch relativně rychlý, včetně následného zpracování.

3.1 Laserové skenovací systému dle způsobu sběru dat

V této podkapitole jsou rozděleny laserové skenovací systémy dle širokého uplatnění, jelikož pro individuální oblasti zájmu je zapotřebí zvolit vhodnou metodu.

Mobilní laserové skenování

Mobilní laserové systémy se pohybují celou dobu skenování, z toho důvodu jsou někdy označovány jako kinematické. Lze je umístit například na automobil, nicméně tato práce je zaměřena na svařovny ŠKODA AUTO a.s., a proto je třeba brát ohled na omezené prostorové možnosti. Na obrázku 17 je vyobrazen jeden z dostupných zástupců mobilních skenerů, vhodných pro skenování vnitřních prostorů - skenovací vozík M6 od společnosti NavVis.



Zdroj: www.navvis.com

Obr. 17: NavVis M6

Ruční laserové skenování

Jak je z názvu patrné, jedná se o laserové skenery nesené manuálně obsluhou. Na obrázku 18 je ruční mobilní laserový skener PX80 od společnosti Occipital (dříve Paracosm). Výhodou těchto skenerů je maximální mobilita, rychlost sběru dat a dosažitelnost, jelikož obsluha je součástí skenovacího zařízení.



Zdroj: geo-matching.com

Obr. 18: PX80

Pozemní laserové skenování

Pozemní neboli statické laserové skenování, je metoda, při níž je skener umístěn na stativu a otáčí se kolem své osy. Na obrázku 19 jsou vyobrazeny přístroje vyráběné jedním z největších výrobců 3D skenovacích zařízení, americkou společností FARO, v případě těchto dvou přístrojů je možné snímat oblast o rozsahu 360° vertikálně a 300° horizontálně. Výhodou této metody je velké procento automatizace při softwarovém zpracování naskenovaných dat.



Zdroj: www.faro.com

Obr. 19: FARO Focus S70 a M70

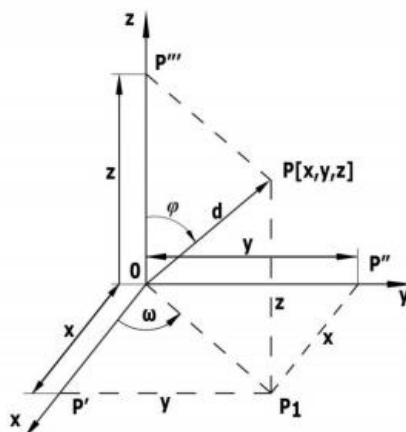
Letecké laserové skenování

Při tomto způsobu sběru dat je laserový skener upevněn na letadle, helikoptěře, či dronu. Tato metoda je ovšem pro následnou praktickou část bakalářské práce absolutně nevhodná, jelikož ve svařovnách jsou ve velké výšce dopravníkové

systemy. Z toho vyplývá, že ani dron by zde nenašel uplatnění, a proto se touto metodou dále práce nezabývá.

3.2 Princip laserového skenování

Dnešní laserové skenery fungují na principu měření vzdálenosti pomocí polárního určování souřadnic. Na obrázku 20 je vyobrazeno schéma principu polárního měření. Vysvětlení schématu je následující - pro zaměření souřadnic bodu P, je nutná znalost velikosti úhlů φ a ω , ty jsou určeny pomocí zrcadel² rozmítajících laserový paprsek. Druhým předpokladem je znalost měřené vzdálenosti d, ta je měřena elektronickým dálkoměrem společně s polohou zrcadel. (Štroner, Pospíšil, 2008)



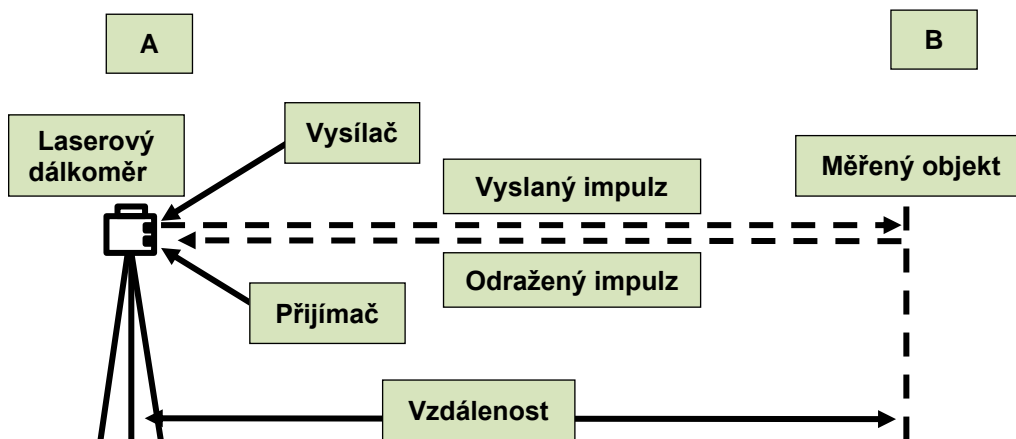
Zdroj: Štroner, Pospíšil, 2008

Obr. 20: Měření souřadnicových podů pomocí polární metody

Vzhledem k tomu, že předem neznáme vzdálenost měřených bodů, neměříme tedy ze známé základny, ale skener vzdálenost elektronicky vypočítává, mluvíme zde o terestrických skenovacích systémech.

Polárním určením souřadnic máme tedy zaměřenou vzdálenost a úhly na rastru celé skenované oblasti, díky této skutečnosti vznikne již zmiňované mračno bodů. Z dosavadního textu vyplývá, že terestrický laserový skener je sám o sobě dálkoměr. Na obrázku 21 je vyobrazen princip laserového elektronického dálkoměru. Dle principu zaměřování vzdálenosti bodů rozlišujeme dnešní laserové skenery na pulzní a fázové (Shan, Toth, 2018)

² Zrcadla budou vysvětlena v podkapitole 3.3.2



Zdroj: Shan, Toth, 2018

Obr. 21: Elektronické měření délky laserovým skenerem

Pulzní měření vzdálenosti

Princip je následující (viz Obr. 21) – z laserového dálkoměru je vyslán impulz, v momentě vyslání je spuštěna časomíra. Vyslaný impulz dorazí k objektu skenování, odráží se a vrací se zpět do přijímače laserového dálkoměru. V tento moment je zastavena časomíra a dojde k odečtení času (t). Jde o tzv. tranzitní čas, což je interval, za který se vyslaný impulz vrátí zpět do přijímače. (Shan, Toth, 2018)

Výpočet je dán prostým vzorcem: $R = \frac{v \cdot t}{2}$

R – šikmá vzdálenost, či rozsah; v – rychlost elektromagnetického záření;
 t – naměřený časový interval

Pozn. Jelikož je laserový paprsek koherentní, tudíž se šíří rychlostí světla, můžeme za „ v “ dosadit $3 \cdot 10^8$ m/s. (Štroner, Pospíšil, 2008)

Fázové měření vzdálenosti

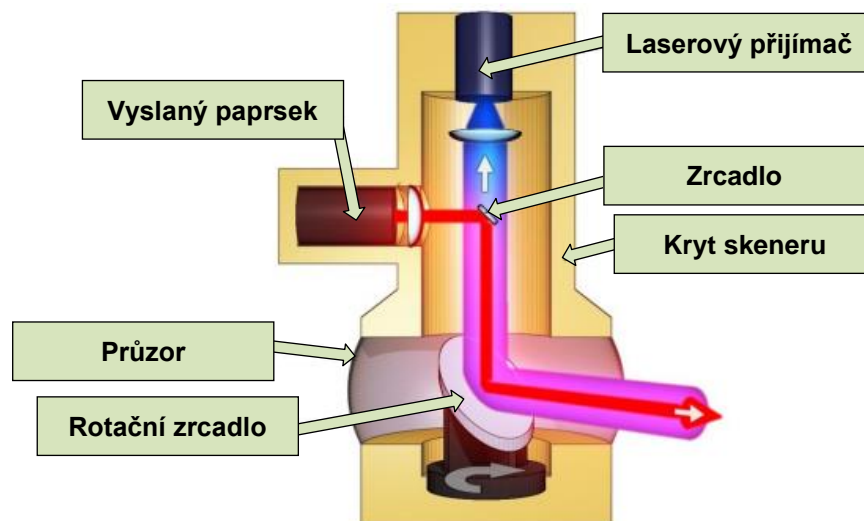
Pomocí této metody je měřena vzdálenost dle fázového rozdílu vzniklého vysláním a návratem signálu. V praxi to znamená, že z vysílače laserového dálkoměru je vyslána vlna s danou modulací λ . Vlna doletí ke skenovanému objektu, zde se odrazí a vrací se zpět do přijímače s fázovým posunem $\Delta\phi$. Z hodnot fázového posunu by poté bylo možné změřit vzdálenost, ovšem pouze za předpokladu, že modulová vlna bude delší než vzdálenost, kterou urazí paprsek. Tím by ovšem byly skenery, které využívají fázové dálkoměry omezeny pouze na měření krátkých vzdáleností. Aby bylo možné určit počet celých vyslaných vln, jsou z laserového dálkoměru vysílány vlny se dvěma až třemi diferencovanými modulacemi.

Výpočet je dán vzorcem: $R = \frac{(M\lambda + \Delta\lambda)}{2}$

R – šikmá vzdálenost, či rozsah; M – celkový počet vlnových délek;
 λ – hodnota vlnové délky; $\Delta\lambda$ zlomková část vlnové délky = $(\varphi/2\pi) \times \lambda$;
 φ = fázový úhel. (Shan, Toth, 2018)

3.3 Komponenty laserového skeneru

Na obrázku 22 jsou vyobrazeny komponenty, které obsahuje každý terestrický laserový skener, pod obrázkem jsou jednotlivé komponenty podrobněji popsány.



Zdroj: Hamerník, Bakalářská práce, 2012

Obr. 22: Laserový skener

3.3.1 Laser

Laser je kvantový zesilovač, který je díky svým vlastnostem pro skenovací systémy nejlepším možným řešením jako zdroj záření z několika důvodů. Laserové světlo je monochromatické, tedy kmitá pouze na jedné frekvenci. Dále je intenzivní a také koherentní, tedy například oproti klasickému světlu vyzařuje pouze jedním směrem. (Štroner, Pospíšil, 2008)

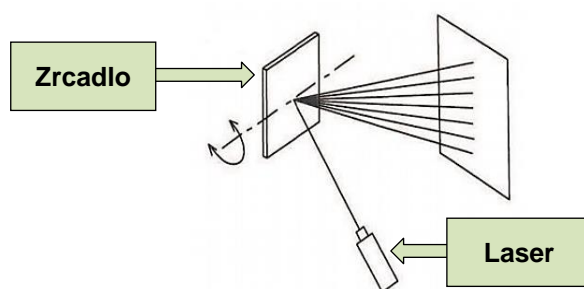
3.3.2 Optika - principy rozmítání laserových paprsků

Laserové paprsky jsou ze skenovacího zařízení vysílány napřímo, je proto zapotřebí je rozmítat, aby směřovaly do celého skenovaného rastru. Dnešní laserové skenery rozmítají paprsek pomocí zrcadel, hranolů či rotací zdroje.

Rotující zrcadlo

Laserový paprsek dopadá ze zdroje na zrcadlo a je rozmítán otáčením kolem jeho osy do prostoru (viz Obr. 23). Zrcadlo se otáčí krokově za velké rychlosti v tzv. cyklech. Znamená to, že je nutné nastavit vzdálenost, kterou laserový paprsek urazí mezi jednotlivými kroky při otáčení. Zároveň je nutné nastavit skenovací rozsah neboli cyklus. Například je zvoleno okolí v úhlu 150° , po spuštění skenování je paprsek logicky v 0° , začne se otáčet a když dojde na 150° , vrátí se zpět do původní pozice. Druhou možností je, že se bude otáčet o 360° a tím pádem se automaticky vrátí do původní pozice po ukončení cyklu. Nevýhodou zrcadel oproti metodě níže je tzv. slepnutí, což znamená, že v místě odrazu paprsku se postupně ztrácí odrazivost.

Pozn.: Pokud by došlo k přidání druhého zrcadla, paprsek by bylo možné vychylovat ve dvou osách. (Štroner, Pospíšil, 2008)

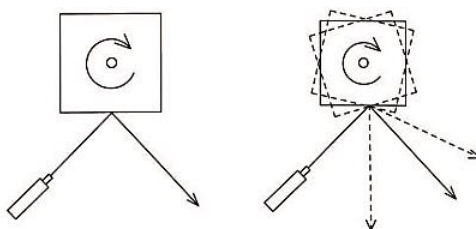


Zdroj: Štroner, Pospíšil, 2008

Obr. 23: Rotující zrcadlo

Optický hranol

Optický odrazný hranol může mít několik hran a většinou má tvar n-úhelníku. Hranol se také otáčí kolem své osy jako zrcadlo, ovšem oproti zrcadlu se otáčí stále dokola a nevrací se do původní pozice, pouze dochází k otočení přes hranu hranolu, díky čemuž je započat další cyklus (viz Obr. 24). (Štroner, Pospíšil, 2008)

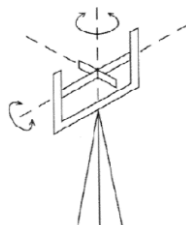


Zdroj: Štroner, Pospíšil, 2008

Obr. 24: Optický hranol

Rotace zdroje

Tento způsob rozmítání laserového paprsku funguje na stejném principu jako rozmítání paprsku pomocí dvou zrcadel natočených ve dvou osách. Rozdíl se nachází ve vychylování, ke kterému dochází natáčením celého zdroje (viz Obr. 25). (Štroner, Pospíšil, 2008)



Zdroj: KAŠPAR, M., a kol., 2003

Obr. 25: Rotace zdroje

3.3.3 Přijímač

Vyslaný paprsek je za pomoci zrcadla, či hranolu rozmítán do prostoru. Dolétne ke skenovanému objektu, odráží se od něho a následně se vrací zpět do přijímače. V přijímači se nachází čočka, která soustředí příchozí paprsek do úzkého bodu. V tomto bodě nastává proměna paprsku v elektrický náboj pomocí fotoelektrického prvku, jehož základem je CCD snímač. Jedná se o polovodičovou součástku, která slouží pro snímání obrazové informace. Uplatnění CCD snímače je také například v digitálních fotoaparátech, či kamerách. (Štroner, Pospíšil, 2008)

3.4 Zpracování naskenovaných dat

Výstupem z laserových systémů je mračno bodů. To ovšem není finální produkt, který je připraven k použití. Jedná se totiž o „hrubě“ naskenovaná data, která je zapotřebí dále zpracovat. Nejprve je nutné očištění dat od nežádoucích elementů, kterými jsou například odrazy osob ve skenovaném prostoru nebo body, které nejsou žádoucí. Dále je zapotřebí data filtrovat a tím utlumit šum. V praxi to znamená filtraci chybně, či nechtěně zaměřených objektů s hladkých povrchem. Poslední fází při očišťování je redukce dat, v této fázi dojde ke smazání odlehlých bodů, které nesouvisí s naskenovanou oblastí. (Štroner, Pospíšil, 2008)

Nyní jsou data očištěna, ovšem s ohledem na rozsah skenované oblasti (v případě této bakalářské práce s ohledem na svařovací linky) není možné provést skenování pouze z jednoho místa. Skenování tedy probíhá z více prostorových pozic, čímž

vzniká několik mračen bodů s individuálními souřadnicovými systémy. Nyní je zapotřebí určit vzájemný prostorový vztah, který se nazývá „registrace“. Tato činnost je prováděna v softwarových aplikacích, díky kterým dojde k propojení souřadnicových systémů mračen bodů do jednoho celku, tedy jednoho souřadnicového systému. Tomuto procesu se říká „transformace“.

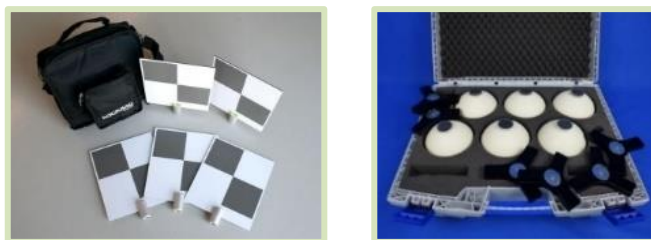
Počáteční „hrubé“ umístění skenů může být odvozeno například od GPS, kompasu, inkometru či výškoměru, které mají laserové skenery zabudovaný. Nicméně pro přesnou polohu je nutné skeny dodatečně vzájemně propojit a transformovat do jednotného souřadnicového systému. K tomuto účelu jsou využívány tzv. referenční body, jsou to objekty, na kterých lze jednoznačně určit geometrické souřadnice. Některé moderní skenery umí softwarově provést registraci v reálném čase díky multisenzorům, kterými jsou opatřeny. (FARO, 2019)

3.4.1 Referenční body

Při použití referenčních bodů pro propojení alespoň dvou souřadnicových systémů je nutná znalost souřadnic XYZ minimálně tří navzájem identifikovatelných bodů. Z matematického hlediska je to dostačující pro výpočet přesné polohy a orientace při skenování. Čím větší bude znalost referenčních bodů, tím bude registrace přesnější. Z hlediska polohy referenčních bodů je nutné jejich rozmístění v rozdílných vodorovných i svislých osách vůči skenovacímu zařízení. Pro ukázkou jsou uvedeny referenční objekty, které používá společnost FARO. (FARO, 2019)

Umělé referenční body

Do této skupiny patří v případě společnosti FARO referenční body v podobě terčů a koulí (viz Obr. 26). Výhodou terčů je použitý materiál, jelikož v případě potřeby je lze vytisknout doma na obyčejný papír. Při skenování v případě použití terčů nesmí být úhel skenování menší než 45° . Aby bylo možné zaměřit střet šachovnicového terče, je předpokladem zaměření nejméně čtyř bodů v každém poli, poté je na základě kontrastu určen střed referenčního terče. Referenční koule mají oproti terčům výhodu, jelikož je lze skenovat ze všech úhlů. Pro výpočet středu musí být zaměřeno minimálně šedesát bodů. (FARO, 2019)



Zdroj: www.surveyequipment.com

Obr. 26: Umělé referenční body FARO

Přirozené referenční body

Jako přirozené referenční body lze využít hrany skenovaných objektů, či rohy skenovaného prostředí. Jejich použití je ovšem méně přesné než v případě použití terčů či koulí. Využívají se při registraci v aplikaci označováním referenčních bodů v případě, že umělý není k nalezení. (FARO, 2019)

3.4.2 Výsledný produkt laserového skenování

Po transformaci je hotové mračno bodů, které pokud je ve správném formátu³, je možné nahrát v systému například Process Simulate společně s CAD daty a porovnat tak reálný stav vyobrazený na mračnu bodů s digitálními daty (viz Obr. 27). Pokud je mračno bodů v jiném formátu – většina výrobců skenovacích systémů má vlastní, je zapotřebí použít jednu z mnoha konvertovacích aplikací.



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Obr. 27: Mračno bodů s CAD daty v systému Process Simulate

³ V systému Process Simulate je nutné mít mračno bodů ve formátu „POD“.

4 Analýza laserových skenerů pro svařovny ŠKODA AUTO a.s.

Ve výrobním prostředí jsou kladeny neustálé nároky na snižování nákladů, při současném zvyšování kvality a efektivity výroby. Tento fakt platí též pro automobilový průmysl a dotýká se veškerých výrobních úseků, včetně svařoven. Jednou z možností, jak ušetřit čas i finance při stavbě karosérií, je navýšení efektivity při plánování výrobních linek. Jedním z dílčích nástrojů, které přispívají ke zlepšení, jsou 3D laserové skenery a jejich produkty – mračna bodů. Využití laserových skenerů ve svařovnách bylo objasněno ve 3. kapitole teoretické části práce. Z tohoto důvodu je zde tato pasáž již opomenuta a následuje přímá návaznost na současný stav poznání laserového skenování ve svařovnách ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi.

Doposud byly ve svařovnách uskutečněny dva projekty 3D laserového skenování. První projekt, při kterém došlo k naskenování svařovny M12, proběhl v roce 2017. Poté v letošním roce 2019 proběhl druhý projekt, při kterém byla naskenována svařovna M14. V obou případech vyhrála výběrové řízení pro provení skenování společnost Prima Bilavčík s.r.o., se sídlem v Uherském Brodě. Společnost využila pro skenování obou projektů přístroje vyráběné společností FARO, modelovou řadu Focus, z důvodu vhodného využití pro laserové skenování rozsáhlých objektů s maximální přesností. Skenování probíhalo výhradně o víkendech, jelikož stavba karosérií probíhá ve třísměnném nepřetržitém provozu a výrobní linky jsou odstavovány pouze v tyto dny. Bylo tedy nutné oba projekty rozdělit na etapy a naplánovat je na několik měsíců dopředu. Během jedné víkendové etapy bylo naskenováno cca 2500 – 3000 m². Po každé etapě byla naskenovaná data minimálně tři týdny zpracovávána. K předání očištěných, registrovaných dat v požadovaném formátu docházelo přibližně tři až čtyři týdny po naskenování. Dle specialisty ze společnosti Prima Bilavčík s.r.o. je časová náročnost na zpracování naskenovaných dat jednou tak delší než samotné skenování.

Skenování externí firmou s sebou přineslo výhody v podobě skenů, vyhotovených dle technického zadání ze strany ŠKODA AUTO a.s., připravených k použití bez jakéhokoliv dodatečného zpracovávání. Nicméně z důvodů neustálých změn týkajících se vybavení výrobních linek, jsou tato data použitelná pouze z krátkodobého hlediska, neboť jejich stav v průběhu času přestává odpovídat

realitě. Realizace nového skenování externí společností po každé sebemenší změně nepřipadá v úvahu. V takovém případě je zapotřebí vytvoření nového projektu, který je časově velmi náročný a obnáší vyhotovení technického zadání, poptání externích společností a následné vyčkávání na výsledky výběrového řízení, které je v režii oddělení nákupu.

Vzhledem k výše zmíněným skutečnostem je žádoucí, aby svařovny disponovaly vlastním skenovacími zařízeními. Poté bude možné realizovat skenování při individuálních změnách ve výrobních linkách v reálném čase a následně při rychlém zpracování disponovat skeny v řádech několika hodin. Důležitým aspektem je také úspora peněžních prostředků, jelikož naskenování výrobní haly, jakou je například M14 (71 600m²), vyjde v řádu na několik jednotek milionů korun.

Další část bakalářské práce je přímou reakcí na výše popsany problém. Cílem je analyzovat vybrané 3D laserové skenery a následně vyhodnotit nejlepší z porovnávaných přístrojů, který bude vhodný k využití skenování svařovacích linek.

4.1 Představení vybraných laserových skenerů

Při výběru zařízení vhodných k analýze laserových skenerů pro uplatnění ve svařovnách, byly stanoveny otázky (viz Tab. 2), které vzešly společně s odpověďmi z proběhlých odborných konzultací se specialisty mladoboleslavských svařoven ze společnosti ŠKODA AUTO a.s.

Tab. 2: Analýza požadavků na laserové skenery

K čemu budou naskenovaná data sloužit?	Data budou sloužit jako podklady pro plánování výrobních linek, pro simulace průmyslových robotů a pro kontrolu 3D dat. Je proto nutná maximální přesnost měření skenovacího zařízení.
Jak velké plochy budou skenovány?	Budou skenovány rozsáhlé výrobní plochy určené pro stavbu karosérií, které mají stovky m ² . Je proto nutné, aby vybraný skener disponoval dostatečným dosahem.
V jakých prostorech bude skenování probíhat?	Skenování bude probíhat v prostorách výrobních linek, kde jsou stísněné prostory. Je proto důležité, aby byl přístroj dostatečně mobilní. Dále je důležitá dostatečná odolnost přístroje vůči vnějším vlivům a možnost skenování za špatných světelných podmínek.
Musí být výsledná data s barevnou texturou?	Pro využití naskenovaných dat je důležitý maximální detail včetně zaznamenané barevné textury pro maximální realističnost výsledných dat.
Je nutné brát ohled na časovou náročnost skenování?	Ano, skenování bude probíhat ve výrobních úsecích, je proto nutné, aby skenování probíhalo velmi rychle a nemohlo ohrozit kontinuálnost výroby.

Zásluhou zodpovězených otázek (viz Tab. 2) byly po konzultacích vybrány tři přístroje, které splňují vzešlé specifikace. Do původního výběru bylo zařazeno sedm laserových skenerů, nicméně z důvodu omezeného rozsahu bakalářské práce byla po opětovných konzultacích provedena selekce a došlo k zúžení výběru na konečné tři přístroje. Zvolené skenery byly pro analýzu vybrány nikoli výhradně s ohledem na položené a zodpovězené otázky (viz Tab. 2), byl také brán zřetel na renomé společností vyrábějících dané přístroje. Výrobci vybraných skenerů patří mezi nejvýznamnější světové producenty těchto přístrojů, s relativně dlouhou tradicí na globálním trhu. Dalším faktorem určujícím výběr bylo zastoupení výrobců v České republice alespoň prostřednictvím autorizovaných prodejců. Jedná se totiž o důležitý faktor s ohledem na dostupnou zákaznickou podporu.

FARO Focus S350

Prvním ze zvolených zástupců byl přístroj vyráběný Americkou společností FARO, s ústředím na Floridě. Společnost založili roku 1981 dva společníci Simon Raab a Greg Fraser, kteří byli spolužáci v biomedicínském inženýrství na Univerzitě v Montrealu. Původní název společnosti nesl název Res-Tech. V průběhu osmdesátých let dvacátého století byla společnost přejmenována na FARO. A na trh byly uvedeny tři produktové řady založené na principu měřících ramen, určených pro využití ve zdravotnictví, konkrétně v oboru chirurgie.

Na začátku devadesátých let dvacátého století byla společnost přestěhována na Floridu a došlo ke změně cílové skupiny zákazníků. Společnost se začala namísto zdravotnictví specializovat na vývoj měřících systémů určených k uplatnění v oblasti průmyslu, která je od roku 1994 jedinou oblastí zájmu společnosti FARO. Dnes společnost působí na globálním trhu. V prodejní síti je přibližně 400 partnerských poboček působících na všech kontinentech. V České republice je zastoupena prostřednictvím tří autorizovaných společností, kterými jsou Prima Bilavčík s.r.o, GEOTRONICS Praha, s.r.o. a 3Dwiser s.r.o. (FARO)



Zdroj: www.tnt-tpi.com

Obr. 28: FARO Focus S350

Společnost má v portfoliu několik produktových řad, avšak pro analýzu byl vybrán laserový skener FARO Focus S350 (viz Obr. 28) z řady Focus. Tato řada se vyznačuje kompaktními, lehkými skenery s intuitivním ovládáním a velkým dosahem. Skener byl uveden na trh v roce 2016 a funguje na principu fázového posunu laserového paprsku. Mezi jeho hlavní benefity patří spolehlivost, přesnost měření ± 1 mm a velký dosah měření do vzdálenosti až 350 m. Na trhu patří mezi špičku zásluhou poměru výkonu a relativně dobré ceny. Díky HDR zpracování obrazu a HD fotografickému rozlišení zajišťuje přístroj výsledná mračna bodů s vysokou kvalitou i za špatných světelných podmínek. Splňuje stupeň krytí s označením IP 54. Skenovaná data jsou ukládána na paměťové SD karty. Dalším neopomenutelným pozitivem je automatická registrace skenů pomocí softwaru FARO® SCENE, která je umožněna pomocí zabudovaných senzorů, kterými jsou např. GNSS, barometr, kompas, sklonoměr a kompenzátor náklonu. Naskenovaná data je možné po dokončení skenování zobrazit na integrovaném dotykovém displeji, na kterém lze nastavovat parametry skenování. Nebo za pomoci připojení WLAN je možné využít vzdálené ovládání pomocí mobilního zařízení s podporou HTML5. (FARO)

Leica RTC360

Druhým vybraným skenerem byl přístroj vyráběný švýcarskou společností Leica Geosystems, jejichž počátky sahají až do roku 1819. Tato skutečnost je jedním z důvodů, proč byl pro analýzu vybrán právě produkt společnosti Leica Geosystems. Společnost se totiž vedle velmi kvalitních přístrojů, které se řadí mezi nejprodávanější na trhu, pyšní velmi dlouhou tradicí a historií. Původní společnost nesla název Kern & Co a byla založena Jakobem Kernem v Aarau, ve Švýcarsku. Společnost produkovala geodetické a fotogrammetrické přístroje. Velký milník přišel v roce 1921, kdy se na trhu objevila konkurenční společnost Wild Heerbrugg se sídlem v Heerbruggu, rovněž ve Švýcarsku. Jejimi zakladateli byli - Heinrich Wild, Jacob Schmidheiny a Robert Helbling. Společnosti se staly přímými konkurenty na trhu a jejich boj o nadvládu trval až do roku 1988. V tomto roce byla nakonec společnost Kern & Co společností Wild Heerbrugg prodána. Z Aarau byla výroba postupně přestěhována do Heerbruggu a roku 1991 zcela ukončena.

Mezitím v roce 1990 vznikla holdingová skupina Leica Group, která byla v průběhu devadesátých let rozdělena na tři nezávislé samostatné společnosti, které figurují na trhu dodnes. Jedná se o společnosti Leica Camera, Leica Geosystems a Leica Microsystems. Rozdělení bylo dáno dle cílových skupin zákazníků. Leica Geosystems je v návaznosti na Wild Heerbrugg zaměřena na geodetické nástroje, do kterých patří laserové skenery. Stejně jako v případě společnosti FARO má společnost Leica geosystems zastoupení na trhu v celosvětovém měřítku. Nicméně v České republice je zastoupení partnerských prodejen podstatně menší, neboť jediným autorizovaným prodejcem produktů Leica geosystems je zde společnost GEFOS a.s. (Leica geosystems)



Zdroj: www.mpsurvey.co.uk

Obr. 29: Leica RTC360

Vybraný přístroj pro analýzu nese název Leica RTC360 (viz Obr. 29). Skener patří k nejnovějším na trhu, neboť jeho uvedení proběhlo v roce 2018. Jedná se o profesionální skener, který je založen na principu pulzního posunu laserového paprsku. Mezi přednosti tohoto přístroje patří velmi vysoká rychlost měření, která dosahuje až 2 milionu bodů za sekundu. Naopak jeho slabinou je maximální dosah, který činí 130 m. Při skenování je využívána HDR technologie a skener je tedy vhodný pro použití v prostorech, kde jsou špatné světelné podmínky. Skener disponuje jednoduchým ovládáním na integrované dotykové obrazovce, a pokud jsou předvoleny žádoucí parametry pro aktuální skenování, lze započít snímání pouhým zmáčknutím jednoho tlačítka. Data jsou ukládána na flash disky kapacity 256 GB, které jsou součástí příslušenství. Pomocí WLAN připojení a aplikace Leica Cyclone FIELD 360, určené pro operační systémy iOS, či Android disponuje přístroj ovládáním se vzdáleným přístupem, prohlížením naskenovaných dat v reálném čase a automatickým určením polohy skenů. Pomocí softwaru Leica Cyclone REGISTER 360 je možné při následném zpracování provést díky vícenásobným algoritmům automatickou registraci mračen bodů. Skener je díky stupni krytí IP54 možné využít pro vnitřní i venkovní použití. (Leica geosystems)

Z+F IMAGER 5016

Posledním vybraným skenerem byl přístroj od společnost, která má také jako společnost Leica Geosystems evropské kořeny. Jedná se o společnost Z+F (Zoller & Fröhlich) a její založení je datováno do roku 1963. Vybudována byla Hansem Zollerem a Hansem Fröhlichem ve Wangenu v Německu. Roku 1975 zemřel Hans Zoller a společnost skončila ve vlastnictví rodiny Fröhlichů, kteří jsou majiteli do dnešních dnů. Společnost se specializuje na vysokorychlostní fázové laserové skenovací systémy. Začala je vyrábět v devadesátých letech, poté co syn Hanse Fröhliche, současný majitel Christoph Fröhlich dokončil v tomto oboru doktorát. Společnost disponuje třemi hlavními sídly – ve Wangenu v Německu, v Manchesteru ve Velké Británii a v Pittsburghu v USA. Další zastoupení na globálním trhu zaujímá prostřednictvím autorizovaných prodejců. V České republice má výhradní zastoupení společnost VIZIO spol. s r. o. Zařízení společnosti Z+F bylo pro analýzu vybráno s ohledem na více než půl století trvajícím působení na trhu, během kterého si vydobyla jméno díky kvalitním vysokorychlostním fázovým laserovým skenerům a velmi dobré zákaznické podpoře, na které si společnost zakládá. (Zoller + Fröhlich)



Zdroj: www.waps.net.au

Obr. 30: Z+F IMAGER 5016

Vybraný laserový skener je postavený na principu fázového posunu a nese název Z+F IMAGER 5016 (viz Obr. 30). Na trh byl uveden v roce 2017 a mezi hlavní technické benefity tohoto přístroje patří dosažitelnost do vzdálenosti až 360 metrů a velmi dobrá přesnost naskenovaných dat s nízkým šumem. Skener zaručuje velmi dobré pokrytí skenované oblasti, díky možnosti snímání dat 360° ve vertikální a 320° v horizontální poloze. Další předností tohoto přístroje je možnost využití při skenování ve stísněných prostorech díky minimální potřebné vzdálenosti skeneru od objektu, která činí pouhých 0,3 metrů. Zásluhou zabudované HDR kamery s vlastním přísvitem je dosaženo velmi dobrých výsledků skenování i v náročných světelných podmínkách. Dalším velkým plusem je interní uložení s kapacitou

128GB a možnost přenášení dat skrze SD kartu. Stejně jako předešlé dva skenery disponuje integrovaným displejem, na kterém lze přístroj ovládat nebo je možné využít možnosti vzdáleného ovládání. Skener je vybaven GNSS a dalšími integrovanými senzory, které umožňují díky systému „Blue Workflow“ registraci mračen bodů přímo v terénu, a to za pomoci dat zjištěných z navigace a nalezením identického prostoru, či pomocí referenčních bodů. (Zoller + Fröhlich)

4.2 Zhodnocení laserových skenerů dle určených parametrů

Všechny tři vybrané přístroje patří mezi nejmodernější zařízení na trhu. Každý z nich disponuje například kvalitní HDR kamerou, díky jejímž obrázkům jsou mračna bodů obarvována, dále relativně dobrou dosažitelností skenování, či dostatečnou přesností zaměření skenovaných dat. Pro zvolení skeneru, který bude disponovat nejlepšími parametry s ohledem na skenování svařovacích linek, bylo proto nutné provést důkladnější analýzu. Došlo k porovnání přístrojů dle parametrů rozdělených do tří kategorií, které vzešly taktéž z konzultací se specialisty svařoven ze ŠKODA AUTO a.s. Z hlediska technické specifikace pro snímkování byla první analýza zaměřena na technické parametry. Druhou analyzovanou oblastí byly operativní parametry, zde byly zkoumány například fyzické proporce, způsob archivace dat, či bezpečnost zařízení. Poslední analyzovaná kategorie byla provedena z hlediska ceny a poprodejní záruky.

Technické parametry skenování

Vybrané technické parametry laserových skenerů (viz Tab. 3) byly pro analýzu zvoleny s ohledem na vypovídací schopnosti týkající se kvality naskenovaných dat. Tato kategorie byla pro analýzu brána jako nejdůležitější, jelikož díky ní bylo možné určit, který ze třech vybraných laserových skenerů bude mít v porovnání s ostatními nejlepší parametry výstupních dat. Tím je myšleno data s maximální možnou přesností zaměření a také s dostatečným detailem skenovaných objektů.

Veškeré zdroje uvedené v analýze pramení z oficiálních specifikací výrobců vybraných přístrojů. Zvolení technických parametrů vhodných pro analýzu bylo velmi obtížné, jelikož je výrobci uvádějí velmi odlišně.

V Tabulce 3 jsou v prvním sloupci obsaženy vypsané analyzované parametry. Ve zbylých sloupcích jsou uvedeny konkrétní hodnoty parametrů příslušných analyzovaných skenerů. Za hodnotami parametrů jsou sloupce s označením

„BH“ (Bodové hodnocení). V tomto sloupci jsou přístroje dle vzájemného porovnání bodově ohodnocené na stupnici 1-3 (3 body značí nejvyšší ohodnocení). V posledním řádku tabulky následuje součet, který vzešel z hodnocení dílčích parametrů. Z něho je patrné, který analyzovaný skener dosáhl nejlepšího výsledku v dané oblasti. Tento princip platí také pro zbylé dvě kategorie - operativní a ekonomické parametry.

Tab. 3: Technické parametry skenování

	FARO Focus S350	B H	Leica RTC360	B H	Z+F IMAGER 5016	B H
Maximální rychlost skenování [bodů/s]	976 000	1	2 000 000	3	1 094 000	2
Zorné pole [horizontální/vertikální]	360° / 300°	2	360° / 300°	2	360° / 320°	3
Odrazivost (bílá/šedá/černá) [%]	90/10/2	2	89/21/8	1	80/37/14	3
Dosah min - max [m] Při max. odrazivosti	0,6 - 350		0,5 - 130		0,3 - 365	
Úhlová přesnost [úhlová vteřina]	19"	1	18"	2	14,4"	3
Délková přesnost - rozsah chybovosti [mm]	≤ 1,0 mm + 10 ppm	1	≤ 1,0 mm + 10 ppm	1	≤ 1,0 mm + 10 ppm	1
Prostorová přesnost na 10 m	2 mm	1	1,9 mm	2	0,8 mm	3
Úroveň šumu – Bílá	0,3 mm / 10 m 0,3 mm / 25 m	2	0,4 mm / 10 m 0,5 mm / 20 m	1	0,14 mm / 10 m 0,19 mm / 25 m	3
Úroveň šumu - Šedá	0,4 mm / 10 m 0,5 mm / 25 m		0,5 mm / 10 m 0,6 mm / 20 m		0,19 mm / 10 m 0,25 mm / 25 m	
Úroveň šumu - Černá	1,3 mm / 10 m 2,0 mm / 25 m		0,6 mm / 10 m 0,7 mm / 20 m		0,23 mm / 10 m 0,38 mm / 25 m	
Provozní teplota [°C]	+5 až +40	1	-5 až +40	2	-10 až +45	3
Celkový počet bodů	11		14		21	

Prvním zvoleným technickým parametrem byla rychlost skenování. Díky tomuto parametru je zjišťován počet sejmutých bodů za sekundu. Druhým vybraným parametrem bylo zorné pole, které určuje, kolik stupňů je skener schopný zachytit okolo sebe ve vertikální a horizontální poloze. Další vykazující parametr - dosah je v tabulce 3 uveden ve stejném barevném rozlišení společně s odrazivostí plochy. Důvodem je souvislost těchto parametrů. Různé druhy materiálů mají rozdílnou odrazivost, která je důležitá pro sílu signálu vyslaného zpět od objektu v poměru síly signálu, která na objekt dopadla. Maximální dosah značí maximální vzdálenost skenovaného objektu, naopak parametr minimální dosah značí minimální přípustnou vzdálenost skeneru od skenovaného objektu.

Další zvolené parametry mají vliv na přesnost naskenovaných dat. Patří mezi ně úhlová přesnost, která se týká přesnosti měření zenitových a vodorovných úhlu. A délková přesnost (rozsah chybovosti), která je definovaná společností FARO jako „*symetrická chyba měření v okolí 10 a 25 m*“. Tyto dva parametry ovlivňují výslednou prostorovou přesnost, která je dalším parametrem zahrnutým v analýze. Jedná se o přesnost zaměření jednoho bodu na skenovaném objektu. Vlivem chybného měření úhlové přesnosti, délkové přesnosti a následnou chybnou přesností zaměření jednoho bodu jsou do výsledných dat zaneseny chyby, které se souhrně nazývají úroveň šumu. Ty vypovídají o úrovni odchylek chybně zaměřených bodů na určitou vzdálenost při konkrétní odrazivosti skenované plochy.

Posledním zvoleným parametrem je pracovní teplota, která určuje rozsah teplot mezi nejnižší a nejvyšší povolenou mezní teplotou, při které může být přístroj používán.

Operativní parametry

Ve druhé kategorii byly analyzované skenery porovnávány dle operativních parametrů (viz Tab. 4). Jejich popis je stejně, jako v případě technických parametrů, uveden pod tabulkou. Do této kategorie byly zvoleny parametry z hlediska aplikačních vlastností přístrojů, které souvisejí přímo se samotným procesem skenování. Jedná se o mobilitu zařízení, ochranu před vnějšími vlivy, výdrž baterie, možnosti ovládání atd. Velmi důležitým parametrem v této kategorii je bezpečnost přístroje, jelikož při skenování výrobních prostorů je velké riziko pohybu osob v blízkosti zařízení.

Tab. 4: Operativní parametry

	FARO Focus S350	B H	Leica RTC360	B H	Z+F IMAGER 5016	B H
Bezpečnostní třída laseru	Laser třídy 1	1	Laser třídy 1	1	Laser třídy 1	1
Váha [kg] bez baterií	4,2	3	5,35	2	6,8	1
Rozměry [mm]	230 x 183 x 103	3	240 x 230 x 120	2	328 x 258 x 150	1
Výdrž baterie [h]	4,5	2	4	1	4	1
Uložení dat	SD, SDHC, SDXC; 32 GB	1	2x Leica MS256 - 256GB USB 3.0	2	128 GB SATA; 64GB SD	3
Ovládání přístroje	Dotykový displej, WLAN	1	Dotykový displej, WLAN	1	Dotykový displej, WLAN	1
Senzory pro navigaci	Barometr, sklonoměr, kompas, GNSS, kompenzátor náklonu	1	Barometr, sklonoměr, kompas, GNSS, kompenzátor náklonu	1	Integrovaný polohovací systém Barometr, sklonoměr, kompas, GNSS, kompenzátor náklonu	2
Stupeň krytí	IP54	1	IP54	1	IP54	1
Celkový počet bodů	13		11		11	

Prvním vybraným parametrem v této kategorii byla bezpečnostní třída laseru. Lasery jsou obecně rozdělovány do čtyř bezpečnostních tříd. Rozdělení je dáno dle míry rizika poškození zraku při používání přístroje, protože při soustředění paprsku na rohovku a sítnici oka může paprsek způsobit trvalé poškození zrakového ústrojí. Další dva parametry – váha a rozměry dávají dohromady vypovídací schopnost o mobilitě přístroje. Snadná manipulace je důležitá pro komfortní použití přístroje z pohledu obsluhy a možnosti využití přístroje ve stísněných prostorech.

Následující parametry jsou důležité pro samotnou obsluhu skenovacího zařízení. Jedná se o výdrž baterie, která je zde uvedena s předpokladem plně nabitých baterií při zahájení skenování. Dále do této skupiny patří možnost uložení dat a potřebné medium pro jejich archivaci a možnosti ovládání přístroje, které vypovídají o možnostech nastavování parametrů skenování v rozhraní přístroje či vzdáleně.

Dalším analyzovaným faktorem byly senzory pro navigaci v prostoru, jejichž zásluhou lze sledovat polohu přístroje vzhledem k předchozí pozici skenování v reálném čase a zároveň hrají významnou roli při zpracovávání dat, zejména při registraci skenů.

Posledním parametrem v této kategorii je stupeň krytí, který udává odolnost přístroje vůči vniknutí těles a kapalin z okolního prostředí. Stupeň krytí je vyjádřen dle tzv. IP kódu společně se dvěma číslicemi. Definice IP kódů jsou uvedeny v normě ČSN EN 60529.

Ekonomické parametry

Poslední kategorie obsahuje pouze dva parametry (viz Tab. 5), neboť z dostupných informací byly použitelné pouze dva faktory spadající do kategorie ekonomických parametrů. Jedná se o cenu, která je uváděna pouze orientačně, protože dle informací od všech výrobců analyzovaných skenerů je cena přístrojů závislá na poptávce a oficiální částky tudíž zveřejňovány nejsou. Uvedené ceny přístrojů proto pramení od distributorů nabízejících přístroje na internetu. Druhým parametrem v této kategorii je záruka přístrojů, jenž pramení z oficiálních informací od výrobců.

Tab. 5: Ekonomické parametry

	FARO Focus S350	B H	Leica RTC360	B H	Z+F IMAGER 5016	B H
Cena nového přístroje [\$] Orientační dle webu	47 100	X	54 500	X	75 000	X
Záruka [měsíců] Při nákupu od prodejce	12	1	12	1	12	1
Celkový počet bodů	1		1		1	

5 Vyhodnocení výsledků analýzy

V této části jsou vyhodnoceny a shrnuty výsledky prošlé anlyzy. V tabulce 6 jsou uvedeny výsledky vybraných laserových skenerů v jednotlivých kategoriích a ve spodní části tabulky jsou následně sečteny bodové výsledky za celou analýzu. Pod tabulkou 6 následuje detailnější rozbor výsledků.

Tab. 6: Souhrnný součet bodů

	FARO Focus S350	Leica RTC360	Z+F IMAGER 5016
Technické parametry	11	14	21
Operativní parametry	13	11	11
Ekonomické parametry	1	1	1
Celkový počet bodů	25	26	33

V kategorii technických parametrů s podstatným bodovým rozdílem dosáhl nejvyššího bodového ohodnocení laserový skener Z+F IMAGER 5016. Ve srovnání s ostatními analyzovanými přístroji získal nejvyšší bodové ohodnocení téměř ve všech analyzovaných parametrech. V rychlosti skenování bodů za sekundu má sice navrch přístroj Leica RTC360 zásluhou dvojnásobné rychlosti skenování za sekundu v porovnání s přístroji vyráběnými společnostmi FARO a Z+F, které jsou v tomto parametru vcelku vyrovnány soupeři. Nicméně v ostatních technických parametrech si již tak dobře nevedl. Všechny tři analyzované přístroje měly shodný výsledek v délkové přesnosti, ovšem v ostatních parametrech měl již navrch přístroj Z+F IMAGER 5016, který si vedl nejlépe také při porovnání minimální a maximální přípustné provozní teploty.

Z výsledků technických parametrů vyplývá, že nejpřesnějším z analyzovaných laserových skenerů s maximálním i minimálním možným dosahem skenování, největším rozsahem zorného pole a nejpřesnějšími výslednými daty je přístroj Z+F IMAGER 5016.

V operativních parametrech byly výsledky analýzy vyrovnanější v porovnání s technickými parametry. Všechny skenery splňují bezpečnostní třídu laseru 1, což znamená, že jsou zcela bezpečné během používání a poškození zraku nenastane ani v případě přímého sledování laserového paprsku. V rozměrech a váze mají sice vyšší bodové ohodnocení skenery FARO FOCUS S350 a Leica RTC360, nicméně důvodem je způsob ukládání skenovaných dat, protože tyto dva přístroje používají pro zápis dat externí zařízení - FARO FOCUS S350 SD karty a Leica RTC360 USB Flash Disky. Skener Z+F IMAGER 5016 naopak disponuje integrovaným SSD diskem o kapacitě 128 GB, díky kterému je těžší a prostorově výraznější. Posledním rozdílným parametrem v této kategorii je výdrž baterie, zde dosáhl nejvyššího bodového ohodnocení přístroj FARO FOCUS S350, s půlhodinovým rozdílem oproti dalším analyzovaným přístrojům. Ve zbylých parametrech byly již výsledky vyrovnané, jelikož všechny analyzované přístroje lze ovládat na dálku s pomocí WLAN připojení, či na dotykové obrazovce integrované přímo na skeneru. Všechny mají stupeň krytí IP54, který značí odolnost vůči prachu a vniknutí kapalin.

Kategorie operativních parametrů byla velmi vyrovnaná. Zařízení od společnosti FARO a Leica jsou sice mobilnější v porovnání s přístrojem Z+F IMAGER 5016, nicméně v jeho případě spatřuje autor velkou výhodu v možnosti ukládání dat na integrovaný SSD disk, díky kterému je dle výrobce dosaženo vyšší zápisové rychlosti nežli v případě zapisování dat na externí uložení. A dále v integrovaném polohovacím systému, díky kterému jsou mračna bodů registrována přímo v terénu. I navzdory stejnému bodovému ohodnocení, kterého dosáhl společně se skenerem Leica RTC360 a nižšího ohodnocení oproti přístroji FARO Focus S350 hodnotí autor jako vítěze této kategorie díky dvěma výše uvedeným benefitům stejný přístroj jako v případě technických parametrů, tedy laserový skener Z+F IMAGER 5016.

Výsledky poslední analyzované kategorie, tedy ekonomické parametry, nemají pro celkové vyhodnocení analýzy dostatečnou vypovídací schopnost, neboť cena je u všech přístrojů pouze v podobě orientačních částek. Druhým parametrem, spadajícím do této kategorie, je záruční doba, která je u všech vybraných přístrojů stejná, a proto nemá na výsledek analýzy vliv.

Celkové shrnutí analýzy a doporučení

Po rozboru a vyhodnocení jednotlivých kategorií analýzy doporučuje autor laserový skener Z+F IMAGER 5016. Tento přístroj s ohledem na technické a operativní parametry dosahuje nejlepších výsledků dle specifikací významných pro proces skenování svařovacích linek ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Tedy disponuje dostatečným dosahem a velkým úhlovým rozsahem zorného pole. Skenuje data s velice přesným zaměřením a minimální úrovní šumu. Pomocí kvalitní HDR kamery s vlastním přísvitem dosahuje kvalitních výsledných mračen bodů i během skenování za špatných světelných podmínek. A oproti laserovým skenerům FARO Focus S350 a Leica RTC360 disponuje integrovaným polohovacím systémem, díky kterému je schopen registrovat mračna bodů v reálném čase přímo v terénu, čímž přináší značné časové úspory pro následné zpracovávání naskenovaných dat.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat vybrané laserové skenery, vhodné k úloze skenování svařovacích linek ve ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Následně vyhodnotit výsledky analýzy a doporučit přístroj vhodný k používání.

V teoretické části bakalářské práce byly v první kapitole popsány obecné charakteristiky mladoboleslavských svařoven ŠKODA AUTO a.s. Byly zde uvedeny produkty, tedy automobilové karosérie, včetně výrobních zařízení demonstrovaných na konkrétní výrobní lince. Následně byly popsány technologické metody využívané při stavbě karosérií v případě vybraného automobilu z portfolia ŠKODA AUTO a.s. Druhá kapitola byla věnována pojmu „Průmysl 4.0“ v souvislosti s digitální továrnou v rámci oddělení svařoven ŠKODA AUTO a.s. Poslední kapitola teoretické části práce byla věnována laserovému skenování, kde byl popsán princip fungování laserových skenerů, uvedeno jejich rozdělení a popsány jednotlivé komponenty těchto přístrojů. Teoretická část práce byla zakončena informacemi o zpracovávání dat pořízených laserovými skenery, včetně uvedení výsledného produktu – mračna bodů.

V praktické části bakalářské práce byly nejprve uvedeny informace o předchozích projektech laserového skenování v rámci mladoboleslavských svařoven ŠKODA AUTO a.s. Následně byly objasněny důvody nutnosti provedení analýzy zaměřené na výběr laserového skeneru pro potřeby svařoven. Poté byly charakterizovány vybrané laserové skenery a provedena analýza, ve které byly zvolené přístroje porovnány z hlediska technických, operativních a ekonomických parametrů.

V závěru praktické části bakalářské práce autor vyhodnotil výsledky analýzy a doporučil laserový skener, který by mohl být eventuálně pořízen pro účely skenování svařovacích linek ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. Výsledky této bakalářské práce nemusí mít vypovídací schopnost pouze pro potřeby svařoven, ale mohou být brány v úvahu také při potřebě mračen bodů v dalších výrobních útvarech, kde mohou být nápomocny například pro archivaci současného stavu výrobních linek, či sloužit jako podklady při integraci nových zařízení.

Seznam literatury

BOARDMAN, Clive a Paul BRYAN. *3D laser scanning for heritage: advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture. Thrid edition.* London: Historic England, 2018. ISBN 9781848025219.

FARO [online]. Lake Mary: FARO [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: <https://www.faro.com/>

User Manual for SCENE [online]. FARO, 2019 [cit. 2019-11-08]. Dostupné z: https://knowledge.faro.com/Software/FARO_SCENE/SCENE/User_Manual_for_SCENE

KAŠPAR, M., a kol. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví.* Vyd. 1. Hradec Králové: Vega, 2003, 111 s. ISBN 80-900-8603-9

KOŘÁŇ, Pavel. *LAO - lasery a optika: laserové svařování I (laser welding) [online].* Praha: LAO, 2011 [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-svarovani-i-laser-welding-134>

Leica Geosystems [online]. Heerbrugg: Leica Geosystems [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://leica-geosystems.com/>

MAŘÍK, Vladimír. *Průmysl 4.0: výzva pro Českou republiku.* Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-440-0.

PILVOUSEK, Tomáš, Lubomír ROLEČEK a Jan ŠANOVEC. *MM Průmyslové spektrum: Lepení ve výrobě karoserie [online].* Praha: MM Průmyslové spektrum, 2017 [cit. 2019-10-20]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/lepeni-ve-vyrobe-karoserie.html>

ŠTRONER, Martin a Jiří POSPÍŠIL. *Terestrické skenovací systémy.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.

Technický týdeník: Nový standard ve svařovací technice Proces CMT (Cold Metal Transfer) [online]. Praha: Business Media, 2006 [cit. 2019-10-19]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/novy-standard-ve-svarovaci-technice-proces-cmt-cold-metal-transfer_10667.html

Novotný a kol. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy).* Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-02351-6.

SHAN, Jie a Charles K. TOTH. *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing. Second edition.* Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4987-7227-3.

VRABEC, Martin a kol. *Základy strojírenské výroby.* V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05669-1.

Zoller + Fröhlich [online]. Wangen: Zoller + Fröhlich [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: <https://www.zf-laser.com/>

Seznam obrázků, tabulek a příloh

Seznam obrázků

Obr. 1: Modely vyráběné ve svařovně M12	8
Obr. 2: Modely vyráběné ve svařovně M14	9
Obr. 3: Motorová kapota ŠKODA FABIA (SK26x)	9
Obr. 4: Popis průmyslového robota	11
Obr. 5: Průmysloví roboti značky: Kuka (A), Fanuc (B), ABB (C)	11
Obr. 6: Chapač od společností TÜNKERS, pohled zepředu (A) a zezadu (B)	12
Obr. 7: Stavba karosérie - ŠKODA SCALA (SK370/3)	13
Obr. 8: Materiálový koncept karoserie modelu ŠKODA OCTAVIA (SK371)	13
Obr. 9: Bodové odporové svařování	14
Obr. 10: Svařovací kleště typu C (A) a X (B)	15
Obr. 11: MAG svařování	16
Obr. 12: CMT svařování	17
Obr. 13: Laserového svařování	17
Obr. 14: Automatické stacionární lepení	19
Obr. 15: Vizualizace výrobní linky v systému Process Designer	21
Obr. 16: Provázanost struktur v systému Process Designer	22
Obr. 17: NavVis M6	23
Obr. 18: PX80	24
Obr. 19: FARO Focus S70 a M70	24
Obr. 20: Měření souřadnicových podů pomocí polární metody	25
Obr. 21: Elektronické měření délky laserovým skenerem	26
Obr. 22: Laserový skener	27
Obr. 23: Rotující zrcadlo	28
Obr. 24: Optický hranol	28
Obr. 25: Rotace zdroje	29
Obr. 26: Umělé referenční body FARO	31
Obr. 27: Mračno bodů s CAD daty v systému Process Simulate	31
Obr. 28: FARO Focus S350	34
Obr. 29: Leica RTC360	36
Obr. 30: Z+F IMAGER 5016	37

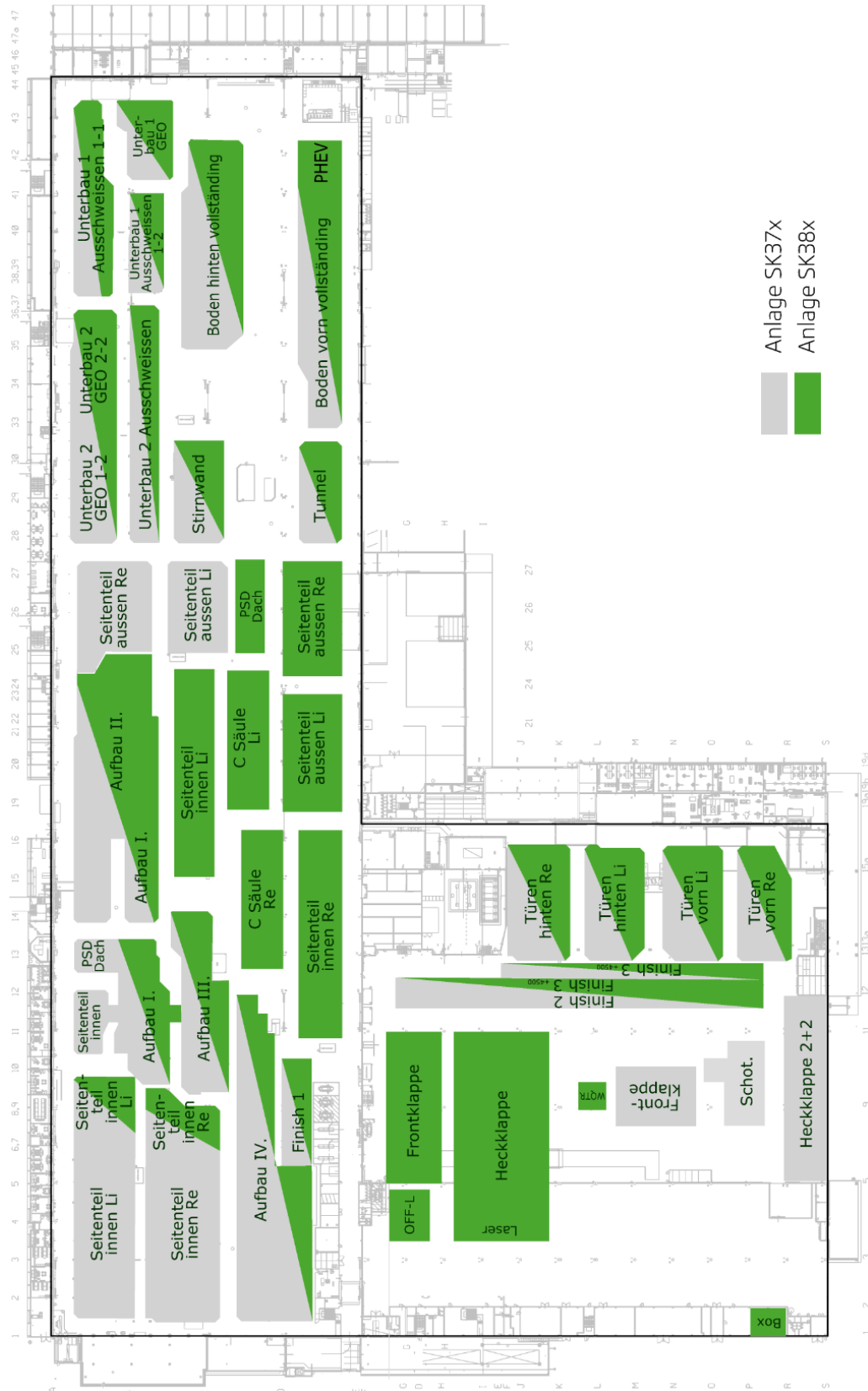
Seznam tabulek

Tab. 1: Spojovací technologie karosérie ŠKODA FABIA (SK26x).....	14
Tab. 2: Analýza požadavků na laserové skenery	33
Tab. 3: Technické parametry skenování	39
Tab. 4: Operativní parametry.....	41
Tab. 5: Ekonomické parametry.....	42
Tab. 6: Souhrnný součet bodů	43

Seznam příloh

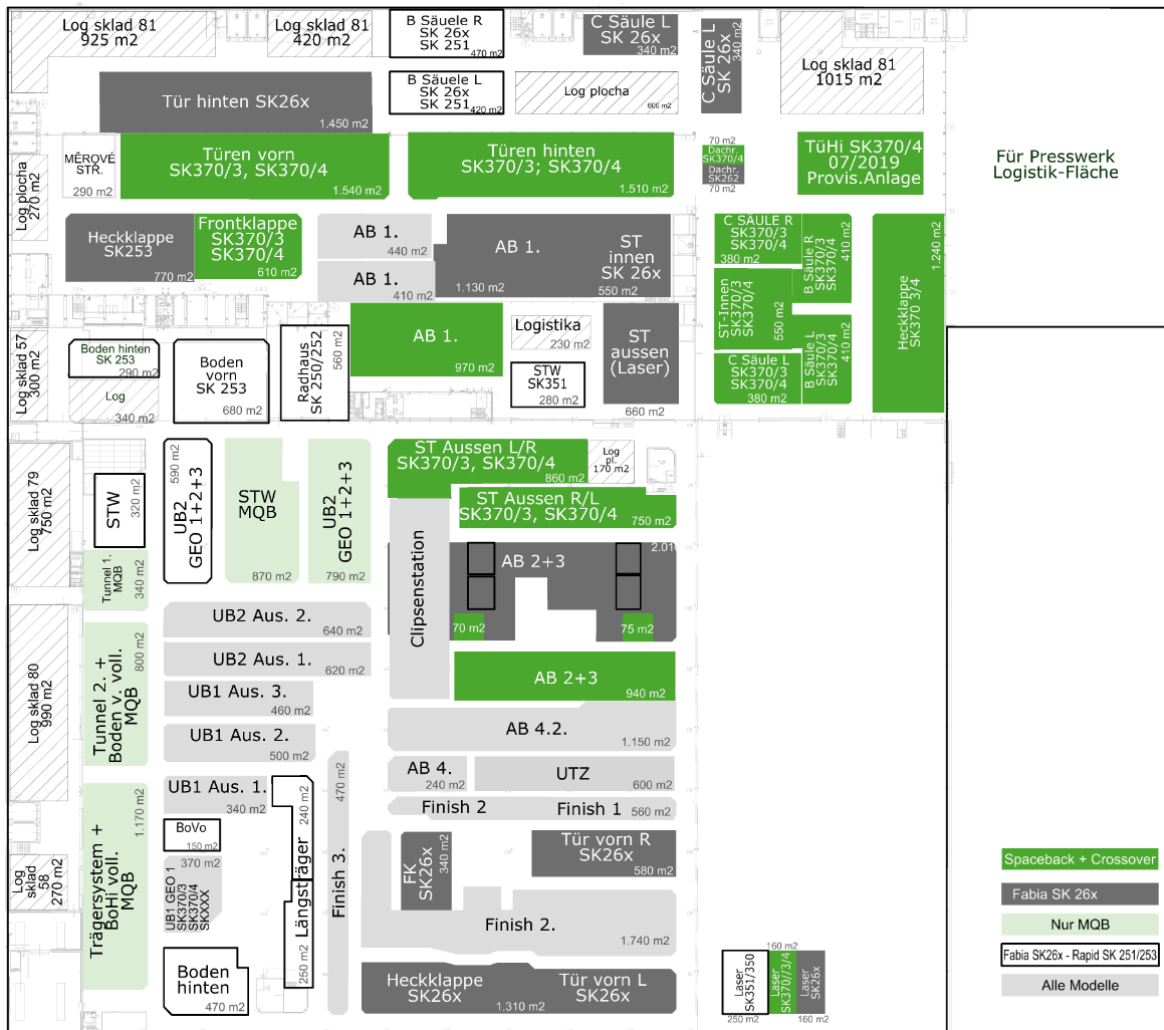
Příloha 1 Blokový layout svařovny M12.....	50
Příloha 2 Blokový layout svařovny M14.....	51
Příloha 3 Výrobní linka motorové kapoty ŠKODA FABIA (SK26x)	52
Příloha 4 Výrobní tok motorové kapoty ŠKODA FABIA (SK26x).....	53

Příloha 1 Blokový layout svařovny M12



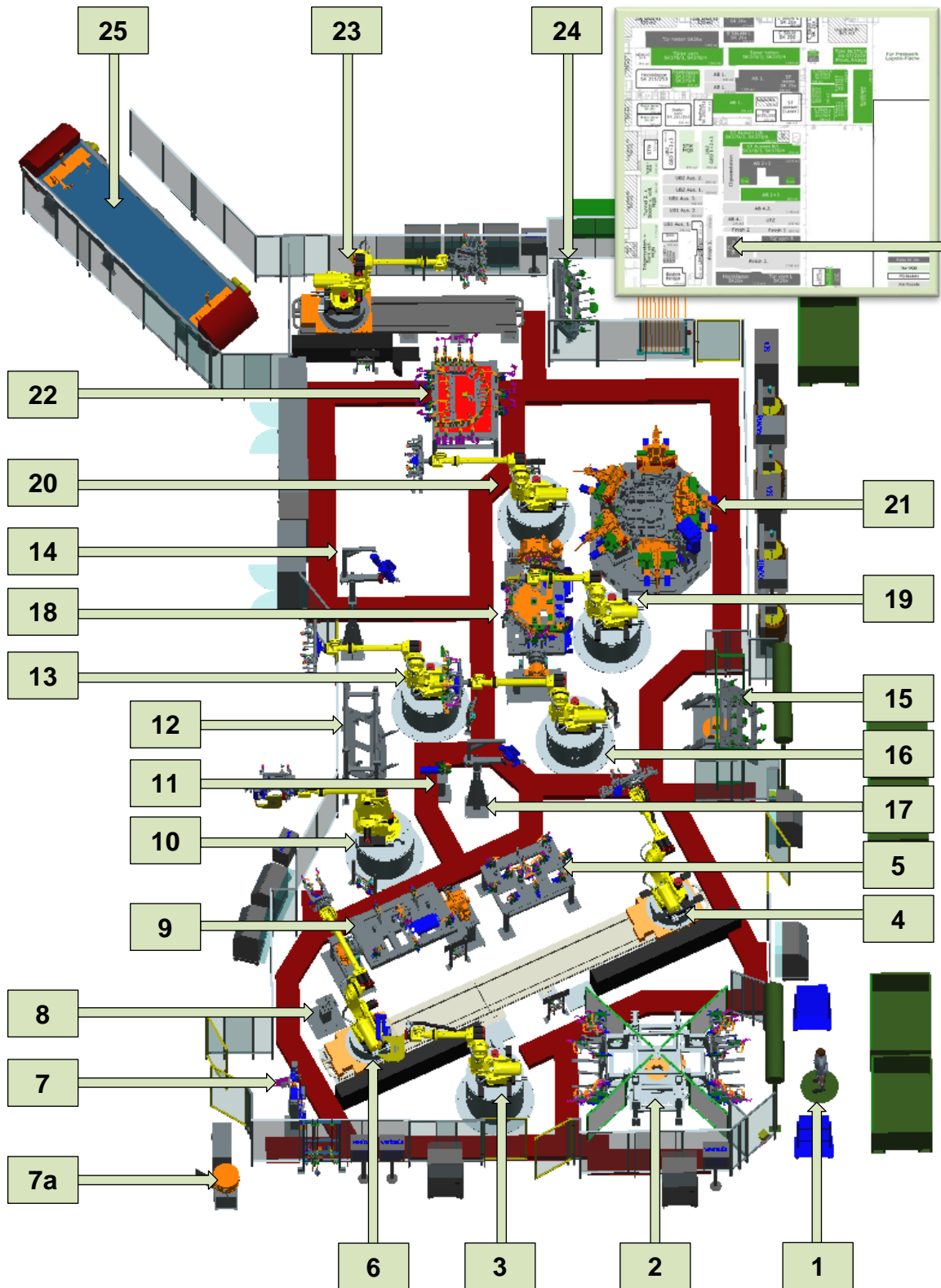
Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Príloha 2 Blokový layout svařovny M14



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Příloha 3 Výrobní linka motorové kapoty ŠKODA FABIA (SK26x)



Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

Příloha 4 Výrobní tok motorové kapoty ŠKODA FABIA (SK26x)

1	Operátor výroby (1) založí z palety výztuhu (levou+pravou) a vnitřní plech do otočného stolu (2), neboli geometrické stanice „1“ (dále pouze GEO).
2	Pomocí GEO1 (2) jsou založené díly dopraveny k robotu s klinčovacími kleštěmi (3).
3	Robot pomocí klinčovacích kleští (3) spojí v GEO1 (2) dohromady výztuhu a vnitřní plech.
4	Robot na pojezdové ose s chapačem (4) přenesse spojený díl z GEO1 (2) do stříhadla (5).
5	Stříhadlo (5) vystřihne výztuhu zámku, robot (4) vezme vnitřní plech ze stříhadla (5) a výztuhu zde ponechává.
6	Robot na pojezdové ose s chapačem (6) převezme výztuhu ze stříhače (5) a dopraví ji do svařolisu (7), zde přivaří odporovým svařováním dvě matice. (7a) je zásobník na matice.
7	Po přivaření matic dopraví robot (6) výztuhu k přípravku ke kontrole matic (8).
8	Po pozitivní kontrole robot (6) založí vnitřní výztuhu do GEO2 (9) a robot (4) přiloží vnitřní plech.
9	Robot (10) je osazen dvěma efektory – klinčovacími kleštěmi, které v GEO2 klinčují výztuhu zámku a chapačem, který po dokončení operace klinčování dopraví díl do raznice (11), ve které je vyraženo číslo plechu a po této operaci odkládá díl do zakládacího přípravku (12).
10	Robot s chapačem (13) převezme díl ze zakládací stanice (12) a pomocí stacionární pistole (14) nanáší kaučukové lepidlo. Tím máme připravený vnitřní díl motorové kapoty a přejdeme k popisu přípravy vnějšího dílu.
11	Operátor výroby založí povrchový díl z palety do otočného stolu (15).
12	Robot s chapačem (16) převezme díl a nanese kaučukové lemové lepidlo pomocí stacionární lepicí pistole (17).
13	Nyní robot (16) dopraví do sesazovacího přípravku GEO3 (18) povrchový díl a poté robot (13) dopraví do sesazovacího přípravku GEO 3 (18) vnitřní díl. GEO3 (18) roztáhne plech, této operaci se říká aktivní sesazení.
14	Robot s rolnami (19) vylepší v GEO3 (18) lemovací úhel, tím dojde k přelemování v problematické oblasti světél.
15	Robot s chapačem (20) převezme předlemovaný díl z GEO3 (18) a vloží ho do konvenční lemovky GEO4 (21).
16	Konvenční lemovka GEO4 (21) ve dvou krocích přivře lemovací stojny a tím spojí vnitřní a vnější díl motorové kapoty, která zde získá obvodový tvar.
17	Robot (19) převezme díl z GEO4 (21) a dopraví ho do želatinovací stanice GEO5 (22), ve které dojde k předvytvrzení lemového lepidla a vznikne zde plošný tvar kapoty.
18	Robot na pojezdové ose s dvojitým chapačem (23) dopraví díl z GEO5 (22) do zakládacího přípravku (24), ve kterém operátor výroby očistí přebytečné lepidlo. Po založení dílu k očištění pomocí druhého chapače odebírá očištěný díl a dopravuje ho na dopravník (25). Odtud je díl dopraven k lince FINISH 2, na které jsou montovány na karosérii všechny panelové díly.

Zdroj: Interní databáze ŠKODA AUTO a.s.

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Tadeáš Haase		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	Skenování svařovacích linek ve ŠKODA AUTO a.s.		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Josef Bradáč, Ph.D.		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2019
POČET STRAN	53		
POČET OBRÁZKŮ	30		
POČET TABULEK	6		
POČET PŘÍLOH	4		
STRUČNÝ POPIS	<p>Bakalářská práce je zaměřena na laserové skenování svařovacích výrobních linek určených pro stavbu karosérií automobilů ve společnosti ŠKODA AUTO a.s., v Mladé Boleslavi. Práce je reakcí na problém, který nastává při vytváření, či optimalizaci výrobních linek v digitálním prostředí, kde konvenčními metodami měření nelze dosáhnout přesné polohy 3D modelů výrobních zařízení vůči realitě. Bylo zjištěno, že skenování prostřednictvím externí společnosti je značně neefektivní, a tudíž je nezbytné disponovat v rámci svařoven vlastním skenovacím zařízením. Cílem práce je analyzovat několik laserových skenerů, vybraných po odborných konzultacích se specialisty z oddělení svařoven ze společnosti ŠKODA AUTO a.s. a následně provést analýzu a vyhodnotit přístroj vhodný ke skenování svařovacích linek.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatizace ▪ Digitalizace ▪ Laserové skenování ▪ Mračno bodů ▪ Průmysl 4.0 ▪ Robotizace 		

ANNOTATION

AUTHOR	Tadeáš Haase		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Scanning of welding lines at ŠKODA AUTO a.s.		
SUPERVISOR	Ing. Josef Bradáč, Ph.D.		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2019
NUMBER OF PAGES	53		
NUMBER OF PICTURES	30		
NUMBER OF TABLES	6		
NUMBER OF APPENDICES	4		
SUMMARY	<p>The bachelor thesis is focused on laser scanning of welding production lines used for building of car body in company ŠKODA AUTO a.s., in Mladá Boleslav. The thesis is a reaction on a problem, which started while production was created or optimized in digital surroundings, where we were unable to get direct position of 3D models with conventional methods toward the reality. It was found that scanning through an external company is not effective, so it is necessary to use own scanning equipment. The goal of this work is to analyse three laser scanners chosen after professional consultations with experts from welding department ŠKODA AUTO a.s. Additionally, to make an analysis and evaluate which apparatus is the most suitable for scanning of welding lines.</p>		
KEY WORDS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatization ▪ Digitization ▪ Industry 4.0 ▪ Laser scanning ▪ Point Clouds ▪ Robotization 		