

Interaktivní aplikace rozšířené reality pro zlepšení procesu kontroly kvality ve výrobě – pilotní studie

Kristýna Havlíková, Petr Hořejší, Pavel Kopeček

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika

khavliko@kp.v.zcu.cz

tucnak@kp.v.zcu.cz

kopecek@kp.v.zcu.cz

Anotace: Kontrola kvality je nezbytnou součástí průmyslových systémů. Rozšířená realita má potenciál pomáhat operátorům lépe se soustředit na úkol a mít zároveň k dispozici virtuální data. Je proto důležité ověřit, zda je s podporou této technologie možné pomoci pracovníkům vykonávat kontrolní činnosti rychleji, efektivněji a s menší mentální zátěží než s tradičními papírovými podklady. Tento článek popisuje pilotní interaktivní aplikaci rozšířené reality určenou pro podporu inspektorů kvality při kontrole svařenců. Nástroj je navržen tak, aby pracovníka provedl celým procesem, poskytl mu všechny relevantní informace a pomohl mu najít případné odchylky nebo neshody. Se skupinou pěti probandů byla provedena pilotní studie, která potvrdila potenciál, použitelnost a funkčnost řešení pomocí standardizovaných dotazníků.

1 Úvod

Výrobní podniky jsou v dnešní době nuceny dosahovat stále vyšší efektivity a kvality při co nejnižších nákladech. Ve vědeckém i praktickém prostředí proto roste zájem o inovativní přístupy k racionalizaci. Koncepte Industry 4.0 transformuje vztah mezi digitálním a fyzickým prostředím. Rozšířená realita (Augmented Reality – AR) může sloužit jako podpůrný nástroj v mnoha průmyslových odvětvích, včetně strojírenské výroby. Díky rychlému vývoji této technologie z hlediska rozlišení, výpočetního výkonu a spotřeby energie se AR stává dostupnější pro vědecké výzkumy i praktické aplikace. Kontrola kvality zahrnuje komplexní úkoly vyžadující vysokou úroveň dovedností, zkušeností a soustředění. Pro inspektory představují tyto úkoly značnou kognitivní zátěž. [1]

Je proto důležité ověřit, zda může rozšířená realita pomoci pracovníkům vykonávat tyto činnosti efektivněji ve srovnání s tradiční papírovou dokumentací, aniž by se zvýšila jejich vnímaná mentální zátěž. Rostoucí množství holistických dat vyžaduje interoperabilitu a změny v metodice kontroly kvality. [2] Ke zlepšení flexibility výrobních procesů je nutné zvýšení dostupnosti a propojení relevantních informací. [3] Rostoucí počet publikací věnovaných aplikacím rozšířené reality v průmyslovém kontextu naznačuje, že o tuto technologii je v této oblasti stále větší zájem. [4]

Rozšířenou realitou jako nástrojem pro podporu pracovníků se zabývala řada autorů.[5],[6] Autoři se zabývají možnostmi podpory pracovníků prostřednictvím sdílení odborných znalostí, zvýšení efektivity a snížení rizika chyb plynoucích z nedostatku zkušeností, rozptýlení nebo nepozornosti. Kontrolním postupům při svařování se věnují autoři například v [7], [8].

V [9] je představen systém zobrazující pokyny pro přečtení QR kódu. Podobně [10] navrhuje kontrolní systém založený na rozšířené realitě, který zobrazuje 3D modely přes reálné objekty. V [11] je představen nástroj AR pro kontrolu instalace potrubních systémů. K detekci objektů je zde využíván systém QR markerů. Autoři sledovali parametry produktivity a jako první zkoumali systém z hlediska mentální zátěže vnímané uživateli.

Na základě rešerše literatury byla zjištěna dosud neprozkoumaná oblast výzkumu, na kterou se zaměřuje tato studie. Zkoumá rozšířenou realitu jako nástroj pro systematickou a interaktivní podporu kontrolorů kvality při kontrole svařovaných sestav bez použití dodatečných markerů. Tento článek představuje software AR, jeho návrh, vývoj a pilotní studii provedenou se skupinou probandů s cílem získat zpětnou vazbu o funkčnosti a použitelnosti navrženého nástroje. Jedná se o základ rozsáhlého výzkumu pro sledování dopadu kontroly kvality s využitím AR jako nástroje pro zvýšení efektivity kontroly při současném snížení kognitivní zátěže vnímané pracovníky.

Tato studie se zaměřuje na malosériovou vysoce variabilní výrobu, kde se pracovník setkává s velkým počtem často relativně podobných výrobků s pravděpodobností častých technických změn, u nichž není možné nebo výhodné uvažovat o plné automatizaci výroby nebo kontroly. Tyto objekty je třeba správně identifikovat a vyhodnocovat s plnou a nepřetržitou koncentrací. Pro zjednodušení se v této studii uvažují svařované průmyslové výrobky menších rozměrů.

V první části tohoto článku je popsán návrh a vývoj interaktivního nástroje pro rozšířenou realitu, naprogramované funkce a podmínky vytváření datových sad. Poté je shrnuta metodika výzkumného projektu a představen průběh pilotní studie. V další části jsou diskutovány výsledky a poznatky pilotní studie. Nakonec jsou shrnuty přínosy této studie a směry dalšího výzkumu.

2 Návrh a vývoj softwaru pro rozšířenou realitu

Na základě poznatků získaných z rešerše odborných publikací byl navržen a popsán interaktivní software pro rozšířenou realitu. Jeho účelem je zvýšit produktivitu a pravděpodobnost odhalení chyb ve srovnání s používáním tradičních papírových podkladů. Současně se tato racionalizace snaží minimalizovat kognitivní zátěž, kterou pracovníci při provádění těchto činností vnímají, a prozkoumat možné prostředky pro snížení této zátěže. Cílem je také dosáhnout pozitivního hodnocení použitelnosti softwaru.

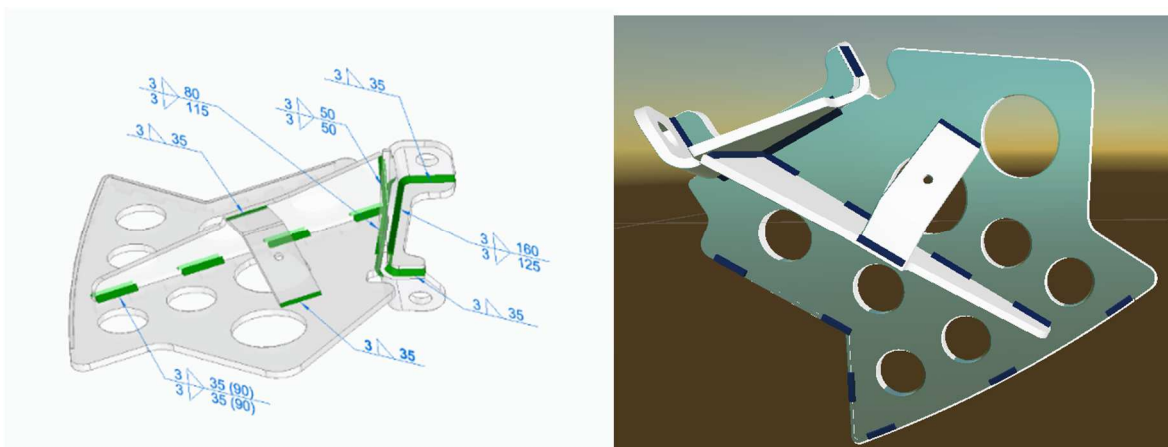
2.1 Návrh softwaru pro rozšířenou realitu

Cílem této pilotní studie je ověřit funkčnost prostředí AR a shrnout připomínky a návrhy pro další vývoj softwaru a metodiku následného výzkumu. Úkolem inspektora v tomto procesu je ověřit, zda při výrobě kontrolovaného svařence nedošlo k chybě. Musí posoudit umístění svařovaných komponent a umístění svarů. S rostoucí složitostí výrobku roste pravděpodobnost chyby. Se zpožděním při odhalení chyby rostou i náklady na ni. Proto je navržen nástroj rozšířené reality, který interaktivně podpoří inspektora při interpretaci geometrie výrobku a zároveň bude flexibilní pro použití přímo na místě kontroly. Z tohoto důvodu bude upřednostněna varianta pro tablet nebo chytrý telefon.

2.2 Příprava souboru dat

Aplikace rozšířené reality byla vyvinuta s pomocí Unity 3D a Vuforia SDK (Software Development Kit). Unity je plně integrovaný multiplatformní herní engine. Vuforia byla vybrána díky své vysoké kompatibilitě s Unity a přenosnými zařízeními.

Na rozdíl od podobných studií nebudou použity žádné uměle vytvořené 2D markery. Místo toho budou díly rozpoznávány s pomocí metody bezmarkerové detekce objektu. Jedná se o techniku využívající metodu deep learning. V prostředí Vuforia je na základě zadaného modelu CAD a definovaných parametrů vytrénována databáze umělé inteligence, která je uložena v cloudu a propojena prostřednictvím Unity s nástrojem AR. Díky tomu může samotný kontrolovaný díl fungovat jako marker. Namířením kamery zařízení na reálný výrobek je spuštěno prohledávání databáze, na obrazovce nad snímaným dílem se zobrazí virtuální model a naprogramované uživatelské prostředí. Tento způsob uživateli pomáhá při interpretaci předepsaných specifikací. Varianta detekce reálného objektu by mohla přispět k omezení negativního vlivu světelných podmínek a minimalizovat riziko chybného rozpoznání modelů.

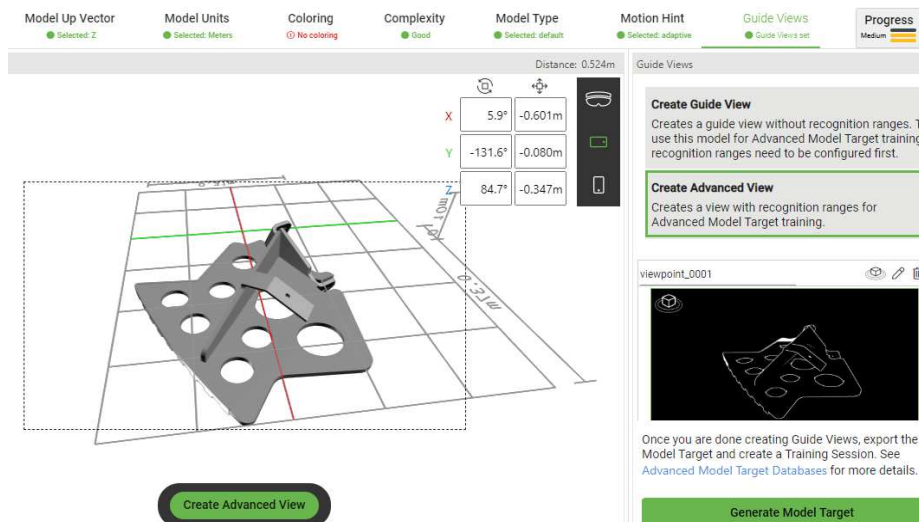


Obrázek 1 - Model pro pilotní AR SW

Rozšíření Vuforia Model Target Generator umožňuje použít 3D CAD model namísto ručního skenování modelu, které může být poměrně pracné, nespolehlivé pro složitější díly a náchylné k nepřesnostem v závislosti na

světelných podmínkách. Model použitý pro tuto pilotní studii znázorňuje Obrázek 2-1.

Vstupní parametry jsou manuálně vydefinovány a pomocí algoritmů deep learning je vytvořena a vytrénována databáze a je zpracován model pro funkci inteligentní detekce objektu. Ukázka konfigurace modelu je znázorněna na Obrázku 2-2. Po tomto nastavení je možné naprogramovat interaktivní obsah.



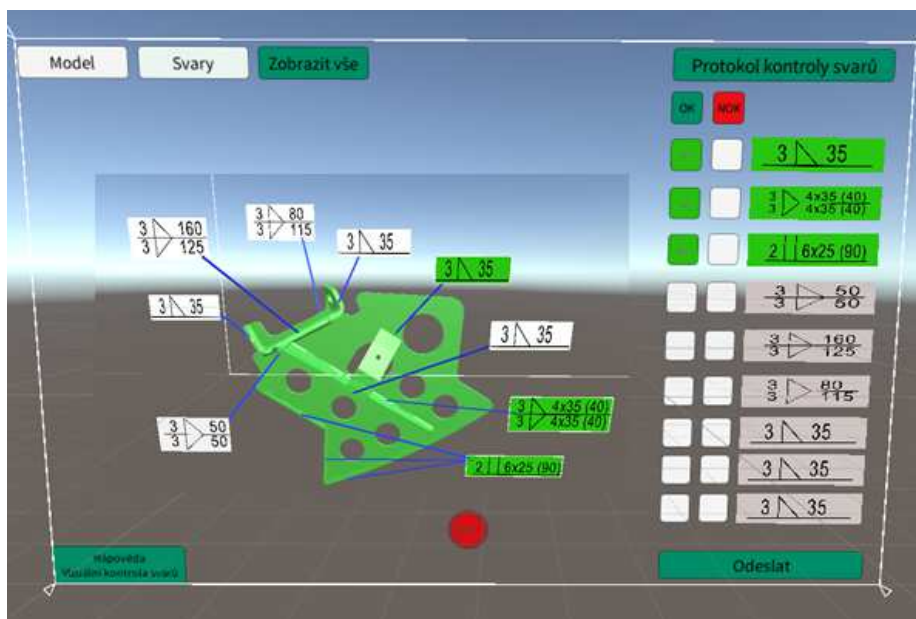
Obrázek 2 - Příprava datové sady pro pilotní AR SW

2.3 Vývoj softwaru pro rozšířenou realitu

Navrhovaný software slouží jako podpůrný nástroj pro kontrolu svařence. Návrh virtuálního prostředí a interaktivních funkcí byl vytvořen a upraven na základě rozhovorů s pracovníky, kteří mají zkušenosti s kontrolou kvality svařovaných konstrukcí.

Aplikaci lze v Unity 3D sestavit pro platformy iOS, Android nebo pro univerzální Windows platformu. Při pilotním testování byla použita varianta tabletu nebo chytrého telefonu s operačním systémem Android.

Základní funkcí je detekce a sledování kontrolovaného dílu. Byl vytvořen virtuální obsah, který uživatele intuitivně provede celým procesem kontroly. Hlavní část aplikace tvoří grafické porovnání s modelem CAD a informativní panely interaktivně propojené s reálným objektem. Druhou část tvoří uživatelské rozhraní. Zobrazené údaje lze vybírat pomocí dynamických tlačítek. Aplikace je doplněna interaktivním checklistem. Uživatel může také zobrazovat nebo skrývat stránku nápovědy s dalšími pokyny pro kontrolu daného dílu.



Obrázek 3 - Interaktivní uživatelské rozhraní softwaru

Obrázek 2-3 ukazuje interaktivní rozhraní rozšířené reality. Úkolem kontrolora je ověřit, zda jsou všechny součásti umístěny ve správné poloze a zda délka, počet a umístění svarových spojů odpovídají požadavkům konstruktéra.

Představený pilotní nástroj byl vyvinut jako základ pro budoucí rozšířený výzkum, který bude podrobněji popsán na konci tohoto článku.

2.4 Pilotní studie: Metodika

Pilotní studie byla provedena s nasazením navrženého SW se skupinou 5 probandů, aby byla ověřena jeho funkčnost a použitelnost. Tato část popisuje výsledky úvodní pilotní studie, výhody a limity řešení AR a plány dalšího výzkumu. K vyhodnocení interakce se SW a k určení směrů dalšího výzkumu a návrhu rozšířeného SW byl použit standardizovaný dotazník System Usability Scale (SUS) a rozhovory s probandy.

Pilotní studie byla omezena na kontrolu jednoho dílu. Cílem bylo ověřit funkčnost a případně shrnout návrhy na další úpravy. Jako probandi byli vybráni dobrovolníci pracující jako inspektoři kvality ve strojírenství s minimálně roční pracovní zkušeností z této pozice. Pilotní skupinu tvořily 2 ženy a 3 muži. Ženy byly ve věku 50 a 32 let a muži ve věku 27, 33 a 42 let. Testování probíhalo na pracovišti kontroly kvality na svařovně.

Pilotní studie proběhla v několika krocích, včetně krátkého seznámení s nástrojem a jeho funkcemi, které trvalo každému probandovi asi 5 minut. Každý proband pak dostal několik minut na seznámení se s aplikací před zahájením vlastního testu. Uživatelé pracovali s chytrými telefony a tablety, žádný z probandů neměl s ovládnutím aplikace výrazné problémy.

Po ukončení této fáze byly s probandy vedeny rozhovory s cílem získat případné nápady na zlepšení. Účastníci také vyplnili dotazník SUS pro hodnocení použitelnosti. Dotazník SUS obsahuje 10 otázek. Odpovědi jsou

vyjádřeny na pětibodové Likertově škále. Odpovědi jsou sečteny a převedeny pomocí multiplikačních koeficientů. Výsledné skóre se pohybuje od 0 do 100. Tato stupnice je rozdělena do různých úrovní použitelnosti.

3 Výsledky a diskuze

Tato část shrnuje výsledky pilotní studie. Navržený nástroj byl hodnocen z hlediska funkčnosti a použitelnosti pomocí standardizovaných dotazníků SUS a rozhovorů s probandy. Účastníci hodnotí použitelnost aplikace pozitivně, což potvrzují výsledky dotazníků SUS a osobních rozhovorů. Výsledný průměr hodnocení SUS byl 78 bodů s průměrnou odchylkou 3,7. Hranice přijatelnosti skóre SUS se pohybuje na hranici 70 bodů. Průměrná hodnota tedy dosáhla úrovně hodnocení jako „výborná“. [12]

Uživatelé oceňují dobrou použitelnost a praktickou funkčnost při efektivní podpoře kontrolních činností. Konkrétně oceňují „možnost použití jednoduché srovnávací metody pro prvotní posouzení dílu“, „vizuální zobrazení svarů, které se tradičně musí hledat na několika výkresových listech a v několika pohledech a řezech“ a v neposlední řadě „průběžné vizuální označování již kontrolovaných oblastí, čímž se snižuje riziko přehlédnutí některých předepsaných svarů“. Uživatelé se pozitivně zmínili o optimální velikosti vybraného dílu pro manipulaci a provedení této kontroly.

Mezi návrhy na zlepšení patřila například potřeba zvýšit kontrast a upravit průhlednost některých grafických prvků. Uživatelé kladně hodnotili možnost použití chytrého telefonu, který při zachování dobré čitelnosti a přehlednosti umožňoval volnou manipulaci jednou rukou s měřicími nástroji nebo kontrolovaným výrobkem.

Podobně jako [10], [13] představuje tento článek návrh a vývoj inovativního nástroje rozšířené reality pro průmyslové aplikace. V [10] je popsán rámec pro anotace AR, který umožňuje generovat užitečné informace, zpřístupnit je uživatelům a usnadnit interakci s nimi. Relevantní informace zadávají sami koncoví uživatelé, čímž se snižuje riziko redundantních údajů. Na rozdíl od této studie používají autoři možnost skenování kontrolovaného dílu. Možnost skenování dílu je však spojena s nepřesnostmi, což klade vysoké nároky na stabilní vizuální detaily a rovnoměrné světelné podmínky při skenování a následné detekci. V [13] je pro kontrolu instalace potrubního systému použit systém 2D markerů. I v tomto případě byla provedena studie s koncovými uživateli. Autoři také řeší nevýhody nepříznivých světelných podmínek. Uvedené studie prokazují pozitivní výsledky hodnocení použitelnosti a vykazují potenciál pro další rozvoj.

Z pilotní studie lze předpokládat, že navržený SW by mohl být úspěšně přijat pro podporu kontroly kvality a odhalování neshod a odchylek. Hodnocení uživatelů vykazuje pozitivní výsledky z hlediska použitelnosti a intuitivního ovládání. Jedním z faktorů, který přispěl k tomuto pozitivnímu výsledku, bylo zapojení koncových uživatelů do fáze návrhu.

4 Závěr a budoucí výzkum

V článku byl představen vývoj softwaru rozšířené reality pro podporu řízení kvality v průmyslových procesech. Ověření bylo provedeno v pilotní studii se skupinou probandů hodnotící použitelnost pomocí dotazníku SUS. Výsledky potvrdily vysokou úroveň použitelnosti. Současně byly shromážděny poznatky pro další vývoj softwaru a návrh metodiky rozsáhlého výzkumu. Software byl vyvinut v prostředí Unity 3D ve spojení s Vuforia SDK. K rozpoznání kontrolovaného dílu se používá metoda detekce objektu bez dodatečných markerů. Po rozpoznání dílu se v zorném poli uživatele automaticky zobrazí interaktivní prostředí, které pracovníka provede kontrolním procesem. Nástroj je určen pro zařízení jako jsou chytré telefony nebo tablety. Pilotní studie potvrdila dobrou čitelnost, a dostatečné rozlišení i při použití chytrého telefonu. Cílem bylo ověřit použitelnost softwaru AR pro další vývoj nástroje pro rozsáhlý výzkum. Navržený nástroj je určen pro terénní výzkum na reálném kontrolním pracovišti v kontrolovaných podmínkách odpovídajících úrovni složitosti kontrolních činností obvyklých pro daný proces a obor.

Následný výzkum bude proveden pomocí sady několika podobných dílů. Vzhledem k vysoké variabilitě velmi podobných výrobků je i pro zkušené inspektory obtížné se rychle orientovat při kontrole, identifikaci dílů a interpretaci požadavků. Testovány budou sady dílů, které záměrně obsahují vady související s umístěním součástí nebo svarů. Inspektoři budou provádět kontrolu a budou sledovány objektivní ukazatele, jako je rychlost nebo úspěšnost nalezení vady. Uživatelé budou hodnotit systém z hlediska použitelnosti pomocí dotazníku SUS a z hlediska vnímané mentální zátěže pomocí dotazníku NASA TLX.

Obecně jsou výsledky pilotní studie povzbudivé pro další výzkum možností integrace nástroje AR do průmyslových kontrolních procesů.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS-2021-028 s názvem "Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému" řešeného v rámci Interní grantové agentury Západočeské univerzity v Plzni.

Použitá literatura

- [1] C. D. Wickens, W. S. Helton, J. G. Hollands, and S. Banbury, "Engineering Psychology and Human Performance," *Engineering Psychology and Human Performance*, Aug. 2021, doi: 10.4324/9781003177616/ENGINEERING-PSYCHOLOGY-HUMAN-PERFORMANCE-CHRISTOPHER-WICKENS-WILLIAM-HELTON-JUSTIN-HOLLANDS-SIMON-BANBURY.
- [2] D. Imkamp *et al.*, "Challenges and trends in manufacturing measurement technology - The 'industrie 4.0' concept," *Journal of Sensors and Sensor*

- Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 325–335, Oct. 2016, doi: 10.5194/jsss-5-325-2016.
- [3] J. Molleda, J. L. Carús, R. Usamentiaga, D. F. García, J. C. Granda, and J. L. Rendueles, “A fast and robust decision support system for in-line quality assessment of resistance seam welds in the steelmaking industry,” *Comput Ind*, vol. 63, no. 3, pp. 222–230, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.COMPIND.2012.01.003.
- [4] E. Bottani and G. Vignali, “Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade,” *IISE Trans*, vol. 51, no. 3, pp. 284–310, Mar. 2019, doi: 10.1080/24725854.2018.1493244.
- [5] R. Palmarini, J. A. Erkoyuncu, R. Roy, and H. Torabmostaedi, “A systematic review of augmented reality applications in maintenance,” *Robot Comput Integr Manuf*, vol. 49, pp. 215–228, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.RCIM.2017.06.002.
- [6] E. Bottani *et al.*, “Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line,” *Comput Ind*, vol. 128, Jun. 2021.
- [7] D. Antonelli and S. Astanin, “Enhancing the quality of manual spot welding through augmented reality assisted guidance,” *Procedia CIRP*, vol. 33, pp. 556–561, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.06.076.
- [8] J. Zhou, I. Lee, B. Thomas, R. Menassa, A. Farrant, and A. Sansome, “Applying Spatial Augmented Reality to facilitate in-situ support for automotive spot welding inspection,” *Proceedings of VRCAI 2011: ACM SIGGRAPH Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications to Industry*, pp. 195–200, 2011, doi: 10.1145/2087756.2087784.
- [9] P. Ramakrishna *et al.*, “An AR Inspection Framework: Feasibility Study with Multiple AR Devices,” *Adjunct Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR-Adjunct 2016*, pp. 221–226, Jan. 2017, doi: 10.1109/ISMAR-ADJUNCT.2016.0080.
- [10] F. He, S. K. Ong, and A. Y. C. Nee, “A mobile solution for augmenting a manufacturing environment with user-generated annotations,” *Information (Switzerland)*, vol. 10, no. 2, 2019, doi: 10.3390/INFO10020060.
- [11] L. Barbieri and E. Marino, “An Augmented Reality Tool to Detect Design Discrepancies: A Comparison Test with Traditional Methods,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 11614 LNCS, pp. 99–110, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-25999-0_9.
- [12] J. R. Lewis, B. S. Utesch, and D. E. Maher, “Measuring Perceived Usability: The SUS, UMUX-LITE, and AltUsability,” *Int J Hum Comput*

Interact, vol. 31, no. 8, pp. 496–505, Aug. 2015, doi: 10.1080/10447318.2015.1064654.

- [13] E. Marino, L. Barbieri, B. Colacino, A. K. Fleri, and F. Bruno, “An Augmented Reality inspection tool to support workers in Industry 4.0 environments,” *Comput Ind*, vol. 127, May 2021.