

# **Škoda Auto Vysoká škola o.p.s.**

Studijní program: Průmyslový management

## **Automatizace ve vybraném výrobním procesu Škoda Auto a.s. Bakalářská práce**

**Filip Jizba**

Vedoucí práce: Ing. David Staš, Ph.D.



Škoda Auto Vysoká škola

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Filip Jizba**

Studijní program: Průmyslový management

Název tématu: **Automatizace ve vybraném výrobním procesu Škoda Auto a.s.**

Cíl: Cílem práce je navrhnout a implementovat vhodnou formu automatizace ve vybraném výrobním procesu ve společnosti Škoda Auto a.s. a vyhodnocení realizovaného řešení v kontextu výkonnostních a ekonomických aspektů.

Rámcový obsah:

1. Proveďte rešerši relevantních literárních zdrojů řešené problematiky se zaměřením na trendy.
2. Vymezte a charakterizujte vybraný výrobní proces. Analyzujte aktuální stav za účelem identifikace potenciálu pro implementaci automatizovaného řešení, které povede ke zvýšení výkonnosti vymezeného výrobního procesu.
3. Navrhněte nový způsob automatizace pro realizaci ve vybraném výrobním procesu.
4. Pro navrhované řešení proveďte vyhodnocení v kontextu výkonnostních a ekonomických aspektů.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. FORD, Martin. Roboti nastupují: automatizace, umělá inteligence a hrozba budoucnosti bez práce. Přeložil Jan PROKEŠ, přeložil Martin VRBA. V Praze: Rybka Publishers, 2017. ISBN 978-80-87950-46-3.
2. GACOVSKI, Zoran. Mechatronics and Robotics [online]. Burlington: Arcler Press, 2020, 437 s. [cit. 2023-04-05]. ISBN 978-1-77407-978-2. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/savscz/detail.action?docID=6453484&query=robotics#>.
3. KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
4. SANNEMAN, Lindsay, Christopher FOURIE a Julie A. SHAH. The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions [online]. Boston: Now Publishers, 2021 [cit. 2023-04-05]. ISBN 978-1-68083-801-5. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/savscz/reader.action?docID=6533671&query=robotics>.

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2022

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2023

L. S.

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2023

**Filip Jizba**  
Autor práce

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2023

**Ing. David Staš, Ph.D.**  
Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 20. 4. 2023

**prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.**  
Garant studijního programu

Elektronicky schváleno dne 24. 4. 2023

**doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.**  
Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem Škoda Auto Vysoké školy o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), 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 4. 12. 2023

Rád bych poděkoval Ing. Davidu Stašovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce a poskytování cenných rad. Dále děkuji kolegům z firmy Škoda Auto a.s., kteří mi poskytli podklady ke zpracování této práce.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Úvod.....  | 7  |
| 1 Aktuální trendy v oblasti průmyslové výroby.....                       | 8  |
| 1.1 Automatizace .....   | 8  |
| 1.2 Představení průmyslových robotů a manipulátorů .....                 | 10 |
| 1.2.1 Generace průmyslových robotů.....                                  | 11 |
| 1.2.2 Využití průmyslových robotů.....                                   | 11 |
| 1.2.3 Využití kolaborativních robotů.....                                | 12 |
| 1.2.4 Využití automatických manipulátorů .....                           | 13 |
| 1.3 Industry 4.0 .....   | 13 |
| 1.4 Způsob hodnocení efektivity zkoumaného pracoviště.....               | 15 |
| 1.5 Udržitelnost ve výrobních podnicích.....                             | 16 |
| 2 Analýza současného stavu výrobního procesu.....                        | 18 |
| 2.1 Představení společnosti Škoda Auto a.s.....                          | 18 |
| 2.2 Představení montáže trakčních baterií.....                           | 20 |
| 2.3 Vymezení zkoumaného pracoviště.....                                  | 23 |
| 2.4 Analýza současného stavu zkoumaného pracoviště.....                  | 25 |
| 3 Návrhy optimalizace zkoumaného pracoviště.....                         | 30 |
| 3.1 Návrh 1 – Změny v uspořádání pracoviště a organizační opatření ..... | 30 |
| 3.2 Návrh 2 – Zavedení automatizovaného pracoviště .....                 | 33 |
| 3.2.1 Navrhované technické řešení automatizovaného pracoviště .....      | 34 |
| 3.2.2 Navrhované uspořádání automatizovaného pracoviště .....            | 35 |
| 4 Vyhodnocení jednotlivých návrhů .....                                  | 39 |
| 4.1 Celková efektivita pracoviště.....                                   | 39 |
| 4.2 Potřebná prvotní investice.....                                      | 40 |
| 4.3 Dosažený zisk v jednotlivých letech provozu .....                    | 42 |
| Závěr .....  | 45 |
| Seznam obrázků a tabulek.....  | 50 |
| Seznam příloh .....  | 52 |

## **Seznam použitých zkratk a symbolů**

|         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| FMS     | Pružné výrobní systémy           |
| H125    | Větší varianta baterie           |
| M100    | Střední varianta baterie         |
| OEE     | Celková efektivita zařízení      |
| PRaM    | Průmyslové roboty a manipulátory |
| Premium | Prémiová varianta baterie        |
| ŠA      | Škoda Auto a.s.                  |
| ŠAVŠ    | Škoda Auto Vysoká škola o.p.s.   |

## Úvod

Automatizace výrobních procesů je klíčovým tématem průmyslové výroby posledních let, zvláště ve významných odvětvích automobilového, potravinářského, či farmaceutického průmyslu. Cílem automatizovaných procesů je zejména zvyšování celkové produktivity a efektivity daných pracovišť.

Integrace různých typů robotických systémů do firemních procesů je nezbytným předpokladem pro zajištění dlouhodobé konkurenceschopnosti a úspěchu výrobních podniků. Průmyslové roboty představují efektivní řešení problému spojeného s nedostatkem kvalifikovaných pracovních sil, a to svou schopností vykonávat náročné, repetitivní úlohy výrazně rychleji a přesněji než lidská pracovní síla.

Výběr tématu zavádění automatizace v rámci vybraného výrobního procesu ve firmě Škoda Auto a.s. (dále jen ŠA) byl motivován vznikem problematiky termální propagace uvnitř trakční baterie elektromobilů. Ta má za důsledek mnohé úpravy montážních pracovišť v rámci výrobní linky GS3.1 v mladoboleslavské hale M6. Implementace požadovaných změn vede k výrazným zvýšením technologické a časové náročnosti některých stanic. Vystává otázka, co dělat s neefektivními ručními operacemi uvnitř montážního toku?

Úvodní část práce je zaměřena na problematiku a současné trendy v oblasti automatizace a robotizace. Bude představen pojem Industry 4.0, jednotlivé typy a generace robotů využívaných v průmyslových společnostech, způsob měření výkonnosti pracoviště, či aktuální téma v podobě udržitelnosti výrobních podniků.

Praktická část práce začíná představením společnosti ŠA. Následuje uvedení do problematiky zkoumané výrobní linky a analýza pracoviště, které je předmětem této bakalářské práce. Dále budou představeny zásadní nedostatky současného stavu pracoviště a výkonnostní požadavky ze strany ŠA, na základě kterých budou navrženy dvě možná řešení současných problémů. Obě řešení budou vyhodnocena, jak z oblasti dosahované výrobní efektivity a produktivity, tak z hlediska finanční náročnosti a ziskovosti.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a implementovat vhodnou formu automatizace ve vybraném výrobním procesu ve společnosti ŠA a vyhodnotit realizované řešení v kontextu výkonnostních a ekonomických aspektů.



# 1 Aktuální trendy v oblasti průmyslové výroby

Teoretická část bakalářské práce se věnuje aktuálním trendům z oblasti průmyslové výroby. Nejprve bude představena široká oblast automatizace, včetně jejího základního rozdělení, hlavních výhod, a naopak nevýhod zavedení do průmyslových firem. Dále se tato kapitola zaměřuje na oblast průmyslových robotů, zejména na jejich využití v různých odvětvích. Zakončení úvodní části představují témata Industry 4.0 a udržitelnost výrobních podniků. Obě tato témata se výrazně promítají i do činností firmy ŠA.

## 1.1 Automatizace

Automatizace je proces vývoje techniky, kdy moderní technologie nahrazují lidskou práci zejména v náročných, repetitivních činnostech výrobních procesů. V dnešní době je automatizace rozšířená napříč různými odvětvími a zahrnuje implementaci řídicích prvků pro efektivní průmyslové procesy. Toho je dosahováno za použití průmyslových strojů, které dokážou sami vykonávat předem naprogramované úkoly. Všeobecně ale platí, že je zde stále nutný vstup činností člověka, a to zejména v oblasti programování, řízení, kontroly, diagnostiky a údržby (Distrelec, 2023; Vojáček, 2019).

Automatizace přináší širokou škálu výhod napříč průmyslem. Mezi ty hlavní lze zařadit zvyšování produktivity, efektivity, bezpečnosti práce, či snížení lidské chybovosti (Ford, 2017; Moreira, 2023). Díky nepřetržitému provozu a rychlé reakci na poptávku lze efektivně reagovat na tržní změny. Automatizace rovněž snižuje provozní náklady na dlouhodobé bázi a zvyšuje konkurenceschopnost podniku.

Téma automatizace s sebou nese několik potenciálních nevýhod a výzev. Hlavním negativem je potenciální ztráta pracovních míst. To se týká zejména manuální a rutinní práce v procesech, které jsou vhodné pro zavedení automatizace. Zároveň rostou i požadavky na zaměstnance z hlediska znalostí v oblasti informačních technologií a robotizace. To může být zejména pro starší generaci nepříjemnou změnou, či dokonce nepřekonatelnou překážkou pro jejich pokračování na současné pozici (Moreira, 2023). V neposlední řadě je potřeba zmínit, že automatizované systémy jsou zranitelné vůči kybernetickým útokům, které mohou způsobit závažné problémy výrobním, logistickým, či jiným procesům.

Automatizace se dělí na tři základní skupiny (Groover, 2015):

- tvrdá,
- pružná,
- měkká.

### **Tvrdá automatizace**

Provádí se za pomoci pevných automatizovaných systémů, které jsou nastaveny tak, že dokážou vyrábět pouze jeden typ výrobku ve velkém množství (Ford, 2017). Stroje jsou zpravidla jednoúčelové, náročné na zavedení jiného výrobku a realizující jednoduché operace.

Z ekonomického hlediska je tvrdá automatizace vhodná pouze tehdy, pokud se vyrábí velké množství výrobků s vysokou produkční rychlostí. Díky tomu lze vysoké pořizovací náklady na automatizovaná zařízení rozložit mezi velké množství vyrobených výrobků, což vede ke snížení ceny jednotlivého výrobku ve srovnání s jinými metodami výroby.

### **Pružná automatizace**

Vyznačuje se schopností zpracovávat portfolio různých výrobků prostřednictvím rychlé a pružné změny programu. V dnešní době se k jejímu dosažení často využívají průmyslové roboty a automatické manipulátory.

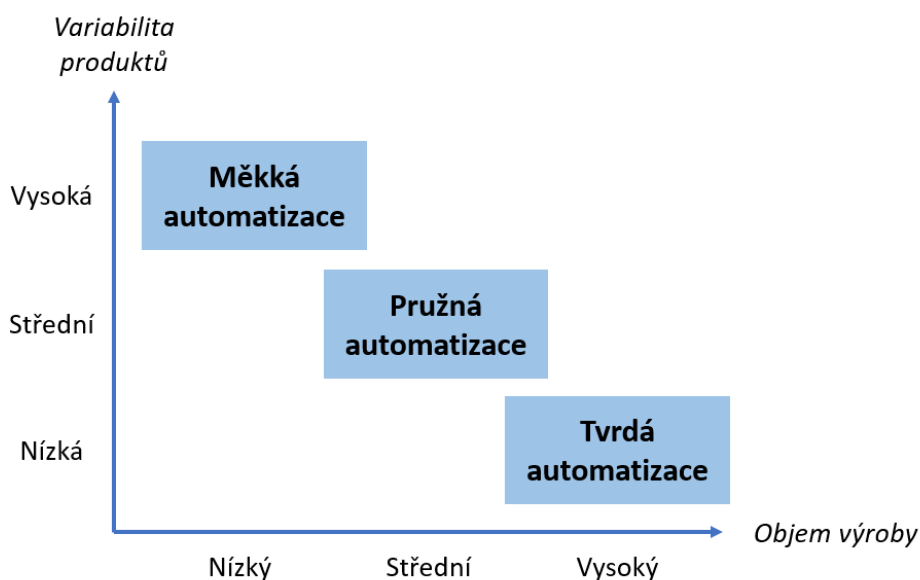
Pružný systém je oproti tvrdému automatizovanému systému méně produktivní, ale umožňuje rychlé a téměř bezproblémové přepnutí mezi různými výrobky, což eliminuje časové ztráty na přenastavení stanice. Pro pružné výrobní systémy se často používá označení FMS (*Flexible Manufacturing System*). Nevýhodou této automatizace jsou vysoké náklady na zakoupení strojů a další potřebné technologie.

### **Měkká automatizace**

Posledním druhem je automatizace měkká. Ta je vnímána jako takový předstupeň automatizace pružné. Je charakteristická produkcí výrobků v dávkách. To v praxi znamená, že je například 2 hodiny vyráběn výrobek A, poté je celý systém přestaven a přeprogramován na výrobek B, který je další v pořadí. Výrobní programy pro jednotlivé výrobky jsou uloženy v paměti zařízení a je mezi nimi v průběhu dne přepínáno a dochází k přestavbě pracoviště. Příkladem mohou být

obráběcí stroje, či svařovací roboty. Nevýhodou této formy automatizace je vysoká investice do víceúčelového vybavení a nejnižší objem výroby v porovnání s ostatními druhy automatizace.

Využití daného typu automatizace se posuzuje v závislosti na objemu výroby a variabilitě vyráběných produktů (viz Obr. 1).



Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

**Obr. 1 Dělení automatizace**

Z obrázku vyplývají informace, které již byly zmíněny výše. Tvrdá automatizace je vhodná zejména pro výrobu s vysokým objemem produkce a nízkou variabilitou produktů. Naopak investice do měkké automatizace je prospěšná zejména v podnicích, které vyrábí variabilní výrobky v nižších objemech.

## 1.2 Představení průmyslových robotů a manipulátorů

Průmyslové roboty a manipulátory (dále jen PRaM) patří mezi klíčové technologie využívané v dnešní moderní výrobě a průmyslu. Za předchůdce průmyslových robotů lze označit manipulátory, které původně vznikaly u sériové výroby, kde ulehčovaly lidem fyzicky náročnou práci, například pomocí s manipulací těžkých břemen (Gacovski, 2020; Sanneman, 2021). Problémem manipulátorů je nemožnost jejich rychlého přeprogramování a přenastavení požadovaných činností. To vedlo k hledání flexibilnějšího řešení, což mělo za následek vývoj a následné nasazení průmyslových robotů.

### 1.2.1 Generace průmyslových robotů

Průmyslové roboty prošly vývojem několika generací, přičemž každá z nich přinesla pokroky v technologiích, schopnostech a využití. V současné době je takovýchto generací rozlišováno celkem pět (Gacovski, 2020; Garcia, 2023):

- Nultá generace – Tato generace zahrnuje roboty bez zpětné vazby. Systémy tohoto typu reagují na poruchy nebo změny v daném prostředí odpojením od zdroje energie, což zastavuje jejich činnost a vyžaduje zásah seřizovače.
- První generace – Zařazuje roboty s jednoduchou zpětnou vazbou, které jsou schopny provádět několik předem definovaných programů. Tyto programy byly vytvořeny lidským operátorem a pouze on je dokáže dle potřeby měnit.
- Druhá generace – Roboty druhé generace jsou vybaveni schopností optimalizace. Dokážou vybírat optimální proces z předem zadaných programů na základě stanovených kritérií a tím efektivně reagovat na různé situace. K interakci s okolním prostředím slouží příslušná čidla robota.
- Třetí generace – Jedná se o roboty se složitými adaptivními řídicími systémy. Jsou schopny se učit z nabytých zkušeností, tvořit plán řešení situací a také jej realizovat. Operátor zadává pouze cíl úkolu a způsob jeho provedení je ponechán na inteligenci řídicího systému.
- Čtvrtá generace – Představuje autonomní roboty se sociálním chováním. Kombinují pokročilé vlastnosti a technologie předchozích generací s novými schopnostmi díky rozvoji umělé inteligence, senzorů, čidel a pokročilých softwarů. Podobně jako lidé si dokážou samostatně volit cíl práce a také jej realizovat.

### 1.2.2 Využití průmyslových robotů

Průmyslové roboty jsou automatizovaná zařízení volně programovatelné v prostoru, která jsou vybavena chapadly pro manipulaci s předměty nebo technologickými hlavicemi a jejich cílem je zvýšit efektivitu, produktivitu a přesnost průmyslových operací (Kolíbal, 2016). Využití nachází v mnoha oblastech průmyslu a výroby. Například v automobilovém průmyslu jsou využívány pro lakování, svařování, šroubování, lepení, či další technologie zpracování a úpravy dílů. Využití najdou i v oblasti elektroniky pro montáž drobných součástek, v potravinářském průmyslu

pro řezání a balení potravin, či v lékařství, kde se využívají pro přesné chirurgické zákroky a manipulaci s léky. Jejich role v moderním průmyslu je nezastupitelná a s rozvojem technologií se jejich aplikace neustále rozšiřuje a zdokonaluje.

### 1.2.3 Využití kolaborativních robotů

Kolaborativní roboty, zkráceně koboty, jsou průmyslové stroje využívané pro úzkou spolupráci člověka s robotem (viz Obr. 2). Cílem kobotů je napomáhat lidským pracovníkům s prováděním opakujících se a ergonomicky náročných úkolů. Pro efektivní spolupráci je nutné zajištění bezpečné spolupráce, proto jsou koboty vybaveny inteligentními snímači, které umožňují rozpoznávat přítomnost lidí a přizpůsobovat své pohyby tak, aby předešly nehodám. Díky tomu může spolupráce probíhat bez jakýchkoli prostorových omezení či dodatečných nákladů na fyzické bariéry a oplocení (ABB, 2021). Jejich výhodou je snadná programovatelnost a adaptabilita. Koboty mohou být snadno přemístěny a rekonfigurovány dle aktuální potřeby. Svou flexibilitou jsou vhodné zejména pro podniky, které potřebují rychle reagovat na změny ve výrobních požadavcích. Své uplatnění nachází během montáže, balení, kontroly kvality, či v lékařských operacích (Sanneman, 2021).



Zdroj: (Blümelová, 2021)

**Obr. 2** Kolaborativní robot

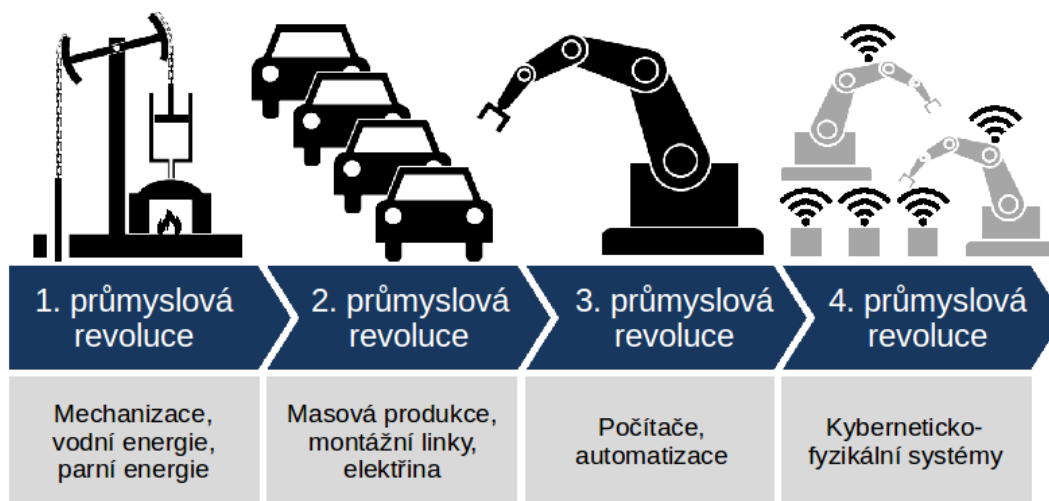
### **1.2.4 Využití automatických manipulátorů**

První jednoduché manipulátory byly navrženy s cílem zefektivnit a usnadnit opakující se úkoly. Z počátku byly zaměřeny na jediný specifický úkol, jako je například podávání materiálů na montážní lince. V průběhu času se však koncept manipulátorů rozvíjel směrem k víceúčelovým zařízením, známým jako balancéry. Tyto víceúčelové manipulátory umožňují lidským operátorům pracovat s těžkými břemeny a zároveň minimalizovat únavu pracovníka.

Balancéry zesilují lidskou sílu a umožňují snadnou manipulaci s objekty, které mají nevhodný tvar, či příliš velkou váhu na to, aby jimi operátor dokázal manipulovat pouze pomocí vlastní síly (Vojáček, 2023). Existují i manipulátory komplikované s univerzálním použitím, zvané synchronní manipulátory. Ty i nadále ovládá člověk, ale jejich koncová část, která přichází do kontaktu s manipulovaným objektem, je vybavena sofistikovaným systémem snímačů, které umožňují získat zpětnou vazbu a informace o objektu, což vytváří uzavřený řídicí systém tvořený člověkem a manipulátorem.

### **1.3 Industry 4.0**

Průmyslové revoluce představují historické milníky, které změnily a nadále mění svět kolem nás. Přeměňují způsob, jakým společnost komunikuje, produkuje a funguje jako celek. Tyto přelomové události znamenaly významný posun ve využívaných výrobních metodách, technologiích a socioekonomických strukturách. Celkem lze identifikovat čtyři hlavní průmyslové revoluce, z nichž každá měla zásadní vliv na světovou historii a formovala moderní společnost, jak ji dnes známe (viz Obr. 3). V současné době existuje i koncept páté průmyslové revoluce, která představuje další významný rozvoj moderních technologií v podobě zdokonalování schopností umělé inteligence, rozvoje nanotechnologií, či implementace energetických inovací (Člověk a stroj: metodická příručka, 2017).



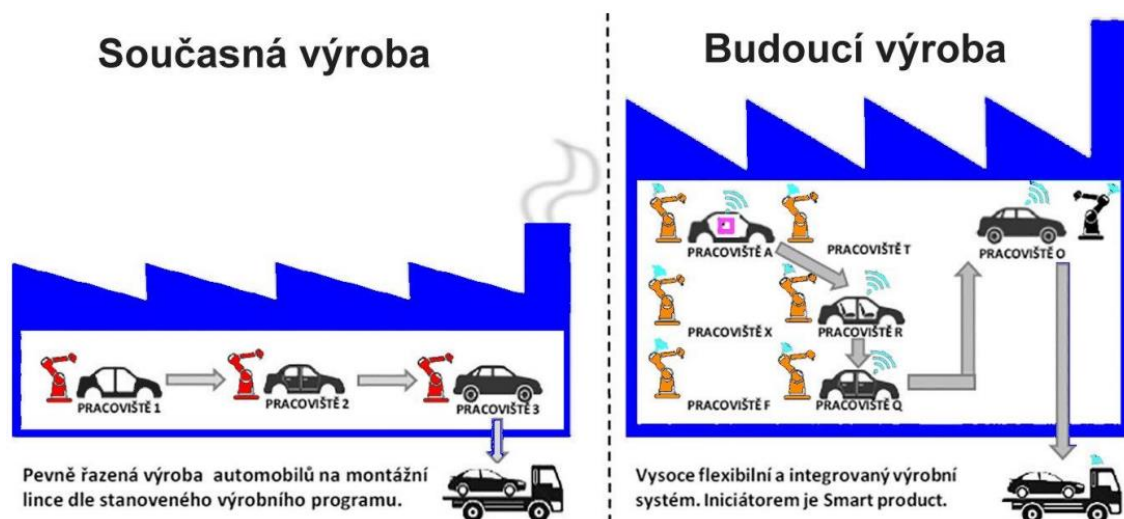
Zdroj: (Roser, 2017)

**Obr. 3 Přehled průmyslových revolucí**

Fenoménem dnešní doby je čtvrtá průmyslová revoluce, která spojuje fyzické, digitální a biologické světy. Tato revoluce mění způsob, jakým společnost reaguje na nové výzvy, v podobě změn v průmyslu, obchodu, zdravotnictví, kybernetické bezpečnosti, či v environmentálních otázkách. Do povědomí veřejnosti se dostala na počátku 21. století. Právě toto období je spojeno s rozmachem internetu, inovacemi v technologiích a neustálou snahou o zvyšování efektivity procesů k dosažení konkurenční výhody na trhu. Stoupá i náročnost zákazníků v podobě požadované individualizace výrobků, času dodání zboží, či ceně finálního produktu.

Se čtvrtou průmyslovou revolucí je spojen koncept Industry 4.0, který vznikl spuštěním projektu „High Tech Strategy“ německou vládou v roce 2006. Úkolem tohoto konceptu bylo spojit klíčové odborníky z praxe a pokročit ve vývoji nových špičkových technologií. Je charakterizován digitalizací a integrací výrobně-obchodních řetězců.

Základním stavebním kamenem koncepce Industry 4.0 je vytvoření SMART factory. Ta má oproti konvenční výrobě několik výhod. Mezi hlavní výhody „chytré továrny“ patří snížení výrobních nákladů, zvýšení produktivity výrobních procesů, či poskytování lepšího a rychlejšího servisu směrem k zákazníkům (viz Obr. 4). Mezi negativní stránky lze zařadit redukci nepotřebného personálu. Avšak nelze chápat SMART factory jako továrnu kompletně bez lidí (Radziwon, 2014). Ti se pouze přesunou od fyzicky náročné rutinní práce do pozice kontrolorů vysoce automatizovaných a robotizovaných procesů.



Zdroj: Upraveno dle (Communication Promoters Group of the Industry-Science, 2013)

**Obr. 4 Přechod od současné výrobě k budoucí ve SMART factory**

#### 1.4 Způsob hodnocení efektivity zkoumaného pracoviště

Další podkapitola se věnuje tématu hodnocení efektivity výrobního pracoviště, což bude součástí praktické části této bakalářské práce. Klíčovou metrikou pro pravidelné vyhodnocování je celková efektivita zařízení (*Overall Equipment Effectiveness*; dále jen OEE). Ta poskytuje pohled na výrobní proces z třech významných složek: výkonnosti, dostupnosti a kvality. Dosahovaná výkonnost porovnává skutečný výkon zařízení oproti plánovanému. Dostupnost měří čas, kdy je výrobní zařízení k dispozici výrobě. Poslední složka se věnuje dosahované kvalitě výrobků. Veličina OEE je charakterizována součinem právě těchto tří oblastí (1).

$$OEE = \frac{F_{tv}}{F_{tdisp}} \times \frac{P_{skutečný}}{P_{plán}} \times \frac{Q_{jakostní}}{Q_{celkové}} \quad (1)$$

Časová dostupnost zařízení je dána podílem využitelného časového fondu  $F_{tv}$  a disponibilního časového fondu  $F_{tdisp}$ . Disponibilní časový fond je rozdíl kalendářního času a plánovaných prostojů (2).

$$F_{tdisp} = t_{kalendářní} - t_{pl. \text{ prostoje}} \quad (2)$$

Do výpočtu využitelného časového fondu  $F_{tv}$  vstupují i neplánované prostoje zařízení v podobě poruch, či jiných problémů, které brání kontinuální produkci (3).

$$F_{tv} = F_{tdisp} - t_{poruchy} - t_{ostatní \text{ nepl. prostoje}} \quad (3)$$



Míra výkonnosti zařízení je dána podílem skutečného objemu výroby  $P_{skutečný}$  a plánovaného objemu výroby  $P_{plán}$ , který sleduje využití  $F_{tv}$  s ohledem na plánovaný hodinový výkon (4).

$$P_{plán} = F_{tv} \times \text{plánovaný hodinový výkon} \quad (4)$$

Posledním faktorem, které ovlivňuje hodnotu OEE je míra jakosti. Ta udává poměr jakostní produkce  $Q_{jakostní}$  k objemu produkce celkové  $Q_{celkové}$ . Nejakostní výrobky jsou označovány jako neshodná produkce.

Cílem OEE je identifikovat nedostatky a ztráty v procesu, na základě kterých lze navrhnout efektivní řešení, které by hodnotu OEE zvýšilo a optimalizovalo výrobní pracoviště. Hodnocení OEE by mělo být prováděno v pravidelných časových úsecích, aby se zajistila optimální úroveň procesů. Tato metoda je dále užitečná pro snížení finanční náročnosti výroby a zvýšení konkurenceschopnosti podniku.

## 1.5 Udržitelnost ve výrobních podnicích

V dnešní globální ekonomice se udržitelnost stává velmi frekventovaným a stěžejním pojmem, na který musí podniky vhodně reagovat. Nejedná se pouze o módní trend posledních let. Je to nezbytný krok k zajištění dlouhodobého úspěchu v dynamicky se měnícím světě. Udržitelnost lze definovat jako schopnost naplňovat současné potřeby bez ohrožení schopnosti budoucích generací naplňovat potřeby své vlastní (Garbie, 2016).

Ve výrobním kontextu to zahrnuje snahu minimalizovat negativní dopady činností podniku v celkem třech pilířích udržitelnosti (Savitz, 2014):

- pilíř životního prostředí,
- sociální pilíř udržitelnosti,
- pilíř ekonomický.

V oblasti životního prostředí se výrobní podniky zaměřují na minimalizaci spotřeby energie, vody a surovin, či na snížení produkce odpadů a emisí. To může být dosaženo prostřednictvím inovačních technologií, procesů a postupů, jako je například kruhová ekonomika, kde jsou materiály recyklovány a opětovně využívány, což snižuje spotřebu nových surovin.

Sociální pilíř udržitelnosti výrobních podniků rozpoznává důležitost spravedlivých pracovních podmínek, zajištění zdraví a bezpečnosti zaměstnanců. Neméně důležitou oblastí je respektování osobních a pracovních práv zaměstnanců, či jejich ochrana před jakoukoli formou diskriminace.

Ekonomická udržitelnost zahrnuje řadu prvků, které zabezpečují dlouhodobou prosperitu podniku a zároveň přispívají k širšímu sociálně-ekonomickému blahobytu. Klíčovým prvkem je efektivní využití zdrojů, které snižuje finanční náročnost a zvyšuje konkurenceschopnost podniku na trhu. Další oblastí je využívání moderních technologií a zavádění inovací, které mohou podnikům pomoci optimalizovat výrobní procesy, snížit odpady a maximalizovat výnosy z investic (Savitz, 2014). Udržitelné podniky by měly být transparentní vůči svým stakeholderům a dodržovat vysoké etické normy v obchodních praktikách. To zahrnuje férové platy, dodržování stanovených zákonů a vytváření důvěry mezi zákazníky a dodavateli.

## 2 Analýza současného stavu výrobního procesu

Druhá kapitola této práce začíná představením firmy ŠA. Následuje úvod do problematiky montážní linky na výrobu trakčních baterií elektromobilů a analýza pracoviště voskování, které budou zkoumáno za účelem zvýšení efektivity pomocí zavedení automatizace.

### 2.1 Představení společnosti Škoda Auto a.s.

Společnost ŠA je významným hráčem na poli automobilového průmyslu s bohatou historií a rozsáhlým portfoliem nabízených vozů. Byla založena v roce 1895 v Mladé Boleslavi, která je dodnes jejím domovem. Zakladatelé Václav Laurin a Václav Klement nejprve začali s výrobou jízdnicích kol a motocyklů. Až po deseti letech provozu postupně začínala ŠA i s výrobou osobních automobilů, které se dnes vyznačují kombinací kvality, inovací a cenové dostupnosti. Významným datem pro firmu ŠA je 16. dubna 1991. Den, kdy se ŠA stala součástí skupiny Volkswagen Group, což jí umožnilo nejen posílit svou globální pozici, ale také výrazně investovat do vývoje technologií a designu (Škoda Auto a.s., 2023d).

I přes náročný rok 2022, během kterého se objevily výzvy v podobě výpadků v dodavatelském řetězci, války na Ukrajině a pandemii koronaviru se společnosti podařilo dosáhnout tržeb z prodeje ve výši 444 miliard Kč a rentability tržeb ve výši 4 %. Celkem bylo zákazníkům dodáno 731 262 vozů, z toho 54 000 plně elektrických vozů, což představuje téměř 10% nárůst oproti předchozímu roku 2021 (Škoda Auto a.s., 2023d).

ŠA nabízí široké a atraktivní portfolio vozů čítající celkem jedenáct modelových řad. Od kompaktních vozů po SUV a nově i elektromobily. Společnost se výrazně angažuje na mezinárodních trzích a její vozidla jsou populární v Evropě, Asii, Africe a dalších regionech.

S ohledem na elektrifikovanou budoucnost představila společnost ŠA svou podnikovou strategii "*Next level – Škoda Strategy 2030*". Strategické cíle v oblasti udržitelnosti byly shrnuty do celkem čtyř hlavních pilířů (Škoda Auto, 2022a):

- Tři nové elektrické modely do roku 2026.
- Více než 70% podíl bateriových elektrických vozidel v Evropě do roku 2030.

- Snížení fleetových emisí CO<sub>2</sub> o více než 50 % oproti roku 2020.
- Snížení uhlíkové stopy prostřednictvím aktivit společnosti v celém hodnotovém řetězci.

První pilíř zachycuje snahu firmy ŠA o rozšíření portfolia nabízených elektrických vozidel. Přidání tří nových vozů do roku 2026 se jeví jako velmi ambiciózní, avšak realistický cíl. Výrobce tak reaguje na rostoucí poptávku po ekologických vozidlech s úmyslem stát se konkurenceschopnějším na rychle se rozvíjícím trhu.

Druhý pilíř má za cíl dosáhnout více než 70 % podílu prodávaných bateriových vozů v Evropě. To je významný krok k dekarbonizaci dopravy, což je klíčové pro snižování emisí skleníkových plynů a boj s klimatickými změnami.

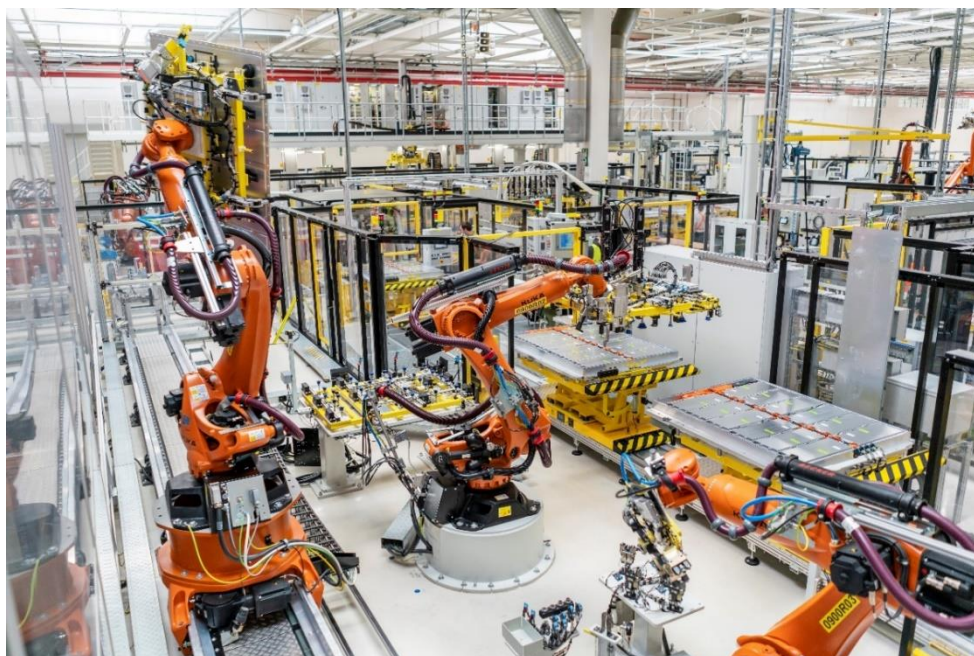
Společnost ŠA bere svou environmentální odpovědnost velmi vážně. Důkazem toho je pilíř třetí, který usiluje o snížení fleetových emisí CO<sub>2</sub> o více než 50 % oproti roku 2020. Toho bude dosaženo díky vývoji nových spalovacích motorů, které jsou výrazně šetrnější k životnímu prostředí než jejich předchůdci, a díky současnému zvyšování podílu prodávaných elektrických vozidel.

Poslední pilíř zobrazuje snahu o dosažení udržitelnosti v rámci celého hodnotového řetězce. Šetrné získávání potřebných výrobních surovin, provozování hlavní výroby, či naopak realizování konečné likvidace vozidel je zásadní pro snížení celkového environmentálního dopadu společnosti.

Strategické pilíře udržitelnosti zobrazují vizionářský záměr společnosti, který se zaměřuje na transformaci z tradičního výrobce automobilů na více elektrickou, mezinárodní a digitální značku, která zvládne úspěšně reagovat na měnící se potřeby současného trhu a ekologické výzvy.

## 2.2 Představení montáže trakčních baterií

Pracoviště voskování trakční baterie, které je předmětem této bakalářské práce, je součástí montážní linky bateriových systémů, značené GS3.1, v hlavním sídle společnosti ŠA v Mladé Boleslavi (viz Obr. 5). Montáž trakčních baterií zde byla zahájena dne 17. května 2022 s cílem montovat až 255 000 bateriových systémů ročně. Výsledný produkt není určen pouze pro vozy značky Škoda. Své využití nachází i v modelech koncernových značek Volkswagen, Audi, či SEAT. Nově postavená linka s vysokou úrovní automatizace zaměstnává okolo 250 kvalifikovaných zaměstnanců. Celkové investice do projektu činily zhruba 130 milionů euro (Škoda Auto a.s., 2022b).

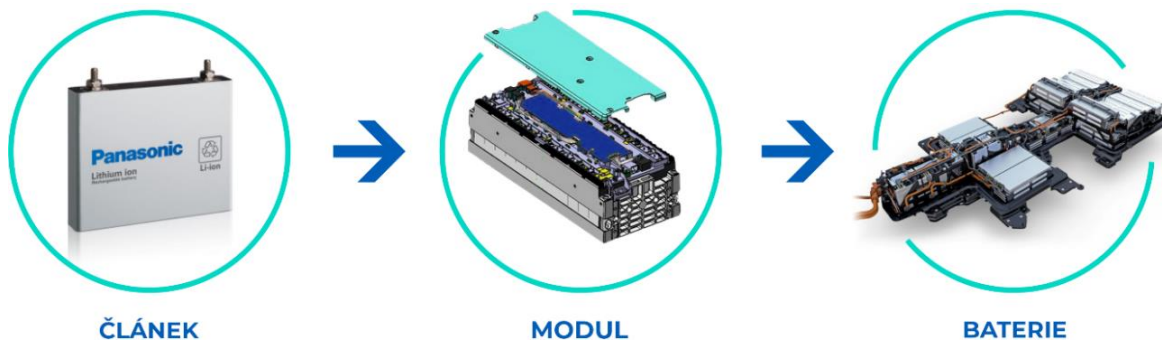


Zdroj: (Škoda Auto a.s., 2022b)

**Obr. 5 Montážní linka bateriových systémů GS3.1**

Trakční baterie v elektromobilech slouží k pohonu vozidla a jsou navrženy pro časté nabíjení a vybíjení. Tyto baterie se skládají z řady propojených galvanických článků, které fungují jako chemický zdroj elektrického proudu. Na rozdíl od klasických startovacích baterií jsou trakční baterie odolnější vůči cyklickému hlubokému vybíjení na 0 až 10 % jejich kapacity.

Konstrukce a jednotlivé komponenty trakční baterie se mohou lišit v závislosti na specifických požadavcích a zaměření různých automobilových výrobců. Přesto lze tvrdit, že u většiny trakčních baterií je možné rozlišit následující základní dělení (viz Obr. 6).



Zdroj: (DEVINN s.r.o., 2020)

**Obr. 6 Způsob konstruování trakční baterie**

Automobilové společnosti využívají různých typů bateriových článků spojených sériově, či paralelně v bateriové moduly. Z těch se následně skládá finální trakční baterie, která je umístěná do podlahy vozu (viz Obr. 7). Toto umístění baterie a její spojení s karoserií vozidla zvyšuje konstrukční tuhost vozu (Strube, 2020).

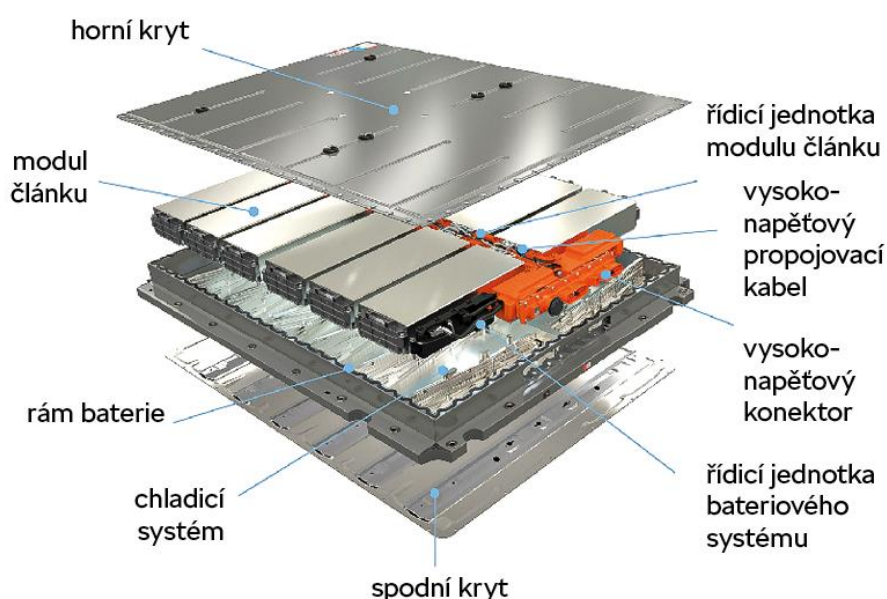


Zdroj: (Strube, 2020)

**Obr. 7 Platforma MEB pro elektrické vozy koncernu Volkswagen**

V trakčních bateriích firmy ŠA se nejčastěji využívá dvanácti bateriových modulů, umístěných v robustním hliníkovém rámu. Každý modul obsahuje 24 bateriových článků. Avšak konstrukce baterie není jen o bateriových modulech. Klíčovou součástí je i řídicí systém baterie, potřebná elektrická propojení, či chladicí systém integrovaný přímo ve skříni baterie, který udržuje optimální teplotu bateriových článků a zajišťuje tak jejich delší životnost a stabilitu (Mašek, 2020).

Tato konstrukce umožňuje efektivní využití energie z bateriových článků, snižuje riziko poškození a zároveň zvyšuje bezpečnost a spolehlivost trakční baterie. Pohled na jednotlivé komponenty baterie je zobrazen níže (viz Obr. 8).



Zdroj: (Strube, 2020)

**Obr. 8 Komponenty trakční baterie**

Spojením dvanácti bateriových modulů vznikne baterie o celkové kapacitě 82 kWh, z toho 77 kWh je k dispozici pro pohon vozu. Velkou nevýhodou trakční baterie je její hmotnost, která v případě 82 kWh verze dosahuje téměř 500 kg. Tento problém by se v budoucnosti měl vyřešit za použití nových technologií, které by dokázaly vyrábět bateriové články s menší hmotností a zároveň větší kapacitou zaručující delší dojezd vozidla.

Nicméně i tato stinná stránka má své výhody. Těžší baterie může příznivě ovlivnit jízdní vlastnosti elektromobilu díky nízko položenému těžišti, které zlepšuje stabilitu vozidla při průjezdu zatáčkami (Strube, 2020).

Ve firmě ŠA se momentálně vyrábí následující typy baterií:

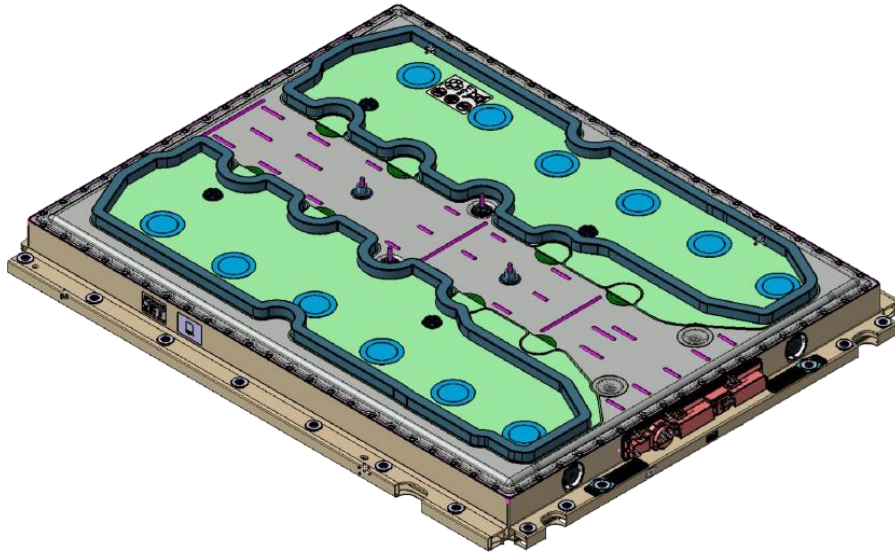
- Střední varianta (dále jen M100) – 9 modulů s kapacitou 62 kWh.
- Větší varianta (dále jen H125) – 12 modulů s kapacitou 82 kWh.
- Prémiová varianta (dále jen Premium) – 13 modulů s kapacitou 91 kWh.

### **2.3 Vymezení zkoumaného pracoviště**

Předmětem zkoumání a následné analýzy je montážní pracoviště aplikace vosku na trakční baterii, které je součástí bateriové linky GS3.1 představené v předchozí podkapitole. Vosk se aplikuje na povrchové šrouby a hrany trakční baterie z několika významných důvodů. Hlavním cílem voskování je vytvoření ochranné bariéry proti vlhkosti a solím, které způsobují korozi povrchových šroubů. Vosk pomáhá i vnitřní ochraně a to tím, že pomocí izolace šroubů zabraňuje možným zkratům a elektrickým únikům, které by mohly vést k poškození trakční baterie nebo jiné elektroniky vozidla. Dále slouží jako ochranný prvek před vibracemi vozidla, které jsou velmi časté a mohou tak vést až k uvolnění šroubů. V neposlední řadě vosk chrání povrchové šrouby a hrany před nečistotami, což snižuje riziko možných poruch.

Montážní linka GS3.1 se v době psaní bakalářské práce nacházela v období implementace opatření pro termální propagaci uvnitř baterie. Ta má za cíl lépe pracovat s distribucí tepla uvnitř baterie v případě nenadálého zvýšení teploty. To s sebou přináší nové díly a montážní postupy, které způsobí zvýšení technologické a časové náročnosti některých operací. Mezi nové díly lze zařadit ochranné krytky na vysokonapěťové propojky, slídové krytky pro středovou část baterie, či modifikované horní víko baterie (viz Obr. 9). Zmíněné úpravy mají zajistit větší ochranu a komfort uživatelů elektrických vozů koncernu Volkswagen Group.





Zdroj: (Škoda Auto a.s., 2023c)

**Obr. 9 Trakční baterie po zavedení opatření k termální propagaci**

Přechod na technologicky náročnější montáž výrazně zasáhne neefektivní ruční operace uvnitř montážního toku, které již nebudou schopny plnit stanovené výkonnostní požadavky (viz Tab. 1). Zasaženou operací je mimo jiné pracoviště ručního voskování trakční baterie. Nutné zefektivnění této montážní operace se jeví jako velká výzva, kterou se bude tato bakalářská práce zabývat.

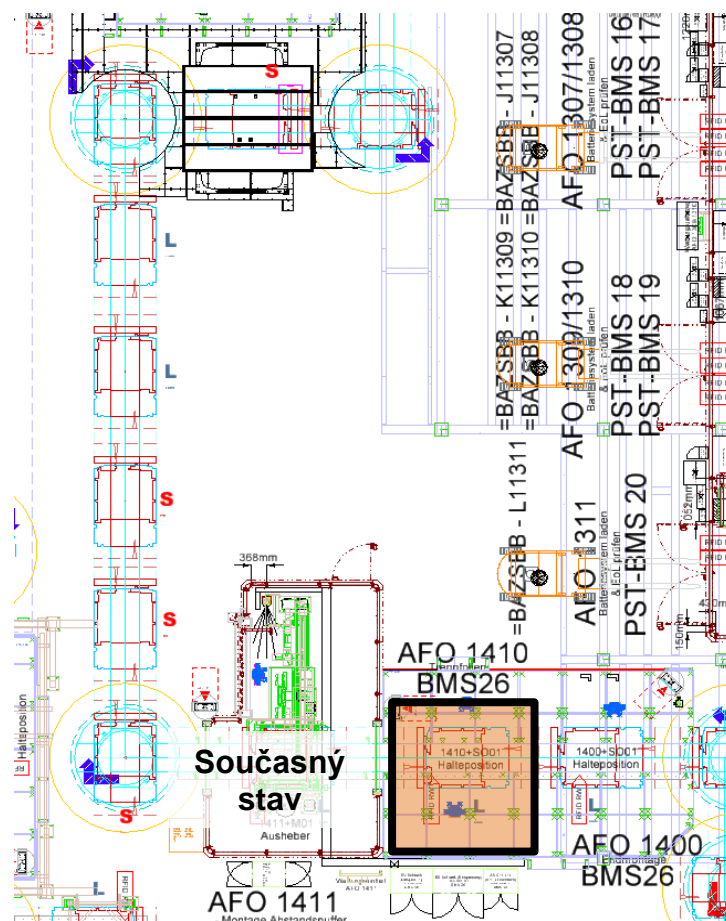
**Tab. 1 Požadavky na montážní pracoviště**

|                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| Pracovní doba                         | 3 směny/den    |
| Pracovních dnů                        | 250 za rok     |
| Výkon zařízení                        | 255 000 ks/rok |
| Takt                                  | 60 sekund      |
| Technická využitelnost zařízení (OEE) | 98 %           |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

## 2.4 Analýza současného stavu zkoumaného pracoviště

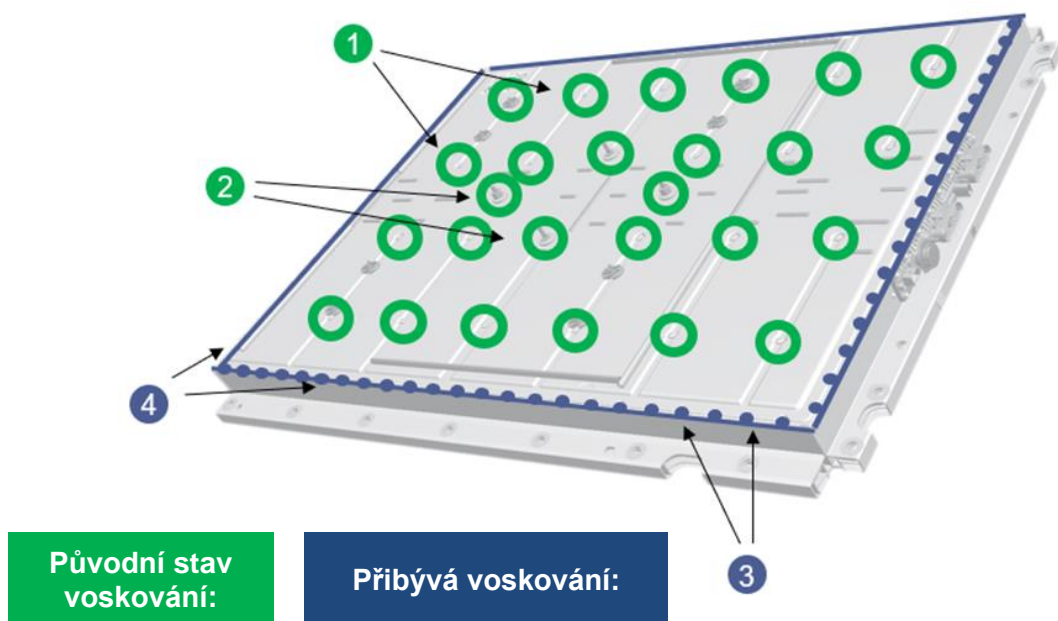
Pracoviště voskování trakční baterie se nachází na samotném konci montážního toku linky GS3.1 (viz Příloha 1) a nese označení AFO 1410 (viz Obr. 10). Problém současného stavu spočívá v tom, že ruční pracoviště není schopno efektivně plnit nově požadovanou technologickou náročnost montážního postupu, a proto je nutné v co nejkratší době přijít s návrhy pro optimalizaci pracoviště.



Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

**Obr. 10 Uspořádání současného stavu pracoviště**

Zvýšená technologická náročnost spočívá v navýšení počtu voskovaných šroubů a hran baterie. V současném stavu se voskování provádí pouze na kombi a dutých šroubech, označených na obrázku níže zelenou barvou (viz Obr. 11). Nové požadavky však k současnému stavu přidávají voskování obvodových flowdrill šroubů a všech čtyř hran baterie, označených modrou barvou.



- 1) Kombi šrouby
- 2) Duté šrouby

- 3) Flowdrill šroubů
- 4) Hran baterie

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

**Obr. 11 Zobrazení voskovaných šroubů a hran baterie**

Počet voskovaných šroubů se liší dle vyráběné varianty baterie (viz Tab. 2). Například u největší varianty Premium představuje budoucí stav voskování nárůst o 86 nově voskovaných flowdrill šroubů. K tomu u každé varianty nelze opomenout voskování čtyř obvodových hran baterie.

**Tab. 2 Přehled voskovaných šroubů jednotlivých variant baterií**

| Varianta       | Kombi šrouby (1) | Duté šrouby (2) | Flowdrill šrouby (3) |
|----------------|------------------|-----------------|----------------------|
| <b>M100</b>    | 14               | 4               | 72                   |
| <b>H125</b>    | 22               | 4               | 82                   |
| <b>Premium</b> | 22               | 4               | 86                   |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Voskování v současném stavu, tedy před zavedením navrhovaných změn, zvládnou vykonávat dva zaměstnanci na směnu do požadovaného taktu montážní linky 60 s (viz Tab. 1). Ke své práci využívají ruční vytlačovací pistole s kartuší vosku (viz Obr. 12), se kterou obchází každý šroub baterie a postupně aplikují požadované množství vosku (viz Příloha 3).



Zdroj: (Heureka Group a.s., 2023)

**Obr. 12 Vytlačovací pistole na kartuše**

### **Výpočet ukazatele OEE současného stavu pracoviště**

Pro detailnější zobrazení a potvrzení nedostatků současného stavu pracoviště byl vypočítán ukazatel celkové efektivity montážního pracoviště. Pro sestavení výpočtu byl simulován stav procesu voskování po zavedení navrhovaných změn, ale při zachování současné organizace pracoviště.

Měření bylo provedeno v rozmezí 20 pracovních dnů. Plánovaných výrobních přestávek bylo celkem 40 hodin (2 hodiny denně). Z toho byl spočítán disponibilní časový fond  $F_{tdisp}$  za sledovaných 20 pracovních dnů (2).

$$F_{tdisp} = (20 \times 24) - 40 \text{ hodin} = 440 \text{ hodin}$$

Pro splnění požadované denní výrobní kapacity 1 020 kusů je stanovená výkonnostní norma 47 ks/hod. Dále byly použity vzorce uvedené v podkapitole 1.4.

**Tab. 3 Výpočet OEE současného stavu pracoviště**

| <b>Položka</b>                           | <b>Současný stav</b> |
|--|----------------------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod. [ks] | 8 630                |
| Počet neshodné produkce [ks]             | 380                  |

| <b>Položka</b>          | <b>Současný stav</b> |
|-------------------------|----------------------|
| Poruchy [hod.]          | 2                    |
| Ostatní prostoje [hod.] | 11                   |
| Využitelný čas [hod.]   | 427                  |
| Plánovaný výkon [ks]    | 20 069               |
| Dostupnost              | 0,970                |
| Výkonnost               | 0,430                |
| Kvalita                 | 0,956                |
| <b>OEE</b>              | <b>0,399</b>         |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Současný stav pracoviště je sice vyhovující jak z pohledu dostupnosti, tak z pohledu dosahované kvality voskování, ale nepřijatelný z pohledu výkonnosti pracoviště. Nově stanovené technologické požadavky procesu voskování představují pro současný stav zkoumaného pracoviště nepřekonatelnou překážku. Pro oba pracovníky je proces bez změn pracoviště příliš obtížný, a to zejména z hlediska technologické a časové náročnosti operace. Výsledná hodnota OEE ve výši 39,9 % je důkazem toho, že je potřeba jít cestou optimalizace a hledání nových řešení.

### **Výpočet jednotkových nákladů současného stavu pracoviště**

Se současným stavem zkoumaného pracoviště jsou spojeny níže zmíněné náklady na jednotku baterie (viz Tab. 4). Ty vycházejí ze shodného časového období, jako bylo simulováno pro výpočet OEE, tedy z disponibilního časového fondu 440 hodin.

Do personálních nákladů byly zohledněny průměrné měsíční náklady zaměstnavatele na jednoho zaměstnance ve výši 43 457 Kč. Současný stav zkoumaného pracoviště zaměstnává dva pracovníky na směnu. Při zachování třísměnného provozu je tedy potřeba zaměstnávat celkem šest osob.

Pro výpočet finančních nákladů na spotřebu vosku byla uvažována průměrná hodnota spotřeby ve výši 83,53 g vosku na trakční baterii. Ta byla spočítána

aritmetickým průměrem ze spotřeb na jednotlivé varianty baterie (viz Příloha 3). U současného stavu je používána ruční vytlačovací pistole, do které se vkládají kartuše s voskem o objemu 5 l (~ 5 000 g) za nákupní cenu 1 800 Kč. Náklady na spotřebovaný gram vosku jsou tedy u současného stavu 0,36 Kč/g.

Náklady na spotřebu elektrické energie byly vyčísleny na 2 400 Kč za sledované časové období. To zahrnuje zejména elektřinu potřebnou pro osvětlení zkoumaného montážního pracoviště.

**Tab. 4 Náklady na jednotku baterie pro současný stav pracoviště**

| <b>Položka</b>                        | <b>Současný stav</b> |
|---------------------------------------|----------------------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod.   | 8 630 ks             |
| Personální náklady                    | 260 742 Kč           |
| Náklady na spotřebu vosku             | 259 521 Kč           |
| Energetické náklady                   | 2 400 Kč             |
| Personální náklady na jednotku        | 30,213 Kč            |
| Náklady na spotřebu vosku na jednotku | 30,072 Kč            |
| Energetické náklady na jednotku       | 0,278 Kč             |
| <b>Celkové náklady na jednotku</b>    | <b>60,563 Kč</b>     |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Personální náklady na jednotku a náklady na spotřebu vosku na jednotku vyšly v téměř stejné výši 30 Kč. Energetické náklady byly vyčísleny na 0,278 Kč na jednotku vyrobené baterie. Celkové náklady na jednotku ve výši 60,563 Kč.

Vypočtená efektivita montážního pracoviště a jednotkové náklady současného stavu budou použity pro porovnání s jednotlivými návrhy řešení, které budou představeny v následující kapitole.

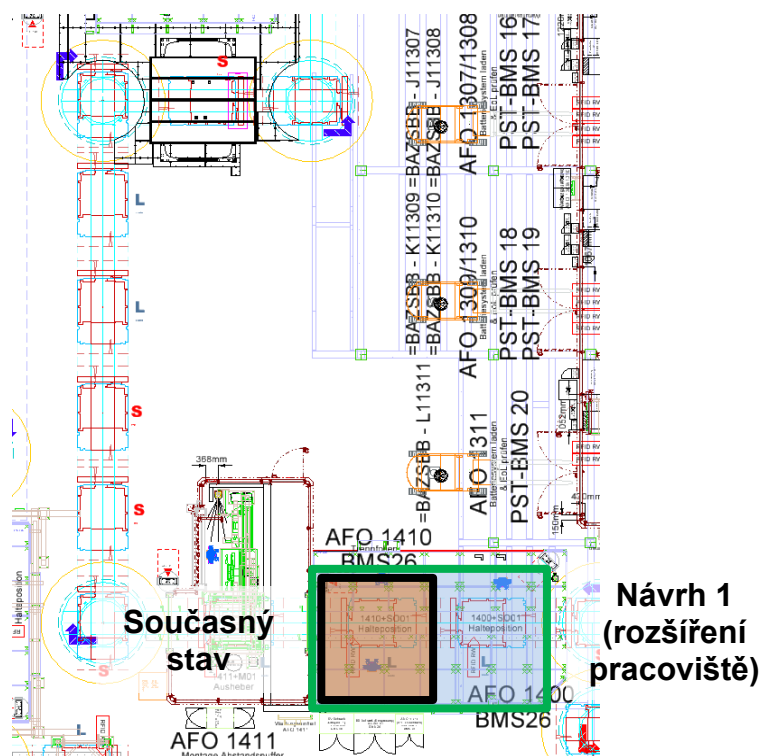
### 3 Návrhy optimalizace zkoumaného pracoviště

Pro vyřešení nedostatků současného stavu procesu voskování budou v následujících podkapitolách představeny a detailně rozebrány dva návrhy řešení, které by měly přispět k celkovému zvýšení efektivity a výkonnosti zkoumaného montážního pracoviště. Zejména ke zvýšení skutečného objemu produkce, a tím k pozitivnímu ovlivnění celkové hodnoty OEE.

První možností, jak vyřešit současnou neefektivitu a ergonomickou náročnost procesu voskování, je zdokonalení stávajícího modelu ručního pracoviště. Úprava spočívá ve změně uspořádání zkoumaného pracoviště a představení organizačních opatření. Druhou variantou je možné zavedení automatizace a vytvoření tak zcela nové automatické stanice v rámci montážní linky GS3.1.

#### 3.1 Návrh 1 – Změny v uspořádání pracoviště a organizační opatření

První návrh optimalizace současného stavu ručního pracoviště zahrnuje zdvojnásobení počtu obsluhujícího personálu z dvou na čtyři a k tomu vhodné uspořádání pracoviště. To by zahrnovalo rozšíření současného stavu pracoviště kvůli zajištění dostatečného pracovního prostoru (viz Obr. 13).



Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

**Obr. 13** Navrhované uspořádání pracoviště návrhu 1

Používaná technika je navrhována totožná jako ve stávajícím stavu montážního pracoviště. Tedy opět by bylo využíváno vytlačovacích pistolí s kartušemi vosku. Pouze bude zajištěn jejich větší počet tak, aby byly vždy k dispozici pro všechny obsluhující pracovníky (viz Obr. 12).

Nicméně i toto řešení má svá omezení. Přináší s sebou nárůst personálních nákladů, což negativně ovlivní celkovou ziskovost výrobku a samotné společnosti ŠA. Dále, i přes navýšení počtu pracovníků je pravděpodobné, že ruční proces zůstane nadále méně efektivní než plně automatizované řešení. Lidská práce je náchylná k chybám a tím může docházet k častým zpožděním a vzniku neshodné produkce. V neposlední řadě je nutné zmínit, že manuální proces je obtížně škálovatelný při potenciálním zvyšování výrobní produkce v budoucnu.

### Výpočet ukazatele OEE návrhu 1

Pro představení konkrétních hodnot návrhu 1 byl simulován výpočet ukazatele OEE a ten byl následně porovnán oproti hodnotám současného stavu pracoviště (viz Tab. 5). Pro výpočet efektivity bylo vycházeno ze stejných základních hodnot.

**Tab. 5 Výpočet OEE návrhu 1 a porovnání se současným stavem**

| <b>Položka</b>                           | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 1</b> | <b>Změna</b>   |
|--|----------------------|----------------|----------------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod. [ks] | 8 630                | 17 260         | + 100 %        |
| Počet neshodné produkce [ks]             | 380                  | 250            | - 34 %         |
| Poruchy [hod.]                           | 2                    | 2              | 0 %            |
| Ostatní prostoje [hod.]                  | 11                   | 8              | - 27 %         |
| Využitelný čas [hod.]                    | 427                  | 430            | + 1 %          |
| Plánovaný výkon [ks]                     | 20 069               | 20 210         | + 1 %          |
| Dostupnost                               | 0,970                | 0,977          | + 1 %          |
| Výkonnost                                | 0,430                | 0,854          | + 99 %         |
| Kvalita                                  | 0,956                | 0,986          | + 3 %          |
| <b>OEE</b>                               | <b>0,399</b>         | <b>0,823</b>   | <b>+ 106 %</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)



Zdvojnásobení obsluhujícího personálu má za následek zdvojnásobení skutečného objemu produkce. Dále dojde ke snížení počtu neshodné produkce a ostatních prostojů montážního pracoviště. To je dáno rozložením časové a technologické náročnosti mezi celkem čtyři pracovníky, oproti dvou v současném stavu. Nejvýraznější skok je pozorován v celkové hodnotě OEE, která se zvýší o celých 106 %, v čemž lze spatřit velmi výrazný přínos tohoto návrhu. Je to dáno zejména zdvojnásobením ukazatele výkonnosti, který se z naměřených 43,0 % současného stavu zkoumaného pracoviště zvýšil na hodnotu 85,4 %.

### Výpočet jednotkových nákladů návrhu 1

V této části budou vyčísleny náklady na jednotku baterie (viz Tab. 6). Ty opět vycházejí z disponibilního časového fondu 440 hodin, tedy stejně jako tomu bylo pro výpočet hodnot současného stavu.

Do personálních nákladů se promítne navýšení počtu obsluhujícího personálu z dvou zaměstnanců na čtyři na směnu. Při zachování třísměnného provozu by tedy tento návrh zaměstnával celkem dvanáct osob. Průměrné měsíční náklady na zaměstnance zůstávají ve výši 43 457 Kč.

Pro výpočet nákladů na spotřebu materiálu byla opět uvažována průměrná spotřeba vosku ve výši 83,53 g na trakční baterii. I u tohoto řešení je navrhováno použití vytlačovací pistole s kartuší o objemu 5 l (~ 5 000 g) za nákupní cenu 1 800 Kč. Náklady na spotřebovaný gram vosku jsou vyčíslené shodně se současným stavem zkoumaného pracoviště na 0,36 Kč/g.

**Tab. 6 Náklady na jednotku baterie pro návrh 1**

| Položka                             | Současný stav | Návrh 1    | Změna   |
|-------------------------------------|---------------|------------|---------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod. | 8 630 ks      | 17 260 ks  | + 100 % |
| Personální náklady                  | 260 742 Kč    | 521 484 Kč | + 100 % |
| Náklady na spotřebu vosku           | 259 521 Kč    | 519 043 Kč | + 100 % |
| Energetické náklady                 | 2 400 Kč      | 2 400 Kč   | 0 %     |
| Personální náklady na jednotku      | 30,213 Kč     | 30,213 Kč  | 0 %     |

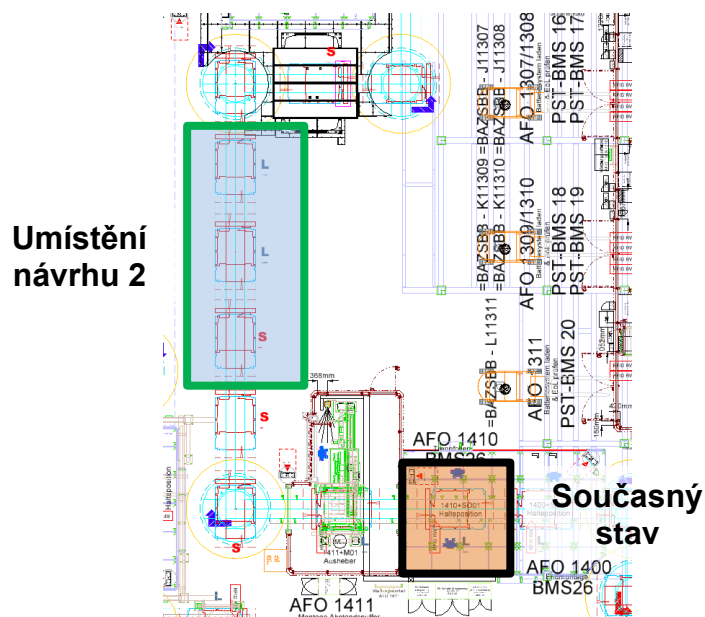
| Položka                               | Současný stav    | Návrh 1          | Změna          |
|---------------------------------------|------------------|------------------|----------------|
| Náklady na spotřebu vosku na jednotku | 30,072 Kč        | 30,072 Kč        | 0 %            |
| Energetické náklady na jednotku       | 0,278 Kč         | 0,139 Kč         | - 50 %         |
| <b>Celkové náklady na jednotku</b>    | <b>60,563 Kč</b> | <b>60,424 Kč</b> | <b>- 0,2 %</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Jak personální náklady na jednotku, tak spotřeba materiálu na jednotku zůstávají na shodné úrovni v porovnání se současným stavem. To je způsobeno zdvojnásobením skutečného objemu výroby za současného zdvojnásobení počtu obsluhujícího personálu a spotřeby materiálu. Pokud by však návrh počítal s nakupováním výhodnějšího balení vosku oproti současnému stavu pracoviště, pak by zde mohla být realizována znatelná úspora v provozních nákladech. Spotřeba energie zůstává na stejné úrovni, jelikož navrhované řešení nezahrnuje pořízení dalšího vybavení, které by nějak ovlivňovalo její spotřebu.

### 3.2 Návrh 2 – Zavedení automatizovaného pracoviště

Druhý návrh představuje zavedení zcela nové automatické stanice. Ta by byla strategicky umístěna v blízkosti stávajícího pracoviště (viz Příloha 2), konkrétně v prostoru, který je v současné době nevyužitý (viz Obr. 14).



Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

**Obr. 14** Navrhované umístění pracoviště návrhu 2

Automatizované řešení by mělo přinést výrazné zvýšení rychlosti, efektivity a přesnosti procesu voskování. Naopak, hlavní nevýhody tohoto přístupu představují vysoké počáteční investiční náklady a snížení počtu pracovních míst, jelikož celou automatickou stanici by byl schopen obsluhovat pouze jeden kvalifikovaný pracovník na směnu.

Toto komplexnější řešení bude v dílčích podkapitolách rozebráno z pohledu navrhovaného technického řešení, umístění stanice a rozvržení pracovních činností mezi jednotlivé roboty.

### **3.2.1 Navrhované technické řešení automatizovaného pracoviště**

Vzhledem k časové a technologické náročnosti nových požadavků na proces voskování byl zpracován návrh automatické stanice s využitím celkem pěti průmyslových robotů KUKA Quantec-2 VKR210 R2700-2 (viz Obr. 15). Roboty tohoto typu jsou v současné době spolehlivě využívány i v dalších automatických stanicích v rámci linky GS3.1.

Tato automatická zařízení přináší výhody vysoké přesnosti, rychlosti a flexibility pro různé průmyslové aplikace. Zabudované bezpečnostní prvky, dlouhá životnost a snadná programovatelnost robotů má pozitivní vliv na efektivitu a produktivitu výrobních operací. Automatické stroje jsou navíc vybaveny monitorovacími a diagnostickými systémy pro sledování a pravidelnou údržbu. To činí roboty KUKA atraktivním řešením pro automatizaci výrobních procesů v různých odvětvích nejen automobilového průmyslu (KUKA, 2023).

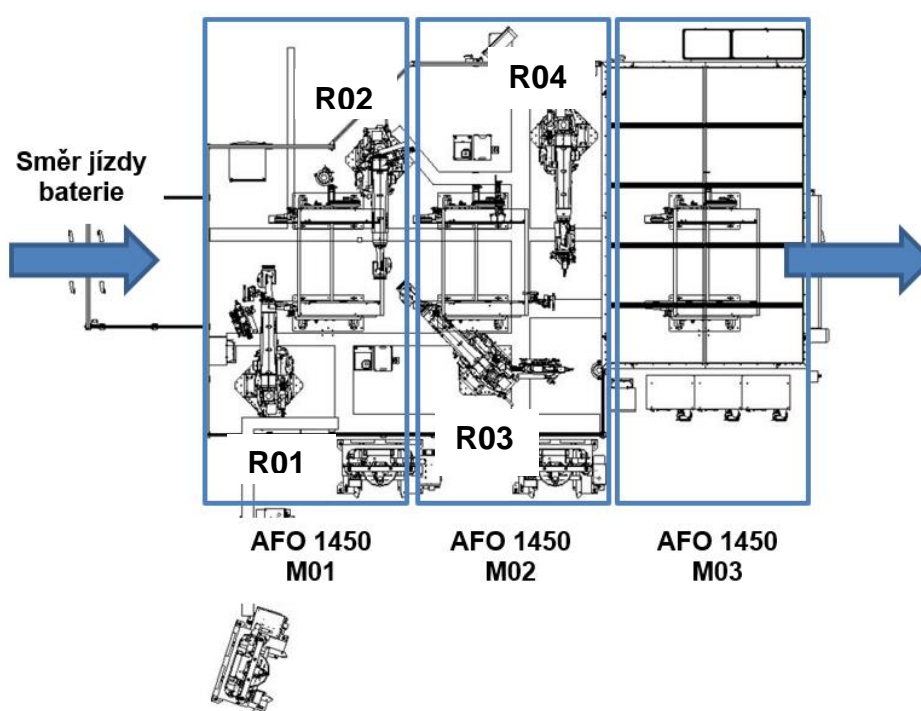


Zdroj: (KUKA, 2023)

**Obr. 15 Průmyslový robot KUKA Quantec-2 VKR210 R2700-2**

### 3.2.2 Navrhované uspořádání automatizovaného pracoviště

Navrhované automatizované pracoviště voskování nese zastřešující označení AFO 1450. Činnosti automatické stanice byly navrženy do třech samostatných montážních úseků. V první části, označené AFO 1450 M01, by operovaly roboty R01 a R02 nanášející vosk na vybrané povrchové šrouby a hrany baterie (viz Obr. 16). V druhé části, AFO 1450 M02, by operovaly roboty R03 a R04, které by měly na starost voskování zbylých šroubů a hran trakční baterie. V zastřešené části, označené AFO 1450 M03, je navržen pouze jeden robot, který provede finální kamerovou kontrolu procesu.



Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

**Obr. 16 Navrhované uspořádání a montážní úseky návrhu 2**

Součástí tohoto návrhu bylo i zpracování repasního konceptu pracoviště, podle kterého jsou všechny baterie, identifikované kamerovým kontrolním systémem v úseku AFO 1450 M03 jako nevyhovující, z úseku neprodleně vyvedeny a přesunuty na náhradní ruční technologii, kde by lidský personál vzniklé chyby automatického procesu opravil a potvrdil správnost provedení. Toto řešení zajišťuje, že všechny baterie, které projdou výrobním procesem, splňují požadované standardy kvality.

Dále je v rámci této dílčí podkapitoly zobrazen detailní pohled na rozvržení pracovních činností mezi jednotlivé roboty navrhovaného automatizovaného

pracoviště. Jako příklad je zde uvedeno rozdělení pracovních činností u nejčastěji vyráběné varianty baterie H125 (viz Tab. 7).

**Tab. 7 Navrhované rozvržení voskování šroubů a hran baterie – návrh 2**

| Položka          | Počet celkem | Robot 01 | Robot 02 | Robot 03 | Robot 04 |
|------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| Duté šrouby      | 4            | 4        |          |          |          |
| Kombi šrouby     | 22           | 6        |          |          | 16       |
| Flowdrill šrouby | 82           |          | 41       | 41       |          |
| Kratší hrana     | 2            |          | 1        | 1        |          |
| Delší hrana      | 2            |          | 1        | 1        |          |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Pracovní činnosti byly navrženy a rozděleny tak, aby jednotlivým robotům zabraly co nejvíce podobné časové úseky. Pro splnění požadovaného taktu 60 s byl brán v potaz využitelný časový fond 45 s. Zbýlých 15 s je k dispozici pro přejezd baterie z jednoho montážního úseku do druhého. Časově nejnáročnější je voskování dutých šroubů, proto je toto jediná činnost robota R01. Naopak, nejrychlejší je voskování obvodových flowdrill šroubů, které bylo v navrhovaném stavu rovnoměrně rozděleno mezi roboty s označením R02 a R03.

### Výpočet ukazatele OEE návrhu 2

Dalším krokem bylo vypočtení klíčového ukazatele OEE pro návrh 2 a následné porovnání oproti hodnotám současného stavu zkoumaného pracoviště (viz Tab. 8). Pro výpočet bylo použito stejných základních hodnot a časového fondu 440 hod.

**Tab. 8 Výpočet OEE návrhu 2 a porovnání se současným stavem**

| Položka                                  | Současný stav | Návrh 2 | Změna   |
|--|---------------|---------|---------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod. [ks] | 8 630         | 19 970  | + 131 % |
| Počet neshodné produkce [ks]             | 380           | 120     | - 68 %  |

| <b>Položka</b>          | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 2</b> | <b>Změna</b>   |
|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Poruchy [hod.]          | 2                    | 4              | + 100 %        |
| Ostatní prostoje [hod.] | 11                   | 4              | - 64 %         |
| Využitelný čas [hod.]   | 427                  | 432            | + 1 %          |
| Plánovaný výkon [ks]    | 20 069               | 20 304         | + 1 %          |
| Dostupnost              | 0,970                | 0,982          | + 1 %          |
| Výkonnost               | 0,430                | 0,984          | + 129 %        |
| Kvalita                 | 0,956                | 0,994          | + 4 %          |
| <b>OEE</b>              | <b>0,399</b>         | <b>0,960</b>   | <b>+ 141 %</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Efektivní využití průmyslových robotů má za následek 131% nárůst skutečného objemu produkce oproti stávajícímu stavu zkoumaného pracoviště. Zjištěné výsledky potvrdily, že zapojení robotů do výrobních procesů pozitivně ovlivňuje realizovaný objem produkce a zároveň celkovou jakost výrobků. Jediná nevýhoda tohoto návrhu je spatřena v možném vzniku poruch v rámci fáze zavádění automatizovaného pracoviště. Právě toto období je často spjato s výskytem neočekávaných problémů, které nebyly zřejmé během fáze návrhu. Celková hodnota OEE se tímto návrhem zvýší o 141 %. Zlepšení je očekáváno u ukazatelů dostupnosti, kvality a hlavně výkonnosti, který ze současných 43,0 % vzrostl na hodnotu 98,4 %.

### **Výpočet jednotkových nákladů návrhu 2**

Poslední část této dílčí podkapitoly se věnuje vyčíslení nákladů na jednotku baterie u návrhu automatizovaného pracoviště (viz Tab. 9). Opět byl použit disponibilní časový fond 440 hodin tak, jako tomu bylo pro výpočet ukazatele OEE.

Obsluhující personál se ze dvou zaměstnanců snížil pouze na jednoho na směnu. Celkem se tedy při třisměnném provozu předpokládá se zaměstnáním třech kvalifikovaných pracovníků. Náklady na zaměstnance zůstávají ve výši 43 457 Kč.

Průměrná spotřebu vosku na kus baterie je opět 83,53 g. Změna nastává u nakupovaného balení. Automatizované řešení předpokládá nákup materiálu v sudech o celkovém objemu 200 l (~ 200 000 g) za cenu 62 400 Kč. Náklady na spotřebovaný gram vosku se tím snížily na 0,312 Kč/g.

Zvýšení naopak nastává u nákladů za spotřebovanou energii. To je způsobeno zapojením pěti průmyslových robotů a dalších zařízení do montážního procesu.

**Tab. 9 Náklady na jednotku baterie pro návrh 2**

| <b>Položka</b>                        | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 1</b>   | <b>Změna</b>  |
|---------------------------------------|----------------------|------------------|---------------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod.   | 8 630 ks             | 19 970 ks        | + 131 %       |
| Personální náklady                    | 260 742 Kč           | 130 371 Kč       | - 50 %        |
| Náklady na spotřebu vosku             | 259 521 Kč           | 520 466 Kč       | + 101 %       |
| Energetické náklady                   | 2 400 Kč             | 15 840 Kč        | + 560 %       |
| Personální náklady na jednotku        | 30,213 Kč            | 6,528 Kč         | - 78 %        |
| Náklady na spotřebu vosku na jednotku | 30,072 Kč            | 26,062 Kč        | - 13 %        |
| Energetické náklady na jednotku       | 0,278 Kč             | 0,793 Kč         | + 185 %       |
| <b>Celkové náklady na jednotku</b>    | <b>60,563 Kč</b>     | <b>33,383 Kč</b> | <b>- 45 %</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Personální náklady na kus baterie klesnou o 78 %. To je dáno snížením počtu obsluhujících pracovníků o polovinu a zároveň zvýšením počtu vyráběných kusů baterií. Dalším pozitivem je snížení jednotkových nákladů na spotřebu vosku. To je způsobeno tím, že u návrhu automatické stanice je počítáno s nakupováním vosku ve výhodnějším balení. Naopak nevýhodu automatizovaného řešení představuje zvýšení nákladů za energie kvůli zavedení průmyslových robotů do procesu voskování trakční baterie elektromobilů. V porovnání celkových nákladů na jednotku vyrobené baterie vyšel o 45 % lépe návrh automatizovaného pracoviště.

## 4 Vyhodnocení jednotlivých návrhů

Tato kapitola se věnuje vyhodnocení navrhovaných řešení optimalizace současného stavu pracoviště voskování. V první části je porovnána efektivita jednotlivých návrhů pomocí ukazatele OEE. Druhá část se věnuje porovnání s ohledem na ekonomickou náročnost. Tu lze rozdělit na oblast zhodnocení prvotní investice a na výpočet provozní ziskovosti jednotlivých řešení. Vyhodnocení je provedeno z různých aspektů tak, aby bylo možné určit, zda sledované návrhy jsou schopné přinést očekávané výsledky, či nikoli.

### 4.1 Celková efektivita pracoviště

Efektivita jednotlivých návrhů řešení již byla vypočtena v rámci předchozích podkapitol této bakalářské práce. Nyní budou výsledné hodnoty OEE, za sledovaných 440 hodin disponibilního časového fondu, sepsány do jedné shrnující tabulky tak, aby byly viditelné jednotlivé rozdíly (viz Tab. 10).

*Tab. 10 Porovnání OEE jednotlivých návrhů*

| <b>Položka</b>                           | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 1</b> | <b>Návrh 2</b> |
|--|----------------------|----------------|----------------|
| Skutečný objem produkce za 440 hod. [ks] | 8 630                | 17 260         | 19 970         |
| Počet neshodné produkce [ks]             | 380                  | 250            | 120            |
| Poruchy [hod.]                           | 2                    | 2              | 4              |
| Ostatní prostoje [hod.]                  | 11                   | 8              | 4              |
| Využitelný čas [hod.]                    | 427                  | 430            | 432            |
| Plánovaný výkon [ks]                     | 20 069               | 20 210         | 20 304         |
| Dostupnost                               | 0,970                | 0,977          | 0,982          |
| Výkonnost                                | 0,430                | 0,854          | 0,984          |
| Kvalita                                  | 0,956                | 0,986          | 0,994          |
| <b>OEE</b>                               | <b>0,399</b>         | <b>0,823</b>   | <b>0,960</b>   |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)



Nejlepší variantu z pohledu celkové efektivity montážního pracoviště představuje návrh 2 – zavedení automatizovaného procesu voskování. Návrh 1, který zahrnuje změnu v uspořádání zkoumaného pracoviště a zavedení organizačních opatření dosáhl na hodnotu OEE o téměř 15 % horší. Rozdíl byl viditelný zejména v dosahované výkonnosti. Vypočtené hodnoty OEE potvrdily tvrzení, že zapojení robotů do výrobních procesů má pozitivní vliv na produktivitu a efektivitu daných činností. Vzhledem k zadaným požadavkům na výkonnost výrobního pracoviště vychází v této oblasti jediné přípustné řešení a to návrh 2 (viz Tab. 1).

## 4.2 Potřebná prvotní investice

Cílem vyhodnocení výše prvotních nákladů je posouzení finančních dopadů dvou odlišných přístupů: vybudování nové automatizované stanice a úpravy stávajícího ručního pracoviště. Z důvodu zveřejňování citlivých dat z oblasti investičních nákladů ŠA budou částky poupraveny a zaokrouhleny na celé tisíce.

### Návrh 1 – Změny v uspořádání pracoviště a organizační opatření

Úprava stávajícího modelu ručního pracoviště dle návrhu 1 by dle odborného odhadu vyšla na celkem 3 000 000 Kč (viz Tab. 11). Tato částka obsahuje především prostorovou úpravu pracoviště k zajištění dostatku pracovního místa pro obsluhující zaměstnance, kteří tak budou schopni efektivně vykonávat svou práci. Kromě toho je nutné pořídit vyšší počet pracovních nástrojů a jiných zařízení, například v podobě aplikačních pistolí na kartuše vosku. Dalším důležitým krokem je optimalizace toku materiálu na pracovišti tak, aby byl materiál všem snadno dostupný a proces voskování byl co nejplynulejší.

**Tab. 11 Přehled pořizovacích nákladů návrhu 1**

| <b>Položka</b>                  | <b>Částka</b>       |
|---------------------------------|---------------------|
| Rozšíření montážního pracoviště | 2 200 000 Kč        |
| Dokup pracovních nástrojů       | 100 000 Kč          |
| Optimalizace toku materiálu     | 700 000 Kč          |
| <b>Celkem</b>                   | <b>3 000 000 Kč</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

## Návrh 2 – Zavedení automatizovaného pracoviště

Vybudování zcela nové automatické stanice voskování by zahrnovalo například pořízení celkem pěti průmyslových robotů, či aplikační jednotky, která má na starost efektivní nanášení vosku na trakční baterii. Další významné položky představuje pořízení nutné mechaniky, řídicího systému, výkony programátorů atd. Detailněji je rozpis uveden v tabulce níže (viz Tab. 12).

**Tab. 12** Přehled pořizovacích nákladů návrhu 2

| <b>Položka</b>                            | <b>Částka [Kč]</b>   |
|---|----------------------|
| Průmyslové roboty                         | 4 320 000            |
| Mechanika                                 | 7 200 000            |
| Řídicí systém                             | 3 600 000            |
| Aplikační jednotka                        | 9 600 000            |
| Materiál (oplocení, světelné závory atd.) | 2 400 000            |
| Výkony programátorů                       | 4 800 000            |
| <b>Celkem</b>                             | <b>31 920 000 Kč</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Celková investiční náročnost návrhu 2 byla vyčíslena na 31 920 000 Kč. Toto investičně náročné řešení, je na druhou stranu jako jediné schopné v dlouhodobém horizontu dosáhnout požadované výkonnosti pracoviště.

### Porovnání investic do jednotlivých variant návrhů

Poslední část podkapitoly ohledně prvotních investic se věnuje porovnání náročnosti jednotlivých návrhů (viz Tab. 13). Jak je z tabulky zřejmé, tak nejnáročnější variantu představuje návrh 2, který počítá s vybudováním zcela nové automatické stanice. Naopak variantu s nulovými investicemi představuje ponechání současného stavu, které ale není schopné dosahovat požadované výkonnosti zařízení.

**Tab. 13 Porovnání investic do jednotlivých návrhů**

| <b>Položka</b>    | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 1</b> | <b>Návrh 2</b> |
|-------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Prvotní investice | 0 Kč                 | 3 000 000 Kč   | 31 920 000 Kč  |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

### **4.3 Dosažený zisk v jednotlivých letech provozu**

K posouzení vhodnosti jednotlivých návrhů po stránce ekonomické byl vypočítán zisk za několik let provozu jednotlivých řešení. V jeho výpočtu jsou zahrnuty tři zásadní parametry: celkové výnosy, vynaložená prvotní investice a provozní náklady za sledované časové období. Jednorázové náklady společně s náklady provozními poskytují ucelený obraz o finanční náročnosti jednotlivých variant. Naopak, výnosy slouží jako významný ukazatel finanční úspěšnosti projektu.

Mezi hlavní cíle nejen výrobních firem lze zařadit právě maximalizace zisku. Tento ukazatel efektivně odráží finanční zdraví a udržitelnost jednotlivých projektů. Pro jeho výpočet byl použit následující vzorec (5):

$$Zisk = Výnosy - náklady$$

$$Zisk = Výnosy - vynaložená investice - provozní náklady \quad (5)$$

Zisk z provozní činnosti je dán rozdílem celkových výnosů od vynaložené investice a provozních nákladů za sledované časové období. V následující části bude detailně rozepsáno období dvou let, a to z důvodu požadavků ze strany ŠA, které stanovují, že každá realizovaná investice musí být navrácena právě do dvou let od uvedení do provozu. Výpočty byly zahrnuty do tabulky níže (viz Tab. 14).

Pro výpočet celkových výnosů plynoucích ze stanice voskování bylo vycházeno z odborného odhadu výnosu na jeden kus navoskované baterie ve výši 150 Kč. Ostatní hodnoty byly přebrány z dílčích tabulek kapitoly 3, kde byl ke každému návrhu vypočítán ukazatel OEE a jednotkové náklady na voskování baterie.

**Tab. 14 Výpočet ziskovosti jednotlivých návrhů za období dvou let**

| <b>Položka</b>  | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 1</b>       | <b>Návrh 2</b>       |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| Výroba za 1 měsíc provozu (disponibilních 440 hod.)   | 8 630 ks             | 17 260 ks            | 19 970 ks            |
| Výroba za 2 roky provozu (disponibilních 10 560 hod.) | 207 120 ks           | 414 240 ks           | 479 280 ks           |
| Výnos za vyrobený kus                                 | 150 Kč               |                      |                      |
| Výnosy za 2 roky                                      | 31 068 000 Kč        | 62 136 000 Kč        | 71 892 000 Kč        |
| Vynaložená investice                                  | 0 Kč                 | 3 000 000 Kč         | 31 920 000 Kč        |
| Personální náklady za 1 měsíc                         | 260 742 Kč           | 521 484 Kč           | 130 371 Kč           |
| Personální náklady za 2 roky                          | 6 257 808 Kč         | 12 515 616 Kč        | 3 128 904 Kč         |
| Náklady na spotřebu vosku za 1 měsíc                  | 259 521 Kč           | 519 043 Kč           | 520 466 Kč           |
| Náklady na spotřebu vosku za 2 roky                   | 6 228 513 Kč         | 12 457 025 Kč        | 12 491 187 Kč        |
| Energetické náklady za 1 měsíc                        | 2 400 Kč             | 2 400 Kč             | 15 840 Kč            |
| Energetické náklady za 2 roky                         | 57 600 Kč            | 57 600 Kč            | 380 160 Kč           |
| Provozní náklady za 2 roky                            | 12 543 921 Kč        | 25 030 241 Kč        | 16 000 251 Kč        |
| <b>Zisk za 2 roky</b>                                 | <b>18 524 079 Kč</b> | <b>34 105 759 Kč</b> | <b>23 971 749 Kč</b> |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Ponechání současného stavu pracoviště by dokázalo přinést celkem 18 524 079 Kč za sledované roky provozu. Výrazně lépe si ve dvouletém porovnání vedl návrh 1, který dosáhl zisku ve výši 34 105 759 Kč, čímž dokonce překonal i návrh zavedení automatizovaného pracoviště. Tento výsledek je dán vysokými investičními náklady spojenými s návrhem 2, které v počátečních letech provozu výrazně snižují jeho ziskovost.

Při dlouhodobějším provozu bude na důležitosti nabývat výše provozních nákladů jednotlivých variant. Z té je zřejmé, že návrh 2 bude postupně dosahovat vyšší finanční výnosnosti oproti návrhu 1.

Konkrétní vyčíslení zisku za 1 až 5 let provozu je provedeno v tabulce níže (viz Tab. 15). Při výpočtech je uvažována neměnná výše měsíční produkce, odpovídající disponibilnímu časovému fondu 440 hodin, která byla následně roznásobena dle délky sledovaného časového období.

**Tab. 15 Porovnání ziskovosti jednotlivých návrhů v jednotlivých letech**

| <b>Položka</b>                                      | <b>Současný stav</b> | <b>Návrh 1</b> | <b>Návrh 2</b> |
|---|----------------------|----------------|----------------|
| Výroba za 1 měsíc provozu (disponibilních 440 hod.) | 8 630 ks             | 17 260 ks      | 19 970 ks      |
| Zisk za 1 rok provozu                               | 9 262 040 Kč         | 15 552 879 Kč  | - 3 974 126 Kč |
| Zisk za 2 roky provozu                              | 18 524 079 Kč        | 34 105 759 Kč  | 23 971 749 Kč  |
| Zisk za 3 roky provozu                              | 27 786 119 Kč        | 52 658 638 Kč  | 51 917 623 Kč  |
| Zisk za 4 roky provozu                              | 37 048 159 Kč        | 71 211 517 Kč  | 79 863 498 Kč  |
| Zisk za 5 let provozu                               | 46 310 198 Kč        | 89 764 397 Kč  | 107 809 372 Kč |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)

Problémem současného stavu je již několikrát zmíněná nedostatečná výše skutečné výroby. Ta způsobuje, že pracoviště bez jakýchkoliv úprav není schopno dosahovat vyhovujících finančních výsledků v porovnání s návrhy 1 a 2.

Nevýhodou návrhu 1 jsou jeho vysoké provozní náklady, zejména náklady personální, což se z dlouhodobého hlediska nejeví jako správný návrh úpravy pracoviště. Pokud by však firma uvažovala o provozu zkoumaného pracoviště pouze po dobu maximálně tří let, pak tento návrh s nízkými investičními náklady lze považovat za nejideálnější variantu pro vyřešení změn v procesu voskování.

Postupné rozložení investiční zátěže a nízké provozní náklady dělají v dlouhodobém horizontu z návrhu 2 optimální variantu pro úpravu stávajícího stavu montážního pracoviště. Tyto výhody se naplno projevují od čtvrtého roku provozu a dále nabývají i v následujících letech provozu.

## Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala tématu zavádění automatizace v rámci montážní linky GS3.1 ve společnosti ŠA. V úvodu práce byla představena výroba trakčních baterií v mladoboleslavské hale M6, která se v době psaní této práce nacházela v období implementace opatření pro termální propagaci uvnitř baterie. Tato opatření způsobila zvýšení technologické a časové náročnosti některých operací, včetně pracoviště ručního voskování trakční baterie, které bylo hlavním předmětem této práce.

V další části byl analyzován současný stav pracoviště s cílem identifikovat aktuální nedostatky a oblasti pro možné zlepšení. Bylo zjištěno, že ruční pracoviště nezvládá efektivně plnit nově stanovené technologické požadavky, což bylo podloženo výpočtem ukazatele OEE za 440 disponibilních hodin, který dosáhl hodnoty pouze 39,9 % při výrobě 8 630 kusů. Dále byly vypočteny jednotkové náklady na voskování trakční baterie, které činily 60,56 Kč na kus.

Pro vyřešení nedostatků současného stavu procesu voskování byly představeny a detailně rozebrány dva návrhy řešení. První možností (*návrh 1*), jak vyřešit současnou neefektivitu a ergonomickou náročnost procesu voskování, bylo zdokonalení stávajícího modelu ručního pracoviště. Úprava spočívala ve změně uspořádání zkoumaného pracoviště a představení organizačních opatření. Druhou variantou (*návrh 2*) bylo zavedení automatizace a vytvoření tak zcela nové automatické stanice v rámci montážní linky GS3.1. Jednotlivé návrhy byly nejprve vyhodnoceny v kontextu výkonnostních aspektů, poté v kontextu vhodných ekonomických ukazatelů.

Návrh 1 realizoval výrobu 17 260 kusů a dosáhl hodnoty OEE 82,3 %. Bohužel, v kontextu požadovaných výkonnostních aspektů se jedná o nedostačující výsledek. Jednotkové náklady byly vypočteny na celkových 60,42 Kč. Tento návrh je tedy nákladově podobný se současným stavem, avšak dokáže produkovat dvojnásobný objem shodné produkce. Toho je dosahováno využitím dvojnásobného počtu obsluhujícího personálu a rozšířením stávajícího pracoviště.

Návrh 2 dosáhl skutečného objemu výroby 19 970 kusů a hodnoty OEE 96 %, což se z dlouhodobého pohledu jeví jako vyhovující řešení. Zapojení průmyslových robotů do procesu voskování způsobilo navýšení skutečného objemu výroby a

snížení personálních nákladů, což vedlo k poklesu jednotkových nákladů na 33,38 Kč, o 45 % méně než v současném stavu pracoviště.

V rámci ekonomického hodnocení návrhů byla klíčovou oblastí analýza počátečních investičních nákladů. Návrh 2, zahrnující zavedení plně automatizovaného pracoviště, vyžadoval počáteční investici ve výši 31 920 000 Kč, což bylo výrazně více než 3 000 000 Kč potřebných pro realizaci návrhu 1, který se zaměřoval na zdokonalení stávajícího ručního pracoviště.

Detailní výpočet provozního zisku z potenciální realizace jednotlivých návrhů představil zajímavé poznatky. Z krátkodobé perspektivy se jevil jako finančně nejvýhodnější návrh 1, především díky nižším počátečním investicím. Během prvních dvou let provozu by tento návrh mohl teoreticky generovat zisk ve výši 34 105 759 Kč. Avšak z dlouhodobého hlediska se začíná projevovat jeho nevýhoda v podobě vysokých personálních nákladů. Tyto dlouhodobé ekonomické nevýhody vedly k závěru, že od čtvrtého roku provozu se nejideálnější variantou jeví návrh zavedení automatizovaného pracoviště.

Komplexní vyhodnocení obou návrhů ukázalo, že optimálním řešením pro zlepšení současného stavu je návrh 2. Toto řešení nejenže odpovídá moderním trendům ve výrobních a montážních procesech, ale také z dlouhodobého hlediska přináší lepší finanční výsledky. Ostatní návrhy jsou ve světle moderní výroby a trendu zefektivňování výrobních a montážních procesů krokem špatným směrem.

Tato práce přináší důležité poznatky, které mohou být uplatněny nejen v rámci společnosti ŠA, ale i v širším kontextu podobných průmyslových projektů, které stojí před podobnými výzvami zefektivňování a automatizace.

## Seznam literatury

*A Guide to Robotics and Automation* [online]. DISTRELEC, 2023 [cit. 2023-11-14]. Dostupné z: <https://knowhow.distrelec.com/robotics-and-automation-guide-distrelec/>.

*ABB uvádí na trh kolaborativní robot GoFa™ s nosností do 5 kg* [online]. ABB, 2021 [cit. 2023-11-14]. Dostupné z: <https://new.abb.com/news/cs/detail/74832/abb-uvadi-na-trh-kolaborativni-robot-gofa-s-nosnosti-do-5-kg>.

*BATERIE ELEKTROMOBILU – ZÁKLADNÍ PARAMETRY* [online]. DEVINN s.r.o., 2020 [cit. 2023-11-14]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/baterie-elektromobilu>.

*Člověk a stroj: metodická příručka*. Praha: Soudy, 2017. ISBN 978-80-86809-21-2.

*File: Industry 4.0 (cs).png* [online]. ROSER, Christoph, 2017 [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry\\_4.0\\_\(cs\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0_(cs).png).

FORD, Martin. *Roboti nastupují: automatizace, umělá inteligence a hrozba budoucnosti bez práce*. Přeložil Jan PROKEŠ, přeložil Martin VRBA. V Praze: Rybka Publishers, 2017. ISBN 978-80-87950-46-3.

GACOVSKI, Zoran. *Mechatronics and Robotics* [online]. Burlington: Arcler Press, 2020, 437 s. [cit. 2023-10-18]. ISBN 978-1-77407-978-2. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/savscz/detail.action?docID=6453484&query=robotics#>.

GARBIE, Ibrahim. *Sustainability in Manufacturing Enterprises* [online]. Springer, 2016 [cit. 2023-10-17]. ISBN 978-3-319-29306-6. Dostupné z: [https://books.google.de/books?hl=cs&lr=&id=eGehCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Sustainability+in+Manufacturing+Enterprises:+Concepts,+Frameworks+and+Digital+Enablers.+Springer.&ots=oPaCROz1ps&sig=ig3vpcgc7Q\\_MxcXf1kic0Kixam\\_o&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?hl=cs&lr=&id=eGehCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Sustainability+in+Manufacturing+Enterprises:+Concepts,+Frameworks+and+Digital+Enablers.+Springer.&ots=oPaCROz1ps&sig=ig3vpcgc7Q_MxcXf1kic0Kixam_o&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).

GARCIA, Luis a Carlos PEREZ-VIDAL. *Trends and Challenges in Robotic Applications*. MDPI, 2023. ISBN 978-3-0365-8634-2.

*Geko G00665* [online]. Heureka Group a.s., 2023 [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: <https://vytlacovaci-pistole.heureka.cz/geko-g00665/#prehled/>.



GROOVER, Mikell. *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*. Fourth edition. Boston: Pearson, 2015. ISBN 978-0-13-349961-2.

*Infografika | Strategické pilíře udržitelnosti* [online]. Mladá Boleslav: Škoda Auto a.s., 2022a [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: [https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/udrzitelnost-tiskova-mapa/infografiky/attachment/skoda\\_auto\\_strategicke\\_pilire\\_bb4b3777/](https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/udrzitelnost-tiskova-mapa/infografiky/attachment/skoda_auto_strategicke_pilire_bb4b3777/).

*Kolaborativní roboty musí být neustále ve střehu* [online]. Mladá Boleslav: BLÜMELOVÁ, Kristina, 2021 [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/kolaborativni-roboty-musi-byt-neustale-ve-strehu\\_53319.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/kolaborativni-roboty-musi-byt-neustale-ve-strehu_53319.html).

KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

*Layout GS3.1 s automatickou stanicí voskování*. Škoda Auto a.s., 2023a [cit. 2023-10-16]. Plánování výroby komponentů.

*Layout GS3.1 s vyznačenou stanicí ručního voskování*. Škoda Auto a.s., 2023b [cit. 2023-10-16]. Plánování výroby komponentů.

MOREIRA, António Paulo, Pedro NETO a Félix VIDAL. *Advances in Industrial Robotics and Intelligent Systems*. MDPI, 2023. ISBN 978-3-0365-6554-5.

*Obecná problematika použití umělé inteligence v průmyslových aplikacích* [online]. VOJÁČEK, Antonín, 2019 [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/obecna-problematika-pouziti-umele-inteligence-v-prumyslovych-aplikacich.html>.

Průmyslové roboty firmy KUKA [online]. KUKA AG, 2023 [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%5%beby/robotick%3%a9-syst%3%a9my/pr%5%afmyslov%3%a9-roboty/kr-quantec>.

RADZIWON, Agnieszka, a kol. *The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions*. Procedia Engineering, 2014. ISSN 1877-7058.

*Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0* [online PDF]. COMMUNICATION PROMOTERS GROUP OF THE INDUSTRY-SCIENCE, 2013 [cit. 2023-11-14]. Dostupné z: <https://ia601901.us.archive.org/35/items>

[/FinalReportRecommendationOnStrategicInitiativeIndustrie4.0/Final%20Report\\_%20Recommendation%20on%20strategic%20initiative%20Industrie\\_4.0.pdf](#).

SANNEMAN, Lindsay, Christopher FOURIE a Julie A. SHAH. *The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions* [online]. Boston: Now Publishers, 2021 [cit. 2023-04-05]. ISBN 978-1-68083-801-5. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/savscz/reader.action?docID=6533671&query=robotics>.

SAVITZ, Andrew W. a Karl WEBER. *The Triple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success – and How You Can Too* [online]. 2nd ed. Jossey-Bass, 2014 [cit. 2023-10-17]. ISBN 978-1-118-33317-4. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/reader.action?docID=1495625>.

*Seznamte se s MEB, základem modelu ENYAQ iV* [online]. Mladá Boleslav: STRUBE, Christian, 2020 [2023-10-19]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/e-mobilita-cs/seznamte-se-s-meb-zakladem-modelu-enyaq-iv/>.

*ŠKODA AUTO zahajuje ve svém hlavním sídle v Mladé Boleslavi výrobu bateriových systémů pro platformu MEB* [online]. Škoda Auto a.s., 2022b [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-zpravy-archiv/skoda-auto-zahajuje-ve-svem-hlavnim-sidle-v-mlade-boleslavi-vyrobu-bateriovych-systemu-pro-platformu-meb/>.

*Trakční baterie po zavedení opatření k termální propagaci*. Škoda Auto a.s., 2023c [cit. 2023-10-16]. Plánování výroby komponentů.

*Výroba baterie: jak vzniká srdce elektroauta* [online]. Mladá Boleslav: MAŠEK, Otakar, 2020 [cit. 2023-10-18]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/skoda-svet-cs/inovace-a-technologie/technologie-cs/vyroba-baterie-jak-vznika-srdce-elektroauta/>.

*Výroční zpráva 2022* [Online PDF]. Mladá Boleslav: Škoda Auto a.s., 2023d [cit. 2023-10-16]. Dostupné z: [https://reporting.skoda-auto.cz/Skoda\\_Auto-Annual\\_Report-2022-CZ.pdf](https://reporting.skoda-auto.cz/Skoda_Auto-Annual_Report-2022-CZ.pdf).

## Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1 Dělení automatizace.....                                       | 10 |
| Obr. 2 Kolaborativní robot .....                                      | 12 |
| Obr. 3 Přehled průmyslových revolucí.....                             | 14 |
| Obr. 4 Přejchod od současné výrobě k budoucí ve SMART factory.....    | 15 |
| Obr. 5 Montážní linka bateriových systémů GS3.1.....                  | 20 |
| Obr. 6 Způsob konstruování trakční baterie .....                      | 21 |
| Obr. 7 Platforma MEB pro elektrické vozy koncernu Volkswagen.....     | 21 |
| Obr. 8 Komponenty trakční baterie.....                                | 22 |
| Obr. 9 Trakční baterie po zavedení opatření k termální propagaci..... | 24 |
| Obr. 10 Uspořádání současného stavu pracoviště .....                  | 25 |
| Obr. 11 Zobrazení voskovaných šroubů a hran baterie.....              | 26 |
| Obr. 12 Vytlačovací pistole na kartuše .....                          | 27 |
| Obr. 13 Navrhované uspořádání pracoviště návrhu 1 .....               | 30 |
| Obr. 14 Navrhované umístění pracoviště návrhu 2 .....                 | 33 |
| Obr. 15 Průmyslový robot KUKA Quantec-2 VKR210 R2700-2 .....          | 34 |
| Obr. 16 Navrhované uspořádání a montážní úseky návrhu 2 .....         | 35 |

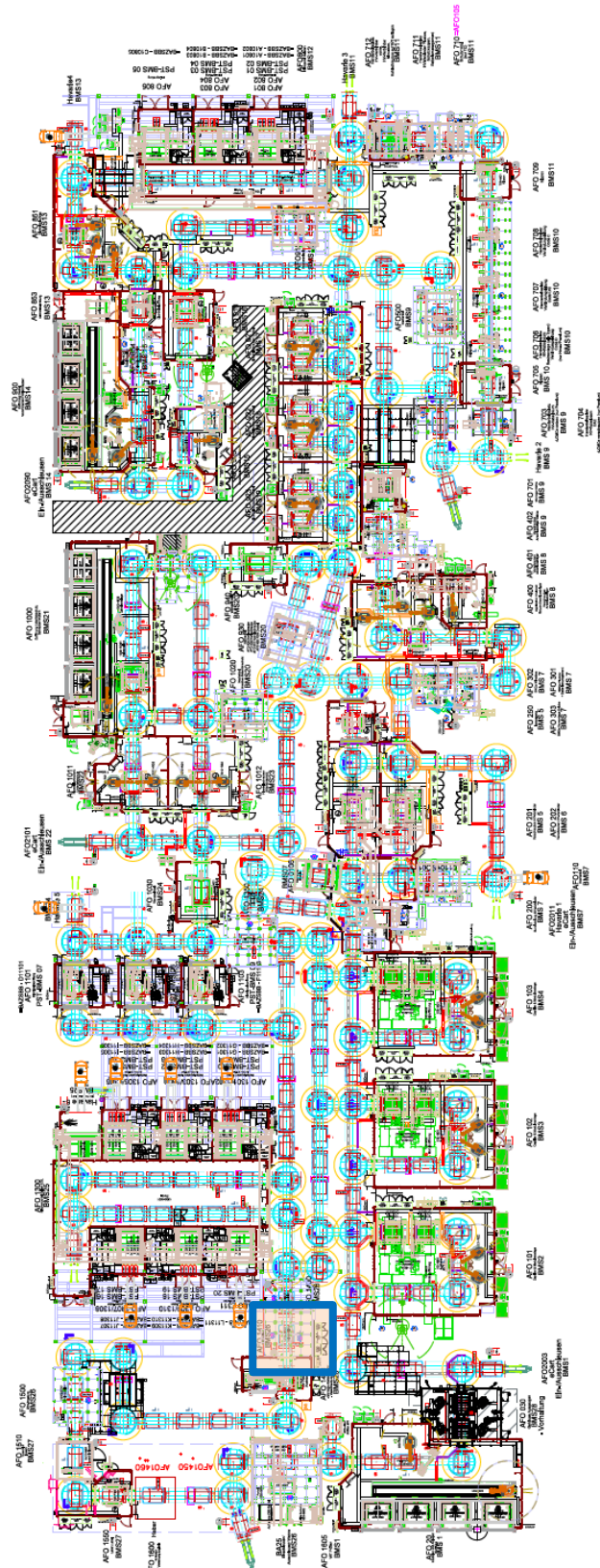
## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1 Požadavky na montážní pracoviště.....                                | 24 |
| Tab. 2 Přehled voskovaných šroubů jednotlivých variant bateríí .....        | 26 |
| Tab. 3 Výpočet OEE současného stavu pracoviště.....                         | 27 |
| Tab. 4 Náklady na jednotku baterie pro současný stav pracoviště.....        | 29 |
| Tab. 5 Výpočet OEE návrhu 1 a porovnání se současným stavem.....            | 31 |
| Tab. 6 Náklady na jednotku baterie pro návrh 1 .....                        | 32 |
| Tab. 7 Navrhované rozvržení voskování šroubů a hran baterie – návrh 2 ..... | 36 |
| Tab. 8 Výpočet OEE návrhu 2 a porovnání se současným stavem.....            | 36 |
| Tab. 9 Náklady na jednotku baterie pro návrh 2.....                         | 38 |
| Tab. 10 Porovnání OEE jednotlivých návrhů.....                              | 39 |
| Tab. 11 Přehled pořizovacích nákladů návrhu 1 .....                         | 40 |
| Tab. 12 Přehled pořizovacích nákladů návrhu 2 .....                         | 41 |
| Tab. 13 Porovnání investic do jednotlivých návrhů .....                     | 42 |
| Tab. 14 Výpočet ziskovosti jednotlivých návrhů za období dvou let.....      | 43 |
| Tab. 15 Porovnání ziskovosti jednotlivých návrhů v jednotlivých letech..... | 44 |

## **Seznam příloh**

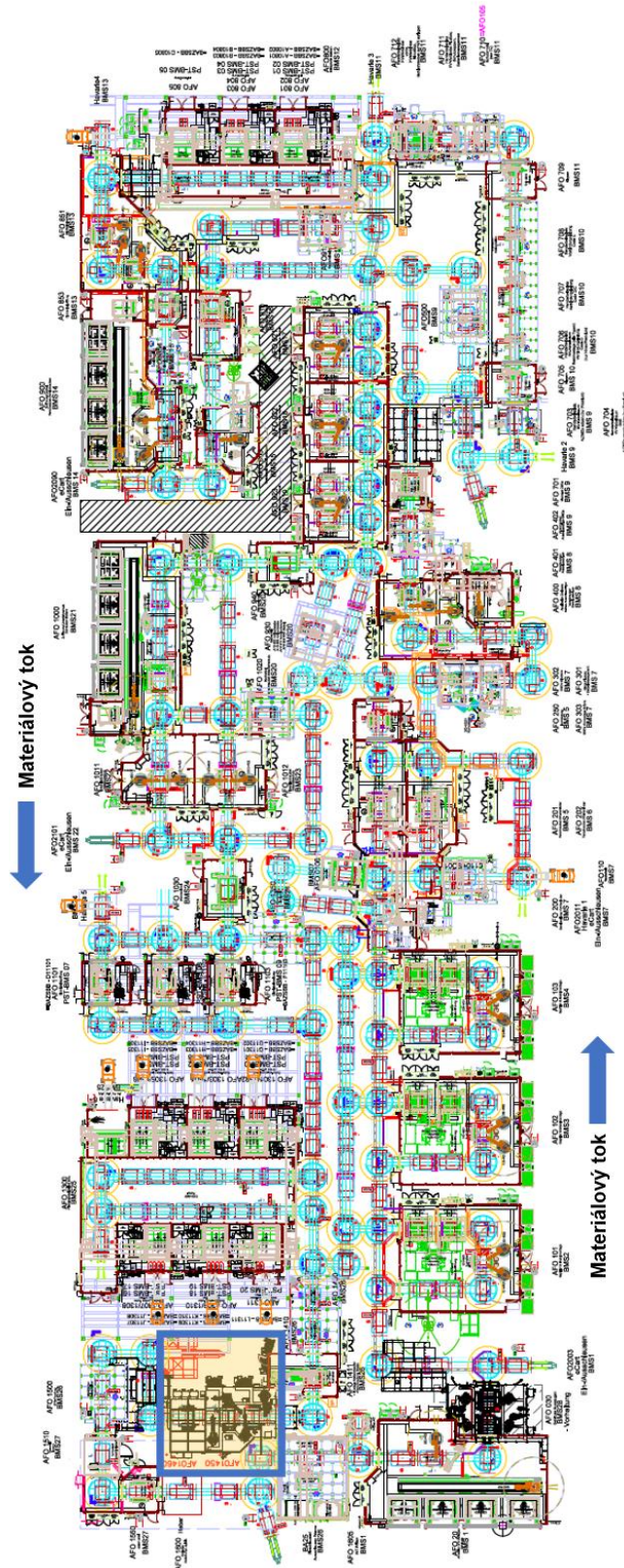
|  |    |
|--|----|
| Příloha 1 Layout GS3.1 s vyznačeným současným stavem.....          | 53 |
| Příloha 2 Layout GS3.1 s vyznačeným návrhem 2.....                 | 54 |
| Příloha 3 Rozpad spotřeby vosku na jednotlivé šrouby baterie ..... | 55 |

# Příloha 1 Layout GS3.1 s vyznačeným současným stavem



Zdroj: (Škoda Auto a.s., 2023b)

## Příloha 2 Layout GS3.1 s vyznačeným návrhem 2



Zdroj: (Škoda Auto a.s., 2023a)

### Příloha 3 Rozpad spotřeby vosku na jednotlivé šrouby baterie

| <b>Položka</b>      | <b>g/ks</b> | <b>M100</b>   | <b>H125</b>   | <b>Premium</b> |
|---------------------|-------------|---------------|---------------|----------------|
| Flowdrill šrouby    | 0,5 g       | 36,0 g        | 41,0 g        | 43,0 g         |
| Kombi šrouby        | 0,7 g       | 9,8 g         | 15,4 g        | 15,4 g         |
| Duté šrouby         | 1,0 g       | 4,0 g         | 4,0 g         | 4,0 g          |
| Čtyři hrany baterie | Různé       | 22,0 g        | 27,0 g        | 29,0 g         |
| <b>Celkem</b>       |             | <b>71,8 g</b> | <b>87,4 g</b> | <b>91,4 g</b>  |

Zdroj: (Vlastní tvorba, 2023)



## ANOTAČNÍ ZÁZNAM

|   |   |                      |      |
|---|---|----------------------|------|
| <b>AUTOR</b>                              | Filip Jizba   |                      |      |
| <b>STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE</b> | Průmyslový management   |                      |      |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>                        | Automatizace ve vybraném výrobním procesu Škoda Auto a.s.   |                      |      |
| <b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>                      | Ing. David Staš, Ph.D.  |                      |      |
| <b>KATEDRA</b>                            | KRVLK – Katedra řízení výroby, logistiky a kvality  | <b>ROK ODEVZDÁNÍ</b> | 2023 |
| <b>POČET STRAN</b>                        | 57  |                      |      |
| <b>POČET OBRÁZKŮ</b>                      | 16  |                      |      |
| <b>POČET TABULEK</b>                      | 15  |                      |      |
| <b>POČET PŘÍLOH</b>                       | 3   |                      |      |
| <b>STRUČNÝ POPIS</b>                      | <p>Bakalářská práce se věnuje tématu automatizace v rámci výrobního procesu ve Škoda Auto a.s. s cílem navrhnout a implementovat vhodnou formu automatizace a vyhodnotit realizované řešení v kontextu výkonnostních a ekonomických aspektů.</p> <p>Pro splnění nově stanovených technologických požadavků procesu voskování trakční baterie byly navrženy dvě možná řešení. První řešení představuje úpravy ve stávajícím ručním pracovišti, druhé se zaměřuje na vybudování nové automatizované stanice.</p> <p>Zhodnocení ukazatele OEE, ziskovosti a vynaložené investice potvrdilo, že nejideálnější variantu pro úpravu současného stavu pracoviště představuje cesta automatizace, která přispěje k jeho celkové efektivitě a přinese očekávané ekonomické výsledky.</p> |                      |      |
| <b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>                      | Automatizace, elektromobil, Industry 4.0, montážní linka, OEE, robotizace, Škoda Auto a.s., trakční baterie, udržitelnost.  |                      |      |

## ANNOTATION

|                             |  |             |      |
|-----------------------------|--|-------------|------|
| <b>AUTHOR</b>               | Filip Jizba  |             |      |
| <b>FIELD</b>                | Industrial management  |             |      |
| <b>THESIS TITLE</b>         | Automation in the selected production process at Škoda Auto a.s  |             |      |
| <b>SUPERVISOR</b>           | Ing. David Staš, Ph.D.   |             |      |
| <b>DEPARTMENT</b>           | KRVLK –<br>Department of<br>Production,<br>Logistics and<br>Quality<br>Management  | <b>YEAR</b> | 2023 |
|                             |  |             |      |
| <b>NUMBER OF PAGES</b>      | 57   |             |      |
| <b>NUMBER OF PICTURES</b>   | 16   |             |      |
| <b>NUMBER OF TABLES</b>     | 15   |             |      |
| <b>NUMBER OF APPENDICES</b> | 3  |             |      |
|                             |  |             |      |
| <b>SUMMARY</b>              | <p>The bachelor thesis focuses on the introduction of automation within the production process at Škoda Auto a.s. with the aim to implement a suitable form of automation and to evaluate the implemented solution in the context of performance and economic aspects.</p> <p>Two possible solutions were proposed to meet the technological requirements of the waxing process. The first solution represents modifications to the existing manual workstation, the second one focuses on the construction of a new automated station.</p> <p>The evaluation of the OEE, profitability and the investment made confirmed that the automation path is the most ideal option for modifying the current state of the workstation, which will contribute to its overall efficiency and bring the expected economic results.</p> |             |      |
| <b>KEY WORDS</b>            | Automation, electric vehicle, Industry 4.0, assembly line, OEE, robotization, Škoda Auto a.s., traction battery, sustainability.   |             |      |