

Škoda Auto Vysoká škola o.p.s.

Studijní program: N0413A050001 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Využití nástrojů rozšířené reality v managementu kvality Diplomová práce

Bc. Martin Meško

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING

Rád bych vyjádřil hlubokou vděčnost svému vedoucímu diplomové práce, Ing. et Ing. Martinu Foltovi, Ph.D. EUR ING, za jeho odborné vedení, cenné rady a trpělivost během vypracování této závěrečné práce. Velké díky patří také mé rodině a přátelům za nekonečnou podporu a povzbuzení v průběhu mého studia.

Obsah

Úvod.....	7
1 Management kvality v automobilovém průmyslu	8
1.1 Historický vývoj kvality po management kvality.....	8
1.2 Požadavky na kvalitu v automobilovém průmyslu	10
1.3 Specifické požadavky zákazníků.....	11
1.4 Přezkoumání systému managementu kvality – audity, proces auditu	11
1.5 Audit výrobku	13
2 Koncept Industry 4.0 a Quality 4.0.....	17
2.1 Nástroje Industry 4.0 a oblast jejich využití	19
2.2 Nástroje Quality 4.0 a oblast jejich využití	24
2.3 Charakteristika nástrojů rozšířené reality	26
2.4 Výhody a nevýhody využití nástrojů Quality 4.0 v průmyslové praxi	31
2.5 Bariéry praktické implementace nástrojů Quality 4.0	33
2.6 Význam a podstata nástrojů Quality 4.0.....	36
3 Strategická analýza ve společnosti GRUPO ANTOLIN TURNOV	39
3.1 Analýza procesu auditu výrobku ve výrobním podniku.....	40
3.2 Analýza realizace auditu výrobku dveřní výplně Škoda Octavia	43
3.3 Organizační zabezpečení provádění auditu	46
3.4 Vyhodnocení analýzy realizace auditu výrobku dle současného stavu ...	47
4 Návrh realizace auditu výrobku pomocí technologie rozšířené reality	49
4.1 Postup digitalizace procesu.....	50
4.2 Výběr a pořízení hardware	57
4.3 Požadavky na software	60
4.4 Vývoj aplikace	62
5 Zhodnocení přínosů využití rozšířené reality	67
5.1 Prakticko-technologické přínosy.....	67
5.2 Ekonomicko-organizační přínosy	69
Závěr.....	77
Seznam literatury	79
Seznam obrázků a tabulek.....	85
Seznam příloh	87

Seznam použitých zkratk a symbolů

AI	Umělá inteligence (z angl. Artificial Intelligence)
AIAG	Akční skupina pro automobilový průmysl (z angl. Automotive Industry Action Group)
ANFIA	Italské národní sdružení automobilového průmyslu (z ital. Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica)
API	Metody a struktury dat, které programy používají pro výměnu informací a vzájemnou interakci (z angl. Application Programming Interface)
AR	Augmentovaná realita (z angl. Augmented Reality)
ARM	Typ architektury procesorů (z angl. Advanced Reduced Instruction Set Computer Machine)
AV	Audit výrobku
AVSQ	Národní sdružení hodnotitelů systémů kvality (z ital. Associazione nazionale dei Valutatori di Sistemi Qualità)
C#	C Sharp – programovací jazyk
CoP	Shoda produkce (z angl. Conformity of Production)
CPU	Centrální procesorová jednotka (z angl. Central Processing Unit)
CSR	Specifické požadavky zákazníka (z angl. Customer Specific Requirements)
ČSJ	Česká společnost pro jakost
ČSN	České státní normy
DV	Dveřní výplň(-ně)
EAQF	Francouzský automobilový standard
EOP	Ukončení sériové výroby (z angl. End Of Production)
FIEV	Francouzská federace výrobců automobilů (z franc. Fédération des Industries des Équipements pour Véhicules)
FOV	Zorné pole (z angl. Filed of View)

GAT	GRUPO ANTOLIN TURNOV, s. r. o.
GPU	Grafická procesorová jednotka (z angl. Graphics Processing Unit)
HMD	Displej nošený na hlavě (z angl. Head Mounted Display)
HTTP	Protokol pro přenos dat na internetu (z angl. Hypertext Transfer Protocol)
HTTPS	Zabezpečený protokol pro přenos dat na internetu (z angl. Hypertext Transfer Protocol Secure)
HUD	Průhledový displej (z angl. Head-up display)
I4.0	Průmysl 4.0 (z angl. Industry 4.0)
IATF	Mezinárodní pracovní skupina pro automobilový průmysl (z angl. International Automotive Task Force)
IRR	Vnitřní výnosové procento (z angl. Internal Rate of Return)
ISMS	Systém řízení bezpečnosti informací (z angl. Information Security Management System)
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci (z angl. International Organization for Standardization)
JSON	Způsob zápisu dat nezávislý na počítačové platformě (z angl. JavaScript Object Notation)
KNR	Identifikační číslo vozu (z něm. Kennnummer)
LAMP	Sada software pro vytváření a provozování webových aplikací (OS Linux, webový server Apache, databáze MySQL, skriptovací jazyk PHP)
LAN	Lokální počítačová síť (z angl. Local Area Network)
MariaDB	Relační databázový systém – alternativa MySQL
MCDM	Vícekritériální rozhodování (z angl. Multiple-criteria decision-making)
MDM	Správa mobilních zařízení (z angl. Mobile Device Management)
MK	Management kvality (z angl. Quality Management)
MR	Smíšená realita (z angl. Mixed Reality)
MRTK	Sada nástrojů pro vývoj aplikací pro smíšenou realitu (z angl. Mixed Reality Toolkit)

MVC	Návrhový vzor používaný ve vývoji softwaru (z angl. Model-View-Controller)
MySQL	Relační databázový systém společnosti Oracle
NPV	Čistá současná hodnota (z angl. Net Present Value)
OEM	Výrobce originálních dílů (z angl. Original Equipment Manufacturer)
OS	Operační systém
PB	Doba návratnosti (z angl. Payback Period)
PHP	Serverový skriptovací jazyk (z angl. Hypertext preprocessor)
PI	Index ziskovosti (z angl. Profitability Index)
Q4.0	Kvalita 4.0 (z angl. Quality 4.0)
SMK	Systém managementu kvality
SOP	Zahájení sériové výroby (z angl. Start of Production)
SQC	Statistické řízení kvality (z angl. Statistical Quality Control)
TQM	Model řízení kvality (z angl. Total Quality Management)
UWP	Univerzální platforma Windows (z angl. Universal Windows Platform)
VDA	Německé sdružení automobilového průmyslu (z něm. Verband der Automobilindustrie e. V.)
VPN	Virtuální privátní síť (z angl. Virtual Private Network)
VR	Virtuální realita (z angl. Virtual Reality)
QM	Management kvality (z angl. Quality Management)
QMS	Systém managementu kvality (z angl. Quality management system)
XR	Rozšířená realita (z angl. eXtended Reality)

Úvod

Nástup Průmyslu 4.0, který se vyznačuje rostoucím využíváním digitálních technologií v různých průmyslových provozech, předpokládá mimo jiné revoluci i v systémech řízení kvality. Tato změna paradigmatu¹, patrná zejména v automobilovém průmyslu, zavádí nové metodiky pro audit výrobků. Mezi jeho nesčetnými nástroji se jako zásadní objevila rozšířená realita, která nabízí doposud nevyužitý potenciál pro zlepšení procesů kontroly a zajišťování kvality.

Tato práce se zabývá průzkumem, jak lze rozšířenou realitu využít při auditu výrobků v průmyslovém kontextu. Zaměření právě na zmíněné odvětví automobilového průmyslu je účelné s ohledem na fakt, že jde o obor, který je často v čele technologického pokroku a neustále usiluje o bezchybnou kvalitu výrobků. Cílem je prvně popsat současnou praxi provádění auditů výrobků, přičemž jako reprezentativní případovou studii zkoumá vybraný produkt.

Na základě analýzy současné situace a technologicko-ekonomické rozvahy práce dále navrhuje integraci konkrétní technologie, tedy využití tzv. chytrých brýlí, jakožto potenciální transformaci procesu auditu výrobků. Tento návrh není pouhým teoretickým doporučením, ale praktickým konceptem zaměřeným na zvýšení efektivity, kvality a hospodárnosti procesu auditu.

Následné vyhodnocení navrhovaného řešení zahrnuje důkladné posouzení jeho dopadu s ohledem na aspekty, jako je jeho účinnost, zvýšení kvality, náklady a návratnost investic. Konečným cílem tohoto výzkumu je podpořit diferencované pochopení toho, jak mohou nástroje Průmyslu 4.0, zejména rozšířená realita, optimalizovat systémy řízení kvality, a tím podpořit průmyslový růst a inovace.

¹ Paradigma je obecně přijímané schéma, vzorec myšlení či model.

1 Management kvality v automobilovém průmyslu

Pohled na různé definice kvality dává příležitost identifikovat skutečnost, že v centru její pozornosti je a měl by být zákazník. To je zcela zřejmé, jelikož pojmy "požadavky" a "specifikace", kterým musí produkty "vyhovovat" nebo je "splňovat", jak je uvedeno v různých definicích, se týkají výrobků a/nebo služeb zákazníka (Ibidapo, 2022).

1.1 Historický vývoj kvality po management kvality

Vývoj kvality až ke konceptu managementu kvality zahrnuje bohatou historii, která sleduje její vývoj od jednoduchých kontrolních postupů až po sofistikované systémy řízení zahrnující všechny zúčastněné strany a procesy. Tento vývoj se vyznačuje několika klíčovými fázemi (Nenadál, 2008).

- **Řemeslná éra:** V počátcích byla kvalita synonymem pro řemeslnou zručnost. Řemeslníci byli zodpovědní za tvorbu i kontrolu své práce, přičemž kvalita byla do procesu zabudována od samého počátku. Toto období trvalo až do nástupu průmyslové revoluce.
- **Průmyslová revoluce:** V době průmyslové revoluce došlo k významnému posunu v zavádění technik hromadné výroby. Kontrola kvality se stala náročnější kvůli objemu produkce a dělbě práce, kdy dělníci vykonávali konkrétní dílčí úkoly, na rozdíl od řemeslníků, kteří kontrolovali celý proces.
- **Éra kontroly:** S rozvojem továren vedla potřeba zajistit kvalitu výrobků ke vzniku samostatných kontrolních oddělení. Tato oddělení měla za úkol zachytit vady po zhotovení výrobku, což byla na počátku 20. století hlavní metoda kontroly kvality.
- **Statistická kontrola kvality (SQC):** SQC, kterou ve 20. letech 20. století zavedl Walter A. Shewhart, využívala statistické metody ke sledování a kontrole kvality výrobků. Tento přístup byl dále rozvíjen a široce aplikován během druhé světové války, zejména W. Edwardsem Demingem a Josephem M. Juranem, kteří jsou považováni za průkopníky řízení kvality.
- **Celkové řízení kvality (TQM):** Po druhé světové válce, zejména v Japonsku, se pozornost přesunula od odhalování problémů s kvalitou k jejich předcházení. To vedlo k rozvoji TQM, které integruje procesy zajišťování

a kontroly kvality do celé výroby. TQM zapojuje do úsilí o kvalitu všechna oddělení a zaměstnance a klade důraz na neustálé zlepšování a spokojenost zákazníků.

- **ISO 9000 a globální normy:** V 80. a 90. letech 20. století vytvořila Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) řadu norem ISO 9000, které poskytly rámec pro systémy řízení kvality, jež lze používat na mezinárodní úrovni. Tyto normy pomohly organizacím zajistit, aby splňovaly potřeby zákazníků a dalších zainteresovaných stran v rámci zákonných a regulačních požadavků souvisejících s produktem nebo službou.
- **Six Sigma a štíhlá výroba:** Six Sigma, kterou v roce 1986 představila společnost Motorola, je metoda, která poskytuje organizacím nástroje ke zlepšení způsobilosti jejich podnikových procesů. Zvýšení výkonnosti a snížení variability procesů vede ke snížení počtu vad a zlepšení zisku a kvality výrobků nebo služeb. Štíhlá výroba, která má původ ve výrobním systému Toyota, se zaměřuje na snižování plýtvání a efektivitu.
- **Integrace IT a řízení kvality:** Nástup informačních technologií dále rozvinul řízení kvality díky sofistikovaným systémům analýzy dat a monitorování v reálném čase. Technologie, jako je umělá inteligence a internet věcí, se postupně integrují do systémů řízení.

Tyto fáze ilustrují cestu od reaktivních k proaktivním postupům v oblasti kvality, která vrcholí komplexními systémy jejího řízení, jež integrují všechny aspekty výkonnosti organizace s cílem dosáhnout dlouhodobého zlepšování kvality. Každá fáze navazovala na předchozí a zaváděla systematičtější přístupy a širší integraci napříč funkcemi a procesy s cílem optimalizovat kvalitu ve všech aspektech výroby a poskytování služeb. To se pojí mimo jiné také se vznikem tzv. zásad managementu kvality.

Obecně lze říct, že tyto zásady napomohly soustředění pozornosti na potřeby, požadavky, očekávání a specifikace zákazníků, čímž se odklonily od konceptu kontroly výrobků, která byla dříve hlavní činností pro kontrolu kvality výrobků (Ibidapo, 2022). Management kvality v automobilovém průmyslu je založen na několika klíčových principech, které zajistí, že výrobky splňují nejen požadavky zákazníků, ale i právní předpisy a normy (viz Příloha 1).

1.2 Požadavky na kvalitu v automobilovém průmyslu

Jak uvádí Ibidapo (2022) Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) zavedla některé odvětvové normy pro systémy řízení, které poskytují dodatečné požadavky nebo pokyny pro všeobecné uplatňování obecných norem řízení v konkrétních odvětvích světové ekonomiky nebo podnikatelského sektoru. Mezi průmyslové a aplikační normy patří mimo jiné následující:

- **AS9100** – Jedná se o mezinárodní normu systému řízení kvality pro letecký, kosmický a obranný průmysl (AS&D). Certifikace se obvykle provádí s ohledem na AS9100D, proto "certifikováno podle AS9100".
- **IATF 16949:2016** – Tato norma systémů řízení je určena pro automobilový průmysl.
- **ISO 13485:2016** – Systémy řízení kvality zdravotnických prostředků – Požadavky na normy pro regulační účely pro zdravotnické prostředky.
- **ISO 22000:2018** – Systémy řízení bezpečnosti potravin – požadavky na všechny organizace v potravinovém řetězci. Tato norma uvádí požadavky na systémy řízení bezpečnosti potravin.

V automobilovém průmyslu existují specifické standardy a normy, které jsou navrženy tak, aby zajistily, že všechny výrobky splňují nejen základní požadavky na kvalitu, ale také specifikace nezbytné pro bezpečnost a spolehlivost. Tyto normy jsou klíčové pro dosažení a udržení konkurenceschopnosti na globálním trhu. Zde jsou některé z nejdůležitějších:

1. **ISO 9001** – Tento mezinárodní standard definuje požadavky na systém managementu kvality pro organizace, které chtějí zvýšit spokojenost zákazníka prostřednictvím efektivního aplikování systému, včetně procesů pro neustálé zlepšování systému a zajištění shody s požadavky zákazníků.
2. **ISO 19011:2018** – Pokyny pro auditování systémů řízení.
3. **IATF 16949** – Specifický standard pro automobilový průmysl, který rozšiřuje ISO 9001 o dodatečné požadavky pro výrobu dílů a součástí automobilů.
4. **VDA 6.x** – Série německých automobilových standardů, které zahrnují různé aspekty kvality a dodavatelského řetězce, jako je auditování, výrobní proces a kontrola produktu.

5. **ISO/IEC 27001:2013** – Tato norma uvádí požadavky na systémy řízení bezpečnosti informací (ISMS).

Standard IATF 16949 zahrnuje několik nových požadavků, jako je začlenění hodnocení rizik v dodavatelských řetězcích do plánů pro případ havárie, zavádění protikorupční politiky, řízení záruk, propagace etického kodexu v organizaci a další (IATF 16949:2016, 2016). Podporu má u různých zainteresovaných stran, včetně hlavních výrobců automobilů, obchodních sdružení a Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO), aby splnil zvláštní potřeby tohoto odvětví (Laskurain-Iturbe et al., 2021). Zatímco ISO 9001 se soustředí na zákaznickou spokojenost, IATF 16949 klade důraz na specifické požadavky zákazníků, které jsou dále rozebrány v další části této práce.

1.3 **Specifické požadavky zákazníků**

Kvalita v automobilovém průmyslu je nejen záležitostí splnění technických specifikací, ale také zahrnuje bezpečnost, spolehlivost, design, pohodlí a celkovou uživatelskou spokojenost.

Společnosti, které certifikují systém řízení kvality dle IATF 16949, musí rovněž splňovat požadavky zákazníků. Tyto požadavky se dělí do dvou kategorií:

- **Požadavky zákazníka** – všechny požadavky stanovené zákazníkem (např. technické, obchodní, na výrobek a výrobní proces, všeobecné podmínky).
- **Specifické požadavky zákazníka** – výklady nebo doplňující požadavky související se specifickým(i) ustanovením(i) normy IATF 16949.

Jednotliví výrobci automobilů uplatňují nad rámec odvětvového standardu své specifické požadavky. Tyto jsou dodavatelům k dispozici na stránkách skupiny IATF (viz Příloha 2) nebo případně pomocí extranetu jednotlivých výrobců automobilů. Naopak specifické požadavky Volvo Group a Jaguar Land Rover Limited nejsou na stránkách IATF aktuálně k dispozici s komentářem, že jsou v přípravě.

1.4 **Přezkoumání systému managementu kvality – auditu, proces auditu**

Přezkoumání systému managementu kvality (dále jen SMK) je zásadním procesem, který umožňuje organizacím hodnotit a zlepšovat jejich postupy a výkonnost.

V rámci tohoto přezkoumání hrají klíčovou roli audity, které poskytují nezávislé a objektivní hodnocení efektivity a shody systémů a postupů s normami a interními politikami.

Jedná se o systematický proces, kterým se hodnotí, zda jsou procesy a procedury organizace v souladu s definovanými standardy. Ten mimo jiné identifikuje oblasti pro zlepšení a poskytuje zpětnou vazbu pro vylepšení efektivity a účinnosti systému. Tyto činnosti jsou nezbytné pro zajištění neustálého zlepšování kvality a pro demonstraci závazku organizace ke kvalitě vůči zákazníkům a regulačním orgánům.

Norma ČSN EN ISO 19011:2019 definuje audit jako "systematický, nezávislý a zdokumentovaný proces získávání jeho důkazů (záznamů, prohlášení o skutečnostech nebo jiných informací, které jsou relevantní a ověřitelné) a jejich objektivního vyhodnocení s cílem určit, do jaké míry jsou splněna jeho kritéria (soubor zásad, postupů nebo požadavků)." (Hykš et al., 2019).

Proces každého auditu lze rozdělit do několika dílčích fází, které jsou shrnuty na Obr. 1.



Obr. 1 Fáze realizace auditu

Norma IATF 16949 (IATF 16949:2016, 2016) se v Příloze B odkazuje na další doprovodné dokumenty ve vztahu k interním auditům (viz Příloha 3).

Jak uvádí (Stamatis, 2021) existuje více typů auditů, ale v zásadě je možné je rozdělit do třech skupin.

Procesní audit

Ověřuje, zda procesy fungují v rámci nastavených pravidel. Ověřuje se shoda, zda reálně procesy dodržují předepsané postupy, normy a další požadavky (Stamatis, 2021).

Systémový audit

Lze jej popsat jako dokumentovanou činnost prováděnou s cílem ověřit na základě zkoumání a vyhodnocení objektivních důkazů, že použitelné prvky systému jsou vhodné a účinné a že byly vyvinuty, dokumentovány a zavedeny v souladu a ve spojení se specifikovaným požadavkem (Stamatis, 2021).

Audit výrobku

Je zaměřen na zkoumání konkrétního výrobku nebo služby, například hardwaru, zpracovaného materiálu nebo softwaru, s cílem posoudit, zda splňuje požadavky (tj. specifikace, normy a požadavky zákazníka) (Stamatis, 2021).

Norma IATF ve své kapitole 9.2.2.4 Audit produktu výslovně uvádí: „Organizace musí provádět audity produktů ve vhodných etapách sériové výroby a dodávání s využitím specifických požadovaných přístupů zákazníka s cílem ověřit shodu se specifikovanými požadavky. Tam, kde to nestanoví zákazník, musí přístup, který se má použít, stanovit organizace“ (IATF 16949:2016, 2016).

1.5 Audit výrobku

Poskytuje podrobný pohled na výrobní procesy, materiály, výrobní prostředí a konečný produkt. To zahrnuje ověřování, zda výrobek splňuje všechny technické specifikace, bezpečnostní normy a případné legislativní požadavky. Mimo jiné se také hodnotí, zda jsou procesy výroby konzistentní a efektivní, a zda je výrobek vyráběn za podmínek zajišťujících jeho kvalitu.

Odvětvový standard IATF 16949 nikterak detailně nevysvětluje a neupravuje, jak výrobní podniky mají přistoupit k auditu výrobku. Je proto třeba dále zkoumat právě oblast specifických požadavků zákazníků, kteří tento požadavek mohou blíže konkretizovat. Při pohledu do zveřejněných dokumentů na stránkách IATF, je možné získat různé interpretace tohoto požadavku.

General Motors

Organizace provádí kontroly zaměřené na kvalitu na každé směně (General Motors Company, 2023).

Renault Group

Jako systematické preventivní opatření proti výskytu neshod, které by mohly vést k závažným problémům, vyhradí organizace pracoviště a závěrečnou kontrolu s bezpečnostními a/nebo regulačními značkami pracovníkům s řádně zvládnutou praxí a zkušenostmi (Renault Group, 2023).

Stellantis

Během fáze vývoje musí dodavatel za účelem ověření plánu kontroly a řízení a nápravy případných problémů s kvalitou zavést zeď kvality (Quality Wall) a zřídit kontrolní stanice, které musí být mimo výrobní linku, oddělené a kontrolované nezávisle na běžném výrobním procesu a umístěné na konci procesu (PSA Automobiles SA, 2021).

Volkswagen Group

Dodavatel je povinen provádět audity výrobků podle VDA 6.5. Audit výrobků se provádí nejméně každých 12 měsíců pro každý výrobek vyráběný jako sériový díl. (Volkswagen, 2022).

VDA 6.5

Německé automobilky, které jsou součástí sdružení VDA, jsou ve smyslu standardizovaného přístupu ve vztahu k auditu výrobku asi nejdále. Za tímto účelem vznikl standard VDA 6.5 – Audit výrobku. Tato příručka, naposledy revidovaná v roce 2022, detailně popisuje postupy realizace auditu výrobku od fáze plánování a přípravy až po fázi jeho ukončení. Pro účely této diplomové práce bude použit právě přístup, který je definován v této příručce.

„Kvalita produktů se zajišťuje důslednou realizací metod preventivního plánování kvality. Z toho důvodu není úlohou auditu produktu zajišťování kvality ve smyslu zabránění vadám. Audit produktu slouží především jako doplňující prvek řízení kvality (potvrzení kvality z pohledu zákazníka)“ (Audit produktu, 2020).

Audit produktu má prokázat kvalitativní úroveň interně nebo externě vyráběných produktů (Audit produktu, 2020).

Příručka VDA 6.5 specifikuje, že se audit produktu může realizovat na (Audit produktu, 2020):

- meziproduktech nebo konečných produktech, jednotlivých dílech,
- montážních celcích.

Audit produktu dle VDA 6.5 neslouží (Audit produktu, 2020):

- k opakování sériových zkoušek,
- k přímému řízení a schválení výrobního procesu,
- jako náhrada zkoušek shody produkce (dále jen CoP) podle zadání schvalovacích předpisů,
- jako výhradní a jediný doklad dodržování zákaznických specifikací na základě rekvalifikačních zkoušek podle IATF 16949, nebo jako výhradní a jediný doklad efektivity systému managementu kvality.

Proces auditu produktu je analogicky stejný jako v případě jakéhokoliv jiného auditu a schematicky jej znázorňuje Obr. 2. Nejprve je třeba sestavit tzv. program – což je přehledný roční plán, který obsahuje seznam výrobků doplněný o informaci, kdy bude proveden audit výrobku, přičemž ten může na jednom výrobku proběhnout v jednom roce vícekrát, minimálně však jednou. Plán auditu je odvozený z programu a popisuje všechny činnosti a zdroje, potřebné k jeho provedení, jakož i časové údaje a rozsah namátkového výběru. (Audit produktu, 2020).



Zdroj: Upraveno dle (Audit produktu, 2020)

Obr. 2 Proces auditu produktu

Následuje provedení auditu produktu podle zadání v plánu. Příručka VDA 6.5 explicitně nedefinuje požadavky na kvalifikaci auditorů produktu. Pouze v kapitole 9.1 uvádí: „Organizace musí stanovit požadavky na kvalifikaci auditorů produktu“ (Audit produktu, 2020). Obdobně kapitola 9.2 uvádí, že je obdobně nutné stanovit kvalifikační požadavky i pro další role – vedoucí programu auditů, plánovač auditů.

Kvalifikace auditorů produktu musí být ověřitelná a trvale udržována a rozvíjena pravidelnou aktualizací, a to mimo jiné ve vztahu k požadavkům zákazníků na auditovaný produkt (Audit produktu, 2020).

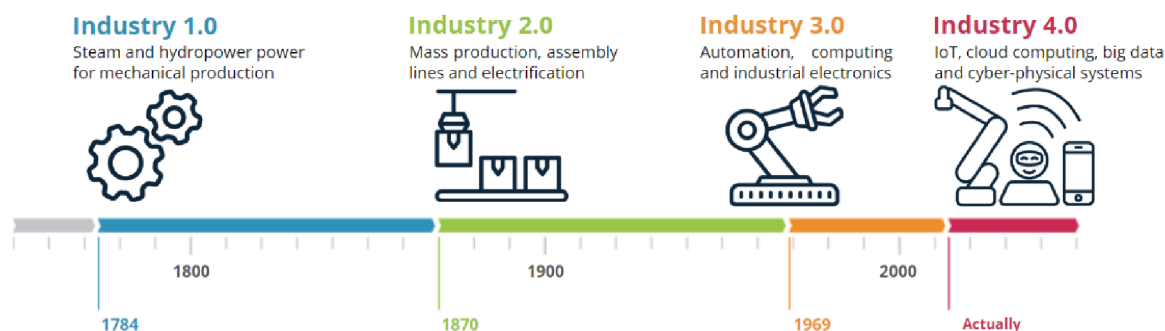
Po ukončení auditu výrobku musí být jeho výsledek zdokumentován v tzv. Zprávě z auditu. Odchytky je nutné standardizovaně a srozumitelně popsat (Audit produktu, 2020). Jednotlivé odchytky se klasifikují do tzv. tříd vad. Příručka pouze doporučuje využití 3 tříd, nicméně například OEM Volkswagen vyžaduje detailnější klasifikaci závad do kategorií C, C1, B, B1, A a A1 (viz Příloha 4).

2 Koncept Industry 4.0 a Quality 4.0

Tato kapitola má za cíl na základě nejnovějších poznatků nejen detailně popsat koncept Industry 4.0 (někdy také jako Průmysl 4.0, dále jen jako I4.0), ale také popsat souvislost této iniciativy s oblastí managementu kvality. Nástroje, které přináší I4.0, mají obrovský potenciál právě i v této oblasti. Mimo jiné i proto se v této práci objeví společně s tímto výrazem také výraz Quality 4.0 (někdy také jako Kvalita 4.0, dále jen jako Q4.0). Dopady iniciativ, které jsou nedílnou součástí těchto trendů, budou analyzovány s dopadem na oblast řízení kvality.

Industry 4.0

Časová osa průmyslových revolucí je shrnuta na Obr. 3. První průmyslová revoluce byla zahájena v 18. století, kdy byla v Anglii poprvé použita mechanizace podporovaná parním pohonem. Druhá revoluce byla zahájena v devatenáctém století a vyznačovala se využitím elektřiny k rozvoji hromadných výrobních linek, které reagovaly na rostoucí poptávku. Třetí průmyslová revoluce byla zahájena v sedmdesátých letech 20. století vynálezem programovatelných logických řadičů (PLC), integrovaných obvodů (IC) a využitím programovatelných ramenných robotů pro optimalizaci výroby. Výhody automatizace a integrace technologií do výroby a vznik dalších pokročilých technologií připravily půdu pro větší skok ve světě průmyslu (Sader et al., 2022).



Zdroj: (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024)

Obr. 3 Časová osa průmyslových revolucí

Hlavním cílem průmyslových odvětví je trvale udržovat vysoce kvalitní standardy (Markatos, Mousavi, 2023). Průmyslové podniky čelí vysoké konkurenci a dynamickému hospodářskému prostředí (Seeliger et al., 2023) a proto neustále

hledají využití pokročilých technologií pro zvyšování efektivity, produktivity a celkové kvality (Treinen, Kolla, 2024). I4.0 otevřel cestu k výrobě sofistikovanějších a složitějších produktů v různých oblastech, jako je automobilový, letecký a obranný průmysl, což zase vyžaduje složitější systémy kontroly a klade nové požadavky na formy řízení kvality (Sader et al., 2022).

Čtvrtá průmyslová revoluce neboli I4.0, zpopularizovaná v roce 2011 pod německým termínem Industrie 4.0 (Prashar, 2022), je nové výrobní paradigma, které má své kořeny v technologicky řízených procesních inovacích. Nedávný rozvoj informačních a komunikačních technologií vedl k velkému skoku v průmyslu, což způsobilo vznik takzvaného "Průmyslu 4.0". Termín "4.0" byl připojen i k dalším oblastem, jako je kvalita 4.0, zemědělství 4.0, služby 4.0, logistika 4.0, zdravotnictví 4.0. atd. a všechny představují dopad I4.0 za těchto podmínek (Sader et al., 2022). I4.0 představuje významný vývoj v průmyslovém prostředí díky začlenění informačních a komunikačních technologií (ICT) (Martín-Gómez et al., 2024). Nástup internetu způsobil inovativní a radikální změny, k nimž vedou internet věcí (IoT), umělá inteligence (AI), cloud computing (CC) a kyberneticko-fyzické systémy (CPS), které spojují reálný svět s virtuálním (Salimbeni et al., 2023).

Jak uvádí Ibidapo (2022) I4.0 je tedy obecně vnímán ve smyslu vytváření inteligentních výrobků a výrobních procesů v budoucích továrnách ("SmartFactory"), které mají umožnit následující:

- rychlý vývoj nových produktů,
- flexibilní výrobní procesy

v komplexním "chytrém" výrobním prostředí schopném využívat kyberfyzikální systém (CPS) k usnadnění komunikace mezi lidmi, stroji a výrobky.

Quality 4.0

Tradiční přístupy k plánování, řízení, zajišťování a zlepšování kvality se musí dramaticky změnit a všechny systémy řízení kvality, bez ohledu na to, zda jsou či nejsou certifikované, se budou muset transformovat z hlediska své struktury, rozsahu, cílů, infrastruktury nebo kompetencí lidí (Vykydal, Nenadál, 2022). Jedním z nedostatků tradičních metod a nástrojů řízení kvality je, že sice umožňují odhalit chyby a zlepšit rozhodovací schopnosti, ale často dochází ke zpoždění při zavádění nápravných opatření (Ibidapo, 2022).

Q4.0 je nový termín, který představuje nový přístup k řízení kvality (Sader et al., 2022). Odpovídá rostoucí digitalizaci průmyslu, která využívá pokročilé technologie ke zvýšení kvality výroby a služeb. Tato čtvrtá revoluce kvality předpokládá digitalizaci celých systémů kvality a následné zlepšení stávajících přístupů ke kvalitě (Javaid et al., 2021). Q4.0 zatím nebyla dostatečně diskutována z vědeckého hlediska; několik článků v časopisech poukázalo na "kvalitu 4.0", ale bez komplexního výkladu vědeckých základů, které za ní stojí (Sader et al., 2022).

Sader et al. (2022) se ve svém výzkumu pokusili lépe vymezit pojem Q4.0. Dokonce nejen ve snaze tento termín definovat, ale i popsat jeho vlastnosti, výzvy, způsoby aplikace a využitelné technologie. O podobné se snaží článek „The Quality 4.0 Roadmap“, který má sloužit výzkumníkům a odborníkům, kteří chtějí prozkoumat a podpořit iniciativu Q4.0 v organizacích, které jsou (nebo chtějí být) zapojeny do cesty digitální transformace zaměřené na člověka (Carvalho et al., 2024). Hlavní úkol tedy spočívá především ve schopnosti organizací a podniků účinně přijmout iniciativy Průmyslu 4.0 a vhodně je integrovat do svých systémů řízení kvality nebo naopak (Ibidapo, 2022).

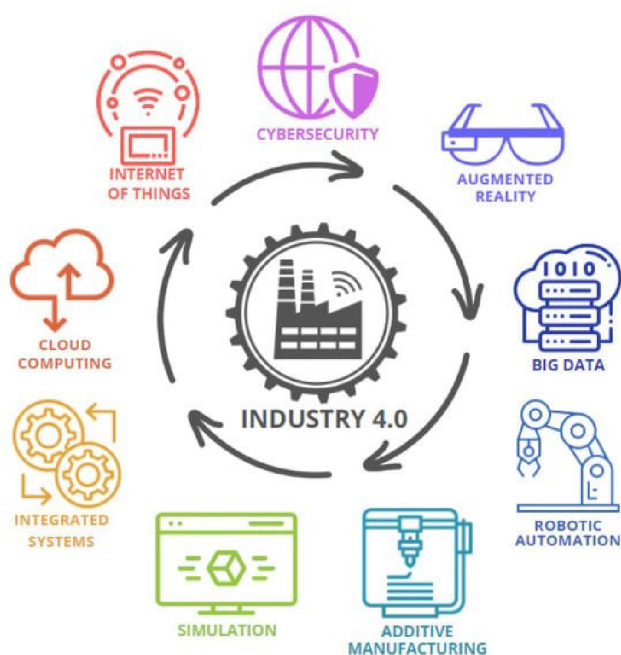
V oblasti řízení kvality nabízí I4.0 obrovský skok od současného konvenčního řízení kvality (Kvalita 3.0) ke Kvalitě 4.0. Technologie I4.0 představují významnou část technologií právě i pro Q4.0 (Antony et al., 2023). Zatímco Průmysl 4.0 jednoduše označuje propojení a integraci systémů pro sběr a analýzu dat v digitalizovaných provozních systémech organizací, Kvalita 4.0 je s Průmyslem 4.0 v koncepčním vztahu, pokud jde o zavádění vhodných a účelných procesů, nástrojů a technik řízení kvality k zajištění kvality výsledků nebo produktů digitalizovaných procesů (Ibidapo, 2022).

V dalším textu budou představeny jednotlivé nástroje, které s myšlenkou I4.0 a tedy i Q4.0 úzce souvisí a na konkrétních příkladech bude vysvětlen jejich možný přínos a konkrétní oblast využití. Jejich implementace má určitě své výhody a nevýhody, které se tato práce pokusí detailně popsat společně s analýzou případných bariér praktického nasazení do reálné podnikové praxe.

2.1 Nástroje Industry 4.0 a oblast jejich využití

I4.0 je z obecného pohledu technologická iniciativa, jejímž cílem je digitálně transformovat způsob, jakým fungují průmyslová odvětví, aby byly podniky

efektivnější a konkurenceschopnější (Ibidapo, 2022). Nové technologie v I4.0 (viz Obr. 4) jsou skutečně transformační a kombinují umělou inteligenci (AI) a internet věcí (IoT), které jsou motorem inovací. Odborníci tyto pokroky označují za kritické kvůli nedostatku informací, které brání jejich širokému přijetí. Jak uvádí O'Shiel (2020) augmentovaná (AR) a smíšená realita (MR) se ukazují jako slibné řešení pro diagnostiku závad a pomoc výrobním systémům, což může potenciálně zlepšit pracovní podmínky. Následuje přehled jednotlivých nástrojů a bližší přiblížení jejich využití v praxi.



Zdroj: (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024)

Obr. 4 Technologické pilíře Industry 4.0

Neustálé zavádění nových produktů vyžaduje značné investice času a zdrojů do školení nových operátorů. Za těchto okolností se mnoho společností uchýlilo k technologiím I4.0 a začalo zkoumat možná řešení, která nabízejí nově vznikající digitální technologie (Fathi et al., 2024). Digitalizace všech strojů/zařízení napříč všemi výrobními procesy vede k digitalizaci celé továrny, čímž se z ní stává "SmartFactory" (Ibidapo, 2022). Hlavní technologie pohánějící myšlenku I4.0, které shrnuje ve svém článku Martín-Gómez et al. (2024) jsou uvedeny v příloze (viz Příloha 5).

V rámci digitální transformace směrem k I4.0 se mění úkoly zaměstnanců v dílnách (Dausch et al., 2023). Navzdory rostoucí automatizaci musí složité montážní kroky stále provádět lidé, zejména pokud jde o složité výrobky bohaté na varianty, jejichž montáž nelze z různých důvodů plně automatizovat.

Nové technologie, které nabízejí zcela nové formy vizualizace a interakce s personálem, jsou pro tento účel vhodným prostředkem, ale v průmyslové praxi zatím nejsou dostatečně zvládnuty (Dausch et al., 2023).

Ačkoli si někteří možná mylně vykládají, že udržitelnost se používá pouze v souvislosti se ziskovostí organizací a podniků a s životním prostředím pouze v kontextu odpovědnosti vlád, jde o víc než to. Jde o sociální spravedlnost, ekonomický rozvoj a schopnost lidí, organizací a/nebo podniků přežít za všech okolností při plnění příslušných závazků vůči zákazníkům, lidem a společnosti jako celku, a to především v době výzev – rizik, pandemií, nebezpečí, extrémů počasí, přírodních a člověkem způsobených katastrof atd. (Ibidapo, 2022). Proto lze nástroje I4.0 mimo jiné klasifikovat z pohledu tří dimenzí udržitelnosti (Martín-Gómez et al., 2024). V Příloha 6 jsou analogicky z Příloha 5 uvedeny technologie I4.0 a je krátce komentována každá oblast udržitelnosti, konkrétně pak: (So) sociální udržitelnost; (Ev) environmentální udržitelnost; (Ec) ekonomická udržitelnost.

Internet věcí (IoT)

IoT umožňuje propojení různých výrobních zařízení a nástrojů do jednotné sítě (Tasmin et al., 2020). Senzory a inteligentní zařízení shromažďují data v reálném čase o stavu strojů, kvalitě surovin a procesních parametrech. Tyto informace lze využít pro sledování a optimalizaci kvality výrobních procesů. Internet věcí aplikovaný na průmysl se nazývá průmyslový internet věcí (Salimbeni et al., 2023).

Robotika a automatizace

Pokročilá robotika a automatizované výrobní systémy zvyšují přesnost a konzistenci výrobních procesů, což přispívá ke zlepšení celkové kvality výrobků. Autonomní roboti jsou složité systémy, které zahrnují interakci nebo spolupráci velkého počtu různých druhů softwarových komponent. Autonomní roboty jsou navrženy tak, aby vykonávaly činnosti na vysoké úrovni buď samostatně, nebo s velmi omezeným řízením z vnějšího zdroje (Markatos, Mousavi, 2023).

Virtuální, augmentovaná, smíšená a rozšířená realita

Tyto technologie mohou pomoci průmyslovým podnikům dosáhnout větší efektivity, bezpečnosti a flexibilitu ve výrobě, což je klíčové pro úspěch v rámci konceptu Industry 4.0. Mají obrovský potenciál jako nástroje v rámci konceptu Industry 4.0, který zdůrazňuje digitalizaci a automatizaci průmyslu. Této oblasti se pak detailně věnuje kapitola 2.3.

Aditivní výroba

S nástupem Průmyslu 4.0 se aditivní výrobní techniky stávají stále populárnějšími. Vysoce výkonné decentralizované systémy aditivní výroby zkrátí přepravní vzdálenosti i množství skladových zásob (Markatos, Mousavi, 2023). Podobně aditivní výroba umožňuje personalizovanější výrobu s menším plýtváním materiálem (Martín-Gómez et al., 2024). To tak umožňuje výrobu objektů se složitou geometrií, které je velmi obtížné nebo téměř nemožné dosáhnout jinou subtraktivní výrobní technologií. Díky své rychlosti, flexibilitě, kvalitě a nízkým nákladům se aditivní výroba používá zejména při výrobě výrobků na míru, prototypů, speciálních součástí a náhradních dílů strojů (Salimbeni et al., 2023).

Big data a analýza dat

Big data je termín používaný pro soubory dat, jejichž velikost přesahuje kapacitu tradičních relačních databází (Salimbeni et al., 2023). Tradiční technologie nejsou schopny zpracovávat a analyzovat obrovské množství informací, které se denně generují a shromažďují v důsledku rychlého rozvoje internetu v dnešní době (Markatos, Mousavi, 2023). Shromažďování a analýza velkého objemu dat z různých zdrojů umožňuje hlubší porozumění výrobním procesům a identifikaci potenciálních problémů kvality dříve, než dojde k výrobě vadných produktů.

Cloud computing

Jedná se o obecný pojem, který označuje poskytování výpočetních služeb prostřednictvím sítě internet (Salimbeni et al., 2023). Software jako služba (SaaS) Cloud computing jako další stupeň vývoje internetu poskytuje veškeré výpočetní zdroje jako služby prostřednictvím internetu (Lee et al., 2022). Umožňuje škálovatelnost, nákladovou efektivitu a inovace jako nikdy předtím. Potenciál využití umělé inteligence a strojového učení v cloudových službách je obrovský, což otevírá dveře inteligentnějším a automatizovanějším řešením (Das et al., 2023).

Umělá inteligence a strojové učení

V kontextu paradigmatu I4.0 je dnes umělá inteligence považována za jednu z klíčových technologií umožňujících dosáhnout schopností a převratně redefinovat způsob, jakým jsou strukturovány manuální procesy (Salimbeni et al., 2023). Tyto technologie umožňují automatické identifikování vzorců a anomálií v datech, což napomáhá při predikci a prevenci problémů kvality. Strojové učení může být také využito pro optimalizaci výrobních procesů a zlepšení kvality produktů.

Digitální dvojče

Digitální replikace fyzických výrobních systémů umožňuje simulaci a testování různých scénářů v digitálním prostředí. Tím se umožňuje identifikace možných problémů a optimalizace procesů před jejich implementací v reálné výrobě. Technologie digitálního dvojčete také urychluje schopnost pracovníka učit se a umožňuje úsporu nákladů díky testování počátečních produktů ve virtuálním prostředí (Martín-Gómez et al., 2024). Základní vlastností, která odlišuje digitální dvojče od tradiční simulace, je obousměrnost monitorovacích a řídicích dat v reálném čase mezi fyzickými a virtuálními objekty (Salimbeni et al., 2023).

Blockchain

Další technologií je blockchain, který nyní využívá mnoho průmyslových společností ke sledování historie výrobků, zejména pokud jsou dodavatelské řetězce hluboké a všestranné. Vzniká tak transparentní přehled o výrobku včetně detailní evidence, z čeho tento výrobek pochází, jaká byla použita výrobní linka, parametry stroje, a dokonce i identifikace obsluhy (Sader et al., 2022). Technologie blockchain se stala neocenitelným přínosem v rámci průmyslové revoluce 4.0 (IR4.0), protože nabízí vyšší transparentnost, bezpečnost a sledovatelnost napříč dodavatelskými řetězci (Alazab, Alhyari, 2024). Integrace technologie blockchain ukázala významný potenciál v různých obchodních aplikacích, zejména v oblasti řízení dodavatelského řetězce. Začlenění technologie blockchain posiluje spolupráci v oblasti dat a důvěru mezi různými zúčastněnými stranami díky svým přirozeným vlastnostem, včetně transparentnosti, odolnosti vůči cenzuře, technologii distribuované databáze a funkci inteligentních smluv, a může vytvořit špičkovou datovou infrastrukturu (Duong Thi Binh et al., 2024).

2.2 Nástroje Quality 4.0 a oblast jejich využití

V posledních letech roste zájem o uplatňování principů Průmyslu 4.0 v různých oblastech, včetně oblasti řízení kvality. Cílem této části je prozkoumat potenciální přínosy a výzvy implementace principů Průmyslu 4.0 v kontextu managementu kvality. Práce se zaměří na to, jak může zlepšit efektivitu, produktivitu a celkové řízení kvality ve výrobním podniku. Je však nezbytné analyzovat možné bariéry, výhody a nevýhody, které mohou při zavádění těchto principů vznikat.

Koncept Q4.0 je v synergii s různými normami kvality, protože kombinuje myšlenky a postupy systémů řízení kvality, jako je ISO 9001 a celkové řízení kvality (TQM), s myšlenkami a postupy technologií I4.0 (Antony et al., 2023). Q4.0 si neklade za cíl nahradit stávající normy, ale může poskytnout cennou metodiku pro používání zavedených postupů a zdrojů v rámci systému řízení kvality v moderním a digitálním prostředí.

V předchozí podkapitole byly představeny vybrané nástroje spojené s konceptem I4.0. Dle Ibidapo (2022) jsou pro oblast Q4.0 významné zejména tyto:

- Cloud Computing,
- Big Data,
- rozšířená realita (XR),
- blockchain,
- aditivní výroba,
- umělá inteligence,
- strojové učení,
- internetový protokol verze 6 (IPv6),
- kyber-fyzikální systémy (CPS).

V posledních letech se ve výrobním průmyslu začaly využívat technologie rozšířené reality (XR) v každodenním provozu (Treinen, Kolla, 2024). V tomto kontextu se pro průmyslovou práci dobře hodí tzv HMD², protože umožňují ovládání bez použití

² HMD – digitální zařízení nošené na hlavě (z angl. Head Mounted Display)

rukou a poskytují informace neustále v zorném poli (FOV³), čímž minimalizují potřebu střídání pozornosti (Seeliger et al., 2023).

Využití rozšířené reality je slibným přístupem, který umožní efektivnější a flexibilnější průmyslovou kontrolu kvality (Seeliger et al., 2023). Kontrola kvality v průmyslu může těžit z využití rozšířené reality díky její schopnosti superponovat užitečné digitální informace ve 3D, což vede ke snížení počtu chyb a snížení mentální náročnosti. Každé zařízení AR má však své výhody a nevýhody, a ne všechna zařízení AR jsou vhodná pro použití v průmyslovém prostředí (Tobisková et al., 2023).

Školení a údržba mohou být pro některé společnosti náročné nebo v případě osvědčených postupů nákladné. Díky implementaci paradigmat Průmyslu 4.0 a cloudových platform mohou dodavatelé strojů nabízet údržbu jako službu spolu s nákupem svých strojů. Služba může sestávat z technických popisů, videí, zdokumentovaných úkolů údržby a školicích materiálů. Školicí materiály mohou mít podobu školení MR, nabízeného na dálku (Spadoni et al., 2023).

Zlepšení znalostí a dovedností obsluhy před provedením jakéhokoli technického úkolu může ovlivnit bezpečnost. XR je vynikajícím nástrojem pro zkušenostní učení ve složitých tématech, která jsou jinak příliš riskantní, nákladná nebo nebezpečná. Operátoři mohou činit rozhodnutí, která neovlivní je samotné, ostatní ani zařízení organizace (Spadoni et al., 2023).

Konkrétní výčet oblastí, kde je spatřován zásadní přínos XR, shrnuli ve svém výzkumu Morales Méndez a Del Cerro Velázquez (2024):

- zlepšení efektivity a přesnosti montáže,
- vyšší bezpečnost v interakci člověk – stroj,
- pozitivní dopad na školení,
- optimalizace logistiky,
- pomoc při kontrole a údržbě.

Z výše uvedených důvodů se bude práce ve svých dalších částech zabývat právě oblastí nástrojů rozšířené reality.

³ FOV – Zorné pole (z angl. Field Of View)

2.3 Charakteristika nástrojů rozšířené reality

Pokrok ve výpočetním výkonu vedl k výraznému rozvoji technologií virtuální reality (VR), augmentované reality (AR) a smíšené reality (MR). V poslední době se velká pozornost věnuje termínu technologie XR (eXtended reality), která v širším smyslu integruje technologie VR/AR/MR (Morimoto et al., 2022).

Virtuální realita (dále jen VR) je čistě digitálně generované prostředí, které lze interaktivně prožívat, jako by bylo skutečné (Nascimento et al., 2023).

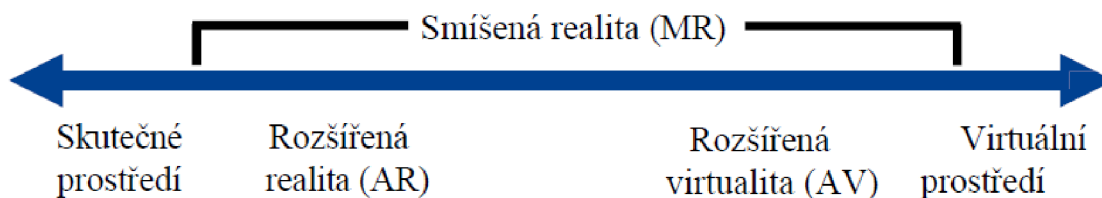
Augmentovanou realitu (dále jen AR) je popisována jako koncept digitálního překrývání virtuálních objektů s fyzickými objekty v reálném prostoru, takže jednotlivci mohou interagovat s oběma objekty současně. V praxi se počítačem vytvořené obrazy překrývají s reálnými obrazy a zobrazují se na videoprojektoru, počítači nebo tabletu (Morimoto et al., 2022). V průmyslu lze využít k tomu, aby pracovníkům poskytovala informace v reálném čase, což může zlepšit rozhodování i pracovní operace (Markatos, Mousavi, 2023). Technologie AR slibují zvýšit flexibilitu a produktivitu pracovníků tím, že jim poskytnou informace v reálném čase přímo tam, kde je potřebují. V návaznosti na teorii kognitivní zátěže a teorii pozornosti může asistence AR snížit zátěž na mentální kapacitu pracovníků při plnění úkolu, a tím zlepšit jeho výkonnost (Seeliger et al., 2023).

Smíšená realita (dále jen MR), se nachází někde na pomezí VR a AR a vytváří hybridní realitu (Marr, 2021). Výsledkem je prolínání fyzického a digitálního světa. V poslední době si získává pozornost, protože zmírňuje omezení VR spočívající ve vyloučení reálného prostředí a AR spočívající v nemožnosti interakce s digitálními objekty (Morimoto et al., 2022).

Rozšířená realita (někdy také jako eXtended Reality, dále jen XR) je ve skutečnosti zastřešující pojem pro celou řadu imerzivních technologií, které zahrnují ty, které již dnes máme – virtuální, augmentovanou a smíšenou realitu – a ty, které teprve vzniknou (Marr, 2021).

Jak z textu vyplývá, XR je tedy obecný termín zahrnující VR, AR a MR. Označuje všechna reálná a virtuální kombinovaná prostředí mezi lidskými a počítačově generovanými vstupy zpracovanými za účelem vytvoření interaktivního prostředí (Morimoto et al., 2022).

Toto mimo jiné potvrzuje i Dausch et al. (2023), který říká, že klasifikace a vymezení těchto technologií vychází z kontinua realita-virtualita (viz Obr. 5), které vymezuje technologie na základě jejich blízkosti k reálnému nebo virtuálnímu prostředí.



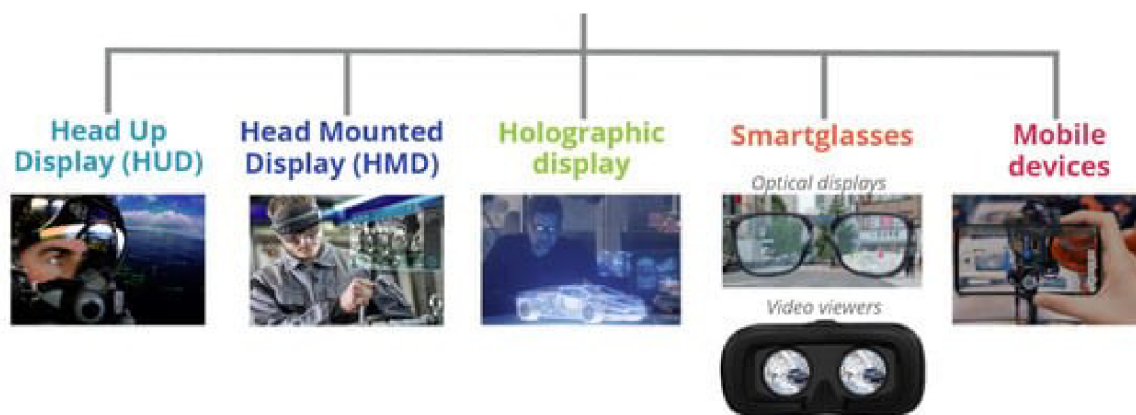
Zdroj: Upraveno dle (Dausch et al., 2023)

Obr. 5 Kontinuum realita-virtualita

Uživatelské rozhraní v systémech rozšířené reality umožňuje obousměrnou komunikaci mezi systémem a uživatelem. Používají se různé technologie, například hmatová zpětná vazba a zvukové výzvy. Mezi významné metody uživatelského vstupu patří rozpoznávání gest, sledování očí, rozpoznávání řeči a další hardware specifický pro danou úlohu (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024). XR zkrátka promění informace v zážitky. A to má potenciál změnit v podstatě všechno (Marr, 2021).

Dle Fathi et al. (2024) mezi slibné technologie I4.0 patří právě augmentovaná realita (AR) a smíšená realita (MR). Ukázalo se, že MR je slibná při usnadňování manuálních procesů tím, že poskytuje vizuální pokyny operátorům během výrobních a školicích procesů. Ačkoli se využití MR ve výrobě věnuje v posledních letech značná pozornost, omezuje se především na vizualizaci informací, pokynů a naváděcích značek a signálů. Důvodem mohou být omezení vlastní technologii MR a dostupným hardwarovým nástrojům, jako jsou chytré brýle.

Rozšířenou realitu lze rozdělit na tři hlavní typy: ruční, náhlavní a prostorovou (Dausch et al., 2023). Rozhodujícím faktorem tohoto rozdělení je použité koncové zařízení. Ruční XR využívá chytrý telefon nebo tablet, naopak XR nošená na hlavě využívá displej na hlavě (HMD) a prostorová XR využívá k zobrazení informací projektor nebo monitor.



Zdroj: (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024)

Obr. 6 Kategorie displejů rozšířené reality

V některých studiích jsou však zařízení pro rozšířenou realitu rozdělena namísto do třech hned do pěti kategorií (viz Obr. 6) (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024). Toto není nijak v rozporu s původním tvrzením, jedná se pouze o jiný způsob jejich klasifikace. Morales Méndez a Del Cerro Velázquez (2024) uvádí konkrétně tento způsob členění:

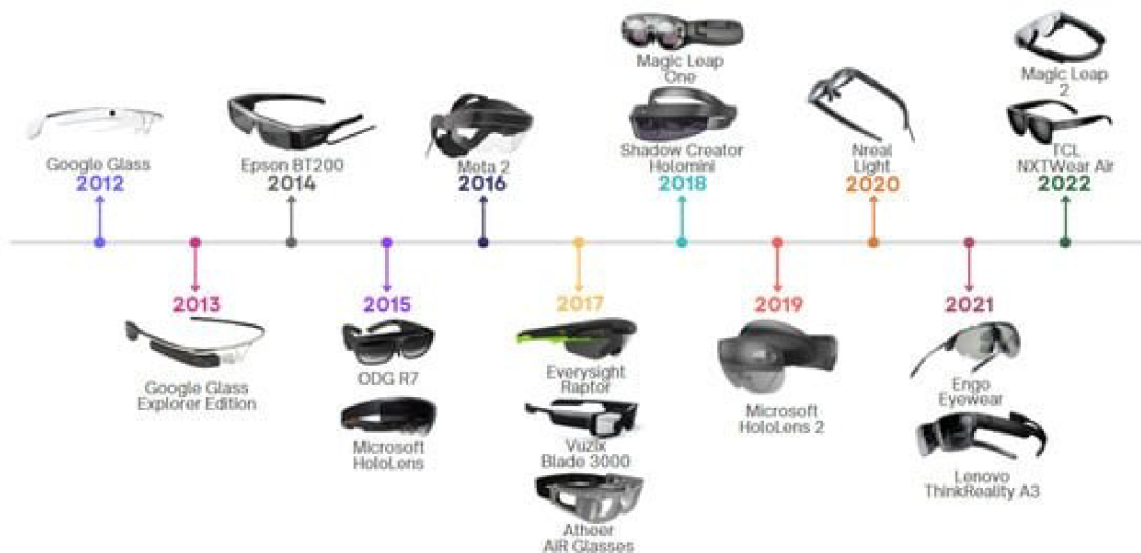
1. **Head-up displej (HUD)** – zařízení fungující na principu projekce, která jsou speciálně navržena tak, aby zobrazovala informace přímo v zorném poli uživatele. Tyto systémy pocházejí z leteckého průmyslu a skládají se ze tří základních prvků: projekční zařízení, skleněná obrazovka a jednotky pro zpracování dat. Charakteristickým rysem HUD je použití kolimujících projektorů, které vysílají paralelní světelné paprsky, což uživateli umožňuje vidět superponované digitální informace a reálné prostředí současně, aniž by se musel dívat jinam.
2. **Displeje nošené na hlavě (HMD)** – jedná se o podobná zařízení jako HUD, protože jsou to nositelná zařízení určená k promítání obrazu přímo do zorného pole uživatele. Mohou překrývat digitálním obsahem reálný svět nebo vytvářet zcela virtuální prostředí. Jsou vybaveny jednou nebo dvěma malými obrazovkami a čočkami, které pro uživatele vytvářejí velký virtuální displej. Tato zařízení mohou být buď monokulární, nebo binokulární, přičemž ta druhá jsou schopna poskytnout lepší zážitek díky vnímání hloubky. HMD jsou obvykle integrovány se senzory pro sledování pohybu a zvukovým

rozhraním. Vývoj nejvýznamnějších zařízení HMD za poslední desetiletí je zachycen na Obr. 7.

3. **Holografické displeje** – představují pokročilou technologii, která využívá difrakci světla k vytváření trojrozměrných obrazů. Umožňují 3D zobrazení bez potřeby brýlí nebo jiných jednorázových zařízení a nabízejí dynamické změny perspektivy podle pohybu uživatele. Výroba těchto displejů je velmi sofistikovaná, zejména pokud jde o výrobu velkých barevných obrazů s vysokým rozlišením. Tyto displeje mají velký potenciál v celé řadě oblastí.
4. **Chytré brýle** – prošly pozoruhodným vývojem od svých původních aplikací v letectví a průmyslu a etablovaly se jako běžně používaná zařízení v oblasti rozšířené reality. Tato zařízení v podstatě rozšiřují zorné pole uživatele tím, že integrují digitální informace do reálného prostředí. Lze je rozdělit do dvou hlavních kategorií:
 - a. *Optické displeje* – umožňují uživateli přímo vnímat realitu prostřednictvím průhledných optických prvků a zároveň překrývají digitální obsah s reálným prostředím.
 - b. *Videoprohlížeče* – tyto brýle zachycují reálné prostředí uživatele prostřednictvím vestavěných kamer a kombinují tyto obrazy s digitálním obsahem a promítají je na obrazovku pro každé oko.
5. **Mobilní zařízení** – aplikovatelnost rozšířené reality na těchto zařízeních bylo podpořeno vývojovými nástroji, jako jsou ARKit⁴ nebo ARCore⁵. Tyto nástroje umožnily přístup k pokročilým algoritmům počítačového vidění, z čehož těží vývojáři i koncoví uživatelé. Snadnost, s jakou lze k rozšířené realitě pomocí mobilního zařízení přistupovat, zdůrazňuje přirozenou jednoduchost a dostupnost této technologie.

⁴ ARKit je rozhraní pro programování aplikací pro iOS, iPadOS a VisionOS, které umožňuje vývojářům třetích stran vytvářet aplikace pro rozšířenou realitu využívající kameru, CPU, GPU a pohybové senzory zařízení.

⁵ ARCore je sada pro vývoj software vyvinutá společností Google, která umožňuje vytvářet aplikace pro rozšířenou realitu.



Zdroj: (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024)

Obr. 7 Vývoj HMD pro rozšířenou realitu v posledním desetiletí

Každé z těchto zařízení se skládá z několika částí (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024):

- **Výpočetní jednotka**, která řídí operace zpracování dat (interpretace, správa a koordinace přijatých informací). Je také zodpovědná za procesy zpětné vazby, které zajišťují promítnutí interakce uživatele.
- **Sledovací jednotka** identifikuje a sleduje orientaci a polohu dat a vizuálních informací ve vztahu k reálnému prostředí. Existují v zásadě čtyři možnosti, jak je toto zajištěno:
 - Použití specifického vizuálního prvku (poziční značky). K ukotvení digitálního obsahu dojde, když zařízení identifikuje polohu a orientaci značky (např. QR kód).
 - Systémy na bázi GPS, kompasu, gyroskopu a akcelerometru.
 - Tzv. předpokládaný systém využívá pokročilé techniky mapování prostředí (tzv. „spatial mapping“). Zařízení na základě zmapovaného prostředí vyhodnotí pozici uživatele.
 - Překryvný systém je založen na identifikaci skutečných objektů a nahrazení nebo rozšíření původního zobrazení digitálními informacemi.

- **Externí databáze** funguje jako centrální úložiště, které uchovává a poskytuje systému základní informace. Taková databáze nejen uchovává data, ale také zajišťuje jejich integritu, bezpečnost a dohledatelnost informací. Schopnost integrace s jinými databázemi nebo externími systémy umožňuje různé formy rozšiřování a širší integrace do existující infrastruktury.
- **Senzorový systém** je zásadní pro zachycení a vnímání dat z prostředí. Ve většině systémů je hlavní vstupní komponentou kamerový systém. Pro získání podrobných informací o hloubce se používají senzory (ultrazvukové nebo infračervené). Dále jsou integrovány další snímače, jako jsou gyroskopy a akcelerometry.

2.4 Výhody a nevýhody využití nástrojů Quality 4.0 v průmyslové praxi

Morales Méndez a Del Cerro Velázquez (2024) analyzovali celkem 48 studií využití rozšířené reality v průmyslové praxi. Shrnutí oblast použití, typ zařízení, cíl studie, metodiku, identifikované problémy a zjištění (viz Tab. 1).

Tab. 1 Studie využití rozšířené reality v praxi

Rok studie	2020	2021	2022	2023
Oblast	Kvalita	Údržba	Údržba	Kvalita
Zařízení	Chytré brýle	Chytré brýle	Chytré brýle	Chytré brýle
Cíl	Dvojitá kontrola bezpečným a efektivním způsobem s využitím XR.	Rozpoznat mechanické části motorů a poskytnout k nim pokyny.	Zlepšení spolehlivosti obráběcích strojů prostřednictvím prediktivní údržby integrované s předvídáním poruch a rozhodováním o údržbě.	Vyhodnocování a zlepšování výkonu úkolů kontroly kvality a lidských zdrojů.
Metodika	Vyhodnocení systému a jeho účinnosti u různých velikostí PCBA a porovnání s ručním zpracováním.	Správa a zpracování pracovních příkazů v reálném čase, asistence technikům prostřednictvím AR.	Využívá neuronové sítě a strojové učení pro predikci poruch pro rozhodování o údržbě.	Vývoj systému pro vizualizaci vad přímo na fyzických výrobcích.
Problémy	Přesné sledování bez použití značek a integrace informací o závadách.	Omezená výpočetní kapacita a složité geometrické struktury.	Komplexní zpracování dat a integrace IoT s prediktivními modely.	Doba aklimatizace uživatelů, ergonomie a pohodlí při dlouhodobém používání a viditelnost za různých světelných podmínek.
Zjištění	Zvyšuje přesnost a rychlost lokalizace závad.	Účinnost rozšířené reality při detekci částí motoru a jako nástroje pro průmyslový výcvik.	Efektivní předvídání poruch a plánování údržby, které snižuje prostoje a náklady a zároveň zvyšuje spolehlivost a efektivitu provozu stroje.	Zvýšená výkonnost a snížená duševní zátěž s pozitivním hodnocením uživatelských zkušeností, zejména u složitých kontrolních úkonů.

Zdroj: Upraveno dle (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024)

Z důvodu existence poměrně rozmanitého spektra koncových zařízení pro XR je zcela na místě porovnat jejich vlastnosti, resp. výhody a nevýhody. Tento přehled,

který shrnuje Tab. 2, může posloužit jako vodítko pro rozhodnutí, které zařízení pro tu či onu aplikaci by bylo vhodné použít.

Tab. 2 Srovnání výhod a nevýhod chytrých brýlí, HMD a mobilních zařízení

Typ zařízení	Příklad	Výhody	Nevýhody
Chytré brýle, HMD	Microsoft HoloLens 2 Magic Leap 2 Meta Quest Pro	Imerzivní zážitek: integrace digitálních objektů do reálného světa.	Cena: jedná se o relativně drahé technologie, což může být překážkou pro jejich široké nasazení.
		Ergonomie: volné ruce umožňuje uživatelům manipulovat s digitálními objekty.	Použitelnost: doba používání bez připojení k elektrickému zdroji může být limitující.
		Interaktivita: nabízejí pokročilé možnosti interakce, včetně hlasového ovládání a gest.	Flexibilita: dlouhodobé nošení může být pro některé uživatele nepohodlné.
Mobilní zařízení	Apple iPhone Samsung Galaxy Honor 90	Použitelnost: většina lidí již vlastní smartphone nebo tablet, což umožňuje snadný přístup k XR aplikacím.	Imerzivní zážitek: nízký, převážně jde pouze o stacionární doplnění reálného světa.
		Cena: využití stávajícího hardwaru eliminuje potřebu dodatečných investic do speciálních zařízení.	Ergonomie: zařízení je třeba držet před očima, což snižuje možnosti využití a použitelnost.
		Flexibilita: mobilní zařízení lze snadno používat v různých prostředích a aplikacích.	Interaktivita: nabízejí pokročilé možnosti interakce, včetně hlasového ovládání a gest.

Pro industriální aplikaci a nutnost volných rukou je vhodnější i přes vyšší prvopočáteční investiční náklady uvažovat o použití chytrých brýlí. Nedávný pokrok v technologii MR a zařízeních, jako jsou HoloLens 2, která umožňují detekci objektů i sledování očí a rukou, však posouvá hranice použití MR za hranice pouhé vizualizace (Fathi et al., 2024). Proto následuje detailní rešerše napříč hardwarovým spektrem aktuálně dostupných zařízení na trhu (viz Tab. 3). Každý typ zařízení je vhodný pro jinou úroveň zapojení této technologie. Toto zhodnocení nemá za cíl vyvodit jednoznačný závěr, že nejlepší je to či ono zařízení. Jen podává určité zhodnocení výhod případně nevýhod z čehož je možné následně vyvodit předběžný závěr, jaký typ chytrých brýlí by byl vhodný pro zamýšlenou implementaci.

Tab. 3 Chytré brýle a jejich výhody a nevýhody

Zařízení	Výhody	Nevýhody
Microsoft HoloLens 2	Plné propojení reálného a digitálního světa. Možnost použití společně s dioptrickými brýlemi. Umožňuje interakci s holografickými objekty prostřednictvím gest a hlasových příkazů.	Vysoká cena, což omezuje přístupnost pro malé a střední podniky. Výdrž baterie neumožňuje delší použití (> 3 hod.). Dlouhodobé nošení může být stále pro některé uživatele nepohodlné.
Apple Vision Pro	Vysoká kvalita zobrazení. Stabilní ekosystém Apple představuje silnou integraci s ostatními produkty Apple. Komfortní pro nošení.	Vysoká cena, což omezuje přístupnost pro malé a střední podniky. Nutnost použití dioptrických vložek v případech, kdy uživatel trpí oční vadou. Obraz z reálného prostředí je promítán digitálně (uživatel nevidí skrz brýle). Nutnost použití externí baterie.
RealWear Navigator	Navrženo pro náročné pracovní prostředí s odolností proti vodě, prachu a nárazům.	Zařízení promítá do jednoho oka uživatele „plochý“ obsah. Nejedná se tak o plnohodnotné XR zařízení.
NReal Air	Lehký a stylový design, který je více v souladu s tradičními brýlemi, což zlepšuje jejich nositelnost. Cenová dostupnost.	Závislost na externím zařízení (zařízení samotné nedisponuje výpočetní jednotkou). Omezené zorné pole. Nedostatečný výkon pro náročnější průmyslové aplikace nebo pro nejvyšší úroveň interaktivity.

2.5 Bariéry praktické implementace nástrojů Quality 4.0

Existuje jen několik studií zabývajících se přijetím Q4.0 v organizacích, přičemž většina z nich potvrzuje nízkou úroveň připravenosti nebo zralosti Q4.0 (Wawak et al., 2023). Hlavní výzvou v oblasti průmyslu je zavádění nových technologií, které umožňují filozofii a architekturu I4.0 (Bottani et al., 2021). Hlavní důraz je kladen na značné jednorázové úsilí potřebné pro jejich zavedení. Je také třeba mít k dispozici dostatečné znalosti o jejich možnostech na všech hierarchických úrovních, aby bylo možné přijímat vhodná rozhodnutí (Dausch et al., 2023).

V souvislosti s rozvojem průmyslu v jednotlivých regionech a zároveň s rozvojem obecných IT technologií je zřejmé, že jejich využití vyžaduje nejen nové znalosti a dovednosti (např. přístupy v rámci internetu věcí), ale i změnu myšlení jednotlivců vstupujících na trh práce. Kvůli silné migraci je poptávka po kvalitních znalostech ještě akutnější (Milichovský, Kuba, 2023).

Miah et al. (2024) prováděli výzkum v oblasti jižní Asie s cílem determinovat dopady zavádění konceptu I4.0 na zaměstnanost a související výzvy s tím spojené. Jejich výsledky shrnují mimo jiné identifikované překážky praktické implementace nástrojů Q4.0. Naopak Dausch et al. (2023) identifikované bariéry rozdělili do čtyřech kategorií. Jejich závěry jsou shrnuty v Tab. 4.

Tab. 4 Identifikované překážky implementace nástrojů Q4.0

Překážky dle (Miah et al., 2024)	Překážky dle (Dausch et al., 2023)
Investiční náklady	Správa dat
Nedostatek dovedností	Validace procesu
Nejistota výhodnosti investice	Hardware
Nedostatek kvalifikovaných zaměstnanců	Interakce
Odpor zaměstnanců	

Měnící se požadavky na dovednosti v průmyslu jsou jen nejnovějším případem poměrně staré debaty. Digitalizace, nové soubory dovedností a rozmanité znalosti představují pro dnešní průmysl nové výzvy (Miah et al., 2024).

Naopak výzkum realizovaný Dausch et al. (2023) formou rozhovorů s pracovníky v průmyslu na různých úrovních dospěl ke zjištění, že v rozhovorech nebyly zmíněny technologické problémy, které vyvolávají pochybnosti o výhodách rozšířené reality (výpočetní výkon, výdrž baterie a rychlost přenosu dat po síti).

Wawak et al. (2023) zkoumali připravenost organizací působících ve třech visehradských zemích, které patří mezi nejvíce industrializované země Evropské unie – Polsku, České republice a Slovensku. Výzkum probíhal formou dotazníkového šetření, přičemž závěry výzkumu se opírají o data od 298 respondentů (121 z České republiky, 101 z Polska a 76 ze Slovenska). Je také vhodné zmínit, že 27 % respondentů je z oblasti automobilového průmyslu, 16 % ze strojírenství a 12 % z chemického průmyslu a zpracování plastů. Závěry jejich výzkumu jsou následující:

- Úroveň připravenosti na implementaci Q4.0 souvisí s velikostí organizace.
- Úroveň připravenosti na implementaci Q4.0 je ovlivněna tím, zda organizace působí v automobilovém průmyslu. Organizace působící v automobilovém průmyslu mají vyšší úroveň připravenosti Q4.0 než organizace z jiných odvětví.
- Existuje významná závislost mezi zemí, kde organizace působí, a úrovní připravenosti na Q4.0. Toto zjištění může souviset s různými průmyslovými strukturami v jednotlivých zemích. V České republice a na Slovensku

převládá, na rozdíl od Polska, automobilový průmysl, kde je vyšší úroveň připravenosti na Q4.0.

- Organizace s certifikovaným QMS jsou na implementaci Q4.0 lépe připraveny než organizace bez certifikovaného QMS.

Výsledky výzkumu přispívají k existujícímu souboru znalostí a přinášejí nové informace a poznatky do oblasti digitalizace kvality a faktorů přispívajících k transformaci tradičních kvalitativních přístupů pro potřeby Průmyslu 4.0 a mohou pomoci organizaci při budování vhodných strategií.

Podobný výzkum realizovali také Nenadál et al. (2022) pod názvem „Hodnocení vyspělosti kvality 4.0 ve světle současné situace v České republice“. Ten hodnotí na škále od 1 (nejnižší) do 7 (nejvyšší) připravenost organizací na Q4.0. Pomocí databáze Albertina bylo náhodně vybráno 573 výrobních podniků. Celkem se průzkumu zúčastnilo 121 respondentů, z toho 48 z oblasti automobilového průmyslu. Ve svém závěru výzkum uvádí několik předpokladů pro implementaci konceptu Q4.0:

- Definovat, implementovat a rozvíjet vizi zaměřenou na Q4.0 a jasně ji komunikovat interně i externě. Čím méně jasná je vize, tím vyšší je pravděpodobnost neúspěchu při jejím zavádění.
- Provést komplexní analýzu rizik a příležitostí, protože transformace ke Q4.0 představuje rozsáhlý a náročný projekt.
- Určit a uvolnit potřebné zdroje pro zavedení, hodnocení a neustálý rozvoj Q4.0.
- Zvláštní pozornost je třeba věnovat budování nových dovedností na pracovních pozicích, jako jsou manažeři kvality, technici kvality a jiní. Nedostatek dovedností v oblasti digitalizace může působit jako překážka při realizaci iniciativ v rámci Q4.0.
- Po převedení tradiční struktury a procesů řízení kvality na koncepci Q4.0 musí být nový systém řízení kvality pravidelně auditován, přezkoumáván a vyhodnocován, aby byla zajištěna jeho trvalá vhodnost, přiměřenost, účinnost a soulad se strategickým směřováním organizace.

- V závislosti na zjištěních z auditů, sebehodnocení nebo benchmarkingu je třeba koncepci Q4.0 a související procesy průběžně zdokonalovat.

2.6 Význam a podstata nástrojů Quality 4.0

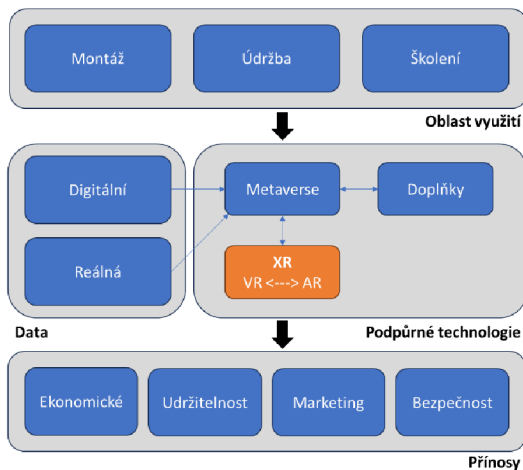
Vykydal a Nenadál (2022) si jsou jistí, že české výrobní společnosti si nebudou moci dovolit ignorovat koncept Q4.0, protože transformace řízení kvality možná není jen příležitostí, ale i silným požadavkem, jak přizpůsobit každou firmu novým podmínkám průmyslové reality. Nicméně také deklarují 3 předpoklady pro zlepšení připravenosti českých firem:

- Deklarovat, implementovat a rozvíjet svou vizi zaměřenou na CLQMS⁶ a jasně ji komunikovat interně i externě.
- Určit a uvolnit zdroje potřebné pro zavedení, udržování a neustálé zlepšování systému CLQMS.
- Získání nových dovedností pro všechny relevantní role a masivní podpora vzájemné spolupráce mezi odborníky na kvalitu a informační technologie.

Pokud jde o zdůvodnění volby technologií, největší význam má kontrola více variantních výrobků a procesů a spolehlivá detekce chyb. Očekávaná přidaná hodnota digitalizace je téměř výhradně motivována zvýšením kvality výrobků, zlepšením efektivity a zkrácením doby cyklu. Kromě toho je díky dostupnosti digitálních strukturovaných dat dosaženo zvýšené transparentnosti procesů (Dausch et al., 2023).

Obr. 8 shrnuje přehled provedené analýzy. Shora dolů jsou znázorněny oblasti použití, podpůrné technologie, data, která využívají, a nakonec hlavní přínosy, které společnosti z jejich používání získávají (Spadoni et al., 2023).

⁶ CLQMS z angl. Closed-loop quality management systems navrhuje základní strukturu řízení kvality v uzavřené smyčce jako směs interních, externích, horizontálních a vertikálních smyček.



Zdroj: Upraveno dle (Spadoni et al., 2023)

Obr. 8 Vztah mezi technologiemi, aplikacemi a využitím

Otázkou je, co ještě chybí k tomu, aby se technologie MR konečně staly běžnou praxí. Podle názoru Spadoni et al. (2023) dosud nebyly dostatečně vyvinuty metodiky, které by umožnily správné využití technologií XR. Chybí také kvalitní analýza nákladů a přínosů, která by v konečném důsledku prokázala skutečné přínosy.

Evropská unie uznává potenciál rozšířené reality jako klíčovou technologii, která podporuje rozvoj inteligentních výrobních zařízení (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024). Mezi řadou technologií, které přispívají ke čtvrté průmyslové revoluci, vyniká rozšířená realita jako jediná, která se zaměřuje konkrétně na zlepšení interakce mezi lidmi a stroji, a tedy mezi lidmi a inteligentními výrobními systémy (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024).

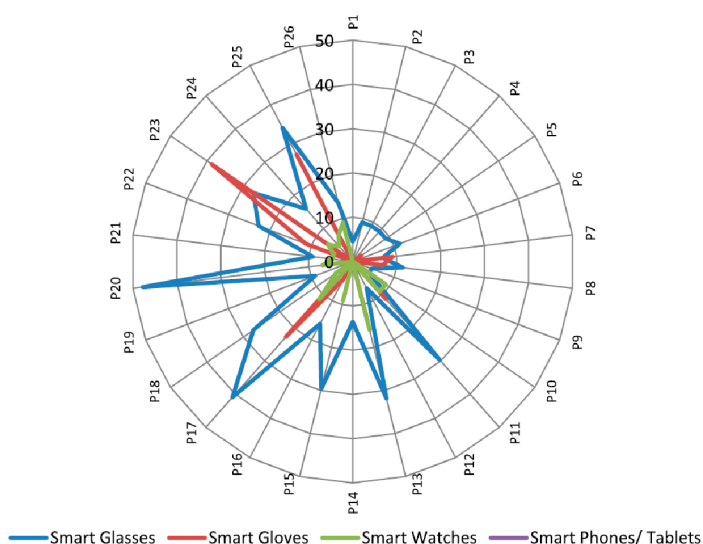
Koncept Q4.0 je často spojován i s výrazem „Smart Auditing“. Existují úvahy, co umělá inteligence a inteligentní technologie znamenají pro audity kvality a certifikaci systému řízení v éře auditů podporovaných technologiemi. Účelem technologií 4.0 není nahrazení lidských auditorů. Dnes to ani není v jejich možnostech. Spíše jde o uvědomění si, že existuje možnost těsné integrace lidských auditorů s umělou inteligencí a dalšími technologiemi 4.0, aby bylo možné stavět na nepřekrývajících se silných stránkách lidí a strojů a zlepšit tak naše rozhodování (Ibidapo, 2022).

Vývoj technologie rozšířené reality úzce souvisí s pokrokem v oblasti hardwaru. V počátečních fázích se vizualizace prováděla pomocí velkých počítačů

a objemných projektorů. S rozšířením a rozvojem mobilních zařízení se však chytré telefony a tablety díky své přenosnosti a dostupnosti staly nástroji pro XR (Morales Méndez, Del Cerro Velázquez, 2024).

Závodská a Závodský (2020) ve svém výzkumu analyzují potenciál růstu využití zařízení XR mezi lety 2017 a 2025. Zjištění tohoto zkoumání shrnuje radarový graf (viz Obr. 9) kde celkem bylo analyzováno 26 různých aplikací (označených postupně P1 ... P26). Nejvyšší růstový potenciál je spatřován ve využití chytrých brýlí a to konkrétně (seřazeno sestupně od nejvyššího) v oblastech:

- řízení změn,
- kontrola kvality,
- manipulace,
- řízení neshod.



Zdroj: Upraveno dle (Závodská, Závodský, 2020)

Obr. 9 Růst využití chytrých zařízení v letech 2017–2025 (%)

Naopak zásadní růst využití chytrých telefonů a tabletů zjištěn nebyl. Detaily tohoto výzkumu jsou shrnuty v příloze (viz Příloha 7).

Praktická část této diplomové práce se proto zaměří právě na možnost využití technologií rozšířené reality v oblasti auditování. Bude se jednat o analýzu procesu auditu výrobku ve výrobním podniku a cílem bude proces nejen digitalizovat, ale využít maximálně technologii rozšířené reality.

3 Strategická analýza ve společnosti GRUPO ANTOLIN TURNOV

Antolin se specializuje na návrh, vývoj a následnou výrobu interiérových dílů pro automobilový průmysl (stropní panely, přístrojové desky, středové konzole, obložení dveřních výplní a jiné plastové díly), přičemž jednotlivé podniky jsou rozděleny do příslušných divizí – tzv. Business Unit. Ve většině případu představuje dodavatele 1. řady, tzv. Tier-1. Antolin aktuálně zařazuje své podniky do pěti divizí (viz Obr. 10).



Zdroj: Upraveno dle (Antolin, 2024)

Obr. 10 Divize koncernu Antolin

Společnost GRUPO ANTOLIN TURNOV, s. r. o. (dále jen GAT) se sídlem Průmyslová 3000, 511-01, Turnov patří do koncernu Antolin od roku 2002 a je součástí divize Doors & Hard Trim. Výroba je realizována ve 3 fyzických lokalitách. Vyjma výrobního závodu v Turnově se nachází druhé výrobní místo v Příšovicích a třetí výrobní místo v Mladé Boleslavi. V Turnově je umístěn jeden z klíčových výrobních procesů – vstřikování plastů, jehož výrobky představují základní polotovary pro další navazující výrobní procesy ve všech 3 výrobních lokalitách. Portfolio společnosti představuje výroba dveřních výplní pro vozy AUDI Q2, Q3, Q8, Mercedes-Benz Sprinter, Seat Urban, Volkswagen ID.3, ID.4, Arteon, Škoda Fabia, Kodiaq a Octavia. Dále GAT vyrábí obložení sloupků a jiné plastové díly pro vozy Škoda Kodiaq, Volvo XC40, V60 a S60.

3.1 Analýza procesu auditu výrobku ve výrobním podniku

Ve výrobním podniku je pro oblast auditu výrobku zpracován interní postup IF-TRN-P10-003. Tento postup vymezuje svůj cíl, oblast použití, stanovení odpovědností, detailní postup pro jednotlivé činnosti a v neposlední řadě také provázanost s další systémovou dokumentací a odkazem na záznamní povinnost. Tento předpis byl naposledy revidován v roce 2022 a byl upraven zejména v návaznosti na poslední revizi příručky VDA 6.5.

Postup se týká výrobků vyráběných nejen po tzv. SOP, ale i výrobků, které podnik vyrábí již ve fázi zavádění nového výrobku. Naopak určuje, že tento postup se neaplikuje na výrobu náhradních dílů (tzv. aftersales – tj. díly, které podnik vyrábí a dodává do servisní sítě přibližně po dobu 15 let po oficiálním ukončení výroby daného modelu vozu).

Na samotném počátku je třeba sestavit tzv. program auditů, který obsahuje všechny požadované činnosti ve smyslu plánování, organizace a realizace s cílem, aby naplánované audity mohly být provedeny efektivně v definovaném časovém rámci. Tento program je zpracován vždy na celý rok a je zdokumentován ve formuláři I-TRN-P10-G Plán auditů výrobků (viz Příloha 8). Osoba zodpovědná za zpracování tohoto plánu se označuje Supervizor auditu výrobku. Program si je možné představit jako matici vyráběných výrobků s vyznačením, kdy má být audit pro určitý produkt proveden.

Četnost auditů výrobků je určena na základě různých faktorů klasifikovaných v rozhodovací matici, která je součástí interního postupu (viz Tab. 5). Prvním kritériem je podíl obratu výrobního programu na celkovém obratu výrobního podniku. Druhým je počet zákaznických reklamací na daném výrobním programu za předchozí rok. Riziko pro výrobu představuje třetí rozhodovací kritérium. Plnění stanovených KPIs⁷ výrobního programu (zmetkovitost, FTT⁸, apod.) je již v pořadí čtvrtým hodnoceným měřítkem. Dalším, v pořadí pátým, je tzv. komplexita neboli počet existujících kombinací typu výrobku. Posledním jsou historické výsledky auditů výrobků v předchozím roce.

⁷ KPI = klíčový ukazatel výkonu (z angl. Key Performance Indicator).

⁸ FTT = procentuální počet výrobků, které nepotřebují dodatečnou korekci nebo opravu (z angl. First Time Through).

Tab. 5 Rozhodovací matice pro plánování auditů výrobků v GAT

Hodnocení	Podíl na obratu	Reklamacce	Riziko ve výrobě	KPIs	Komplexita	Výsledky AV
1	Maloobrátkový produkt	Žádné reklamacce	Stabilní personál, způsobilé procesy	Cíle jsou dlouhodobě plněny	<12 variant	Bez závad
3	Standartní produkt	Malý počet reklamací	Není vždy zajištěna způsobilost procesů	Některé cíle nejsou plněny	<24 variant	Výskat závad C/C1
9	Nejprodávanější produkt	Velké množství reklamací, opakované reklamacce	Nestabilní personál, manuální činnosti	Dlouhodobé neplnění cílů	>24 variant	Výskat závad A/A1 nebo B/B1

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV., 2024)

Ve chvíli, kdy jsou jednotlivá kritéria ohodnocena, provede se prostý součet, který představuje výsledné skóre. Dle tohoto se organizace na základě faktů rozhoduje, na jaký výrobní sortiment se zaměří více a na který naopak méně. Hodnocení výrobního programu dveřních výplní (dále jen DV) SK38x, který je předmětem této diplomové práce, je uvedeno v Tab. 6.

Tab. 6 Vyhodnocení kritérií pro četnost auditů výrobků pro DV SK38x

Projekt	Obrat	Reklamacce	Výroba	Plnění cílů	Počet referencí	Historické AV	Skóre
DV SK38x	9	3	1	3	9	1	26

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV., 2024)

Vstupem pro sestavení programu auditů jsou zejména tyto informace:

1. vymezení výrobků, které budou auditovány,
2. určení cíle auditů,
3. určení odpovědností,
4. alokování potřebných zdrojů.

Program auditu sestavuje jedna konkrétní osoba, která pracuje na úseku oddělení kvality a sestavený program auditu předkládá k finálnímu odsouhlasení vedoucímu kvality GAT.

V momentě, kdy je program auditů výrobků odsouhlasen, je komunikován napříč podnikem (zejména jeho distribuce vedoucím pracovníkům oddělení výroby, logistiky, technologie a kvality) až do úrovně vrcholového managementu podniku.

Tento program je měsíčně zodpovědnou osobou vyhodnocován a aktualizován včetně sledování platnosti seznamu vyráběných referencí. U každého auditu výrobku je označen jeho platný stav: naplánovaný audit, realizovaný audit, přeplánovaný audit, zrušený audit, provedený audit s výsledkem OK nebo NOK. Na základě vydaného programu auditů jsou Supervizorem auditů výrobku vydávány měsíční programy auditů výrobku.

Na program auditů navazuje proces plánování auditu, jehož výstupem je plán auditu. Ten již detailně hovoří o tom, jakým způsobem bude konkrétní audit proveden. Samotné provedení auditu a zpracování zprávy z auditu je další kapitolou interního postupu. Ten mimo jiné stanoví, že výběr výrobků k provedení výrobního auditu dané reference provádí auditor výrobku. Přesně podle plánu auditu vybere auditované výrobky, z jichž dokončených výrobků určených k expedici, a to tím způsobem, že namátkově vybere jedno balení výrobků nebo takový počet balení, které odpovídají auditovanému rozsahu – počtu výrobků, které budou podrobeny auditu, přičemž rozsah je interním postupem stanoven na 5 výrobků.

Auditor ověřuje kvalitativní a kvantitativní znaky výrobku dle specifikací, např. rozměry, spáry, barevný odstín, lesk, vzhled, funkce, kompletnost, značení výrobku vč. značení a čistoty obalu (kontejner, krabice). Veškerá zjištění jsou pak přenesena do zprávy z auditu, k čemuž slouží šablona pro audit výrobku odpovídající auditovanému výrobku a je zpracována ve formuláři I-P10-D Detailní zpráva z auditu výrobku (viz Příloha 9). Z důvodu komplexnosti formulářů a šablon je nezbytná jejich pravidelná kontrola, revize a aktualizace stejně jako v případě nových výrobků v portfoliu výrobního podniku je třeba tyto šablony vypracovat.

Společnost realizuje v jednom kalendářním roce přibližně 299 auditů výrobku v rámci 18 industrializovaných výrobních programů. To mimo jiné představuje přibližně 3 167 hodin lidského faktoru, což je možno kvantifikovat na finanční náklad ve výši 112 038 € (cca 2,8 mil. Kč). Další nezanedbatelnou část nákladů pak

představuje další technické zabezpečení (např. nákup měřidel, jejich údržba a kalibrace).

3.2 Analýza realizace auditu výrobku dveřní výplně Škoda Octavia

Výroba dveřních výplní pro vůz Škoda Octavia (viz Obr. 11) je umístěna vyjma procesu vstřikování plastů a tváření za tepla již ve zmíněném výrobním závodě v Mladé Boleslavi. Výrobní proces probíhá v režimu JIS, konkrétně pak JIS-A. To mimo jiné znamená, že od obdržení objednávky na konkrétní dveřní výplň ze strany Škoda Auto, a.s., běží časová lhůta 180 minut⁹, do které je výrobek nutné doručit na montážní linku zákazníka. Vzhledem k aktuální časové náročnosti na audit výrobku a s přihlédnutím na krátký čas pro doručení výrobku zákazníkovi je prakticky nemožné odebrat 5 výrobků ze sekvenčního kontejneru a podrobit je kontrole dle pracovního postupu GAT. V tomto případě je ve výrobním podniku do výrobního procesu nad rámec objednávek zákazníka zařazen manuální požadavek na výrobu vzorků. Výrobek má odlišnou etiketu a namísto čísla konkrétního vozu (KNR¹⁰) je na etiketě uvedena identifikace „VZOR“. Tyto dveřní výplně jsou pro další využití nepoužitelné, neb nebyly vyrobeny v sekvenci pro konkrétní vůz v patřičné konfiguraci. To dozajista představuje určitý způsob plýtvání, který bude taktéž zahrnut do výsledného zhodnocení, které bude předmětem 5. kapitoly.



Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2023)

Obr. 11 Dveřní výplně SK38x

Pro dovysvětlení aktuální situace probíhá v tomto případě audit výrobku následovně:

1. Zadání požadavku na výrobu výrobků se statusem VZOREK.
2. Výroba vzorků a jejich uložení kontejneru označený jako AUDIT VÝROBKU.

⁹ Platí v případě, kdy zákazník realizuje výrobu na plnou plánovanou kapacitu. V případě nižšího taktu montáže zákazníka může být tato lhůta i dvojnásobná.

¹⁰ Kennummer – identifikační číslo konkrétního vozu

3. Provedení auditu výrobku:

- a. Upnutí dveřní výplně na kontrolní přípravek¹¹.
- b. Měření geometrie vnějšího perimetru dveřních výplní na kontrolním přípravku. Pro měření se používá digitální úchylkoměr, který se před započítím měření vynuluje v bodě k tomu určeném a pak se umísťuje do předem definovaných kontrolních míst. Změřená hodnota představuje rozměrovou odchylku od nominálu.
- c. Měření definovaných bodů pomocí spárových měrek.
- d. Mechanická kontrola funkce dveřní výplně (např. pohyblivost kličky pro otevírání dveří, polohy tlačítek pro stahování oken aj.).
- e. Vizuelní kontrola kvality – absence viditelných závad (poškození – škrábance, šmouhy aj.), kontrola kompletnosti a přítomnosti správných komponent odpovídající dané referenci dveřní výplně.
- f. Demontáž dveřní výplně z kontrolního přípravku.
- g. Kontrola hmotnosti dveřních výplní vážením.
- h. Kontrola barvy a lesku předepsaných komponent. Tato kontrola probíhá měřením – pomocí tzv. spektrofotometru.
- i. Kontrola generačních stavů¹² zabudovaných komponent.
- j. Kontrola značení dle výkresové dokumentace.

4. Vytvoření zprávy z auditu výrobku a jeho vyhodnocení.

5. Distribuce zprávy z auditu výrobku.

6. Sestavení plánu opatření v případě zjištění závad.

Činnost 6 – Sestavení plánu opatření v případě zjištění závad je z dalších úvah a analýz vyloučena. To proto, že její výskyt je náhodnou proměnnou co do četnosti výskytu, tak časové náročnosti.

Všechny uvedené činnosti jsou kvantifikovatelné co do časové náročnosti (viz Tab. 7). Činnosti označené hvězdičkou (*) se opakují pětkrát z toho důvodu, že rozsah

¹¹ Kontrolní přípravek představuje přesnou simulaci vozu a zástavby výrobku do vozu včetně systému upínání.

¹² Generační stav je číslo konstrukčního stavu dílu, které se při každé změně zvyšuje o jednu.

auditovaných výrobků, jak již bylo uvedeno, je stanoven na 5 kusů. Tento počet opakování je již v tabulce zohledněn.

Tab. 7 Přehled činností a časové náročnosti 1 auditu výrobku DV SK38x

Úloha	Čas celkem (min)	Čas celkem (hod)
Upnutí výrobku na kontrolní přípravek *	25	0,42
Měření geometrie vnějšího perimetru *	25	0,42
Kontrola spár a lícování *	50	0,83
Kontrola funkce *	25	0,42
Vizuální kontrola *	25	0,42
Demontáž výrobku z kontrolního přípravku *	25	0,42
Kontrola hmotnosti *	25	0,42
Kontrola barvy a lesku *	50	0,83
Kontrola generačních stavů *	25	0,42
Kontrola značení dle výkresové dokumentace *	25	0,42
Vytvoření zprávy z auditu výrobku a vyhodnocení	180	3,00
Distribuce zprávy z auditu výrobku	60	1,00
Celkem	540	9,00

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2024)

Na základě analýzy programů auditů z předešlých let a programu auditů na rok 2024 je ještě nutno zmínit, že výrobní podnik plánuje v roce 2024 realizovat 54 auditů výrobku v tomto výrobním programu. Tím dochází k další multiplikaci požadavků na lidské zdroje a tento výsledek je shrnut v Tab. 8.

Tab. 8 Činnosti a časová náročnost auditů výrobku DV SK38x pro rok 2024

Úloha	Čas celkem (min)	Čas celkem (hod)
Upnutí výrobku na kontrolní přípravek *	1 350	22,50
Měření geometrie vnějšího perimetru *	1 350	22,50
Kontrola spár a lícování *	2 700	45,00
Kontrola funkce *	1 350	22,50
Vizuální kontrola *	1 350	22,50
Demontáž výrobku z kontrolního přípravku *	1 350	22,50
Kontrola hmotnosti *	1 350	22,50
Kontrola barvy a lesku *	2 700	45,00
Kontrola generačních stavů *	1 350	22,50
Kontrola značení dle výkresové dokumentace *	1 350	22,50
Vytvoření zprávy z auditu výrobku a vyhodnocení	9 720	162,00
Distribuce zprávy z auditu výrobku	3 240	54,00
Celkem	29 160	486,00

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2024)

Celkem pro samotné provedení auditu výrobku je třeba 486 hodin lidského faktoru. Vzhledem k rozsahu auditu výrobku, kdy kontrolou prochází 5 kusů dveřních výplní, je na 54 auditů zapotřebí vyrobit 270 dveřních výplní. Toto reprezentuje další finanční náklad ve výši 10 745 € (cca 268 tis. Kč), který podnik nepromítne do svých výnosů (díly jsou po auditu bez dalšího využití likvidovány).

3.3 Organizační zabezpečení provádění auditu

Správná organizace zdrojů potřebných pro realizaci výrobních auditů je zcela zásadní. Požadované zdroje nejsou jen lidské ale i finanční a technologické. Organizační zabezpečení auditů je fundamentální pro zajištění, že všechny části procesu auditu výrobku jsou řádně naplánovány, provedeny a následně vyhodnoceny v souladu s požadavky (interními a zákaznickými).

Audity výrobků provádějí pracovníci, kteří splňují kvalifikační požadavky, které výrobní podnik stanovil v interním postupu KP-0122 (6. revize z listopadu 2023). Z pohledu znalostí a zkušeností je potřebná kvalifikace shrnuta v Tab. 9. Ve společnosti aktuálně působí 40 pracovníků kvalifikovaných jako auditor výrobku. Kvalifikaci a způsobilost pracovníků, kteří působí v roli auditora výrobku, je třeba pravidelně přezkoumávat. K tomuto účelu výrobní podnik provádí každý rok Evaluace auditorů a výsledek přezkoumání se eviduje v příslušném formuláři. Na závěr formuláře je hodnotitelem provedeno rozhodnutí, zda posuzovaný auditor nadále splňuje kvalifikační požadavky, nebo naopak pozbyl způsobilosti provádět audit výrobku. Pro udržení kvalifikace musí každý auditor, mimo jiné, provést min. 6 auditů výrobků za období jednoho kalendářního roku.

Tab. 9 Kvalifikační požadavky auditora výrobku

Oblast	Požadavek
Vzdělání v dané činnosti	Znalost požadavků na výrobek. Použití měřicího a zkušebního zařízení k ověření shody výrobku. Znalost VDA 6.5 (rev. 2020). Absolvování interního školení výrobním auditorem podniku v rozsahu 2 hodin vč. závěrečného testu. Znalost interního postupu IF-TRN-P10-003.
Požadované zkušenosti	Minimálně 1 rok praxe v oblasti kvality. Minimálně 2 audity jako pozorovatel. Minimálně 1 audit pod dohledem kvalifikovaného auditora.
Osobní dovednosti	Komunikativnost, nestrannost, důslednost, čestnost.
Aktualizace vzdělání	Znalost změn procesů a postupů Antolin. Znalost změn standardu prováděného auditu (VDA 6.5).

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2024)

Výrobní podnik zajišťuje pro vybrané pracovníky externí školení z požadavků příručky VDA 6.5 Audit produktu v rámci licenčního kurzu VDA od České společnosti pro jakost, o.p.s. Právě pouze tito pracovníci mohou provádět interní školení existujících a budoucích auditorů výrobku v rámci organizace, ve které pracují.

Pro realizaci auditu výrobků potřebuje organizace vyjma lidských zdrojů specifické technické vybavení – zejména pak měřidla, IT vybavení a infrastrukturu (např. dostatečnou úroveň osvětlení). V předchozí verzi příručky VDA 6.5 (verze 2008) existoval specifický požadavek, že pro audit výrobku musí organizace používat nezávislou sadu měřidel. Tento požadavek byl v poslední revizi příručky z roku 2020 odstraněn. Tím odpadá potřeba pořízení a údržby dedikované sady měřidel, nicméně měřidla je třeba ověřovat (kalibrovat). Pořizování a pravidelné kalibrace měřidel představují další požadavek, tentokrát finanční, na zabezpečení procesu auditu výrobku. Stejně tak náklady na externí a interní školení zaměstnanců představují další finanční náklady, které s tímto procesem souvisí.

3.4 Vyhodnocení analýzy realizace auditu výrobku dle současného stavu

Většina činností je v aktuální situaci zajištěna lidským faktorem s minimálním využitím technických prostředků. Časová náročnost těchto aktivit bude vyčíslena formou finančních nákladů, přičemž je nutné zdůraznit, že náklady nevznikají jen ve vztahu vůči mzdovým nákladům, ale je třeba zahrnout částečně i strukturální režijní náklady výrobního podniku. Z tohoto důvodu hodinová sazba určitého lidského faktoru nepředstavuje pouze náklad na jeho mzdu. Jednotlivé činnosti jsou vykonávány pracovníky zařazených na rozdílných pozicích. Hodinová sazba těchto zaměstnanců je různá. Rozpětí hodinových sazeb zaměstnanců, podílejících se na organizačním zabezpečení auditů výrobků, se pohybuje od 35 € do 65 € / hodinu. Detailní časovou náročnost na provedení konkrétního auditu výrobku nám již v předchozím textu shrnula Tab. 8. Nyní je třeba tuto činnost zasadit do kontextu realizace auditů výrobků dle interního pracovního postupu a vyčíslit relevantní finanční náklady. Tento přehled je zpracován v Tab. 10. Pro každý řádek tabulky je aplikována relevantní hodinová sazba, jejíž rozpětí bylo uvedeno v předchozím odstavci.

Tab. 10 Časová a finanční náročnost auditů výrobků DV SK38x – aktuální stav

Činnost	Časová náročnost (h)	Četnost	Celková časová náročnost (h)	Náklady (€)
Zpracování ročního programu AV	36	1	36	1 656 €
Schválení ročního programu AV	2	1	2	130 €
Distribuce ročního programu AV	1	1	1	46 €
Měsíční aktualizace ročního programu AV	2	12	24	1 104 €
Příprava měsíčního programu AV	1	12	12	552 €
Distribuce měsíčního programu AV	1	12	12	552 €
Zpracování plánu auditu	1	54	54	1 890 €
Provedení auditu výrobku	5	54	270	9 450 €
Zpracování zprávy z auditu výrobku	3	54	162	5 670 €
Distribuce zprávy z auditu výrobku	1	54	54	1 890 €
Vypracování šablony pro audit výrobku	4	1	4	140 €
Pravidelná revize šablon pro audit výrobku	1	1	1	46 €
Celkem			632	23 126 €

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2024)

Jak je patrné z Tab. 11, součet nákladů na lidský faktor a na výrobu vzorků (viz kapitola 3.2) pak představuje aktuální celkové roční náklady.

Tab. 11 Časová a finanční náročnost auditů výrobků DV SK38x – aktuální stav

Nákladová položka	Kč	EUR
Lidský faktor	578 150	23 126
Vzorky	268 625	10 745
Celkem	846 775	33 871

4 Návrh realizace auditu výrobku pomocí technologie rozšířené reality

V současné době se automobilový průmysl nachází na prahu zásadní transformace, kde digitalizace a automatizace procesů přebírají iniciativu ve snaze zvýšit efektivitu, přesnost a spolehlivost. Tento trend, ztělesněný ve čtvrté průmyslové revoluci, známé také jako I4.0, nabízí unikátní příležitosti pro inovace v managementu kvality a v tudíž i v oblasti auditu výrobků. Jedním z nejperspektivnějších směrů, jak využít potenciál digitalizace, je implementace technologie rozšířené reality (XR) do auditovacích procesů. Tato kapitola se zaměřuje na návrh, jak by mohla být tato technologie využita k radikálnímu zlepšení procesu auditu výrobku, od automatického sestavení programu auditů až po distribuci závěrečné zprávy, a to vše s minimálním zapojením lidského faktoru tam, kde není zcela nezbytný.

Použití rozšířené reality v procesu auditu výrobků přináší řadu výhod, včetně automatizace časově náročných úkolů, jako je sestavování programu auditů, zkrácení doby potřebné k samotnému provedení auditu a v neposlední řadě přináší zásadní zrychlení vytvoření zprávy z auditu. XR technologie umožňuje auditorům získat okamžitý přístup k potřebným informacím a vizuálním datům přímo v průběhu kontroly, což minimalizuje možnost lidských chyb a zvyšuje objektivitu hodnocení. Navíc automatické generování a distribuce zpráv z auditu eliminují potřebu dalšího časově náročného zpracování informací, což přispívá k rychlejšímu a efektivnějšímu rozhodovacímu procesu.

V dalších podkapitolách bude představen a detailně popsán konkrétní návrh, jak může být proces auditu výrobků redefinován nejen s využitím technologie rozšířené reality, ale zapojením již běžných prostředků z oblasti informačních technologií. Budou popsány detailně jednotlivé kroky digitalizace procesu. Počínaje výběrem a pořízením potřebného hardware a software až po vývoj aplikace, která bude sloužit jako platforma pro realizaci auditů výrobků.

4.1 Postup digitalizace procesu

V této kapitole jsou podrobně popsány jednotlivé kroky a metodologie, které jsou nezbytné pro úspěšnou digitalizaci auditovacího procesu s využitím technologie rozšířené reality. Zahrnuje to přechod od počátečního plánování až po finální implementaci a integraci XR technologie do běžných pracovních postupů.

Návrh pro zlepšení se opírá o využití nejnovějších poznatků z oblasti informačních technologií, které jsou průmyslovým podnikům běžně dostupné. Myšlenka stojí na odstranění mechanických činností lidského faktoru a delegování těchto aktivit na soubor vzájemně propojených IT nástrojů. Řešení je se vším respektem na kybernetickou bezpečnost navrženo tak, aby pro svůj provoz nebylo za žádných okolností třeba komunikovat mimo interní průmyslovou síť výrobního podniku, tj. veškerá infrastruktura bude umístěna uvnitř, stejně jako pohyb informací a ukládání dat.

Proces digitalizace lze rozdělit do pěti dílčích fází. Některé fáze je již možné považovat za realizované s odkazem na předchozí kapitoly této diplomové práce.

Fáze 1: Plánování a příprava

Prvním krokem digitalizace je důkladná analýza stávajících procesů. To zahrnuje identifikaci klíčových oblastí, kde digitalizace a využití XR může přinést největší přínos, a stanovení specifických cílů digitalizace. Důležité je také zhodnocení technické infrastruktury a určení, zda jsou stávající systémy kompatibilní s novými XR technologiemi, nebo zda je potřeba investovat do nového hardwaru a softwaru.

Současný stav byl detailně analyzován v rámci kapitoly 3. Nebyly prozatím identifikovány oblasti, kde je spatřován přínos navržené digitalizace. Jednotlivé činnosti, které již byly shrnuty v kapitole 3.4, budou dále v této kapitole komentovány s konkrétním návrhem na změnu a bude popsán odhadovaný přínos digitalizace (viz Tab. 12).

Fáze 2: Výběr technologie

Výběr správné XR technologie je klíčový pro úspěch projektu. To zahrnuje rozhodování mezi různými typy XR brýlí a softwarových platforem, které nejlépe vyhovují specifickým potřebám. Kritéria pro výběr zahrnují uživatelský komfort,

interaktivitu, kompatibilitu s ostatními systémy a celkové náklady na řešení. Této problematice se budou detailně věnovat kapitoly 4.2 a 4.3.

Fáze 3: Návrh a vývoj

Následuje fáze návrhu a vývoje, kde se specifikují detaily implementace XR aplikace. V této fázi je třeba úzce spolupracovat s vývojáři softwaru, aby bylo zajištěno, že konečné řešení bude splňovat všechny požadavky pro auditovací procesy. Vytváří se uživatelská rozhraní, definují se interaktivní prvky a integrují se databáze pro zpracování a uložení informací z auditů. Touto problematikou se podrobně věnuje kapitola 4.4.

Fáze 4: Testování a validace

Před plnou implementací je nezbytné provést rozsáhlé testování systému. To zahrnuje jak interní testy zaměřené na funkčnost a uživatelskou přívětivost, tak pilotní studie v reálných pracovních podmínkách, které pomohou identifikovat jakékoli problémy nebo nedostatky v systému. Zpětná vazba získaná během testování je kritická pro další úpravy a zlepšení systému.

Fáze 5: Implementace a školení

Poslední fází je implementace digitalizovaného procesu do běžného provozu a školení zaměstnanců, jak systém efektivně využívat. Je důležité zajistit, že všichni uživatelé mají dostatečné znalosti a dovednosti pro práci s novým systémem, což zahrnuje trénink na používání XR brýlí a softwaru, stejně jako pochopení nových procesů a postupů auditu. Komentované výstupy ze čtvrté a páté fáze procesu digitalizace jsou hlavní náplní 5. kapitoly.

Nyní je ale nutné se na chvíli vrátit k první fázi a identifikovat oblasti digitalizace, navrhnout změny a popsat odhadovaný přínos. Celkový přehled těchto úvah je shrnut v tabulce níže (viz Tab. 12), nicméně za tabulkou následuje detailní komentář o zamýšleném záměru pro jednotlivé činnosti, kde se navrhuje určitá míra digitalizace. Na závěr této kapitoly bude představen obecný koncept digitalizovaného řešení a vyzdvihne hlavní myšlenky a funkcionality nového postupu pro realizaci auditů výrobků v GAT.

Tab. 12 Návrhy opatření a odhadovaný přínos v rámci digitalizace procesu

Činnost	Návrh na změnu	Odhadovaný přínos
Zpracování ročního programu AV	Vytvoření webové aplikace jako řídicí centrum auditů výrobků se schopností navrhnout automaticky program auditů na základě vstupů z ERP systému SAP.	Odpadá činnost ručního zpracování programu auditů výrobků. Eliminuje chybu lidského faktoru. Redukuje se čas potřebný na zpracování.
Schválení ročního programu AV	Přehledná prezentace navrženého plánu programu auditů a odsouhlasení jedním kliknutím.	Činnost se zrychluje a zefektivňuje. On-line záznamy o schválení a distribuci v rámci organizace.
Distribuce ročního programu AV	Po schválení systém automaticky rozešle na nastavený rozdělovník program výrobních auditů.	Manuální činnost zcela odpadá. Platforma komunikuje automaticky.
Měsíční aktualizace ročního programu AV	Aktualizace programu auditů (provedené audity a jejich výsledek probíhá automaticky). Pouze možnost ruční úpravy (přidání / odebrání auditů dle potřeby).	Aktualizace probíhá automaticky a průběžně. Přehled programu auditů výrobků je vždy aktuální.
Příprava měsíčního programu AV	Automatická extrakce programu auditů na nadcházející měsíc z aktuálního ročního programu auditů výrobků.	Administrativní činnost lidského faktoru zcela odpadá.
Distribuce měsíčního programu AV	Automatická distribuce měsíčního programu auditů výrobků na nadcházející měsíc 3 dny před koncem měsíce.	Administrativní činnost lidského faktoru zcela odpadá.
Zpracování plánu auditu	Automatická notifikace, že bude proveden audit výrobku a přílohou bude formulář s plánem auditu.	Administrativní činnost lidského faktoru zcela odpadá.
Provedení auditu výrobku	Chytré brýle auditora provedou procesem auditu, on-line sbírají data z měřidel, pořizují důkazy (fotografie). Auditor má vždy správné a potřebné informace.	Standardizovaný proces. Transparentní proces. Efektivnější proces (automatický sběr dat). Vyžaduje nižší nároky na prvotní zaškolení na konkrétní produkt.
Zpracování zprávy z auditu výrobku	Zrušení manuálního zpracování zprávy z auditu výrobku.	Administrativní činnost lidského faktoru zcela odpadá. Automatické vyhodnocení výsledku auditu.
Distribuce zprávy z auditu výrobku	Zrušení manuální distribuce zprávy z auditu výrobku.	Administrativní činnost lidského faktoru zcela odpadá. Platforma distribuuje zprávu okamžitě po skončení auditu.
Vypracování šablony pro audit výrobku	Vytvoření postupu pro provedení auditu výrobku v nové on-line platformě.	Pohodlnější správa šablon a kontrolních kroků. Intuitivnější než stávající šablony v MS Excel.
Pravidelná revize šablon pro audit výrobku	V případě potřeby pohodlnější a snazší aktualizace kontrolních bodů v on-line platformě.	Audit je vždy proveden dle aktuální šablony. Aktualizace je méně náročná na čas.

Zpracování ročního programu auditů výrobků

Namísto toho, aby konkrétní pracovník sestavoval program auditů, se navrhuje, aby digitální platforma automaticky získala vstupy z podnikového ERP systému SAP a na základě těchto informací sestavila návrh programu auditů výrobků. Platforma bude zohledňovat, zda se jedná o výrobky, které jsou již zavedeny v sériové výrobě anebo naopak, zda se jedná o projekty před tzv. SOP nebo naopak po EOP. To je proto, že produkty ve fázi před SOP je třeba auditovat častěji s cílem odhalit případné nedostatky co nejdříve, kdy náklady na jejich odstranění jsou řádově nižší než jejich odstranění v období po SOP. Naopak produktů po EOP se vyrábí relativně málo a nejedná se o soustavnou hromadnou výrobu. Dále si bude platforma zjišťovat informaci o variantnosti produktu a dílčí obrátkovosti, aby při navrhování programu auditů byly pokryty všechny varianty výrobků, a prioritou pro jejich zaplánování bude tím vyšší, čím vyšší je obrátkovost konkrétní varianty. Naopak platforma sama o sobě bude navrhopvat dílčí revize programu auditů na základě průběžných výsledků z již provedených auditů (například návrh na zaplánování mimořádného auditu výrobku na základě nevyhovujících výsledků z předchozího auditu). Tím bude nejen uspořen čas na zpracování návrhu programu auditu, ale ještě bude program auditu do jisté úrovně automaticky a dynamicky reagovat na reálnou situaci ve výrobním podniku, který bude podnik postupně posouvat dále ve vztahu ke kvalitě vyráběných produktů (zlepšení kvality výrobních procesů).

Schválení a distribuce ročního programu auditů výrobků

Návrh programu auditů, který připraví aplikace, naprosto autonomně bude možné v uživatelsky přívětivém prostředí velice rychle zkontrolovat a odsouhlasit osobou, která je za tuto činnost v pracovním postupu zodpovědná. Po odsouhlasení programu auditů výrobků bude tento program automaticky distribuován v rámci výrobního podniku všem zúčastněným stranám.

Měsíční aktualizace ročního programu auditů

Navržený digitalizovaný proces vychází mimo jiné z myšlenky, že prováděné audity se budou v on-line režimu zaznamenávat do databáze centralizované webové aplikace. To mimo jiné má za následek, že dojde k automatické aktualizaci programu auditů a ihned po skončení auditu bude možné v platformě vidět, že audit

byl proveden a s jakým výsledkem, včetně možnosti se podívat na detailní zprávu z auditu.

Příprava a distribuce měsíčního programu auditů výrobků

Uvažovaný koncept počítá se scénářem, že platforma bude automaticky 3 kalendářní dny před koncem měsíce extrahovat ze systému data a komunikovat v rámci GAT program auditů na nadcházející měsíc. Zvýší se tak včasná informovanost všech zainteresovaných stran, nejen tedy informace pro auditory, ale také informace pro pracovníky z oddělení výroby a logistiky.

Plán auditu výrobku

Na základě vytvořených šablon bude systém rozesílat na předem stanovený rozdělovník detailní plán auditu výrobku, který bude obsahovat souhrn činností a zdrojů, potřebných k jeho provedení. V zásadě bude tato notifikace navazovat na předem komunikovaný měsíční program jen s tím, že bude rozeslána na užší skupinu osob.

Provedení auditu výrobku

Toto je klíčová činnost, která předpokládá zapojení nástrojů Quality 4.0, konkrétně pak nástrojů rozšířené reality – chytrých brýlí. Zařízení bude obsahovat aplikaci, která bude v nepřetržitém kontaktu s webovou platformou pomocí existující industriální WiFi sítě GAT. Aplikace po svém spuštění bude požadovat autorizaci auditora pomocí naskenování jedinečného QR kódu, který bude mít auditor na své zaměstnanecké kartě. Detailně jej provede samotným auditem krok za krokem dle předem vytvořeného postupu v on-line platformě „Product Audit“. Brýle budou auditora navádět v rámci podniku a budou pomocí textových a video instrukcí pomáhat realizovat samotný audit. V jakémkoliv okamžiku bude možné pořídit ad-hoc fotografii jako důkaz o kontrolovaném stavu. V případě měření fyzikálních veličin bude toto zajištěno pomocí sady nových měřidel, která budou s brýlemi spojena pomocí komunikačního rozhraní Bluetooth. Odpadá tak zapisování naměřených hodnot do dalších dokumentů a jejich následná konsolidace v auditní zprávě. V momentě, kdy bude auditor provádět vizuální kontrolu, budou mu brýle promítat vizuální nápovědu, jakou oblast má kontrolovat, jak vypadá OK příp. NOK stav a bude hodnotit pouhým potvrzením virtuálního tlačítka v rámci aplikace. Auditorovi v návaznosti na požadavek zvýšení transparentnosti nebudou k dispozici

údaje o nominálních hodnotách a tolerancích, tyto budou uloženy pouze v šabloně, aby on-line platforma mohla na základě naměřených dat provést vyhodnocení. Auditor dále nebude muset složitě přemýšlet, jak případnou závadu klasifikovat, protože součástí webové aplikace je i nastavení, jak se má jaká závada hodnotit (A/A1, B/B1 nebo C/C1). To povede mimo jiné k vysoké míře standardizace a zvýšení konzistence dat.

Zpracování a distribuce zprávy z auditu výrobku

V novém pojetí digitalizovaného procesu tato činnost zcela odpadá. O vyhodnocení dat, které platforma obdrží během auditu, se postará naprosto automaticky bez lidského faktoru. Doslova v řádech několika sekund po ukončení auditu již bude k dispozici zpráva z auditu výrobku v on-line platformě a taktéž ve formátu PDF bude rozeslána e-mailem na předem stanovený rozdělovník, který zahrnuje zejména vedení GAT, osoby zodpovědné za výrobní program aj.

Vypracování a aktualizace šablon pro audit výrobku

Vypracování a následná aktualizace šablon se přesune ze stávajícího prostředí Microsoft Excel do on-line aplikace. Rozhraní bude jednoduché, intuitivní a dostatečně variabilní. Vytvoření šablony představuje de facto vyrobení mini aplikace pro rozšířenou realitu do chytrých brýlí bez nutnosti disponovat jakýmkoliv znalostmi z oblasti programování.

Shrnutí záměru digitalizace

Navrhuje se vytvoření on-line platformy „Product Audit“, do které se přesunou činnosti a vytváření dokumentace, která je dnes zpracovávána ručně. Bude zapojena vysoká míra automatizace a rozhodování na základě dat a faktů. Mezi nejdůležitější schopnosti této aplikace je možné zařadit zejména:

- Import dat z podnikového ERP systému SAP, kde jsou informace o vyráběném sortimentu – výrobní programy, podíly na obratu, diverzita, informace o počtu reklamací jednotlivých výrobků.
- Integrace a možnost úpravy rozhodovací matice pro sestavení ročního programu auditů výrobků.
- Automatické generování programů (roční/měsíční) auditů výrobků a jejich distribuce v rámci výrobního podniku.

- Konsolidace a správa šablon pro výrobní audity.
- Správa auditorů výrobků a záznamy o jejich kvalifikaci a re-kvalifikaci.
- Automatické sestavování, uložení a distribuce zpráv auditu výrobku.
- Automatická aktualizace programu auditů výrobků na základě provedených auditů.
- Statistiky a management dashboard pro sledování výkonu procesu auditů výrobků.

Je zcela na místě zdůraznit, že platforma je od prvopočátku navržena tak, aby ji bylo možné použít i pro další výrobní programy bez nutnosti dalších investic do vývoje aplikace, stejně jako případnou přenositelnost v rámci jiných výrobních podniků koncernu ANTOLIN.

Samotná aplikace by neměla pro organizaci tak zásadní přínos, pokud by nebyla v duchu nástrojů Q4.0 propojena s dalšími pokročilými nástroji, které se podnikům nabízejí. Součástí návrhu digitalizace procesu je proto zapojení prostředků rozšířené reality, konkrétně využití chytrých brýlí. Jedná se o zařízení, které propojuje digitální a reálný svět v jeden. Zařízení pracovníka provádí celým postupem a zároveň automaticky slouží jako prostředník pro sběr dat. Po celou dobu má pracovník volné obě ruce (nejsou potřeba žádné ovladače) a použití brýlí pro rozšířenou realitu jej nijak nevytrhuje z reálného prostředí. Zapojení této technologie do navrhovaného ekosystému má za cíl zejména:

- Zjednodušit práci auditora výrobku (ve správný čas poskytnout potřebné informace a instrukce).
- Zvýšit úroveň standardizace provádění auditu výrobku.
- Snížit požadavky na úroveň zaškolení auditora výrobku.
- Automaticky sbírat měřená data pomocí propojení měřidel a brýlí protokolem Bluetooth.
- Automaticky pořizovat důkazy (fotografie) a uložit je do databáze.
- Snížit časovou náročnost (optimalizovaný pracovní postup).

- Zvýšení transparentnosti auditů – auditor pouze hodnotí a zaznamenává data. Není např. ovlivněn znalostí předepsaných nominálních hodnot a tolerancí.
- Výměna informací s on-line platformou „Product Audit“ (načtení aktuálních kontrolních kroků z databáze, ukládání výsledků).

4.2 Výběr a pořízení hardware

Detailní rešerše nástrojů Q4.0 již byla provedena v kap. 2.2 a 2.3. Nyní je však potřeba tento výběr dále omezit na zamýšlený záměr digitalizace procesu auditů výrobků. V předchozí kapitole již bylo v rámci navrhované postupu zmíněno, že pro digitalizaci budou využity brýle pro rozšířenou realitu. Těch je na trhu k dispozici několik a některé jsou pro tento případ vhodné více, jiné méně. Byla vybrána 3 zařízení (viz Obr. 12), která se používají pro rozšířenou realitu nejčastěji.



Magic Leap 2



HoloLens 2



Meta Quest Pro

Zdroj: Upraveno dle (Synergiz, 2024)

Obr. 12 Přehled před vybraných hardwarových zařízení

Do předvýběru byly proto zahrnuty brýle Magic Leap 2 od společnosti Magic Leap, dále Meta Quest Pro od společnosti Meta a do třetice HoloLens 2 od společnosti Microsoft. Přehled vybraných vlastností těchto zařízení jsou shrnuta v tabulce (viz Tab. 13).

Tab. 13 Porovnání vlastností uvažovaného hardware

Vlastnost/Zařízení	Magic Leap 2	HoloLens 2	Meta Quest Pro
Výrobce	Magic Leap	Microsoft	Meta
Typ zařízení	závislé	samostatné	samostatné
Výhled na reálné prostředí	přirozený	přirozený	obraz z kamery
Okularita	binokulární	binokulární	binokulární
Rozlišení (pixelů/oko)	1140 x 1760	1440 x 936	1800 x 1920
Ovládání	ovladač	ruce, hlas	ovladač, gesta rukou
WiFi	WiFi 6	WiFi 5	WiFi 6E
Bluetooth	Bluetooth 5.1	Bluetooth 5.0	Bluetooth 5.2
Operační systém	Android	Windows Holographic	Android
Použití s dioptrickými brýlemi	ne	ano	ne
Podpora MDM	ne	ano	ne
Orientace v prostoru bez ovladače	ne	ano	ne
Sledování pohybu očí	ano	ano	ano
Sledování obličeje	ne	ne	ano
Sledování rukou	ano	ano	ano
Operační paměť (GB)	16	4	12
Úložiště (GB)	256	64	256
Životnost baterie (h)	4	3	2
Viditelné zorné pole – horizontálně (°)	44	43	106
Viditelné zorné pole – vertikálně (°)	53	29	95
Viditelné zorné pole – diagonálně (°)	70	52	112
Hmotnost (g)	260	556	722
Cena bez DPH (v EUR)	3 138 €	3 500 €	1 419 €
Cena bez DPH (v Kč)	78 456 Kč	87 500 Kč	35 469 Kč

Zdroj: (Synergiz, 2024)

Pro výběr nejvhodnějšího hardware pro digitalizaci procesu poslouží disciplína z oblasti operačního výzkumu – vícekritériální rozhodování (MCDM). Konkrétně pak v podobě, že byla definována kritéria a každému kritériu byla přiřazena určitá váha a stupnice hodnocení. Jednotlivá kritéria shrnuje Tab. 14. Pohledem na definovaná kritéria s vahou od nejvyšší po nejnižší pak jsou vzaty do úvahy tyto vlastnosti:

- zda zařízení podporuje komunikaci WiFi (je třeba komunikovat se zamýšlenou on-line platformou),
- zda se zařízení dá ovládat pouze rukama bez nutnosti použít další ovládací prvky (ovladače, tlačítka, aj.),
- průhled – tj. zda lze skrze brýle vidět reálný svět a vnímat jej přirozeně, nebo zda je okolí zprostředkováno obrazem z vnější kamery,
- nezávislost zařízení – zda zařízení je provozuschopné samo o sobě, nebo zda vyžaduje napojení na další hardware (externí výpočetní jednotku),

- podpora centralizované správy zařízení v rámci organizace – tzv. Mobile Device Management (dále jen MDM),
- hmotnost jako parametr mající dopad na ergonomii a použití zvoleného hardware v reálné praxi,
- posledním kritériem je cena, která bude v rámci páté kapitoly vzata do úvahy v rámci zhodnocení výhodnosti investice do procesu digitalizace.

Tab. 14 Rozhodovací kritéria a váhy pro výběr hardware

Kritérium	Váha	Způsob hodnocení
1) Průhled	3	Přirozený = 1, obraz z kamery = 0.
2) Ovládání	3	Ovladačem = 1, ovladačem + gesty = 2, nativně rukama a hlasem = 3.
3) WiFi	3	Podporuje = 1, nepodporuje = 0.
4) Nezávislost	2	Ano = 1, ne = 0.
5) MDM	2	Podporuje = 1, nepodporuje = 0.
6) Hmotnost	1	Nejnižší = 3, nejvyšší = 1.
7) Cena	1	Nejnižší = 3, nejvyšší = 1.

Vyhodnocení vícekritériálního rozhodování představuje Tab. 15. Na prvním místě se umístily brýle od společnosti Microsoft označované HoloLens 2 s celkovým skóre 1,467. Náhlavní souprava Meta Quest Pro skončila na druhém místě se ziskem 1,001 a na posledním místě se umístili Magic Leap 2 s výsledkem 0,935. Jen pro doplnění, tyto brýle uvedl Microsoft na trh v roce 2019 a jak je patrné, ostatní náhlavní soupravy vydané například s odstupem času v letech 2021 nebo 2022 jejich schopnosti nepřekonal (vztaženo ke konkrétním potřebám aplikace). HoloLens 2 nahrazují 1. generaci, kterou Microsoft uvedl na trh již v roce 2016.

Tab. 15 Výběr vhodného hardware metodou vícekritériálního rozhodování

Kritérium	1	2	3	4	5	6	7	Skóre	Pořadí
Váha kritéria	20 %	20 %	20 %	13 %	13 %	7 %	7 %	X	X
Magic Leap 2	1	1	1	0	0	3	2	0,935	3
HoloLens 2	1	3	1	1	1	2	1	1,467	1
Meta Quest Pro	0	2	1	1	0	1	3	1,001	2

Koncepční návrh digitalizace procesu auditu výrobku bude tedy dále pracovat s náhlavní soupravou Microsoft HoloLens 2, což má mimo jiné i zásadní dopad na požadavky na software a způsob vývoje aplikace, čemuž se detailně věnují nadcházející dvě kapitoly této práce.

4.3 Požadavky na software

Datové brýle Microsoft HoloLens 2 běží na platformě Universal Windows Platform (dále jen UWP) a od výrobce je v nich přítomen operační systém Microsoft Windows 10 Holographic. Aktuálně je pomocí aktualizace možné nainstalovat verzi Microsoft Windows 11 Holographic (23H2). S ohledem na výpočetní procesor, kterým brýle disponují, je nutno, aby aplikace byla kompatibilní s 64bitovou architekturou, konkrétně pak s architekturou ARM64¹³ (někdy označovanou také jako AArch64), která je běžná zejména pro mobilní zařízení z důvodu nižší ceny, nízké spotřeby energie, poměrně vysokého výkonu (avšak nižšího než u výkonných stolních počítačů, kde vyšší výkon naopak nároky na spotřebu elektrické energie zvyšuje).

Mixed Reality Toolkit (MRTK¹⁴) pro Unity

MRTK třetí generace je volně dostupná sada nástrojů a doplňků, která urychluje vývoj multiplatformní rozšířené reality. Tato nová verze je postavena nad systémem XR Management a XR Interaction Toolkit. Zde jsou některé z jejích funkcí:

- Poskytuje multiplatformní vstupní systém a stavební bloky pro prostorové interakce a uživatelské rozhraní.
- Umožňuje rychlé prototypování prostřednictvím simulace v editoru, která umožňuje okamžitě vidět změny.
- Funguje jako rozšiřitelný rámec, který vývojářům umožňuje vyměňovat základní komponenty.

Vývoj aplikací pro Microsoft HoloLens 2 lze realizovat hned několika způsoby, z nichž každý má své výhody a nevýhody. Porovnání těchto vývojových nástrojů shrnuje Tab. 16.

Výběr vývojové platformy pro HoloLens 2 závisí na konkrétních potřebách projektu, odborných znalostech vývojového týmu a požadované rovnováze mezi vizuální věrností, výkonem a dobou vývoje. Unity a Unreal Engine nabízejí výkonné nástroje pro tvorbu vizuálně pohlcujících aplikací se značným množstvím zdrojů a podporou komunity, ale mají relativně vysoké nároky na orientaci v prostředí ovlivňující nezbytnou dobu učení. Přímý vývoj pomocí C++/WinRT nabízí nejvyšší výkon

¹³ ARM64 je typ architektury procesorů používaný zejména v mobilních zařízeních.

¹⁴ MRTK = sada nástrojů určená pro vývoj aplikací pro smíšenou realitu.

a flexibilitu, ale vyžaduje značné odborné znalosti a investice do času potřebného k vývoji.

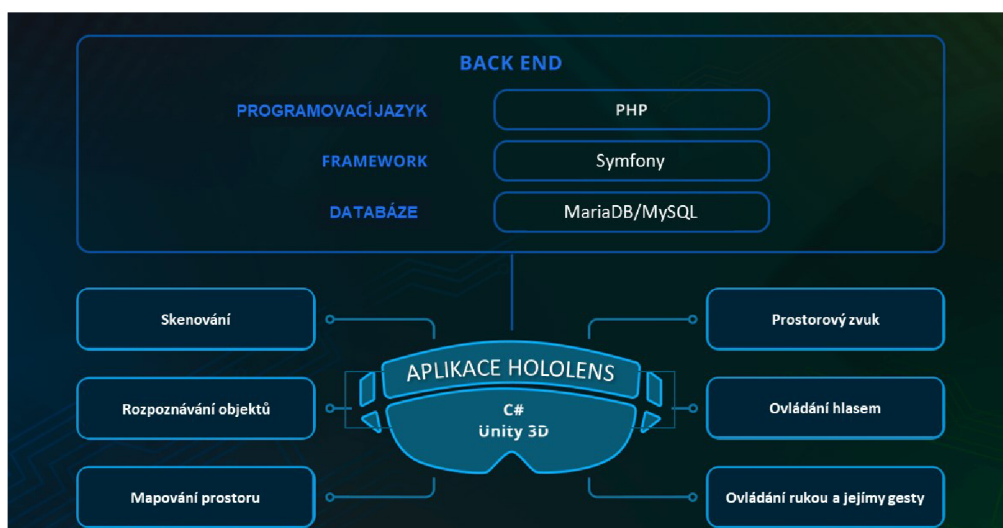
Tab. 16 Vývojové nástroje pro aplikace XR

Dev-stack	Výhody	Nevýhody
Unity Engine	Velmi dobře vybaveno pro práci s rozšířenou realitou, které je schopno pracovat s různými technologiemi a platformami.	Unity je velmi náročné na výkon. Vysoce věrná grafika a složité scény mohou mít vliv na výkon v HoloLens 2 a vyžadovat optimalizaci. Rozsáhlé funkce Unity mohou být pro začátečníky obtížné.
	Poskytuje komplexní sadu vývojových nástrojů pro 3D grafiku, fyziku a animaci, které jsou ideální pro vytváření komplexních XR aplikací.	
	Rozsáhlá komunita vývojářů a nepřehledné množství výukových programů a zdrojů usnadňuje hledání řešení a zdrojů.	
	Umožňuje snadné přenášení aplikací na jiné platformy, což zvyšuje dosah vyvinutých XR aplikací.	
Unreal Engine	Proslulý svou schopností vytvářet vysocě věrné vizuální efekty, které mohou vést k vizuálně ohromujícím aplikacím XR.	Vysocě kvalitní grafika může být pro hardware HoloLens 2 náročná, což může mít vliv na výkon. Podobně jako Unity má Unreal Engine složité rozhraní a sadu funkcí, které mohou být pro nováčky náročné.
	Nabízí vizuální skriptovací systém, který vývojářům umožňuje vytvářet logiku aplikací bez nutnosti psát kód, což je skvělé pro návrháře nebo vývojáře, kteří mají menší zkušenosti s programováním.	
	Robustní fyzikální engine – ideální pro vytváření realistických interakcí v prostředí XR.	
C++/WinRT	Nabízí nejlepší výkon, protože umožňuje přímý přístup k rozhraním API nižší úrovně.	Vývoj může být časově náročnější a vyžaduje důkladnou znalost principů XR a hardwaru HoloLens 2. Vyžaduje hlubokou znalost jazyka C++ a prostředí Windows Runtime, takže je méně přístupný pro začátečníky nebo ty, kteří chtějí rychlý vývojový cyklus. Lepší možnosti pro správu aplikací.
	Vychází z možností, které nabízí systém. Poskytuje větší kontrolu nad aplikací, což umožňuje vlastní optimalizace a funkce.	

Pro realizaci projektu si autor diplomové práce vybral vývoj v rámci prostředí Unity v kombinaci s nástroji MRTK. Zejména pak z důvodu, že toto prostředí je mu již delší dobu známé a již vytvořil několik aplikací pro náhlavní soupravu HoloLens 2.

4.4 Vývoj aplikace

Aplikace se bude ve své podstatě skládat ze dvou částí (viz Obr. 13). První část (tzv. Backend¹⁵) představuje webová aplikace „Product Audit“, která bude umístěna na virtuálním serveru a druhou část (tzv. Frontend) představuje aplikace pro rozšířenou realitu, která poběží v prostředí HoloLens 2, tzn. aplikace běžící v prostředí Windows Holographic, nebo lépe řečeno tzv. Universal Windows Platform (dále jen UWP) aplikace. Backendová část bude sloužit zejména pro vytváření programu auditů, jeho aktualizaci, vytváření a aktualizaci digitalizovaných postupů, správu uživatelů aplikace, nastavení automatických notifikací a eskalačních zpráv a v neposlední řadě bude nabízet manažerské dashboardy s vizualizací vybraných ukazatelů (plnění programu, statistiky OK a NOK výsledků auditů, pareto nejčastějších závad, pareto nejproblematictějších výrobků a jiné). Frontendová část, která bude spuštěna v brýlích, bude využívat všechny dostupné senzory (skenování prostředí, rozpoznávání rukou, skenování 1D a 2D kódů), zobrazovat uživateli digitální obsah, který bude logickým rozšířením reálného prostředí a přijímat prostřednictvím Bluetooth informace z měřících zařízení. Dále bude vnější kamera pořizovat důkazy formou fotografií, které budou vloženy do každé zprávy z auditu výrobku.



Zdroj: Upraveno dle (MobiDev, 2024)

Obr. 13 Základní architektura aplikace "Product Audit"

¹⁵ Backend je označení pro tu část aplikace, která centrálně uchovává data a poskytuje data pro tzv. Frontend, v tomto případě pro XR aplikaci v brýlích.

On-line platforma „Product Audit“

Aplikace bude provozována na virtuálním serveru s operačním systémem Linux Ubuntu¹⁶ 22.04 LTS. Pro obsluhu aplikace bude použit webový server Apache¹⁷ 2.4.29, aplikace bude naprogramována pomocí skriptovacího jazyka PHP¹⁸ 8.1.27 a data budou ukládána do relačního databázového systému MariaDB¹⁹ 10.5.22. Pro usnadnění a efektivní čas programování bude použit tzv. framework²⁰, konkrétně pak Symfony 6.4. Přístup do aplikace bude dostupný odkudkoliv v rámci podnikové sítě (včetně připojení skrze VPN²¹), protože virtuální server bude provozován interně a nebude mít přístup do internetu. Veškerá komunikace mezi uživateli a serverem bude probíhat přes protokol HTTPS²², což je rozšířená a bezpečná verze HTTP²³ protokolu používaného pro přenos webových dat. HTTPS šifruje data odesílaná mezi uživatelem a serverem, což zajišťuje, že citlivá data jsou chráněna proti odposlechu a manipulaci během jejich přenosu.

Výpočetní výkon virtuálního serveru s ohledem na jeho plánované zatížení není třeba dimenzovat nikterak vysoko. Postačující a pro účely této práce použitá konfigurace je následující:

- operační paměť: 4 GB,
- počet jader procesoru: 2 (např. Intel Xeon E5-2640 v4, 2,4 GHz),
- počet LAN²⁴ rozhraní s IPv4 adresou: 1,
- velikost úložiště: 64 GB.

Škálovatelnost je jedna z výhod virtuálních serverů, resp. virtualizace. Je tak možné agilně reagovat na potřeby organizace a v případě rozšíření aplikace v dalších podnicích je možné za běhu upravovat (zvyšovat) výpočetní výkon serveru, na kterém bude aplikace „Product Audit“ bude provozována.

¹⁶ Ubuntu = distribuce operačního systému Linux k dispozici zdarma.

¹⁷ Apache je softwarový nástroj zvaný webový server, který v síti poskytuje požadovaný webový obsah specifikovaný webovou adresou.

¹⁸ PHP = serverový skriptovací jazyk (z angl. Hypertext Preprocessor).

¹⁹ MariaDB = volně dostupný relační databázový systém.

²⁰ Softwarová struktura pro podporu programování.

²¹ VPN = virtuální privátní síť, bezpečné připojení k podnikové síti pomocí veřejné sítě prostřednictvím šifrovaného spojení.

²² HTTPS = rozšířená verze protokolu HTTP pro zabezpečení přenosu dat díky přidané vrstvě šifrování pomocí protokolu SSL/TLS (z angl. Hypertext Transfer Protocol Secure).

²³ HTTP = protokol pro přenos informací na internetu (z angl. Hypertext Transfer Protocol).

²⁴ LAN = lokální počítačová síť (z angl. Local Area Network).

Návrhový vzor aplikace odpovídá konceptu, na kterém framework Symfony staví. Jedná se o tzv. vzor MVC – model, pohled, kontrolér (z angl. Model-View-Controller). Ten tak rozděluje aplikaci do tří hlavních komponent:

- Model – spravuje data a pravidla aplikace, zodpovídá za uchování stavu a obvykle také obsahuje logiku a funkce potřebné k získání a manipulaci s daty.
- Pohled – zobrazuje data uživateli a obvykle obsahuje všechny komponenty uživatelského rozhraní, jako jsou texty, tlačítka, obrázky atd.
- Kontrolér – přijímá vstupy od uživatele, zpracovává je (často s použitím modelu) a aktualizuje pohled.

Jednou ze zásadních částí této aplikace je implementaci tzv. API²⁵, což je aplikační rozhraní, které bude přijímat nebo naopak odesílat informace od/do náhlavní soupravy Microsoft HoloLens 2. Přenášená data budou strukturovaná ve formátu JSON²⁶. V některých momentech budou data šifrována s cílem ověřit jejich integritu na straně příjemce informací.

Aplikace pro HoloLens 2

Pro účely této diplomové práce byl pro vývoj XR aplikace pro Microsoft HoloLens 2 zvolen následující přístup:

- vývojové prostředí: Unity Engine 2022.3.10f1,
- rozšíření pro Unity: Mixed Reality Toolkit (MRTK 3),
- kompilace a distribuce UWP aplikace: Visual Studio 2022 (17.9.5).

Všechny výše uvedené nástroje jsou dostupné zdarma. Nicméně v případě komerčního využití XR aplikace je nutné se podívat do licenčních podmínek zejména společnosti Unity Technologies. Společnost nabízí tyto 4 úrovně licencování (Unity Technologies, 2024a):

- Unity Personal,

²⁵ API představuje metody a struktury dat, které programy používají pro výměnu informací a vzájemnou interakci (z angl. Application Programming Interface).

²⁶ Je způsob zápisu dat nezávislý na počítačové platformě, určený pro přenos dat (z angl. JavaScript Object Notation)

- Unity Pro,
- Unity Industry,
- Unity Enterprise.

Licence Unity Personal je jako jediná dostupná zdarma. Naopak zbývající tři modely licencování jsou postaveny na principu měsíčního předplatného. Jedna licence Unity Pro stojí 185 USD / měsíc, Unity Industry stojí 450 USD / měsíc a cena Unity Enterprise je stanovena individuálně.

Informaci o tom, jakou licenci je možné pro vývoj použít je možné nalézt v dokumentu „Unity Terms of Service“ (Unity Technologies, 2024b). Ten stanovuje několik hodnotících kritérií (viz Tab. 17), která se vztahují nikoliv na vývojáře, ale na koncového uživatele vznikající aplikace. Je nutno podotknout, že verzi Unity Industry je možné získat jen za předpokladu, že vyvíjená aplikace nespadá do kategorie hry a zábava. Pro vývoj aplikace „Product Audit“ s ohledem na jejího uživatele bude proto třeba pracovat s licencí Unity Industry.

Tab. 17 Kritéria pro jednotlivé licence aplikace Unity

Kritérium	Personal	Pro	Industry	Enterprise
Příjmy	\$ ≤ 100 tis.	\$ > 200 tis.	x	\$ > 200 tis.
Hodnota aktiv	x	x	\$ > 1 mil.	x

Zdroj: (Unity Technologies, 2024b)

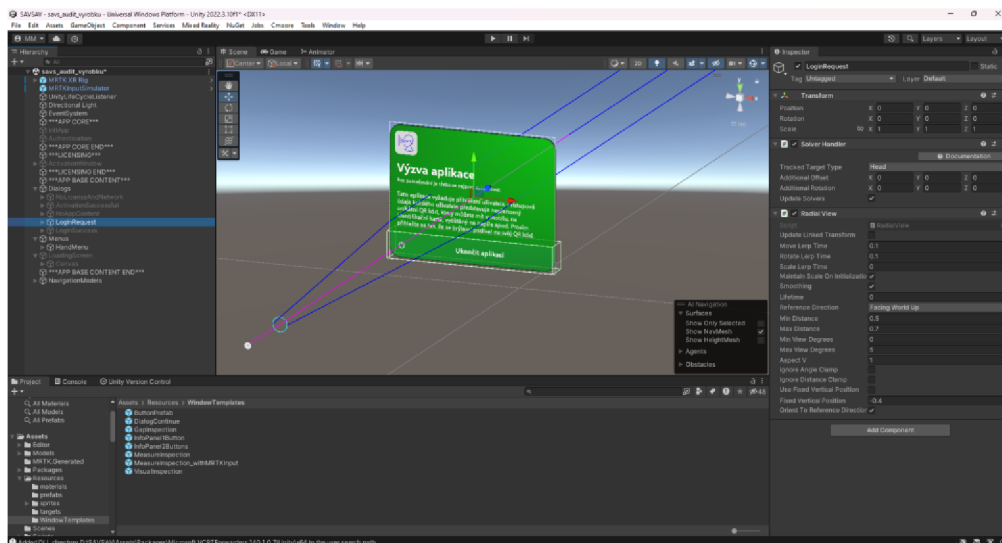
Zvolená verze Unity Engine 2022 nebyla vybrána náhodně. Jedná se o tzv. LTS verzi (z angl. Long Term Support), tj. verze, které bude poskytována podpora delší dobu oproti běžným verzím. V tomto případě je podpora zajištěna do poloviny roku 2025.

Vývoj samotné aplikace lze rozdělit do několika fází:

1. definice konceptu,
2. prototypování,
3. vytváření objektů a scén,
4. programování logiky a interakce.

Ve fázi definice konceptu je třeba definovat účel, budoucí uživatele a základní funkce aplikace (viz Příloha 10). Poté je možné začít sestavovat tzv. „Storyboard“, který se realizuje v etapě prototypování. Někdy se místo pojmu Storyboard používá výraz drátěný model (z angl. Wireframe). Jedná se o zjednodušenou, ale do detailu popsanou koncepční myšlenku, ze které jsou vývojáři schopni vyčíst, co se od aplikace očekává, jak se má v jednotlivých situacích chovat, kdy má získávat data z externí databáze anebo naopak kdy má vybraná data odesílat. Příklad Storyboardu aplikace tvoří přílohu této práce (viz Příloha 11). Realizace těchto dvou prvotních činností pomáhá předcházet situacím, aby se v momentě programování nebo testování nezjistilo, že zásadní funkcionality nejsou k dispozici anebo se aplikace chová jinak, než bylo očekáváno.

Po odsouhlasení prototypu je možné zahájit samotnou práci v Unity Engine. Je třeba vytvořit nejprve veškeré potřebné 3D prvky (např. dialogová okna), připravit si palety materiálů, textury, písma, animace. A následně je umisťovat do tzv. scény (viz Obr. 14), přiřazovat jim interakce a vše postupně do sebe integrovat.



Obr. 14 Prostředí Unity Engine

Interaktivita je základním kamenem XR aplikací. V Unity Engine se pro tento účel píšou tzv. skripty, které se píšou v programovacím jazyce C#. Ty definují chování objektů, interakce s uživateli a celkovou logiku aplikace. Příklad skriptu, který zajišťuje autorizaci uživatele naskenování svého osobního QR kódu, je z důvodu svého rozsahu uveden v příloze (viz Příloha 12).

5 Zhodnocení přínosů využití rozšířené reality

Tato část diplomové práce se zaměřuje na zhodnocení přínosů, které technologie rozšířené reality přináší v kontextu průmyslové výroby a auditů výrobků. S postupným nástupem průmyslu 4.0 se stává digitalizace nezbytnou součástí všech podnikových procesů. Technologie rozšířené reality, jakožto jeden z pilířů této transformace, nabízí nové možnosti pro zvýšení efektivity, zlepšení kvality a snížení nákladů.

XR technologie překlenuje propast mezi fyzickým a digitálním světem, což umožňuje interaktivní a vizuálně obohacené pracovní postupy. Tímto způsobem se XR stává klíčovým nástrojem pro zvýšení transparentnosti, standardizace procesů a zlepšení informačního toku mezi různými úrovněmi organizace. Významné je také, že XR přispívá k dramatickému snížení chybovosti a poskytuje efektivní platformu pro zaškolování nových i stávajících zaměstnanců.

V následujících podkapitolách se práce detailněji věnuje konkrétním oblastem, kde XR přináší značné přínosy. Zahrnuje finanční úspory spojené s redukcí prostojů a zmetků, zvýšení efektivity díky nižší časové náročnosti procesů, standardizaci pracovních postupů pro zajištění konzistentní kvality, a zlepšení transparentnosti a snížení možnosti subjektivního zkreslení výsledků auditů. Dále poukazuje na snížení chybovosti a zrychlení informačního toku, což je zvláště kritické v situacích, kdy jsou výsledky auditu nevyhovující.

5.1 Prakticko-technologické přínosy

Tato podkapitola se zabývá přínosy využití technologie rozšířené reality v procesu auditu výrobků, se zaměřením na prakticko-technologické aspekty. Integrace rozšířené reality do procesu auditu výrobků přináší významné výhody, které mají přímý dopad na efektivitu, standardizaci a transparentnost.

Efektivita a nižší časová náročnost

XR aplikace zvyšují efektivitu pracovních procesů tím, že značně zkracují čas potřebný k provedení auditů. Informace jsou zpřístupněny v reálném čase přímo v zorném poli auditora, což eliminuje potřebu manuálního vyhledávání v dokumentech nebo databázích. Tím se značně zkracuje doba potřebná k dokončení auditu a umožňuje rychlejší přechod k dalším úkolům. Druhou

polovinou zvýšení efektivity je propojení digitálních měřidel s náhlavní soupravou HoloLens 2 pomocí komunikačního rozhraní Bluetooth. Tím se měřená data nejprve bezdrátově přenesou do aplikace běžící v brýlích a následně po jejich potvrzení jsou odesílána do webové aplikace „Product Audit“. Odpadá tak nutnost data sbírat do předpřipravené Excelovské tabulky a následně tyto data ještě s určitou mírou transformace přenášet do zprávy z auditu výrobku. O to vše se nový digitalizovaný proces postará sám bez lidského faktoru a naprosto automaticky.

Standardizace

Implementace rozšířené reality v auditovacích procesech zaručuje standardizaci těchto procesů. Každý auditor postupuje podle stejných kroků a instrukcí prezentovaných přes XR brýle, což zajišťuje konzistenci a objektivitu auditu. Tato uniformita je klíčová pro zachování vysokých standardů kvality a pro spravedlivé hodnocení výrobních procesů.

Transparentnost

Využitím rozšířené reality v auditu je zajištěna vysoká úroveň transparentnosti. Auditori nemají možnost libovolně zasahovat do dat nebo ovlivňovat výsledky auditu, což minimalizuje riziko subjektivity a chyb. Všechny zaznamenané informace jsou digitálně uloženy a snadno přístupné pro další analýzu a kontrolu, což zvyšuje důvěru získaných dat. Stejně tak je namístě podotknout, že v případě provádění měření auditor nemá k dispozici informaci o nominálních hodnotách a tolerancích kontrolovaných veličin. Není tak nijak motivován měření opakovat tak dlouho, dokud nenaměří požadovanou hodnotu. Může se samozřejmě stát, že člověk při měření udělá chybu. Má proto neomezený počet pokusů měření zopakovat a až následně data odeslat do webové aplikace.

Nižší chybovost a lepší zaškolení

Integrace XR do kontrolních procesů vede k nižší míře chyb díky vizuálním návodům a asistenci poskytované v reálném čase. Noví pracovníci mohou být rychleji a efektivněji zaškoleni díky interaktivním návodům, což zvyšuje celkovou kvalitu práce a snižuje pravděpodobnost chybně vykonaných úkolů.

Zrychlení informačního toku

V případě, že je výsledek auditu negativní (NOK), umožňuje technologie rozšířené reality okamžité odeslání rozeslání této informace na předem stanovený rozdělovník. Toto rychlé sdílení informací zkracuje čas potřebný k zahájení případných nápravných opatření a minimalizuje dopad na zákazníka.

Plánování výroby vzorků

Díky digitalizaci procesu a zkrácení času potřebného na provedení auditu výrobku dveřních výplní SK38x zcela odpadá nutnost ručního zaplánování výroby vzorků, které budou auditu výrobku podrobeny. To nepředstavuje jen úsporu v lidském faktoru, ale také to znamená nezanedbatelnou úsporu ve vzorcích, které jsou následně šrotovány. O finančních dopadech však hovoří detailně až další kapitola.

5.2 Ekonomicko-organizační přínosy

Využití technologie rozšířené reality vede k významným finančním úsporám díky minimalizaci prostojů a eliminaci zmetků. Digitalizace procesů a přechod k paperless řešení snižuje potřebu fyzických dokumentů a umožňuje rychlejší a přesnější předávání informací.

Před samotným ekonomickým zhodnocením přínosů digitalizovaného procesu je třeba si připomenout výchozí stav, který byl popsán ve 3. kapitole. Časová náročnost na realizaci auditů výrobků ve výrobním programu SK38x byla vyčíslena na 632 hodin, což představovalo pro podnik finanční náklad ve výši 23 126 €. Dále je třeba do nákladů zahrnout výrobu vzorků, které představují další náklad ve výši 10 754 €. To představuje v součtu roční náklady ve výši $23\,126\text{ €} + 10\,754 = 33\,880\text{ €}$.

Naopak po nasazení moderních technologií včetně nástrojů rozšířené reality zcela odpadá nutnost výroby vzorků a k tomu ještě byly zásadně redukovány činnosti lidského faktoru, případně některé činnosti byly eliminovány v celém rozsahu (například sestavování zprávy z auditu výrobku). Časový fond pro zajištění stejného rozsahu činností klesnul z původních 632 hodin na 179,5 hodiny. Právě oněch 179,5 hodiny představuje finanční náklad ve výši 6 615 €.

Tab. 18 Porovnání časové náročnosti před a po zavedení nástrojů Q4.0

VÝCHOZÍ STAV				
Činnost	Časová náročnost (h)	Četnost	Celková časová náročnost (h)	Náklady (€)
Zpracování ročního programu AV	36	1	36	1 656 €
Schválení ročního programu AV	2	1	2	130 €
Distribuce ročního programu AV	1	1	1	46 €
Měsíční aktualizace ročního programu AV	2	12	24	1 104 €
Příprava měsíčního programu AV	1	12	12	552 €
Distribuce měsíčního programu AV	1	12	12	552 €
Zpracování plánu auditu	1	54	54	1 890 €
Provedení auditu výrobku	5	54	270	9 450 €
Zpracování zprávy z auditu výrobku	3	54	162	5 670 €
Distribuce zprávy z auditu výrobku	1	54	54	1 890 €
Vypracování šablony pro audit výrobku	4	1	4	140 €
Pravidelná revize šablon pro audit výrobku	1	1	1	46 €
Celkem			632	23 126 €
CÍLOVÝ STAV				
Činnost	Časová náročnost (h)	Četnost	Celková časová náročnost (h)	Náklady (€)
Zpracování ročního programu AV	2	1	2	92 €
Schválení ročního programu AV	1	1	1	65 €
Distribuce ročního programu AV	0,5	1	0,5	23 €
Měsíční aktualizace ročního programu AV	1	12	12	552 €
Příprava měsíčního programu AV	0,5	12	6	276 €
Distribuce měsíčního programu AV	0,5	12	6	276 €
Zpracování plánu auditu	0,5	54	27	945 €
Provedení auditu výrobku	2	54	108	3 780 €
Zpracování zprávy z auditu výrobku	0	54	0	- €
Distribuce zprávy z auditu výrobku	0	54	0	- €
Vypracování šablony pro audit výrobku	16	1	16	560 €
Pravidelná revize šablon pro audit výrobku	1	1	1	46 €
Celkem			179,5	6 615 €

Je však nutné dodat, že přínos projektu nelze dovést pouhým rozdílem výše uvedených nákladů před a po přechodu na modernizovaný postup auditování výrobků. Je to jen dílčí informace, se kterou bude třeba pracovat v rámci nástrojů investičního rozhodování. Tento rozdíl totiž představuje finanční toky ve prospěch výrobního podniku, které je třeba promítnout do souvislosti se vstupními náklady a dále zohlednit časovou hodnotu peněz.

Jak bylo tedy uvedeno, pozitivní peněžní toky (Cash Flow) představují onen rozdíl původních nákladů (33 880 €) a optimalizovaných nákladů (6 615 €). Následující výpočty budou tedy pracovat s pozitivním Cash Flow (úspora nákladů) ve výši $33\,880\text{ €} - 6\,615\text{ €} = 27\,265\text{ € / rok}$.

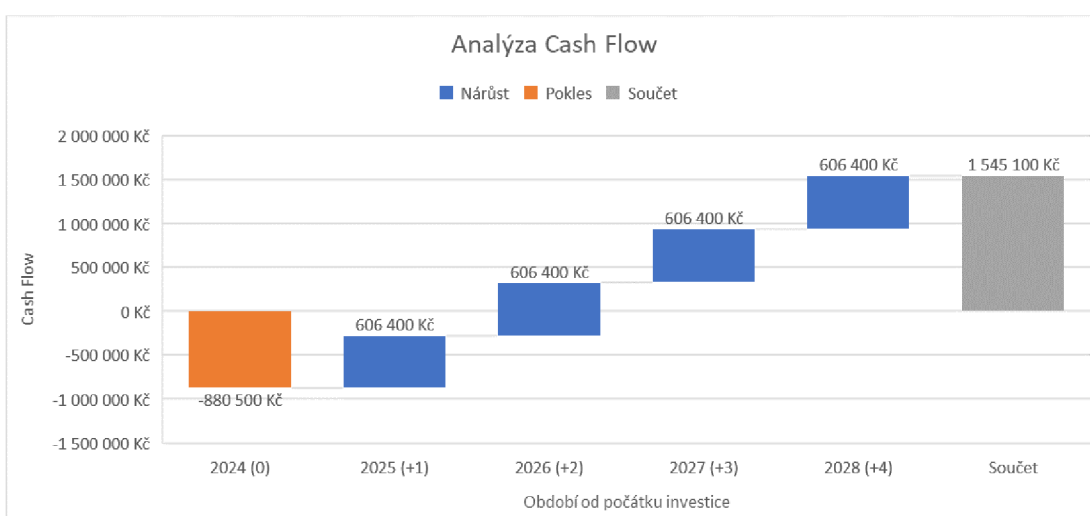
Ale, než bude možné analyzovat výhodnost projektu, je nutné shrnout náklady, které s digitalizací procesu souvisí. Investiční náklady pro zavedení nástrojů rozšířené reality jsou shrnuty v Tab. 19. Celkové investiční náklady představují částku 35 420 € (cca 885 tis. Kč). Jedná se zejména o náklady na pořízení náhlavní soupravy Microsoft HoloLens 2, vývoj webové aplikace a aplikace pro náhlavní soupravu (UWP). Pro zajištění komunikace mezi brýlemi a měřidly bylo třeba stávající měřidla nahradit takovými, která umožňují komunikaci protokolem Bluetooth HID (viz Příloha 13). Naopak stávající zařízení pro měření barvy a lesku (spektrofotometr), který podnik již má, je vybaven rozhraním pro přenos dat do brýlí a není tedy třeba jej nahrazovat. Částky jsou záměrně uvedeny bez DPH, jelikož GAT je plátcem daně z přidané hodnoty a DPH, v tomto případě ve výši 21 %, nepředstavuje finanční náklady pro podnikatelský subjekt. Subjekt, který je plátcem DPH platí státu rozdíl mezi DPH, kterou vybral od svých zákazníků, a DPH, kterou sám zaplatil na svých nákupech či vstupních službách. Tento systém se často nazývá jako systém "daňové neutrality", protože cílem je zajistit, že daň je placena koncovým spotřebitelem, nikoli mezičlánky v řetězci dodavatelů.

Tab. 19 Přehled investic pro modernizaci procesu auditů výrobků

Položka	Množství	Cena bez DPH (€)	Cena bez DPH (Kč)
Microsoft HoloLens 2	1	3 500	87 500
Vývoj webové aplikace	1	10 000	250 000
Vývoj UWP aplikace	1	20 000	500 000
Digitální spárová měrka	1	600	15 000
Digitální posuvné měřítko	1	200	5 000
Digitální úchylkoměr	1	200	5 000
Digitální váha	1	400	10 000
Digitální momentový klíč	1	520	13 000
Celkem		35 420	885 500

Nepominutelné jsou též náklady na údržbu webové aplikace, provoz virtuálního privátního serveru, kde webová aplikace běží a případné aktualizace aplikace pro brýle HoloLens 2. Tyto náklady byly stanoveny ve výši 3 000 € / rok (cca 75 000 Kč).

Nyní již jsou k dispozici veškerá data, aby bylo možné provést vyhodnocení ekonomické výhodnosti investice. Pro přehlednost a s respektem, že Česká republika není členem eurozóny, budou další úvahy pracovat pouze s českou korunou. Existuje hned několik možných postupů z oblasti investičního rozhodování. Na samotném začátku je vhodné se podívat na prostý tok finančních prostředků (viz Obr. 15). V roce 0 (tj. rok 2024) je Cash Flow záporné. Je to rok, kam se započítají veškeré investiční náklady spojené s přechodem na digitalizovaný proces auditu výrobku. Naopak v letech 1–4 (2025–2028) je Cash Flow naopak kladné a představuje právě výše popisované finanční úspory na provádění auditů. Po čtyřech letech je Cash Flow kladné ve výši cca 1,5 mil. Kč.



Obr. 15 Prosté Cash Flow investičního projektu

Čistá současná hodnota (NPV)

K hodnocení výnosnosti investičních projektů nebo podnikatelských rozhodnutí se často používá ukazatel Čisté současné hodnoty (dále jen NPV). NPV je výpočet, který zjišťuje rozdíl mezi současnou hodnotou peněžních toků (tj. příjmů) a současnou hodnotou peněžních toků (tj. výdajů) spojených s projektem nebo investicí. Kladná NPV značí, že očekávané příjmy přesahují náklady přizpůsobené pro čas a riziko, a projekt by tedy měl být z ekonomického hlediska výhodný. Naopak, záporná NPV znamená, že náklady převyšují očekávané příjmy.

NPV se vypočte pomocí vzorce (1) přičemž N představuje počet uvažovaných let pro hodnocení investičního projektu. C_n je diskontovaný peněžní tok v konkrétním roce. Proměnná r představuje diskontní sazbu a proměnná n představuje konkrétní

investiční rok. Pro všechny výpočty v této kapitole uvažujeme s diskontní sazbou ve výši 10 %, přičemž 3 % představují očekávanou míru inflace a 7 % představuje náklady na financování.

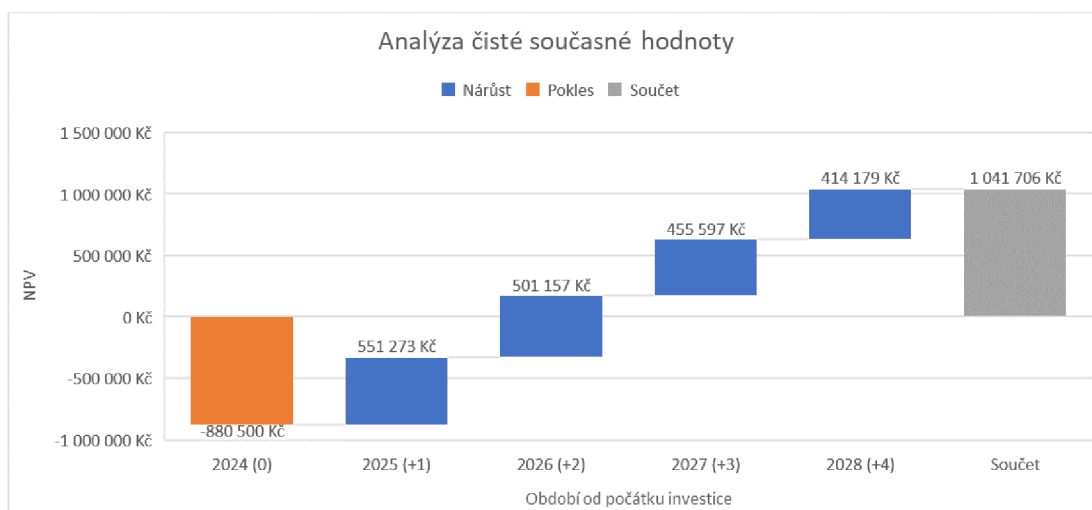
$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Výpočet diskontovaných peněžních toků a průběžná hodnota NPV v jednotlivých letech je uvedena v Tab. 20. Jak je patrné, NPV je už ve 2. roce od realizace investice kladná. To znamená, že návratnost investice by měla být menší než 2 roky. Výsledná NPV po 4 letech je přibližně 1 mil. Kč.

Tab. 20 Diskontované peněžní toky a NPV

Rok	Investice	Výnosy	Náklady	Čistý peněžní tok	Diskontovaný peněžní tok	NPV
0	880 500 Kč	- Kč	- Kč	- 880 500 Kč	- 880 500 Kč	- 880 500 Kč
1	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	551 273 Kč	- 329 227 Kč
2	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	501 157 Kč	171 930 Kč
3	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	455 597 Kč	627 527 Kč
4	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	414 179 Kč	1 041 706 Kč

Pokud budou data z výše uvedené tabulky zobrazena grafickou metodou, bude sestaven graf (viz Obr. 16). I v tomto grafu je možné potvrdit stejnou úvahu, že ve druhém roce dochází k přechodu z negativního do pozitivního Cash Flow a investice má tedy návratnost do 2 let.



Obr. 16 Diskontované peněžní toky a NPV – graficky

Vnitřní výnosové procento (IRR)

Dalším způsobem, jak zhodnotit výhodnost investice je tzv. ukazatel Vnitřní výnosové procento (dále jen IRR). IRR je finanční metrika používaná k vyhodnocení profitability potenciálních investic. IRR je taková diskontní sazba, při které čistá současná hodnota (NPV) všech budoucích peněžních toků z projektu nebo investice je rovna nule (2).

$$0 = NPV = \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (2)$$

Pro přehlednost byl výpočet ukazatele IRR sestaven pro každý rok vyjma roku nultého (viz Tab. 21). Po čtyřech letech je IRR přibližně 58 %. Nicméně naprosto v logické souvislosti s NPV je vnitřní výnosové procento relativně vysoké již v druhém roce – přibližně 24 %. Toto jen podporuje hypotézu, že investice má ekonomický smysl a je pro podnik výhodná.

Tab. 21 Stanovení IRR v jednotlivých letech

Rok	Investice	Výnosy	Náklady	Čistý peněžní tok	IRR
0	880 500 Kč	- Kč	- Kč	880 500 Kč	X
1	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	-31%
2	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	24%
3	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	47%
4	- Kč	681 400 Kč	75 000 Kč	606 400 Kč	58%

Diskontovaná doba návratnosti (DPP)

Diskontovaná doba návratnosti (anglicky Discounted Payback Period) dále jen DPP je finanční metrika používaná k vyhodnocení, jak dlouho bude trvat než investice generuje dostatek peněžních toků k pokrytí počátečních investičních nákladů, přičemž se přihlíží k časové hodnotě peněz. Tato metoda rozšiřuje koncept tradiční doby návratnosti, která jednoduše sčítá budoucí peněžní toky až do bodu, kdy dosáhnou počáteční výše investice, o diskontování těchto toků.

Diskontovaná doba návratnosti bere v úvahu, že peníze mají časovou hodnotu, což znamená, že peníze dostupné dnes jsou cennější než stejná částka dostupná v budoucnosti. Peněžní toky z investice jsou proto diskontovány pomocí diskontní

sazby, která odráží požadovanou návratnost investice nebo alternativní náklady kapitálu.

Výpočet se provádí tak, že se sčítají diskontované peněžní toky rok po roce, až do chvíle, kdy kumulovaná hodnota těchto diskontovaných toků dosáhne celkové částky počátečních investičních nákladů (3). Diskontovaná doba návratnosti tedy udává, kolik let (nebo jiných časových jednotek) potrvá, než se investice "zaplatí sama" s ohledem na diskontování budoucích příjmů.

Tato metoda je považována za konzervativnější a informativnější ve srovnání s tradiční dobou návratnosti, protože zohledňuje riziko a hodnotu peněz v čase, což je důležité pro správné investiční rozhodování, zejména v případech s delší dobou návratnosti.

$$0 = -I + \sum_{t=1}^{DPP} DC_t \quad (3)$$

Při pohledu zpět do Tab. 20 je možné dovodit, že diskontovaná doba návratnosti bude mezi 1 rokem a 2 lety. To je přesně moment, kdy se kumulované diskontované Cash Flow přesouvá z negativní hodnoty do pozitivní. Pro správný výpočet DPP je tedy třeba dosadit do vzorce (3) takto: $DPP = X + \frac{Y}{Z} = 1 + \left(\frac{-329\,227}{501\,157}\right) \approx 1,66$. Hodnota X je index posledního investičního roku, kdy je kumulované diskontované Cash Flow záporné, tj. číslo 1. Hodnotu Y představuje kumulované diskontované Cash Flow v tom stejném roce (tj. hodnota -329 227 Kč). Z reprezentuje diskontovanou hodnotu Cash Flow v roce bezprostředně následujícím (tj. diskontované Cash Flow ve 2. roce = 501 157 Kč). Diskontovaná doba návratnosti je přibližně 1,66 roku (což představuje cca 19–20 měsíců).

Profitability index (PI)

Tento finanční ukazatel se používá k vyhodnocení výnosnosti investičních projektů vztahem mezi současnou hodnotou očekávaných budoucích peněžních toků a počátečními investičními náklady. Index ziskovosti se vypočítá jako poměr současné hodnoty příjmů k celkové investované částce (4). Hodnota PI vyšší než 1 naznačuje, že projekt by měl generovat zisk větší, než jsou náklady, a je tedy považován za finančně výhodný. Naopak, hodnota PI menší než 1 značí, že

očekávané příjmy nebudou pokrývat investiční náklady. Index ziskovosti je užitečný pro srovnání a prioritizaci různých investičních možností, zejména když jsou zdroje omezené.

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I} \quad (4)$$

Dosažením do vzorce získáme $PI = \frac{1\,922\,206}{880\,500} = 2,1831$. Hodnota je vyšší než 1 a proto i na základě tohoto výsledku je možné konstatovat, že investice je pro podnik velice výhodná.

Shrnutí

Na základě výpočtů provedených v této kapitole je vhodné provést shrnutí hodnot jednotlivých ukazatelů. Čistá současná hodnota (NPV) je kladná a na konci 4. roku představuje pro podnik pozitivní Cash Flow ve výši cca 1 mil. Kč. Vnitřní výnosové procento (IRR) tedy procento, při kterém je NPV rovna nule, je ve čtvrtém roce 58 % (ve druhém roce již 24 %), což je s vysokou pravděpodobností hodnota, kde nebude existovat výhodnější alternativa investování a zhodnocení finančních prostředků. Diskontovaná doba návratnosti (DPP) je cca 1,66 roku. Profitability Index (PI) je vyšší než 1 a jeho hodnota je 2,18. Na základě těchto výsledků je položeno na jisto, že investice je pro podnik velice výhodná, zejména když návratnost investice je menší než 2 roky.

Tato úvaha je platná v konkrétním realizovaném řešení digitalizace procesu auditu výrobku pro jeden výrobní program (DV SK38x). Investice do software a hardware v případě rozšíření na další vyráběný sortiment podniku by se však nezvyšovaly lineárně. Vyvinuté aplikace (webová i UWP), které představují nejvyšší investiční náklady, již existují a byly vyvinuty tak, aby byly bez dalšího vývoje použitelné pro neomezený počet projektů současně. V případě TRN by bylo nutné počítat se zakoupením dalších 2 ks brýlí HoloLens 2 a adekvátně navýšit počet digitálních měřidel. Tyto dodatečné investice ve výši cca 271 tis. Kč by však byly kompenzovány další úsporou ve výši cca 1,4 mil. Kč za rok.

Závěr

Diplomová práce "Využití nástrojů rozšířené reality v managementu kvality" poskytuje ucelené shrnutí klíčových souvislostí a poznatků ve vztahu k definovaným cílům, které společně předkládají komplexní pohled na transformaci auditovacích procesů pomocí technologií Industry 4.0.

Práce zdárně definovala teoretickou základnu pro management kvality, speciálně zaměřenou na automobilový průmysl, a detailně popisuje požadavky, které jsou klíčové pro udržení konkurenceschopnosti v tomto vysoce regulovaném sektoru. Byly identifikovány specifické požadavky zákazníků a proces auditu výrobku dle normy VDA 6.5 byl vyložen s ohledem na význam pro zajištění jeho kvality.

Dále práce realizovala rozsáhlou rešerši na téma Industry 4.0 a Quality 4.0, přičemž byly identifikovány a analyzovány relevantní nástroje a oblasti jejich využití. Byly diskutovány výhody a nevýhody jejich implementace, stejně jako bariéry, které mohou zpomalit jejich adopci v průmyslovém prostředí, a byl zdůrazněn zásadní význam těchto technologií pro budoucí vývoj kvality a efektivity.

V praktické části byla provedena strategická analýza v rámci společnosti GRUPO ANTOLIN TURNOV, s.r.o., včetně podrobného pohledu na aktuální procesy auditů výrobků a získaných dat z projektu dveřních výplní Škoda Octavia čtvrté generace. Analýza historických dat a měření poukázala na klíčové oblasti pro zlepšení a vedla k definování konkrétního postupu pro digitalizaci vybraných procesů.

Samotný návrh na digitalizaci zahrnoval výběr vhodného hardwaru pomocí metod vícekritériálního rozhodování a detailní specifikace požadavků na software. V rámci této transformace byl také nastíněn proces vývoje webové a XR aplikace „Product Audit“ pro náhlavní soupravu, konkrétně chytré brýle Microsoft HoloLens 2.

Zhodnocení přínosů digitalizace ukázalo výrazné prakticko-technologické výhody, jako je eliminace byrokratických činností, standardizace procesů, zvýšení efektivity a transparentnosti, stejně tak zrychlení informačního toku. Na závěr byly vyčísleny ekonomicko-organizační přínosy a prokázána výhodnost investice pomocí nástrojů investičního rozhodování, zejména pak prostřednictvím ukazatelů diskontované doby návratnosti, výpočtu čisté současné hodnoty projektu, výpočtu vnitřního výnosového procenta a indexu profitability.

Z pohledu dalšího případného vývoje na vytvořený digitální proces autor práce navrhuje zaměřením úsilí do integrace AV (umělé vidění, z angl. Artificial Vision), od automatického rozpoznávání závad po ověření shody výrobku na základě předem strojově naučených modelů. Současná řešení jsou zpravidla založena na principu, kdy jsou data z instalovaných kamer ve výrobním procesu odesílána na externí výpočetní jednotku vracející informaci, zda se v obrazu vyskytuje zájmový prvek. Autor již úspěšně realizoval první testy, kdy funkcionalitu umělého vidění bylo možné integrovat přímo do náhlavní soupravy Microsoft HoloLens 2, čímž byl vyloučen prvek nákladné externí výpočetní jednotky.

V souhrnu lze konstatovat, že implementace technologií rozšířené reality a principů Quality 4.0 přináší významné přínosy pro management kvality v automobilovém průmyslu. Další obecně vztahované směry rozvoje by měly zahrnovat rozšíření těchto technologií do dalších oblastí výroby a managementu, pokračující integraci s dalšími systémy Industry 4.0 a posilování kybernetické bezpečnosti a datové integrity, umožňující tyto pokročilé technologie plně využít.

Tato diplomová práce pro autora byla nejen akademickou výzvou, ale i osobní vášní. Jako pracovník v oblasti managementu kvality ve společnosti působící v automobilovém průmyslu a nadšenec do oblasti IT měl jedinečnou příležitost propojit profesní zkušenosti s hlubokým zájmem o pokročilé technologie. Programování aplikací pro HoloLens 2 a jejich integrace do procesů kvality představovaly praktické uplatnění teoretických poznatků.

Pohled do budoucna jej naplňuje nadějí i odhodláním. Zaměřením budoucího výzkumu a profesní kariéry na rozvoj a implementaci technologií rozšířené reality v průmyslových procesech je ze strany autora vnímán jako příspěvek nejen k vědecké komunitě, ale i k praktickému zlepšení kvality v automobilovém průmyslu. Ambicí zůstává neustále posouvat hranice toho, jak je možné technologii využít pro zlepšení pracovních postupů a jak lze přes tyto inovace přinášet hodnotu nejen zákazníkům, ale celé společnosti.

Seznam literatury

ALAZAB, Moutaz a ALHYARI, Salah, 2024. Industry 4.0 Innovation: A Systematic Literature Review on the Role of Blockchain Technology in Creating Smart and Sustainable Manufacturing Facilities. Online. *Information*. Roč. 15, č. 2. ISSN 2078-2489. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/info15020078>. [cit. 2024-04-26].

ANTOLIN, 2024. *Antolin Integrated Report 2023*. 1. Dostupné z: https://annualreport.antolin.com/2023/wp-content/uploads/2024/04/Antolin_Integrated_Report_2023.pdf. [cit. 2024-04-28].

ANTONY, Jiju; KAUL, Arshia; BHAT, Shreeranga; SONY, Michael; KAUL, Vasundhara et al., 2023. Critical failure factors for Quality 4.0: an exploratory qualitative study. Online. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2023-10-12, roč. 41, č. 4, s. 1044-1062. ISSN 0265-671X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2023-0240>. [cit. 2024-04-21].

Audit produktu: návod, 2020. 3. české vydání. Přeložil Stanislav KŘEČEK. Management kvality v automobilovém průmyslu. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 978-80-02-02910-6.

BOTTANI, Eleonora; LONGO, Francesco; NICOLETTI, Letizia; PADOVANO, Antonio; TANCREDI, Giovanni Paolo Carlo et al., 2021. Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line. Online. *Computers in Industry*. Roč. 128. ISSN 01663615. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103429>. [cit. 2024-04-13].

CARVALHO, André M.; DIAS, Ana Rita; DIAS, Ana Margarida a SAMPAIO, Paulo, 2024. The Quality 4.0 Roadmap: Designing a capability roadmap toward quality management in Industry 4.0. Online. *Quality Management Journal*. 2024-04-02, roč. 31, č. 2, s. 117-137. ISSN 1068-6967. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10686967.2024.2317478>. [cit. 2024-04-21].

DAS, Sudip; MULLICK, Soumita; GHOSH, Sandhita a GOSWAMI, Somhrita, 2023. The Future of Cloud Computing: Trends, Challenges, and Opportunities: Trends, Challenges, and Opportunities. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*. Roč. 7, č. 9, s. 133-136. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.47001/IRJIET/2023.709015>.

DAUSCH, Valesko Cedrik; ROTH, Daniel; KREIMEYER, Matthias a BOHR, Sebastian, 2023. CHALLENGES OF USING AUGMENTED REALITY TO SUPPORT AN EFFICIENT AND ERROR-FREE ASSEMBLY IN COMPLEX VARIANT ENVIRONMENTS. Online. *Proceedings of the Design Society*. Roč. 3, s. 857-866. ISSN 2732-527X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/pds.2023.86>. [cit. 2024-04-13].

DIGI, 2024. DS-673L. Online. DIGI. Dostupné z: <https://www.digisystem.com/products/PRD00439/>. [cit. 2024-05-03].

DUONG THI BINH, An; AKBARI, Mohammadreza; LE THI CAM, Huong; NGUYEN CANH, Lam a TRUONG QUANG, Huy, 2024. Forging Pathways to Circular Economy Excellence: Integrating Industry 4.0 with Quality Management. Online. *Sustainability*. Roč. 16, č. 7. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su16073053>. [cit. 2024-04-26].

FATHI, Masood; KARLSSON, Ingemar; GRAHN, Göran a BJÖRNSSON, Andreas, 2024. Unveiling the Potential of Mixed Reality: Enhancing Time Measurement and Operator Support in Manual Assembly Processes. Online. *Procedia Computer Science*. Roč. 232, s. 2670-2679. ISSN 18770509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.084>. [cit. 2024-04-13].

GENERAL MOTORS COMPANY, 2023. *IATF 16949 - Customer Specific Requirements*. 2023. Dostupné z: <https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp-content/uploads/2023/08/IATF-16949-GM-CSR-Aug-2023.pdf>. [cit. 2024-04-28].

HOFFMANN GROUP, 2024. *Digitální číselníkový úchylkoměr HCT rozlišení 0,01 mm*. Online. Hoffmann Group. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/merici-technika/uchylkomery/digitalni-ciselnikovy-uchylkomer-hct-rozliseni-0,01-mm/p/434008>. [cit. 2024-05-01].

HOFFMANN GROUP, 2024. *Digitální posuvné měřítko HCT IP67 s Bluetooth 150 mm*. Online. Hoffmann Group. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/merici-technika/posuvne-meritko/kapesni-posuvne-meritko/digitalni-posuvne-meritko-hct-ip67-s-bluetooth/p/412781-150?wayIntoCart=PLP&comingFromCategory=40-01-00-00-00&tId=741>. [cit. 2024-05-01].

HOFFMANN GROUP, 2024. *Elektronický momentový / úhlový klíč HCT 12 Nm*. Online. Hoffmann Group. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/rucni-naradi/momentove-nastroje/momentove-klice/momentove-klice-elektronicke/elektronicky-momentovy-uhlovy-klic-hct/p/655010-12?wayIntoCart=PLP&comingFromCategory=60-02-01-02-00&tId=528>. [cit. 2024-05-01].

HYKŠ, Ondřej; CHALOUPKOVÁ, Kristýna; KARDOŠ, Daniel; KRČMA, Miroslav; KUBÍNOVÁ, Zuzana et al., 2019. *Komentované vydání ČSN EN ISO 19011: směrnice pro auditování systémů managementu*. Praha: Česká společnost pro jakost. ISBN 978-80-02-02854-3.

IATF 16949:2016, 2016. ISBN 978-80-02-02699-0.

IATF, 2024. *Customer Specific Requirements*. Online. International Automotive Task Force. Dostupné z: <https://www.iatfglobaloversight.org/oem-requirements/customer-specific-requirements/>. [cit. 2024-05-01].

IBIDAPO, Timothy Adesanya, 2022. *From Industry 4.0 to Quality 4.0*. Online. Management for Professionals. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-3-031-04191-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-04192-1>. [cit. 2024-04-21].

JAVAID, Mohd; HALEEM, Abid; PRATAP SINGH, Ravi a SUMAN, Rajiv, 2021. Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. Online. *Sensors International*. Roč. 2. ISSN 26663511. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100109>. [cit. 2024-04-21].

LASKURAIN-ITURBE, Iker; ARANA-LANDÍN, Germán; HERAS-SAIZARBITORIA, Iñaki a BOIRAL, Olivier, 2021. How does IATF 16949 add value to ISO 9001? An empirical study. Online. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2021-08-18, roč. 32, č. 11-12, s. 1341-1358. ISSN 1478-3363. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1717332>. [cit. 2024-04-28].

LEE, Sun-Pyo; KIM, Kyungji a PARK, Sungbum, 2022. Investigating the Market Success of Software-as-a-Service Providers: the Multivariate Latent Growth Curve Model Approach. Online. *Information Systems Frontiers*. ISSN 1387-3326. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10188-8>. [cit. 2024-04-26].

MARKATOS, Nikolaos G. a MOUSAVI, Alireza, 2023. Manufacturing quality assessment in the industry 4.0 era: a review. Online. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2023-10-03, roč. 34, č. 13-14, s. 1655-1681. ISSN 1478-3363. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2194524>. [cit. 2024-04-04].

MARR, Bernard, 2021. *Extended reality in practice*. 1. Wiley. ISBN 978-1-119-69517-2.

MARTÍN-GÓMEZ, Alejandro M.; AGOTE-GARRIDO, Alejandro a LAMA-RUIZ, Juan Ramón, 2024. A Framework for Sustainable Manufacturing: Integrating Industry 4.0 Technologies with Industry 5.0 Values. Online. *Sustainability*. Roč. 16, č. 4. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su16041364>. [cit. 2024-04-13].

MIAH, Md. Tota; ERDEI-GALLY, Szilvia; DANCS, Anita a FEKETE-FARKAS, Mária, 2024. A Systematic Review of Industry 4.0 Technology on Workforce Employability and Skills: Driving Success Factors and Challenges in South Asia. Online. *Economies*. Roč. 12, č. 2. ISSN 2227-7099. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/economies12020035>. [cit. 2024-04-13].

MILICHOVSKÝ, František a KUBA, Karel, 2023. Expected Impact of Industry 4.0 on Employment in Selected Professions in the Czech Republic and Germany. Online.

Processes. Roč. 11, č. 2. ISSN 2227-9717. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/pr11020516>. [cit. 2024-04-28].

MOBIDEV, 2024. *Microsoft HoloLens Demo: MobiDev Showroom*. Online. MobiDev. 2024-02-15. Dostupné z: <https://mobidev.biz/blog/microsoft-hololens-demo>. [cit. 2024-05-03].

MORALES MÉNDEZ, Ginés a DEL CERRO VELÁZQUEZ, Francisco, 2024. Augmented Reality in Industry 4.0 Assistance and Training Areas: A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis. Online. *Electronics*. Roč. 13, č. 6. ISSN 2079-9292. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/electronics13061147>. [cit. 2024-04-13].

MORIMOTO, Tadatsugu; KOBAYASHI, Takaomi; HIRATA, Hirohito; OTANI, Koji; SUGIMOTO, Maki et al., 2022. XR (Extended Reality: Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality) Technology in Spine Medicine: Status Quo and Quo Vadis. Online. *Journal of Clinical Medicine*. Roč. 11, č. 2. ISSN 2077-0383. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/jcm11020470>. [cit. 2024-04-26].

NASCIMENTO, Jackson Kleber Lima; NASCIMENTO, Ademir Macedo; DE MELO, Fagner José Coutinho a DE SOUZA, Angélica Porto Cavalcanti, 2023. ASSESSMENT OF TECHNICAL SKILLS AND THE USE TOOLS FOR INDUSTRY 4.0: A STUDY IN THE MANUFACTURING SECTOR: A STUDY IN THE MANUFACTURING SECTOR. *Revista Pensamento Contemporâneo em Administração*. Roč. 17, č. 4, s. 36-59. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.12712/rpca.v17i4.60260>.

NENADÁL, Jaroslav, 2008. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press. ISBN 978-80-7261-186-7.

NENADÁL, Jaroslav; VYKYDAL, David; HALFAROVÁ, Petra a TYLEČKOVÁ, Eva, 2022. Quality 4.0 Maturity Assessment in Light of the Current Situation in the Czech Republic. Online. *Sustainability*. Roč. 14, č. 12. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su14127519>. [cit. 2024-04-28].

O'SHIEL, Daniel, 2020. Disappearing boundaries? Reality, virtuality and the possibility of "pure" mixed reality (MR). Online. *Indo-Pacific Journal of Phenomenology*. 2020-09-01, roč. 20, č. 1. ISSN 2079-7222. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/20797222.2021.1887570>. [cit. 2024-04-21].

PRASHAR, Anupama, 2022. Quality management in industry 4.0 environment: a morphological analysis and research agenda. Online. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2022-04-04, roč. 40, č. 3, s. 863-885. ISSN 0265-671X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2021-0348>. [cit. 2024-04-21].

PSA AUTOMOBILES SA, 2021. *Customer-Specific Requirements for use with IATF 16949*. 2021. Dostupné z: <https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp->

[content/uploads/2021/05/Groupe_PSA_CSR-IATF16949_May2021_V3a.pdf](#). [cit. 2024-04-28].

RENAULT GROUP, 2023. *RENAULT GROUP Customer-Specific Requirements for use with IATF 16949:2016*. 3rd Edition - November 2023. Dostupné z: https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp-content/uploads/2023/10/CSR-RG_RENAULT_GROUP-2023_V3.pdf. [cit. 2024-04-28].

SADER, Sami; HUSTI, Istvan a DAROCZI, Miklos, 2022. A review of quality 4.0: definitions, features, technologies, applications, and challenges. Online. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2022-07-04, roč. 33, č. 9-10, s. 1164-1182. ISSN 1478-3363. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14783363.2021.1944082>. [cit. 2024-04-21].

SALIMBENI, Sergio; REDCHUK, Andrés a ROUSSERIE, Hilda, 2023. Quality 4.0: technologies and readiness factors in the entire value flow life cycle. Online. *Production & Manufacturing Research*. 2023-12-31, roč. 11, č. 1. ISSN 2169-3277. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/21693277.2023.2238797>. [cit. 2024-04-21].

SEELIGER, Arne; CHENG, Long a NETLAND, Torbjørn, 2023. Augmented reality for industrial quality inspection: An experiment assessing task performance and human factors. Online. *Computers in Industry*. Roč. 151. ISSN 01663615. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103985>. [cit. 2024-04-13].

SPADONI, Elena; BORDEGONI, Monica; CARULLI, Marina a FERRISE, Francesco, 2023. EXTENDED REALITY IN INDUSTRY: PAST, PRESENT AND FUTURE PERSPECTIVES. Online. *Proceedings of the Design Society*. Roč. 3, s. 1845-1854. ISSN 2732-527X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/pds.2023.185>. [cit. 2024-04-13].

STAMATIS, D. H., 2021. *Automotive audits: principles and practices*. 1. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-0-367-69659-7.

SYLVAC, 2024. *Digital thickness gage Feeler Gage Smart*. Online. Sylvac. Dostupné z: <https://www.sylvac.ch/product/feeler-gage-smart/>. [cit. 2024-05-01].

SYNERGIZ, 2024. *Mixed Reality headset comparison: which one to pick?* Online. Synergiz. Dostupné z: <https://www.synergiz.com/en/headset-comparison/>. [cit. 2024-05-02].

TASMIN, Rosmaini; RAHMAN, Nurul Syahira; JAAFAR, Ishaq; ABD HAMID, Nor Aziati a NGADIMAN, Yunus, 2020. The Readiness of Automotive Manufacturing Company on Industrial 4.0 Towards Quality Performance. Online. *International Journal of Integrated Engineering*. 2020-10-31, roč. 12, č. 7. ISSN 2229838X. Dostupné z: <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.07.018>. [cit. 2024-04-21].

TOBISKOVÁ, Nicole; GULL, Erik Sanderson; JANARDHANAN, Swathanandan; PEDERSON, Thomas a MALMSKÖLD, Lennart, 2023. Augmented Reality for AI-driven Inspection? – A Comparative Usability Study. Online. *Procedia CIRP*. Roč. 119, s. 734-739. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.122>. [cit. 2024-04-13].

TREINEN, Thierry a KOLLA, Sri Sudha Vijay Keshav, 2024. Augmented Reality for Quality Inspection, Assembly and Remote Assistance in Manufacturing. Online. *Procedia Computer Science*. Roč. 232, s. 533-543. ISSN 18770509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.053>. [cit. 2024-04-13].

UNITY TECHNOLOGIES, 2024. *Real-time tools for 3D, AR, and VR development*. Online. Unity. Dostupné z: <https://unity.com/products>. [cit. 2024-05-02].

UNITY TECHNOLOGIES, 2024. *Unity Terms of Service*. Online. Unity. Dostupné z: <https://unity.com/legal/terms-of-service>. [cit. 2024-05-02].

VOLKSWAGEN, 2022. *IATF 16949: Customer-Specific-Requirements (CSRs) of Volkswagen Group*. 2022. Dostupné z: https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp-content/uploads/2022/03/Volkswagen-Group-Customer-Specific-Requirements_March-2022-1.pdf. [cit. 2024-04-28].

VYKYDAL, David a NENADÁL, Jaroslav, 2022. Closed-Loop Quality Management Systems: Are Czech Companies Ready? Online. *Quality Innovation Prosperity*. 2022-07-31, roč. 26, č. 2, s. 72-87. ISSN 1338-984X. Dostupné z: <https://doi.org/10.12776/qip.v26i2.1710>. [cit. 2024-04-21].

WAWAK, S.; SUTOOVA, A.; VYKYDAL, D. a HALFAROVA, P., 2023. Factors affecting Quality 4.0 implementation in Czech, Slovak and Polish organizations: Preliminary research. Online. *Advances in Production Engineering & Management*. 2023-9-30, roč. 18, č. 3, s. 345-356. ISSN 18546250. Dostupné z: <https://doi.org/10.14743/apem2023.3.477>. [cit. 2024-04-28].

ZÁVADSKÁ, Zuzana a ZÁVADSKÝ, Ján, 2020. Quality managers and their future technological expectations related to Industry 4.0. Online. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2020-05-18, roč. 31, č. 7-8, s. 717-741. ISSN 1478-3363. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1444474>. [cit. 2024-04-21].

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Fáze realizace auditu	12
Obr. 2 Proces auditu produktu.....	15
Obr. 3 Časová osa průmyslových revolucí	17
Obr. 4 Technologické pilíře Industry 4.0	20
Obr. 5 Kontinuum realita-virtualita	27
Obr. 6 Kategorie displejů rozšířené reality	28
Obr. 7 Vývoj HMD pro rozšířenou realitu v posledním desetiletí	30
Obr. 8 Vztah mezi technologiemi, aplikacemi a využitím.....	37
Obr. 9 Růst využití chytrých zařízení v letech 2017–2025 (%)	38
Obr. 10 Divize koncernu Antolin	39
Obr. 11 Dveřní výplně SK38x	43
Obr. 12 Přehled před vybraných hardwarových zařízení.....	57
Obr. 13 Základní architektura aplikace "Product Audit"	62
Obr. 14 Prostředí Unity Engine.....	66
Obr. 15 Prosté Cash Flow investičního projektu.....	72
Obr. 16 Diskontované peněžní toky a NPV – graficky	73

Seznam tabulek

Tab. 1 Studie využití rozšířené reality v praxi	31
Tab. 2 Srovnání výhod a nevýhod chytrých brýlí, HMD a mobilních zařízení.....	32
Tab. 3 Chytré brýle a jejich výhody a nevýhody	33
Tab. 4 Identifikované překážky implementace nástrojů Q4.0	34
Tab. 5 Rozhodovací matice pro plánování auditů výrobků v GAT.....	41
Tab. 6 Vyhodnocení kritérií pro četnost auditů výrobků pro DV SK38x	41
Tab. 7 Přehled činností a časové náročnosti 1 auditu výrobku DV SK38x.....	45
Tab. 8 Činnosti a časová náročnost auditů výrobku DV SK38x pro rok 2024	45
Tab. 9 Kvalifikační požadavky auditora výrobku.....	46

Tab. 10 Časová a finanční náročnost auditů výrobků DV SK38x – aktuální stav .	48
Tab. 11 Časová a finanční náročnost auditů výrobků DV SK38x – aktuální stav .	48
Tab. 12 Návrhy opatření a odhadovaný přínos v rámci digitalizace procesu	52
Tab. 13 Porovnání vlastností uvažovaného hardware.....	58
Tab. 14 Rozhodovací kritéria a váhy pro výběr hardware	59
Tab. 15 Výběr vhodného hardware metodou vícekriteriálního rozhodování.....	59
Tab. 16 Vývojové nástroje pro aplikace XR.....	61
Tab. 17 Kritéria pro jednotlivé licence aplikace Unity	65
Tab. 18 Porovnání časové náročnosti před a po zavedení nástrojů Q4.0	70
Tab. 19 Přehled investic pro modernizaci procesu auditů výrobků.....	71
Tab. 20 Diskontované peněžní toky a NPV	73
Tab. 21 Stanovení IRR v jednotlivých letech.....	74

Seznam příloh

Příloha 1 Klíčové principy managementu kvality	88
Příloha 2 Přehled zveřejněných CSR na stránkách IATF	89
Příloha 3 Odkazy z normy IATF	90
Příloha 4 Klasifikace závad auditu výrobku	91
Příloha 5 Technologie Industry 4.0.....	92
Příloha 6 Charakteristika technologií Průmyslu 4.0 z hlediska udržitelnosti	93
Příloha 7 Růst využití XR zařízení.....	95
Příloha 8 Program auditů výrobků TRN v roce 2024.....	97
Příloha 9 Detailní zpráva z auditu výrobku	98
Příloha 10 Obecný koncept XR aplikace	100
Příloha 11 Příklad storyboardu	101
Příloha 12 Příklad skriptu v jazyce C#.....	103
Příloha 13 Přehled nových digitálních měřidel.....	105

Příloha 1 Klíčové principy managementu kvality

Tyto zásady tvoří základní rámec, na kterém je postaven efektivní systém managementu kvality. Každý princip má zásadní význam pro udržení konkurenceschopnosti v dynamickém a vysoce regulovaném průmyslovém prostředí.

Zákaznická orientace	Primárním cílem každé automobilové firmy je dosáhnout spokojenosti zákazníků. To vyžaduje neustálé porozumění jejich potřebám a očekáváním a schopnost tyto požadavky efektivně splňovat nebo překonávat.
Vedení	Vedení na všech úrovních musí projevovat závazek k vytváření prostředí, kde se mohou zaměstnanci zapojit do procesů zlepšování kvality. Lídři by měli stanovit jasné vize kvality a vytvořit příznivé pracovní prostředí.
Zapojení lidí	Je zásadní, aby všichni pracovníci byli plně zapojeni do procesů kvality, protože každý zaměstnanec má vliv na výslednou kvalitu produktu. Zapojení zaměstnanců pomáhá zvyšovat jejich motivaci a přispívá k jejich osobnímu růstu.
Učení se	Systematický rozvoj způsobilosti zaměstnanců, jejich znalostí a dovedností je východiskem k budoucím úspěchům organizace.
Flexibilita	Současný i budoucí úspěch na otevřených trzích vyžaduje tvořivost a schopnost rychle reagovat na všechny podněty a změny.
Procesní přístup	Efektivní řízení a zlepšování kvality vyžaduje pohled na aktivity a související zdroje jako na procesy, které spolu souvisejí a fungují jako systém.
Systémový přístup	Identifikace, pochopení a řízení vzájemně souvisejících procesů jako systému přispívá k vyšší efektivnosti a účinnosti při dosahování cílů organizace.
Neustálé zlepšování	Neustálé zlepšování kvality by mělo být trvalým cílem organizace. To zahrnuje každodenní malá zlepšení až po větší projekty zlepšování.
Faktický přístup k rozhodování	Rozhodování založené na analýze dat a informací umožňuje efektivnější řízení a vylepšování systémů, procesů a výsledků.
Vzájemně výhodné vztahy s dodavateli	Automobilové společnosti by měly budovat a udržovat vzájemně výhodné vztahy se svými dodavateli, protože stabilní dodavatelský řetězec přispívá k trvalé schopnosti vytvářet hodnotu.
Společenská odpovědnost	Přijetím etického přístupu a vykonáváním činností tak, aby se daleko překračovaly minimální rámce legislativních požadavků, organizace poskytují takové služby, které jsou v souladu s dlouhodobými zájmy nejenom organizace, ale i všech zainteresovaných stran.

Zdroj: Upraveno dle (Nenadál, 2008)

Příloha 2 Přehled zveřejněných CSR na stránkách IATF

OEM	Dokument	Revize
BMW Group	Specific Requirements of the BMW Group	04/2021
Ford Motor Company	Customer-Specific Requirements	01/2024
Geely Group	Customer Specific Requirements	09/2021
General Motors	IATF 16949 – Customer Specific Requirements	08/2023
IVECO Group	CUSTOMER SPECIFIC REQUIREMENTS	2022
Mercedes-Benz Group	Specific Requirements of Mercedes-Benz AG, MBST 2020	02/2022
Renault Group	Customer-Specific Requirements for use with IATF 16949:2016	11/2023
Stellantis	Customer-Specific Requirements for use with IATF 16949	05/2021
Volkswagen	IATF 16949: Customer-Specific-Requirements (CSRs) of Volkswagen Group	03/2022

Zdroj: (IATF, 2024)

Příloha 3 Odkazy z normy IATF

AIAG	ANFIA	FIEV	IATF	VDA
<ul style="list-style-type: none">○ CQI-8 Víceúrovňový audit procesu○ CQI-9 Speciální proces: Hodnocení tepelného zpracování○ CQI-11 Speciální proces: Hodnocení systému galvanického pokovování○ CQI-12 Speciální proces: Hodnocení systému povrchových úprav○ CQI-15 Speciální proces: Hodnocení systému svařování○ CQI-17 Speciální proces: Hodnocení systému pájení○ CQI-23 Speciální proces: Hodnocení systému lisování• CQI-27 Speciální proces: Hodnocení systému odlévání	<ul style="list-style-type: none">• AQ 008 - Audit procesu	<ul style="list-style-type: none">• Příručka auditora procesu sériové výroby V2.0	<ul style="list-style-type: none">• Příručka auditora IATF	<ul style="list-style-type: none">• VDA 6. Výplně dveří - Audit procesu• VDA 6. Výplně dveří - Audit produktu

Zdroj: Upraveno dle (IATF 16949:2016, 2016)

Obrázek 1 Odkaz na dílčí dokumenty ve vztahu k interním auditům

Příloha 4 Klasifikace závad auditu výrobku

Chování zákazníka	Moje chování, moje reakce, kdyby to bylo moje vozidlo:									
	Jsem nadšený moje očekávání jsou překročeny.		Nedělám nic, moje očekávání jsou plně splněna.	Nedělám nic ke zlepšení situace.	Poukážu na problém při plánovaném termínu u mého...	Nechám problém opravit při mém plánovaném termínu v...	Pojedu v blízké době neplánovaně do blízké...	Jedu ihned neplánovaně do první...	Jedu opatrně k nejbližšímu...	Zkusím auto znovu zprovoznit nebo zajistím odtah...
Situace v	... smluvní servis (reklamační/Hotline)					... Servis/díl				
	nadšený	vnímavý	rušivý	naštvaný	extremně naštvaný	ztráta důvěry				
Druh závady	Jízdní provoz...	... s možným potenciálem zlepšení	... s malými omezeními	... omezení	... velmi omezené (rutinný servis)	... velmi omezené (nouzový režim)	Nepojízdnost		Bezpečnost/ právní doklady/ Certifikace / Typová shoda	
	Funkce / vlastnosti...		... částečně vypadává	Chybějící funkce bez dopadu na provoz vozidla	... nedostupné	Všechny služby 100% nedostupné	Nouzový režim			
Opatření ve vývoji	dle EBM ¹⁾		Q-Opti / v pzi	Opatření / Legitimizace ²⁾	Opatření k odstranění závady					
PBI	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Kategorie závad / Závažnost závady TSQ Audit vozu	C		C1	B	B1	A			A1	
	10	20	40	60	80	140				
Opatření v závodech			S, netp bez NA ³⁾	Zablokování/Akce podle stan. plánu						
				Reakční koncept podle procesu odstr. závad ⁵⁾						
	Stat. vyhodnocení			oprava/okamžité odstranění						

1) Eigenschaftsbeurteilungsmatrix 2) Q-Optimierungspunkt / Verbesserungspotential 3) gemäß Prozess 4) Nacharbeit 5) ab C1 Mehrfachnennungen

Zdroj: (Interní dokumentace GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2024)

Obrázek 2 Kategorie závad auditu výrobku

Příloha 5 Technologie Industry 4.0

Technologie	Oblast využití
Internet věcí (IoT)	Propojení a komunikace mezi zařízeními a systémy v reálném čase.
Robotika a automatizace	Používání robotů a automatizovaných systémů pro výrobní úkoly.
Rozšířená realita	Propojení virtuálního a fyzického světa.
Aditivní výroba	3D tisk, vytváření objektů z digitálního návrhu.
Chytré senzory	Zařízení, která shromažďují a zpracovávají informace z prostředí a automaticky v reakci na ně reagují.
Autonomní dopravní systémy	Vozidla, zařízení, bezpilotní letouny bez zásahu člověka.
Nanotechnologie	Manipulace s hmotou v atomárním nebo molekulárním měřítku.
Big Data a analýza dat	Sběr, ukládání a analýza velkého množství dat.
Cloud Computing	Ukládání a přístup k datům a programům přes internet, virtuální modely pro simulaci fyzických systémů, ochrana systémů, sítí a programů před digitálními útoky.
Systémová integrace	Propojení a spolupráce mezi různými systémy.
Umělá inteligence	Virtuální systém schopný provádět úkoly, které vyžadují lidskou inteligenci.
Strojové učení	Disciplína, která pomocí algoritmů umožňuje počítačům identifikovat vzory.
Blockchain	Technologie distribuované účetní knihy, která usnadňuje bezpečné transakce v síti.

Zdroj: Upraveno dle (Martín-Gómez et al., 2024)

Příloha 6 Charakteristika technologií Průmyslu 4.0 z hlediska udržitelnosti

Technologie	Vztah k udržitelnosti
Internet věcí (IoT)	(So) Zlepšuje bezpečnost na pracovišti sledováním podmínek v reálném čase.
	(Ev) Umožňuje sledování využití prostředků v reálném čase, což napomáhá efektivní správě.
	(Ec) Optimalizuje výrobu a snižuje náklady tím, že poskytuje přesné údaje pro rozhodování.
Robotika a automatizace	(So) Může nahradit nebezpečné práce, ale představuje také problém z hlediska zaměstnanosti.
	(Ev) Zlepšuje účinnost procesů, snižuje množství odpadu a spotřebovává méně zdrojů.
	(Ec) Zvyšuje produktivitu a snižuje provozní náklady.
Virtuální, augmentovaná, smíšená a rozšířená realita	(So) Posiluje postavení pracovníků prostřednictvím virtuálního školení a pomoci.
	(Ev) Snižuje potřebu fyzických prototypů a cestování, čímž šetří zdroje.
	(Ec) Urychluje návrh a vývoj výrobku, čímž zkracuje dobu uvedení na trh.
Aditivní výroba	(So) Umožňuje přizpůsobení produktu konkrétním potřebám.
	(Ev) Minimalizuje množství odpadu použitím pouze nezbytného materiálu.
	(Ec) Snižuje náklady spojené s hromadnou výrobou a umožňuje výrobu na vyžádání.
Chytré senzory	(So) Zvýšit bezpečnost detekcí abnormálních podmínek v pracovním prostředí.
	(Ev) Sledovat spotřebu zdrojů a usnadnit tak řízení životního prostředí.
	(Ec) Optimalizovat provoz poskytováním přesných informací pro údržbu a výrobu.
Autonomní dopravní systémy	(So) Snižování nehodovosti automatizací dopravních úkonů.
	(Ev) Potenciál optimalizace tras a snížení emisí v kombinaci s čistou energií.
	(Ec) Zlepšuje logistickou efektivitu a snižuje náklady spojené s lidskými chybami.
Nanotechnologie	(So) Umožňuje vývoj v oblasti medicíny a materiálů pro zlepšení kvality života.
	(Ev) Umožňuje vytvářet účinnější a udržitelnější materiály.
	(Ec) Umožňuje otevření nových trhů a aplikací pro inovativní výroby.
Big data a analýza dat	(So) Umožňuje rozhodování založené na datech s cílem zlepšit kvalitu života a služeb.
	(Ev) Pomáhá při monitorování a řízení dopadů na životní prostředí.
	(Ec) Optimalizuje operace a obchodní strategie a zvyšuje ziskovost.

Technologie	Vztah k udržitelnosti
Cloud Computing	(So) Umožňuje spolupráci a přístup k informacím odkudkoli.
	(Ev) Snižuje potřebu fyzické infrastruktury a optimalizuje využití zdrojů.
	(Ec) Snižuje náklady spojené s údržbou hardwaru a IT.
Systémová integrace	(So) Umožňuje interakci mezi různými týmy a odděleními, což zvyšuje spokojenost s prací.
	(Ev) Umožňuje efektivnější využívání zdrojů díky lepší koordinaci mezi procesy.
	(Ec) Efektivní integrace systémů může vést k vyšší produktivitě.
Umělá inteligence	(So) Zlepšuje schopnost přijímat rozhodnutí, která mají dopad na sociální aspekty.
	(Ev) Zajišťuje inteligentnější přidělování zdrojů prostřednictvím pokročilé analýzy dat.
	(Ec) Optimalizuje obchodní modely prostřednictvím optimalizace dodavatelského řetězce.
Strojové učení	(So) Poskytuje služby zaměřené na člověka.
	(Ev) Snižuje plýtvání díky prediktivní analýze.
	(Ec) Zlepšuje efektivitu díky lepšímu předvídaní vzorů.
Blockchain	(So) Zvyšuje transparentnost a spolehlivost transakcí a dohod.
	(Ev) Umožňuje sledování a ověřování udržitelných produktů.
	(Ec) Snižuje náklady spojené se zprostředkovateli a podvody.

Zdroj: Upraveno dle (Martín-Gómez et al., 2024)

Příloha 7 Růst využití XR zařízení

Celkem (Závadská, Závadský, 2020) svou analýzu procentuálního růstu využití XR technologií vyhodnocují v 26 oblastech použití napříč 4 skupinami zařízení.

Skupiny jsou označeny takto:

- T1 = chytré brýle,
- T2 = chytré rukavice,
- T3 = chytré hodinky,
- T4 = chytré telefony / tablety.

Zkoumání proběhlo pro každý jednotlivý proces, přičemž analýza pracuje s následující klasifikací procesů:

Procesy před výrobou	P1: Plánování
	P2: Vývoj produktu
	P3: Výroba a hodnocení prototypů
	P4: Plánování výroby komerčních prototypů
	P5: Výroba a hodnocení komerčních prototypů
	P6: Řízení poptávky
Výrobní procesy	P7: Řízení nástrojů
	P8: Řízení materiálů
	P9: Plánování
	P10: Plánování a kontrola výroby
	P11: Výroba
	P12: Procesy zpracovatelské výroby
	P13: Řízení neshod
Procesy po výrobě	P14: Neustálé zlepšování
	P15: Reporting
Procesy napříč výrobou	P16: Údržba
	P17: Kontrola kvality
	P18: Vizuální management
	P19: Nakládání s odpady
	P20: Řízení změn
Logistické procesy	P21: Nakupování
	P22: Skladování
	P23: Expedice
	P24: Transport
	P25: Manipulace
	P26: Doručování

Pohledem na data, kde se očekává nejvyšší růst těchto technologií, je možné mezi TOP 5 zařadit následující procesy:

- řízení změn – nárůst o 47 %,
- kontrola kvality – nárůst o 41 %,
- manipulace – nárůst o 34 %,
- řízení neshod – nárůst o 32 %,
- výroba – nárůst o 30 %.

Příloha 9 Detailní zpráva z auditu výrobu



ZPRÁVA Z AUDITU VÝROBKU

Č.	SK336 PDV
REVIZE č.:	0
DATUM:	31.05.2022
SCHVÁLIL:	

VÝROBEK					
KÓD VÝROBKU:	530621992	57H.867.014.T	ZÁKAZNÍK:	ŠKODA AUTO	
NÁZEV VÝROBKU:	SK336DP FR LHD RHMIOQ8DGT3QQ89VSFIA T		PROCES:	MONTÁŽ DV SK336	
ÚROVEŇ DAT / DATUM:	135 / 2.2.2024		DATUM VÝROBY / SMĚNA / UET:	29.02.2024/R/1QK	
KÓD ZÁKAZNÍKA:	23002 / ŠA MLADÁ BOLESLAV		VELIKOST VZORKU:	5	POČET MĚŘENÝCH KS.: 5
ČÍSLA KNR:	1) S0001901527	2) S0001903784	3) S0001903834	4) S0001903739	5) S0001903064

AUDIT č.	
AV SK336 08_0224	
DŮVOD REALIZACE AV:	
OSTATNÍ (důvod uvést v poznámkách k AV)	

Znaky výrobku	Třída	Kontrolní prostředky	Nominální SL	LSL	USL	VÝSLEDKY AUDITU														Vada náhod. / systemat.	Počet NOK ks	Ztr. body/ výrobek	Poznámky
						Naměřené hodnoty					Hodnocení (body)					Celkem							
						1	2	3	4	5	1	2	3	4	5								
BALENÍ A IDENTIFIKACE																							
Čistota a stav obalu		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Odpovídající balení dle balíčního předpisu, odpovídající počet výrobků v balení, uložení výrobků v balení, označení obalů		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Označení výrobku výrobkovou etiketou DV vč. generálního stavu (správná pozice, čitelnost, obsah dle obr.)		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
IDENTIFIKACE - VSTŘIKOVANÉ DÍLY - viz obr. : - země původu, označení výrobce vč. kódu výrobce (UJ8) a označení zákazníka - měsíc a rok výroby a označení materiálu - identifikační štítek (čitelnost, správná pozice a jeho dolepení)																							
kaširovaný brustung: - materiál ABS - kontrola identifikace na volném díle		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
nosič: - materiál PP/PE TDS - kontrola identifikace na díle		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
kaširovaný loketní operka: - materiál ABS - kontrola identifikace na volném díle		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
schránka na deštník: - materiál PP/PE TDS - kontrola identifikace na volném díle		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
inert >ABS+PUR+PVC<		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
IDENTIFIKACE - LISOVANÉ DÍLY - viz obr. : - identifikační štítek (čitelnost, správná pozice a jeho dolepení)																							
kapsa - štítek s datem výroby a číslem operátora		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
KOMPLETNOST																							
Kompletnost DV: - shoda referencí vstupních dílů dle reference DV - přítomnost, pozice a správnost dílů (dle označení názvu reference na výrobkové etiketě DV)	F	vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
VZHLED - POHLEDOVÁ STRANA (D65 / F11)																							
VSTŘIKOVANÉ DÍLY: - bez propadů, nedalí, deformací, šmouh, škrábanců a ostatních vizuálních vad - bez viditelné dělicí roviny a ostrých hran - studený spoj v definované poloze																							
nosič (oblast inzeru)		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
nosič (oblast kapsy): - vč. oblastí basové mřížky (bez poškození, zalití, průchozí otvory)		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
schránka na deštník: - přítomnost (dle výbavy)		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
TIB s klíčkou: - bez vad lakování, "pomoranč"		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
ozdobná lišta		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
přítahovač: vč. kontroly přítomnosti všech začvaků		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
LISOVANÉ A KAŠIROVANÉ DÍLY: - bez propadů, bouli, zvlnění, vrásek, pruhů a spálených míst - bez rozleplů umbuřů, zněčištění formátu, zatřžených nití - poškození, bez škrábanců - správná pozice formátu, bez skvrn od lepidla																							
inert		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
brustung		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
loketní operka		vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
NÁVAZNOSTI DÍLŮ / LICOVÁNÍ																							
nánavnost dekorativního krytu a ozdobné lišty		spároměrky	0 mm			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
pasování přítahovače na loketní operku		spároměrky	0 mm			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
licování rozety s brustungem - vč. pevné fixace rozety s díoudou		spároměrky	0 mm			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

FUNKČNOST + NEPOHLEDOVÁ STRANA														
ploché svary:														
- celistvost svaru, neutřžené, neprovařené	vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0
- spoje v určené poloze														
- nýtové spoje / piny:														
- dovařené nýty, neutřžené, neprovařené, hlavičky nýtů plně rozvařené	vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0
- nýty bez pohybu v osách														
- klíčka:														
- kontrola ovládní a funkčnosti, bez hluků	F vizuálně	OK			OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0	0
ROZMĚRY - MP (ÚCHYLKOMĚR)														
MP1 (0 ± 0,5 mm)	F	úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,22	0,13	0,21	0,05	0,11	0	0	0	0
MP2 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-1,21	-1,18	-1,19	-1,53	-1,48	C/10	C/10	C/10	C/10
MP3 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	1,66	1,25	1,11	0,69	0,84	C/10	C/10	C/10	C/10
MP4 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	1,09	0,48	0,52	0,78	0,53	C/10	0	C/10	C/10
MP5 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-0,04	-0,14	-0,18	-0,06	-0,16	0	0	0	0
MP6 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	2,12	2,15	2,18	1,53	1,67	C/10	C/10	C/10	C/10
MP7 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-1,48	-1,25	-1,42	-1,38	-1,41	C/10	C/10	C/10	C/10
MP8 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,28	0,22	0,14	0,32	0,29	0	0	0	0
MP9 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-1,84	-1,14	-1,71	-1,48	-1,36	C/10	C/10	C/10	C/10
MP10 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-0,50	-0,19	-0,36	-0,36	-0,16	0	0	0	0
MP11 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-0,26	-0,21	-0,28	-0,43	-0,19	0	0	0	0
MP12 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,19	-0,15	-0,14	-0,32	-0,13	0	0	0	0
MP13 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,95	0,84	0,72	0,67	0,55	C/10	C/10	C/10	C/10
MP14 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,25	0,53	0,72	0,53	0,49	0	C/10	C/10	0
MP15 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-0,99	-0,72	-0,56	-0,66	-0,77	C/10	C/10	C/10	C/10
MP16 (0 ± 0,5 mm)	F	úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-1,16	-1,09	-1,00	-0,98	-1,12	C/10	C/10	C/10	C/10
MP17 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,22	0,32	0,12	0,03	0,08	0	0	0	0
MP18 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,40	0,36	0,14	0,33	0,26	0	0	0	0
MP19 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	0,63	0,58	0,55	0,49	0,53	C/10	C/10	C/10	0
MP20 (0 ± 0,5 mm)		úchylkoměr	0,0	-0,5	0,5	-0,19	0,26	0,14	0,22	-0,16	0	0	0	0
BARVA														
kontrola barvy nosiče - oblast kapsy (D65 / F11)	spektrofotometr 45°/0	OK			NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	C/10	C/10	C/10	C/10
barva Satin Schwarz K3N / Urmuster 989														
kontrola barvy kaširovaného brustang - vodorovná plocha (D65 / F11)	spektrofotometr 45°/0	OK			NOK	NOK	NOK	NOK	OK	OK	C/10	C/10	C/10	0
- Satin Schwarz K3N / Urmuster 989														
kontrola barvy kaširované loketní opěrky - vodorovná plocha (D65 / F11)	spektrofotometr 45°/0	OK			NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	C/10	C/10	C/10	C/10
- soul / artsyn / cognac / dynamica / - melange black (vizuálně)														
kontrola barvy lisovaného inzeru (D65 / F11)	spektrofotometr 45°/0	OK			NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	C/10	C/10	C/10	C/10
- soul / artsyn / cognac / dynamica / - melange black (vizuálně)														
kontrola věrohodnosti (harmonizace) barev naměřených spektrofotometrem (D65 / F11)	kontrolní místo	OK			OK	OK	OK	OK	OK	OK	0	0	0	0
LESK														
kontrola lesku nosiče: 1,6 - 2 (60°)	leskoměr	1,8	-0,2	0,2	1,90	2,00	2,00	2,10	2,00	0	0	0	C/10	0
10	náhodná	0	2,0											
HMOTNOST KOMPLETNÍHO DÍLU														
hmotnost výrobku :	váhy	3543	3366	3720	3682,80	3664,52	3679,45	3665,25	3673,46	0	0	0	0	0

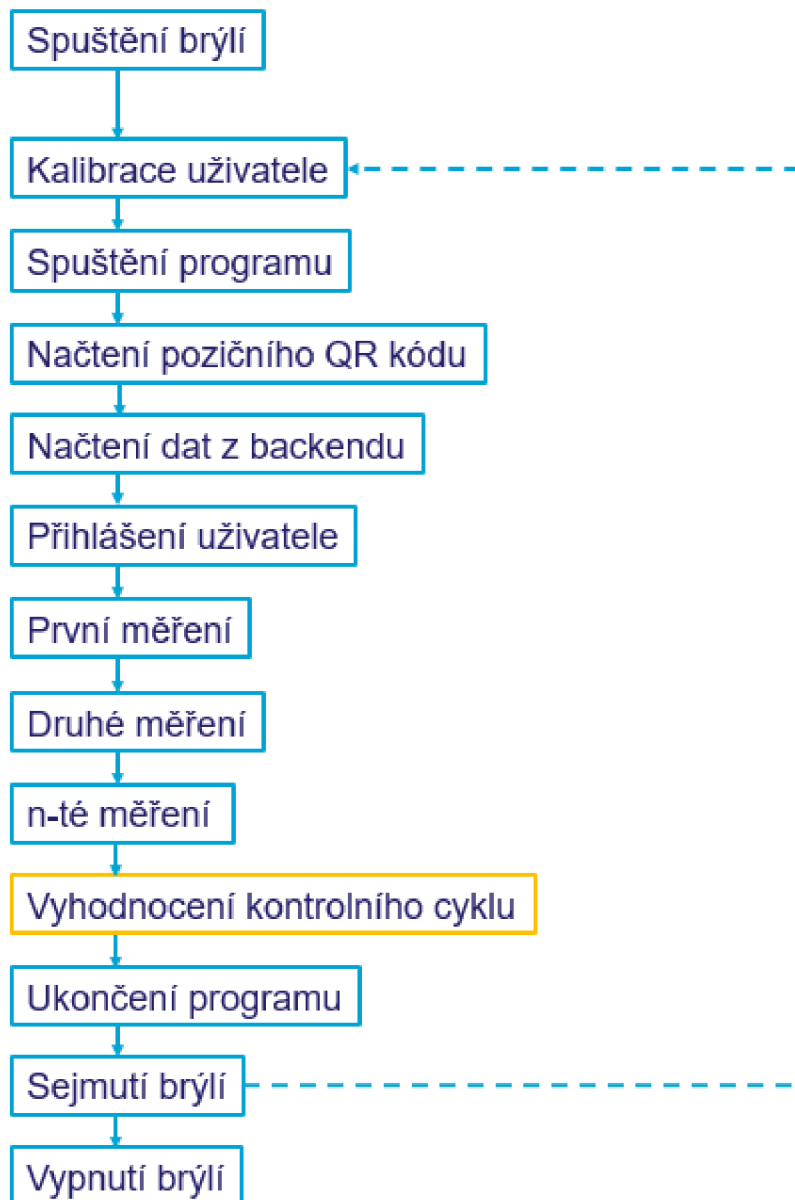
KLASIFIKACE / PENALIZACE VAD:
penalizace = B/40, B1/50: Vada ovlivňuje funkci výrobku nebo jiný parametr a věc může vést ke značné nespokojenosti zákazníka. Silné poškození, omezení, výrazně mimo požadovaný standard (specifikace), nepřijemné, rušivé, poruchy v provozu => lze očekávat reklamace od zákazníků. Rozdělení vad dle přílohy.
: **chybějící komponenty, nezavařené svary, nedolity díl, výrazné vizuální vady, ostré hrany (délci roviny), funkce klíčky, poškozený kabel repa**
penalizace = C/10, C1/20: Není narušena funkce výrobku, věc by mohla vést k malé nespokojenosti zákazníka. Zákazník reklamuje viditelnou vadu. Lze očekávat reklamaci od zákazníka a poruchu při provozu vozu v případě zvýšeného počtu vad. Rozdělení vad dle přílohy.
: **vizuální vady, rozměry, hmotnost, barva**
klasifikace = 0 body: V tomto případě je shoda s požadavky.
* V případě penalizace je nutné vždy provést měření 5 ks => zjištění, zda vada je náhodná nebo systémová. Výjimka je pouze v případě, když na základě výsledků ostatních prováděných měření lze vadu hodnotit jako náhodnou nebo systémovou (např. uvolnění výrobky).
KRITÉRIA SCHVÁLENÍ / ZAMÍTNUTÍ:
* **SCHVÁLENÍ:** u charakteristik podle proměnných a / nebo atributů umožňují přítomnost defektů se 3 srážkovými body přijetí produktu => výsledek auditu výrobku je OK
* **ZAMÍTNUTÍ:** u charakteristik podle proměnných a / nebo atributů vyžaduje přítomnost jednoho nebo více defektů s 5, 15 nebo 55 srážkovými body zamítnutí celého výrobku a přijetí opatření na postiženém výrobku, jakož i řízení vad a provádění požadovaných nápravných opatření => výsledek auditu výrobku je NOK

POZNÁMKY		BLOKACE / TRŽDĚNÍ:	NE
PŘÍLOHY:	---		
ČÍSLO ODCHYLKY:	---		
POZNÁMKY:			
PŘÍTOMNOST U AV PLÁNOVÁNA?:	<input type="checkbox"/> NE		
(MNG, POZ, TQ, ...)			

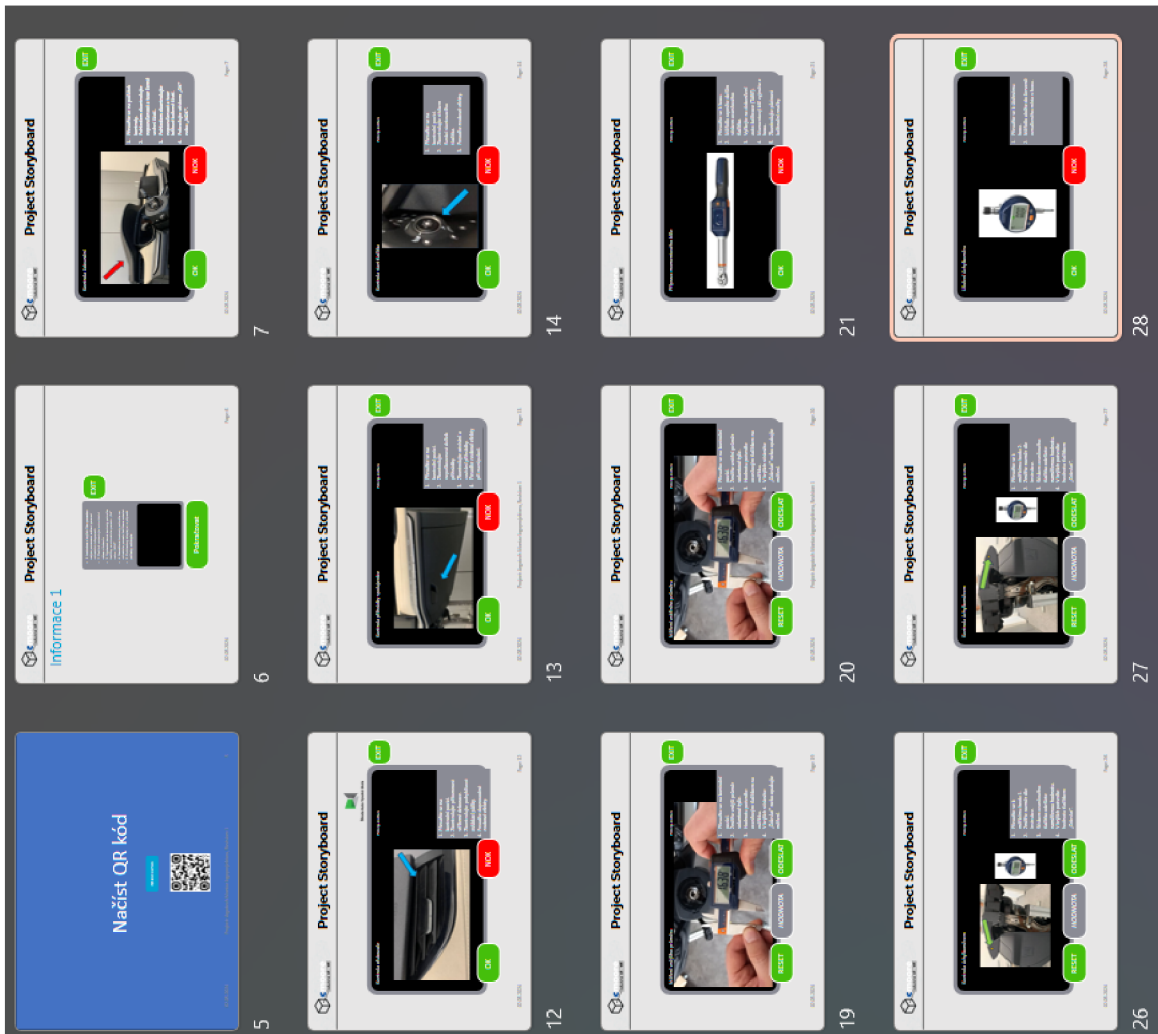
VÝSLEDEK AUDITU				
	B1	B	C1	C
	60	40	20	10
CELKEM NOK ZNAKŮ:	0	0	0	0
SYSTEMATICKÁ / NÁHODNÁ*:	0 / 0	0 / 0	0 / 0	11 / 5
* SYSTEMATICKÁ - počet NOK znaků / NÁHODNÁ - počet NOK ks				
CELKEM ZTRÁTOVÝCH BODŮ:	710	ROZHODNUTÍ		
AUDITOVANÉ DÍLY (KS):	5	(OK?)	ANG:	X
POČET BODŮ NA DÍL:	142	NE:		
VYPRACOVAL:				
29.02.2024				
DATUM:	JMÉNO + PODPIS:			

Zdroj: (Interní dokument GRUPO ANTOLIN TURNOV, 2024)

Příloha 10 Obecný koncept XR aplikace



Příloha 11 Příklad storyboardu



Příloha 12 Příklad skriptu v jazyce C#

```
1 using Microsoft.MixedReality.QR;
2 using System;
3 using System.Collections;
4 using System.Collections.Generic;
5 using System.Threading.Tasks;
6 using UnityEngine;
7 using UnityEngine.Networking;
8 using CmooreCrypto;
9 using CmooreCore;
10 using Newtonsoft.Json;
11 using System.IO;
12
13 namespace CmooreQR
14 {
15     public class CmooreQRAuth : MonoBehaviour
16     {
17
18         [SerializeField]
19         public GameObject LoginSuccessWindow;
20         [SerializeField]
21         public GameObject LoginScreen;
22         [SerializeField]
23         public GameObject InitApp;
24         [SerializeField]
25         public string FirstName;
26         [SerializeField]
27         public string LastName;
28         [SerializeField]
29         public string Email;
30
31         private void Start()
32         {
33             LoginScreen.SetActive(true);
34
35             this.GetComponent<CmooreQRCodesManager>().SetupQRTracking();
36
37         }
38
39         public void PerformLogin(string login)
40         {
41             StartCoroutine(ValidateQRCode(login));
42         }
43
44         private IEnumerator ValidateQRCode(string qrCode)
45         {
46             // encode the code
47             string encryptedCode = CmooreCrypt.EncryptString(qrCode);
48
49             // path to the config file
```

```

50     string SettingsFileAppUsers = Path.Combine
        (Application.persistentDataPath, "app_users.json");
51
52     // load in-app users settings
53     var SettingsReader = new StreamReader(SettingsFileAppUsers);
54     var Settings =
        JsonConvert.DeserializeObject<List<CmooreAppUser>>
        (SettingsReader.ReadToEnd());
55     SettingsReader.Close();
56
57     // SettingsPrefabs.Find(x => x.Name == _template);
58     var _User = Settings.Find(x => x.LoginString == encryptedCode);
59
60     if (_User != null)
61     {
62         FirstName = _User.FirstName;
63         LastName = _User.LastName;
64         Email = _User.Email;
65
66         Debug.Log("User authenticated: " + _User.FirstName + " " +
            _User.LastName);
67
68         //yield return new WaitForSeconds(1);
69
70         // stop tracking here if possible
71         this.GetComponent<CmooreQRCodesManager>().StopQRTracking();
72
73         LoginScreen.SetActive(false);
74         LoginSuccessWindow.SetActive(true);
75     }
76     else
77     {
78         Debug.Log("User not authenticated successfully");
79     }
80
81     yield return 0;
82 }
83
84 public void FinishAuthAndFinalAppLoad()
85 {
86     LoginSuccessWindow.SetActive(false);
87
88     InitApp.GetComponent<CmooreDownloadAppContent>
        ().FinalApplicationLoad();
89 }
90
91 }
92
93 }

```


Příloha 13 Přehled nových digitálních měřidel

Digitální **posuvné měřítko** HCT IP67 s Bluetooth 150 mm s rozlišením 0,01 mm (viz Obrázek 3). Disponuje tzv. rozhraním Bluetooth HID, což umožňuje bezproblémovou integraci do nového konceptu procesu auditu výrobku. Zařízení se tak spáruje s brýlemi HoloLens 2 jako tzv. vstupní zařízení (podobně jako např. bezdrátová klávesnice) a stisknutím tlačítka se hodnota přenese do aplikace pro rozšířenou realitu, která bude spuštěna v brýlích.



Zdroj: (Hoffmann Group, 2024a)

Obrázek 3 Digitální posuvné měřítko

Digitální číselníkový **úchylkoměr** HCT (viz Obrázek 4) s rozlišením 0,01 mm lze podobně díky přítomnosti Bluetooth ve verzi 5.0 použít prostřednictvím rozhraní (HID). Rozsah měření v tomto případě je 12,5 mm a měřicí síla je v rozmezí 0,8-1,4 N.



Zdroj: (Hoffmann Group, 2024b)

Obrázek 4 Digitální úchylkoměr

Elektronický **momentový / úhlový klíč** HCT 12 Nm (viz Obrázek 5) nabízí také díky přítomnosti Bluetooth jednoduchý přenos dat stisknutím tlačítka umístěném na displeji. Odpadá tak nutnost použití kabelů a donglů²⁷ pro přenos dat do externích aplikací.



Zdroj: (Hoffmann Group, 2024c)

Obrázek 5 Elektronický momentový klíč

Digitální **tloušťkoměr (spárová měrka)** Sylvac (viz Obrázek 6) umožňuje měření spár v rozsahu od 0,05 mm do 10,5 mm. Skládá se celkem z 20 plechových listů, jejichž tloušťka se postupně zvyšuje o 0,05 mm, tzn. nejmenší list má tloušťku 0,05 mm a největší pak 1,00 mm. Jedná se o první měřicí zařízení tohoto typu, které je vybaveno technologií Bluetooth pro bezdrátový přenos změřených hodnot.



Zdroj: (Sylvac, 2024)

Obrázek 6 Digitální tloušťkoměr

²⁷ Dongle je malé zařízení, které se připojuje k měřidlu, a slouží k přidání bezdrátového připojení Bluetooth do systémů, které jej standardně neobsahují.

Digitální **váha** DS-673L (viz Obrázek 7) dokáže vážit výrobky do celkové hmotnosti 30 kg. Při jejím objednání je třeba vybrat právě variantu s BLE modulem, který nahrazuje sériové komunikační rozhraní RS232C.



Zdroj: (DIGI, 2024)

Obrázek 7 Digitální váha DS-673L s Bluetooth rozhraním

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Bc. Martin Meško		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců		
NÁZEV PRÁCE	Využití nástrojů rozšířené reality v managementu kvality		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2024
POČET STRAN	109		
POČET OBRÁZKŮ	16		
POČET TABULEK	21		
POČET PŘÍLOH	13		
STRUČNÝ POPIS	<p>Diplomová práce se zabývá uplatněním technologie rozšířené reality v oblasti managementu kvality. Shrnuje teoretické poznatky z oblasti managementu kvality se zaměřením na problematiku auditu výrobku. Na zvoleném výrobku je vyčíslena náročnost na provedení auditu výrobku dle postupů, jak jsou definovány dnes. V další části představuje technologie rozšířené reality. Teoretická část je uzavřena představením možností, jak efektivně využít nástroje rozšířené reality k zefektivnění realizace auditu výrobku. V praktické jsou detailně popsány kroky pro vytvoření aplikace auditu výrobku do datových brýlí Microsoft HoloLens 2 včetně vyčíslení investic do nezbytného vybavení. Následuje vyhodnocení použití digitalizovaného procesu auditu výrobku v praktickém nasazení a vyhodnocení přínosu této transformace. Zejména pak zvýšení efektivity, ekonomické přínosy a vyhodnocení návratnosti investice do digitalizačního projektu.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Rozšířená realita, chytré brýle, HoloLens 2, audit výrobku, management kvality, VDA 6.5, Průmysl 4.0, Kvalita 4.0		

ANNOTATION

AUTHOR	Bc. Martin Meško		
FIELD	International Supply Chain Management		
THESIS TITLE	Use of augmented reality tools in quality management		
SUPERVISOR	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2024
NUMBER OF PAGES			
	109		
NUMBER OF PICTURES			
	16		
NUMBER OF TABLES			
	21		
NUMBER OF APPENDICES			
	13		
SUMMARY	<p>The thesis deals with the application of extended reality technology in the quality management. It summarizes theoretical knowledge with a focus on the issue of product audit. On a selected product, the cost of performing a product audit according to the procedures as they are defined today is quantified. In the next section, it introduces augmented reality technologies. The theoretical part is concluded by presenting the possibilities of using augmented reality tools to make product auditing more efficient. In the practical part, the steps for creating a product audit application in Microsoft HoloLens 2 data glasses are described in detail, including quantification of the investment in the necessary equipment. This is followed by an evaluation of the use of the digitized product audit process in a practical deployment and an assessment of the benefits of this transformation. In particular, the efficiency gains, the economic benefits and an evaluation of the return on investment of the digitisation project.</p>		
KEY WORDS	<p>eXtended reality, smart glasses, HoloLens 2, product audit, quality management, VDA 6.5, Industry 4.0, Quality 4.0</p>		