

PAPILDYOTOSIOS REALYBĖS TECHNOLOGIJOS PANAUDOJIMO ELEKTRONIKOS PRAMONĖJE TENDENCIJOS

Karolina BRAZAUSKAITĖ*, Vida DAVIDAVIČIENĖ

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Verslo vadybos fakultetas,
Verslo technologijų ir verslininkystės katedra, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva*
**El. paštas karolina.brazauskaite@stud.vilniustech.lt*

Gauta 2023 m. sausio 14 d.; priimta 2023 m. balandžio 6 d.

Santrauka. Dėl didėjančio išmaniųjų prietaisų poreikio bei dėl vis trumpėjančio produkto gyvavimo ciklo elektronikos pramonė yra nuolat sparčiai augantis pramonės sektorius, todėl yra siekiama kuo labiau padidinti gamybos apimtį bei sumažinti gamybos kaštus. Didelė dalis šios pramonės sektoriaus produkcijos yra gaminama žmogaus rankomis, o toks darbo pobūdis yra pagrindinė priežastis brokui atsirasti. Papildytosios realybės technologija yra įvardijama kaip pagrindinė technologija, kuri leidžia išvengti žmogiškojo faktoriaus klaidų gamybos procese, kadangi papildytosios realybės sistema leidžia darbuotojams pasiekti skaitmeninę informaciją per informacijos sluoksnį, esantį fiziniame pasaulyje. Pagrindinis šio straipsnio tikslas yra nustatyti papildytosios realybės panaudojimo elektronikos pramonėje tyrimų aktualumą. Šiame tyrime yra atliekama mokslinių publikacijų, susijusių su papildytąja realybe elektronikoje, bibliometrinė analizė, o gauti rezultatai yra atvaizduojami naudojantis „VOSviewer“ programa. Atlikus tyrimą gauta, jog publikacijų šia tematika vis daugėja, taigi tematikos aktualumas didėja. Daugiausia tyrimų šia tema atlieka A. Mantri, G. S. C. Bermudez, D. Makarov tokiose valstybėse kaip Ispanija, Jungtinės Amerikos Valstijos bei Indija.

Reikšminiai žodžiai: elektronikos pramonė, papildytoji realybė, bibliometrinė analizė, „VOSviewer“.

Įvadas

Elektronikos pramonė sparčiai auga visame pasaulyje atsiradus naujoms technologijoms ir gaminių naujovėms (Agrawal et al., 2018). Trumpas gaminio gyvavimo ciklas taip pat prisideda prie didėjančios elektronikos produktų paklausos (Agrawal et al., 2018). Didėjant gamybos apimčiai didėja ir broko tikimybė, dėl šios priežasties vis dažnėja pagamintos produkcijos atšaukimai. Todėl įmonės patiria finansinių, laiko ir gamybai reikalingų resursų nuostolius.

Rankinis surinkimas išlieka svarbiu daugelio produktų gamybos žingsniu ir yra atsakingas už daugelio darbuotojų įdarbinimą (Bauer et al., 2021). Nepaisant to, rankinis surinkimas didina žmogiškųjų klaidų atsiradimo tikimybę (Bauer et al., 2021). Dėl šių priežasčių pramonė vis labiau pereina prie skaitmeniniu būdu įgultų „išmaniųjų gamyklų“ (Egger & Masood, 2020). Pagrindinė technologija, palengvinanti žmonių integraciją į tokias gamybos sistemas, yra papildytoji realybė, kuri suteikia žmonėms galimybes sąveikauti su skaitmeniniu išmaniosios gamyklos pasauliu (Egger & Masood, 2020).

Papildytoji realybė yra viena iš įgalinančių technologijų Pramonei 4.0, kuri gali padėti teikdama pagal poreikį reikiamas gaires ir palaikydama stebėjimo funkcijas, atitinkančias visuotinės kokybės valdymą (Bauer et al., 2021). Papildytoji realybė pasirodė esanti svarbi interaktyvi priemonė, padedanti sumažinti kognityvinį krūvį, panaikindama atotrūkį tarp atliekamos užduoties ir atitinkamos informacijos, rodydama informaciją netrikdant vartotojo dėmesio (Sahu et al., 2021). Papildytoji realybė yra ypač naudinga gamybos aplinkoje, kur tokios užduotys kaip surinkimas ir priežiūra, turi būti atliekamos ekonomiškiausiu ir efektyviausiu būdu (Sahu et al., 2021). Remiantis šiomis prielaidomis, papildytosios realybės rankinio surinkimo sistema buvo sukurta kaip sistema, padedanti rankiniu būdu surinkti elektronikos pramonėje gaminamas mikroschemas (Bauer et al., 2021). Yra įvardijama, jog papildytosios realybės programinės įrangos panaudojimas teigiamai pasitarnauja šiuose mikroschemų surinkimo etapuose: mažinant klaidas, gerinant kokybę, pateikiant naujų mokymą ir informacijos šaltinius surinkėjui (Bauer et al., 2021).

Tyrimo problema. Pramonės 4.0 principai leidžia vis labiau skaitmenizuoti bei optimizuoti gamybos procesus, o papildytosios realybės technologija yra įvardijama kaip viena tinkamiausių technologijų, palengvinanti elektronikos produktų surinkimo procesą (Egger & Masood, 2020; Fraga-Lamas et al., 2018). Tačiau papildytosios realybės technologijos taikymas elektronikos pramonėje yra vis dar traktuojamas kaip ateities gamybos dalis, todėl šiuo metu yra atlikta nepakankamai mokslinių tyrimų šia tematika.

Tyrimo objektas. Papildytosios realybės technologijos taikymo elektronikos pramonėje tyrimų tendencijos.

Šio straipsnio tikslas. Ištirti ir įvertinti papildytosios realybės panaudojimo elektronikos pramonėje tyrimų ribotumus ir identifikuoti tyrimų kryptį.

Uždaviniai tikslui pasiekti:

1. Nustatyti papildytosios realybės panaudojimo elektronikos pramonėje teorinius aspektus.
2. Sudaryti tyrimo metodiką.
3. Atlikti mokslinės literatūros bibliometrinę analizę.

Šiame darbe aprašomos papildytosios realybės galimybės ir panaudojimo sritys, elektronikos pramonės specifiškumas bei papildytosios realybės technologijos panaudojimo elektronikos pramonėje privalumai ir trūkumai. Atliekama nagrinėjama tematika parašytų mokslinių šaltinių bibliometrinė analizė, siekiant įrodyti papildytosios realybės technologijos panaudojimo elektronikos pramonėje tyrimų srities aktualumą.

1. Papildytosios realybės panaudojimo elektronikos pramonėje teoriniai aspektai

1.1. Papildytoji realybė

Papildytoji realybė – tai terminas, vartojamas identifikuoti technologijų rinkinį, leidžiantį realaus pasaulio aplinkos vaizdą „papildyti“ kompiuteriu sukurtais elementais ar objektais (Bottani & Vignali, 2019). Tiksliau, papildytoji realybė apibūdina tarpininkaujančią realybę, kai fizinės realaus pasaulio aplinkos vizualinis suvokimas yra pagerinamas naudojant kompiuterinius įrenginius (Bottani & Vignali, 2019). Papildytoji realybė nesiekia realaus pasaulio pakeisti imituotu, todėl dar gali būti traktuojama kaip mišrios realybės sistema (Bottani & Vignali, 2019).

Amin ir Govilkar (2015) teigia, jog sąvoka *papildytoji realybė* reiškia besiformuojančią technologiją, kuri leidžia realiuoju laiku sujungti kompiuterio apdorojamą skaitmeninę informaciją su informacija, gaunama iš realaus pasaulio, naudojant tinkamas kompiuterio sąsajas. Papildytoji realybė – tai visapusiška informacinė technologija, sujungianti skaitmeninį vaizdo apdorojimą, kompiuterinę grafiką, dirbtinį intelektą, multimedijos technologijas ir kitas sritis (Amin & Govilkar, 2015).

Naujausios nešiojamųjų kompiuterių naujovės ir platus išmaniųjų telefonų paplitimas atgaivino temą ir paskatino kurti daugybę naujų programų (Quandt et al., 2018). Tikimasi, kad technologija ateityje veiks gerai, ypač kuriant intuityvią žmogaus ir mašinos sąsają (Quandt et al., 2018). Tikimasi, kad pramoninės papildytosios realybės programos gerai veiks šiose srityse (Quandt et al., 2018):

- Produkto dizainas – interaktyvių 3D modelių vizualizacija kuriant ir pristatant prototipus.
- Gamyklos projektavimas – suplanuoto išdėstymo vizualizacija realioje gamyklos aplinkoje.
- Mokymai – išplėstinis mokymo modeliavimas arba gamybos procesų optimizavimas realioje aplinkoje.
- Pagalba gamyboje – virtuali pagalbos sistema per kontekstui jautrią informaciją apie gamybos procesus, rankinį surinkimą ir gaminius cecho lygmeniu.
- Kokybės užtikrinimas – papildytąją realybę pagrįsta pagalba vizualizuojant jutiklių duomenis arba gedimų valdymo informaciją.
- Gamybos logistika – vidaus navigacijos palaikymas naudojant papildytąją realybę pagrįstus nurodymus.
- Nuotolinė priežiūra – papildytąją realybę pagrįstas nuotolinis ryšys, skirtas techninės priežiūros personalui palaikyti.

Taip pat Quandt et al. (2018) išskiria, jog yra tam tikri reikalavimai kuriant bei integruojant papildytąją realybę:

- Ekonominis efektyvumas – laukiama grąža turi pateisinti išlaidas, kurių reikia kuriant ir integruojant papildytąją realybę.
- Duomenų saugumas – jei dėl duomenų įrašymo ar padėties sekimo darbuotojai yra stebimi, taikomi tam tikri įstatymai ar taisyklės, dėl kurių gali kilti konfliktų su darbuotojais ir jų tarybomis, todėl dėl bet kokio duomenų rinkimo turėtų būti susitarta ir turi būti užtikrintas duomenų saugumas.
- Taikomos taisyklės – kuriant ir integruojant papildytosios realybės programas, reikia atsižvelgti į taisykles, pvz., darbo saugos taisykles arba higienos specifikacijas.
- Sistemos patikimumas – programai turėtų būti reikalinga minimali priežiūra ir ji turi būti kuo patikimesnė.
- Pateikimo tikslumas – realių ir virtualių objektų derinimo tikslumas būtinas siekiant sumažinti galimas klaidas.
- Ergonomija – įrangos konstrukcija ir veikimas turėtų būti orientuoti į žmogų ir atsižvelgti į tam tikrus žmogiškuosius veiksnius, pvz., sumažėjusį dėmesį ar akių nuovargį ilgesnio veikimo metu.

Pagrindiniai papildytosios realybės sistemos komponentai yra vizualizacijos technologija, jutiklių sistema, sekimo sistema, apdorojimo blokas ir vartotojo sąsaja (Egger & Masood, 2020):

- Vizualizacijos technologija vizualizuoja skaitmeninę informaciją realios aplinkos kontekste. Papildytosios realybės sistemoms galimos keturios pagrindinės vizualizacijos technologijos: ant galvos montuojami ekranai, delniniai įrenginiai, statiniai ekranai ir projektoriai. Vizualizacijos sistema gali būti stacionari arba mobili.
- Jutiklių sistema informaciją gauna iš aplinkos.
- Sekimo sistema leidžia tiksliai išdėstyti skaitmeninius objektus fiziniame aplinkoje.
- Papildytosios realybės vartotojo sąsaja siunčia grįžtamąjį ryšį iš sistemos į vartotoją bei gauna grįžtamąjį ryšį iš vartotojo į sistemą.
- Apdorojimo blokas atlieka programinės įrangos veikimą bei gali būti sujungtas su kitais duomenų šaltiniais, kuriuos galima gauti arba pateikti realiuoju laiku.

Gamybos įmonėse įdiegta papildytosios realybės technologija padidina gamybos ir paslaugų teikimo efektyvumą bei pagerina pramonės procesų kokybę ir našumą (Balco et al., 2022).

1.2. Elektronikos pramonės ypatumai

Pagrindinė elektronikos prietaisų sudedamoji dalis yra mikroschemos ir, kaip teigia Kharchenko (2015), 60 % visų plataus vartojimo elektros prietaisų gedimo priežastis yra nekokybiškos mikroschemos. Defektų atsiradimas sudaro papildomas finansines bei išteklių, reikalingų elektronikos pramonėje, išlaidas (Raw materials for consumer electronics 'at risk of running out', 2022).

Elektros mikroschemų gamyba vis dar daugiausiai atliekama rankiniu būdu (Bauer et al., 2021). Rankinis surinkimas išsiskiria tuo, kad naudojami pigūs įrankiai ir darbo jėga (Bauer et al., 2021). Jis naudojamas, kai gamybos linijai reikalingas didelis lankstumas, susijęs su įvairiais gaminiiais, nes sąnaudos išlieka santykinai pastovios ir nepriklausomos nuo gamybos apimtys (Bauer et al., 2021). Itin pagerėjus įrenginių ir įrangos patikimumui bei stabilumui, žmogiškosios klaidos tapo bene pagrindiniais kokybės defektų veiksniais (Bauer et al., 2021). Apie 70–90 % surinkimo gamybos sistemų kokybės defektų tiesiogiai arba netiesiogiai sukelia žmogiškosios klaidos (Bauer et al., 2021).

Dažniausiai surinkimo linijose aptinkamos žmogiškosios klaidos (Bauer et al., 2021):

- komponentų parinkimo klaidos;
- praleidimo klaidos;

- neteisinga komponento padėtis arba orientacija;
- surinkimo žingsnių nesilaikymas.

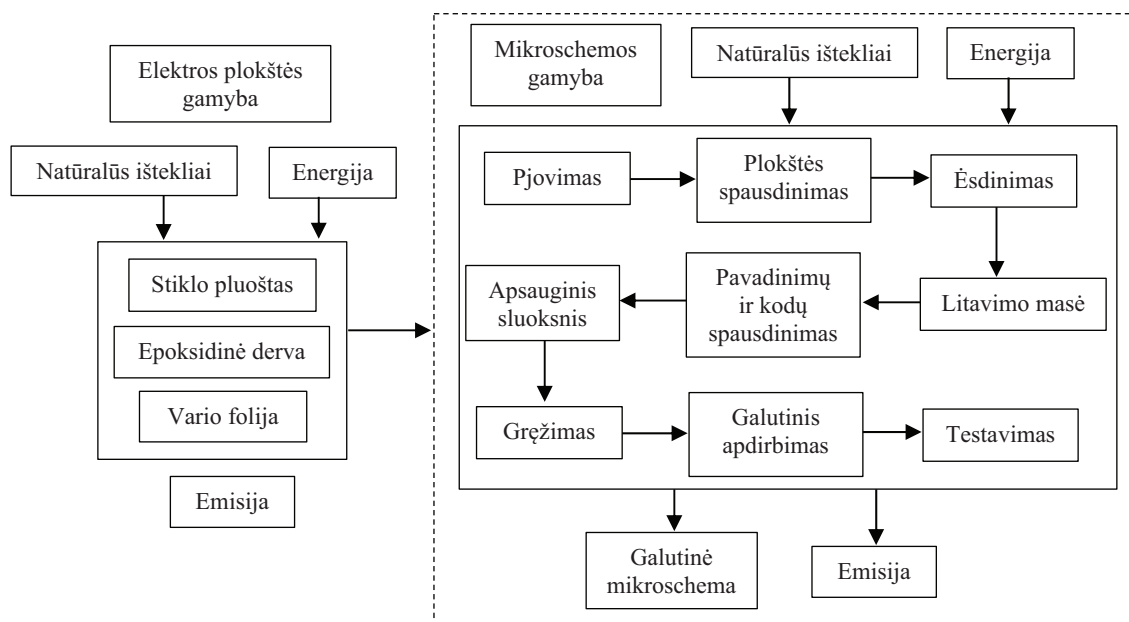
Gaminant elektronikos mikroschemas operatoriai ilgą laiką atlieka monotonišką plokštės surinkimo užduotį, todėl greitai patiriamas nuovargis ir išsiblaškytas (Ojer et al., 2020). Monotoniškas darbas skatina darbuotojų rotaciją, todėl naujiems darbuotojams prireikia tam tikro laiko prisitaikyti, dėl to rankiniai procesai turi didžiausią gamybos proceso klaidų koeficientą (Ojer et al., 2020). Elektronikos gamintojai įvardijo būtinybę tobulinti surinkimo procesus, kadangi bet koks nedidelis dalių orientacijos pokytis gali nenusipėjimai paveikti mikroschemų funkcionalumą (Bauer et al., 2021; Ojer et al., 2020).

Pagrindinis veiksnys, turintis įtakos elektronikos komponentų gamybai, yra žmogiškieji išteklių, dėl kurių, kaip pažymi Michalos et al. (2013), gamybos / surinkimo procese galimi gaminių defektai kaip neteisingai įdėta dalis, netinkamai atliktas surinkimas ir kt. Defektų atsiradimo priežastys yra aplaidumas, ribota atmintis, žinių ar kompetencijos klaidos (Michalos et al., 2013).

Veiksniai, lemiantys nekokybišką operatorių darbą elektronikos mikroschemų gamyboje (Michalos et al., 2013):

- sudėtinga produkto charakteristika;
- sudėtingos surinkimo sistemos charakteristikos;
- dažnas užduočių pasikartojimas sukelia tiek psichinę, tiek fizinę įtampą, todėl operatorių darbo efektyvumas ir koncentracija laikui bėgant mažėja ir taip didėja klaidų tikimybė;
- pats operatorius, kadangi jo psichinė ir fizinė būklė, jo turimi įgūdžiai, išsilavinimas ir patirtis yra keletas veiksnių, dėl kurių operatorius gali suklysti surinkimo metu.

Į paveiksle nurodyta elektros plokščių gamybos schema. Iš pradžių plokštės pjaunamos automatiškai pjūklų pjovimo etape pagal reikiamus matmenis (Ozkan et al., 2018). Vėliau atliekamas skalavimo etapas, kad būtų pašalintos dulkės nuo plokštės paviršiaus (Ozkan et al., 2018). Po džiovinimo šilkografija naudojama grandinei spausdinti ant vario plokštės paviršiaus (Ozkan et al., 2018). Plokštė išdžiovinama UV krosnyje ir atliekamas ęsdinimas, kurio metu pašalinami visi variniai paviršiai, išskyrus grandinės takus, kurie yra apsaugoti ęsdinimo rašalu (Ozkan et al., 2018). Po ęsdinimo siekiant apsaugoti pagrindą nuo korozijos ir elektros trumpųjų jungčių, plokštės paviršius padengiamas epoksidine litavimo mase ir džiovinamas UV krosnyje (Ozkan et al., 2018). Vėliau epoksidiniais dažais spausdinami elektroninių komponentų, kurie bus dedami ant plokštės, vietos, pavadinimai ir kodai, kurie spausdinami tiek priekinėje, tiek galinėje pusėje (Ozkan et al., 2018). Apsauginė danga yra padengta, kad būtų išvengta vario grandinės



1 paveikslas. Mikroschemos gamybos procesas (Ozkan et al., 2018)

oksidacijos (Ozkan et al., 2018). Plokštėse yra gręžiamos skylės elektroniniams komponentams įdėti į plokštę (Ozkan et al., 2018). Kaip galutinė apdaila plokštės yra valomos vandeniui bei testuojamos, siekiant kontroliuoti galimą nepageidaujamą atvirą ir trumpąjį jungimą (Ozkan et al., 2018).

Elektronikos plokštės pasižymi miniatiūrinėmis, didelio tankio, daugiasluoksnėmis, itin plonomis charakteristikomis (Xiao et al., 2022). Be to, ji turi užtikrinti stabilų elektros signalų įvestį ir išvestį tam tikromis darbo sąlygomis, todėl šių plokščių kokybė turi įtakos ne tik našumui, bet ir galutinio produkto saugai (Xiao et al., 2022).

Xiao et al. (2022) atliktas elektronikos plokščių kokybės tyrimas parodė, jog dėl mažų komponentų matmenų bei skirtingų gamybos etapų susidaro tokie defektai kaip:

- litavimo masės nutekėjimas, perteklius ar jos nebuvimas;
- komponentų jungčių įlenkimai;
- netinkamos dalys;
- netinkamas poliškumas;
- komponentai, sujungti netinkamu kampu, ir kt.

Taigi, įvertinus elektronikos pramonės ypatumus galima daryti išvadą, jog dėl elektronikos komponentų mažų matmenų, monotoniško darbo bei ilgo gamybos kelio susidaro didelė broko tikimybė. Dėl to atsiranda elektros technikos gedimų ir taip atsiranda papildomų finansinių išlaidų kompensavimui bei remontui. Taip pat eikvojamas laikas pagaminti produkcijai taisyti ar naujai produkcijai pagaminti. Galiausiai eikvojami energijos ir natūralių išteklių resursai. Siekiant išvengti šių problemų reikia į gamybą diegti naujas sistemas, kurios pagerintų gamybos kokybę bei kokybės kontrolę.

1.3. Papildytosios realybės panaudojimas elektronikos pramonėje

Remiantis Chatterjee et al. (2022), tyrimai rodo, jog elektros inžinieriai teigiamai priima papildytosios realybės technologijos panaudojimo elektronikos pramonėje idėją, kadangi, jų nuomone, ši technologija sumažintų darbo krūvį bei būtų galima greičiau atlikti tam tikras užduotis. Tačiau mokslininkų (D. Mourtzis; M. Quandt; B. Berman; D. Pollack ir kt.) teigimu, papildytosios realybės technologijos panaudojimas elektronikos pramonėje turi tiek privalumų, tiek trūkumų, kurie yra pateikti 1 lentelėje.

Taigi, remiantis 1 lentele, papildytosios realybės technologija elektronikos pramonėje leidžia palengvinti inžinierių projektavimo darbus, surinkėjams atlikti darbą kokybiškiau ir kokybės kontrolę atlikti geriau ir greičiau, tačiau tai vis dar yra gana nauja technologija, todėl susiduriama su technologiniais, duomenų saugumo bei atsiperkamumo iššūkiais.

2. Tyrimo metodologija

Siekiant nustatyti nagrinėjamos temos aktualumą yra atliekama bibliometrinė analizė, naudojant duomenis, gautus iš „Web of Science“ duomenų bazės. Bibliometrinė analizė yra kiekybinis paskelbtų straipsnių retrospektyvos ir apibūdinimo metodas, kuris padeda tyrėjams įvertinti akademines studijas nagrinėjamoje sferoje (Ding & Yang, 2022).

Bibliometrinė analizė pastaraisiais metais įgijo didžiulį populiarumą verslo tyrimuose (Donthu et al., 2021). Bibliometrinė analizė verslo tyrimuose yra

1 lentelė. Papildytosios realybės technologijos panaudojimo elektronikos pramonėje privalumai ir trūkumai (sudaryta autorių, remiantis Berman & Pollack, 2021; Cowan et al., 2021; Ling, 2017; Mourtzis et al., 2018; Quandt et al., 2018; Runji & Lin, 2019; Syberfeldt et al., 2015)

PRIVALUMAI	TRŪKUMAI
Produkto dizaino kūrimas Papildytosios realybės technologijos leidžia inžinieriams peržiūrėti savo projektus realistiškesniu mastu, tai leidžia anksčiau aptikti projekto neatitikimus	Aukšta kaina Papildytosios realybės technologijos įranga ir diegimas yra brangūs
Surinkimo mokymai Elektronikos komponentai yra surinkinėjami rankiniu būdu, atlikti tyrimai rodo, jog darbuotojai, kurie yra apmokomi papildytosios realybės sistema, padaro mažiau klaidų nei tie, kurie buvo apmokomi popierinėmis instrukcijomis	Technologiniai iššūkiai Papildytosios realybės technologija yra vis dar ankstyvose kūrimo ir projektavimo stadijose
Kokybės kontrolė Naudojant papildytąją realybę galima atlikti elektronikos produktų kokybės kontrolę geriau bei greičiau	Duomenų saugumas Kadangi papildytoji realybė yra vis dar nauja technologija, tai yra nerimo dėl naudojančio asmens bei įmonės jautrių duomenų saugumo
Rinkodara Papildytosios realybės technologija leidžia potencialiems klientams išnagrinėti ir išbandyti produkto projektą	

naudinga tvarkant didelius mokslinių duomenų kiekius ir norint turėti didelį mokslinių tyrimų poveikį (Donthu et al., 2021). Mokslininkai naudoja bibliometrinę analizę dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui, norėdami atskleisti kylančias straipsnių ir žurnalų veiklos tendencijas, bendradarbiavimo modelius ir tyrimo sudedamąsias dalis bei ištirti konkrečios srities intelektualinę struktūrą išlikusioje literatūroje (Donthu et al., 2021).

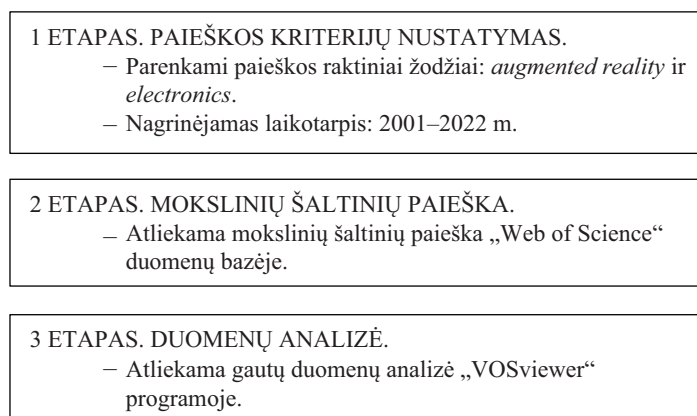
Bibliometrinė analizė yra atliekama ne tik verslo tyrimuose, bet mokslininkai (C. A. Bonilla; Y. Guo; R. Dalpe; A. Sousa, ir kt.) atlieka šią analizę ir tokiose srityse kaip ekonomika, sveikatos apsauga, biotechnologijos, kriptografija ir kt.

Gauti duomenys apdorojami, naudojantis „VOSviewer“ programine įranga, kuri yra skirta moksliniams žemėlapiams sudaryti (McAllister et al., 2022). Ši programinė įranga naudoja klasterizacijos metodą „VOS“, kad nustatytų panašių ir nepanašių tyrimų objektų tinklus

(McAllister et al., 2022). Gauti klasteriai yra sudaryti iš mazgų, kurių dydžiai vizualizacijos žemėlapiuose rodo dažniausiai pasikartojančius įvykius (Davidavičienė & Davidavičius, 2022).

Vienas iš tokių tinklų gali būti konkrečių autorių publikacijos (McAllister et al., 2022). „VOSviewer“ sukuria žemėlapius, kuriuos galima sujungti pagal bendraautorystę (keli autoriai viename leidinyje), įvykius (daugiau nei atsitiktinumas, du terminai, atsirandantys vienas šalia kito tekste), citatas (nuoroda į citatą bibliografijoje), bibliografines sąsajas (du darbai, kurių bibliografijose nurodomas trečiasis darbas), arba bendrojo citavimo nuorodas (nuorodos, jungiančios du darbus, kuriuose cituojamas trečiasis) (McAllister et al., 2022).

Šiame tyrime atliekama daugiausiai pasikartojančių raktinių žodžių, cituojamų autorių, valstybių bei aktualiausių leidinių tinklo analizė ir duomenų klasterizavimas. Tyrimo etapai nurodyti 2 paveiksle.



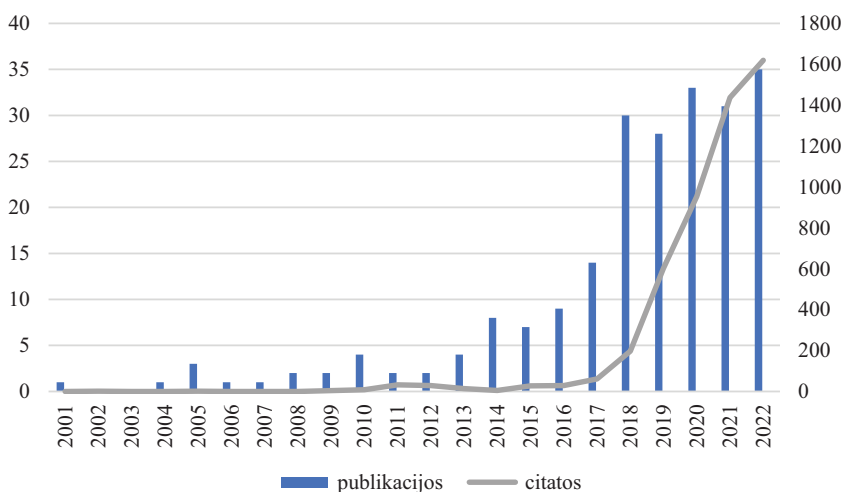
2 paveikslas. Tyrimo metodologijos schema (sudaryta autorių)

Tyrimo ribotumas. Siekiant atrinkti tinkamus mokslinės literatūros šaltinius buvo parinkti raktiniai žodžiai: *augmented reality* (liet. papildytoji realybė) ir *electronics* (liet. elektronika). Tyrimo laikotarpis yra parinktas nuo 2001 m. sausio 1 d. iki 2022 m. gruodžio 31 d. Tyrimas atliktas „Web of Science“ duomenų bazėje.

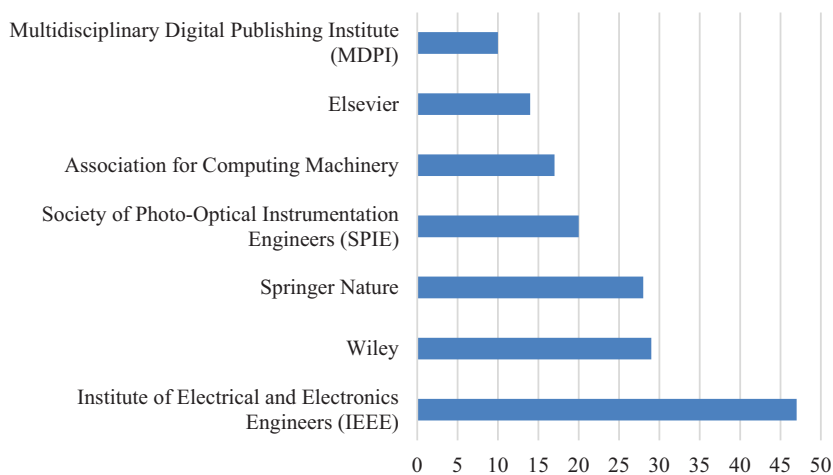
Tyrimo atlikimo data: 2023 m. sausio mėn.

3. Tyrimo rezultatai

Atlikus mokslinės literatūros paiešką pagal nustatytus kriterijus „Web of Science“ duomenų bazėje gauta 218 mokslinės literatūros šaltinių bei gautas grafikas, kuris nurodo, kiek kiekvienais metais buvo išleista publikacijų ir buvo citavimų (3 pav.). Remiantis 3 paveikslu yra nustatyta, jog atliekamų tyrimų kiekis nagrinėjamoje srityje bei citatų skaičius turi tendenciją didėti (Web of Science, n.d.). Publikacijų skaičius pradėjo smarkiai didėti nuo 2014 m. (8 publikacijos) ir daugiausiai publikacijų buvo išleista 2022 m. (35 publikacijos) (Web of Science, n.d.).



3 paveikslas. Publikacijų ir citatų kiekis 2001–2022 m. laikotarpiu (sudaryta autorių)

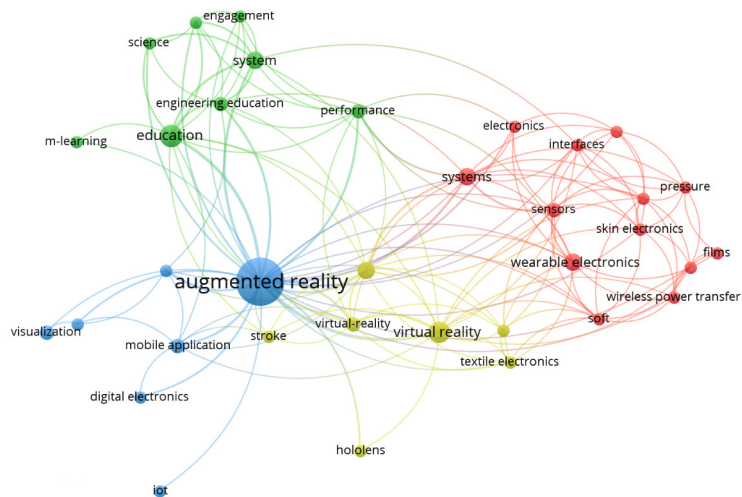


4 paveikslas. Aktualiausi leidiniai nagrinėjama tematika (sudaryta autorių)

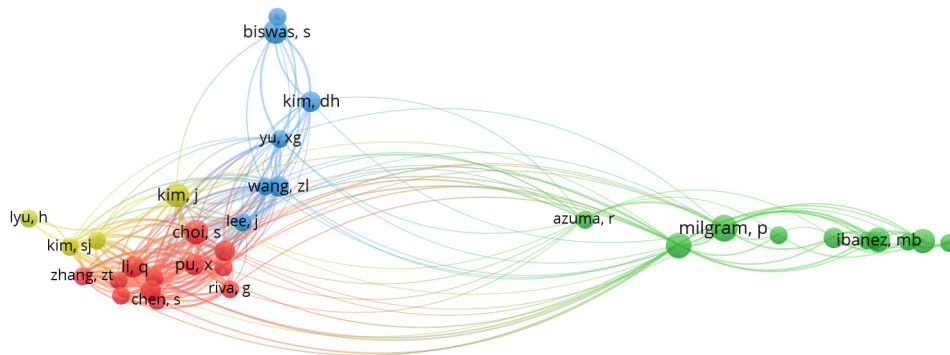
4 paveiksle pavaizduotas grafikas, kuriame nurodyti leidiniai, kuriuose išspausdinama daugiausiai mokslinių šaltinių nagrinėjama tematika. Remiantis „Web of Science“ duomenų baze, gauta, jog dominuojantys leidėjai šia tematika yra „Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)“ (47 šaltiniai), „Wiley“ (29 šaltiniai) bei „Springer Nature“ (28 šaltiniai).

Daugiausiai naudotų raktinių žodžių nagrinėjama tematika vizualizacijos žemėlapis yra pavaizduotas 5 paveiksle. Pagrindinis klasteris yra pažymėtas mėlyna spalva ir šis klasteris yra tiesiogiai susijęs su papildytąja realybe. Raudona spalva pažymėtas klasteris yra sudarytas iš raktinių žodžių, kurie yra susiję su elektronikos pramone, tačiau šie mazgai yra mažesni lyginant su mazgais, kurie yra geltoname klasteryje (susijusiame su virtualia realybe) bei žaliame klasteryje (susijusiame su švietimu). Tai rodo, jog elektronikos pramonė sudaro vis dar nedidelę dalį tyrimų, susijusių su papildytąja realybe.

Toliau nustatyti daugiausiai cituoti autoriai papildytosios realybės tematika (6 pav.). Daugiausiai cituoti



5 paveikslas. Raktinių žodžių tinklo vizualizacijos žemėlapis (sudaryta autorių)



6 paveikslas. Daugiausiai cituotų autorių vizualizacijos žemėlapis (sudaryta autorių)

autoriai yra P. Milgram, M. B. Ibanez, J. Kim, S. Biswas, Z. L. Wang ir kt. Tačiau autoriai, kurie atlieka daugiausiai tyrimų nagrinėjama tematika, yra A. Mantri (6), G. S. C. Bermudez (5), D. Makarov (5), G. Singh (5), J. Fassbender (4) J. Lee (4) ir kt.

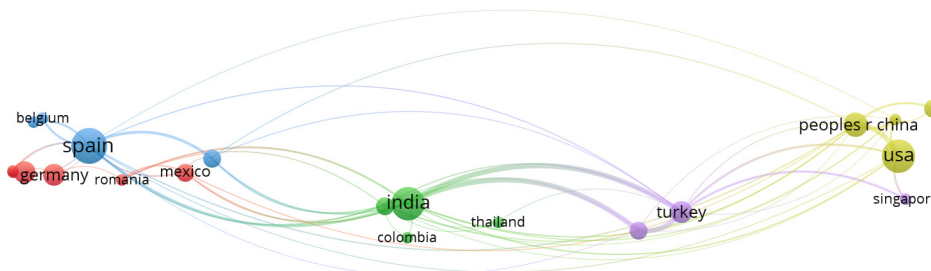
Dalis daugiausiai tyrimų papildytosios realybės srityje atliekančių mokslininkų darbų yra pateikti 2 lentelėje.

Remiantis 2 lentele, gauta, jog nagrinėjama tematika daugiausiai tyrimų atliekantys mokslininkai daugiausiai tyrinėja papildytosios realybės technologijos panaudojimo poveikį edukacijoje. Siekiant gauti rezultatą daugiausiai yra atliekamas eksperimentas su tiksline grupe, kuris rodo, jog visais atvejais papildytosios realybės technologijos naudojimas turėjo teigiamą poveikį. Tačiau šioje

2 lentelė. Daugiausiai tyrimų papildytosios realybės srityje atliekančių mokslininkų publikacijos (sudaryta autorių, remiantis Ibanez et al., 2017; Manisha & Mantri, 2019; Singh et al., 2019; Wang et al., 2022)

Autorius, metai	Publikacijos pavadinimas	Pagrindinė problema	Tyrimo metodas	Rezultatas
Wang et al. (2022)	A comprehensive review of augmented reality-based instruction in manual assembly, training and repair	Ar papildytosios realybės technologija yra aktuali tema moksliniuose tyrimuose?	Bibliometrinė analizė	Gauta, jog papildytosios realybės technologija yra aktuali tema moksliniuose tyrimuose, nes publikacijų skaičius kasmet vis didėja
Singh et al. (2019)	Evaluating the impact of the augmented reality learning environment on electronics laboratory skills of engineering students	Ar papildytosios realybės technologija turi teigiamos įtakos elektronikos studentų laboratoriniams įgūdžiams, palyginti su tradiciniu mokymu būdu?	Tikslinė grupė	Ekspertimentiniai rezultatai rodo, kad papildytoji realybė turi teigiamą poveikį studentų laboratoriniams įgūdžiams, palyginti su tradiciniu mokymo metodu

Autorius, metai	Publikacijos pavadinimas	Pagrindinė problema	Tyrimo metodas	Rezultatas
Manisha and Mantri (2019)	An augmented reality application for basic mathematics: Teaching and assessing kids' learning efficiency	Ar žaidimu pagrįstas papildytosios realybės mokymas pagerina vaikų mokymosi efektyvumą?	Tikslinė grupė	Naudojant žaidimu pagrįstą papildytosios realybės mokymą, vaikai noriau mokosi matematikos
Ibanez et al. (2017)	An empirical study of the use of an augmented reality simulator in a face-to-face physics course	Ar papildytosios realybės technologijos naudojimas pagerina motyvaciją mokyti?	Apklausa	Gauta, kad papildytosios realybės naudojimas klasėje turėjo teigiamą poveikį studentų mokymosi motyvacijai



7 paveikslas. Valstybių, kuriose atliekama daugiausiai tyrimų nagrinėjama tematika, vizualizacijos žemėlapis (sudaryta autorių)

sirtyje dominuojantys mokslininkai neatlieka tyrimų apie tai, kokią poveikį papildytosios realybės technologijos naudojimas turi gamybos procesuose, tai tik patvirtina, jog tai yra aktuali tema, nes rezultatai (2 lentelė) rodo, jog papildytoji realybė visais tirtais atvejais pasiteisina.

7 paveiksle pavaizduotas valstybių, kuriose atliekama daugiausiai tyrimų nagrinėjama tematika, vizualizacijos žemėlapis. Moksliniai tyrimai vyksta Azijos, Amerikos ir Europos šalyse. Didžiausias atliekamų tyrimų intensyvumas pastebimas Ispanijoje, Jungtinėse Amerikos Valstijose, Indijoje, Turkijoje, Vokietijoje ir Kinijoje. Ankstyvosios stadijos tyrimus galima pamatyti Kolumbijoje, Singapūre, Belgijoje ir kt. Taigi, daugiausia tyrimų yra atliekama Azijoje, Šiaurės Amerikoje bei Vakarų Europoje.

Išvados

Atlikus mokslinės literatūros analizę, nustatyta, jog elektronikos pramonės sektoriuje vis dar dominuoja rankinis darbas, dėl to yra didelė gamybos produkcijos broko tikimybė. Didėjant elektronikos pramonės sektoriaus produkcijos poreikiui, reikalinga tobulinti gamybos procesus, kad produkcijos pasiūla galėtų atitikti paklausą. Literatūroje įvardijama, jog pagrindinė technologija, kuri leidžia pagerinti gamybos darbuotojų darbo kokybę, yra papildytosios realybės technologija. Ši sistema leidžia darbuotojams pasiekti skaitmeninę

informaciją per informacijos sluoksnį, esantį fiziniame pasaulyje, ir taip išvengti gamybos klaidų.

Siekiant ištirti papildytosios realybės panaudojimo elektronikos pramonės sektoriuje tyrimų srities aktualumą yra atliekama bibliometrinė analizė, kuri leidžia nustatyti publikacijų kiekio kitimą kiekvienais metais ir įvertinti tematikos aktualumą. Taip pat parodo aktualiausius leidinius bei autorius, atliekančius tyrimus šioje srityje. Tyrimo ribotumai yra tyrimo laikotarpis (2001–2022 m.) bei tirti duomenys tik iš vienos duomenų bazės „Web of Science“. Tolimesni tyrimai siekiant pagrįsti tematikos aktualumą galėtų apimti 2023 metus bei galėtų būti tiriami duomenys iš kitų mokslinių šaltinių duomenų bazių.

Atlikus bibliometrinę analizę, gauta, jog nuo 2014 m. pradėjo sparčiai didėti atliekamų tyrimų nagrinėjamoje srityje kiekis, tai reiškia, jog papildytosios realybės technologijos naudojimo elektronikos pramonėje tematika šiuo metu yra vis aktualesnė. Nustatyta, jog elektronikos tematika dar sudaro vis dar nedidelę papildytosios realybės tyrimų dalį, todėl ši tyrimų sritis yra aktuali iki šiol dėl didėjančios elektronikos pramonės produkcijos poreikio. Nustatyta, jog aktualiausi autoriai šioje srityje yra P. Milgram, M. B. Ibanez, J. Kim ir kt., tačiau daugiausiai publikacijų išleidžiantys autoriai yra A. Mantri, G. S. C. Bermudez, D. Makarov ir kt. Šalys, kuriose atliekama daugiausiai tyrimų, yra Ispanija, Jungtinės Amerikos Valstijos, Indija, Turkija, Vokietija ir Kinija. Daugiausiai

šaltinių nagrinėjama tematika išleidžia „Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)“, „Wiley“ bei „Springer Nature“.

Literatūra

- Agrawal, S., Singh, R. K., & Murtaza, Q. (2018). Reverse supply chain issues in Indian electronics industry: A case study. *Journal of Remanufacturing*, 8(3), 115–129. <https://doi.org/10.1007/S13243-018-0049-7>
- Amin, D., & Govilkar, S. (2015). Comparative study of augmented reality Sdk's. *International Journal on Computational Science & Applications*, 5(1), 11–26. <https://doi.org/10.5121/ijcsa.2015.5102>
- Balco, P., Bajzik, P., & Škovierová, K. (2022). Virtual and augmented reality in manufacturing companies in Slovakia. *Procedia Computer Science*, 201, 313–320. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.03.042>
- Bauer, R. D., Watambak, T. L., Agati, S. S., da Silva Hounsell, M., & da Silva, A. T. (2021). Development and evaluation of a PCB's manual assembly system using augmented reality and total quality. In *ACM International Conference Proceeding Series* (pp. 24–32), Virtual Event, Brazil. <https://doi.org/10.1145/3488162.3488231>
- Berman, B., & Pollack, D. (2021). Strategies for the successful implementation of augmented reality. *Business Horizons*, 64(5), 621–630. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.02.027>
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284–310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>
- Chatterjee, I., Pforte, T., Tng, A., Salemi Parizi, F., Chen, C., & Patel, S. (2022). ARDW: An augmented reality workbench for printed circuit board debugging. In *UIST 2022: Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 1–16), Bend, OR, USA. <https://doi.org/10.1145/3526113.3545684>
- Cowan, K., Javornik, A., & Jiang, P. (2021). Privacy concerns when using augmented reality face filters? Explaining why and when use avoidance occurs. *Psychology & Marketing*, 38(10), 1799–1813. <https://doi.org/10.1002/mar.21576>
- Davidavičienė, V., & Davidavičius, S. (2022). Corporate social entrepreneurship: concept development trends. In *12th International Scientific Conference "Business and Management 2022"* (pp. 650–656), Vilnius, Lithuania. <https://doi.org/10.3846/bm.2022.879>
- Ding, X., & Yang, Z. (2022). Knowledge mapping of platform research: A visual analysis using VOSviewer and CiteSpace. *Electronic Commerce Research*, 22, 787–809. <https://doi.org/10.1007/s10660-020-09410-7>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Egger, J., & Masood, T. (2020). Augmented reality in support of intelligent manufacturing – A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106195. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106195>
- Fraga-Lamas, P., Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, Ó., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A review on industrial augmented reality systems for the Industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, 6, 13358–13375. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2808326>
- Ibanez, M. B., De Castro, A. J., & Kloos, C. D. (2017). An empirical study of the use of an augmented reality simulator in a face-to-face physics course. In *2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 469–471), Timisoara, Romania. <https://doi.org/10.1109/icalt.2017.105>
- Kharchenko, V. A. (2015). Problems of reliability of electronic components. *Modern Electronic Materials*, 1(3), 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.moem.2016.03.002>
- Ling, H. (2017). Augmented reality in reality. *IEEE Multimedia*, 24(3), 10–15. <https://doi.org/10.1109/mmul.2017.3051517>
- Manisha, & Mantri, A. (2019). An augmented reality application for basic mathematics: Teaching and assessing kids' learning efficiency. In *2019 5th International Conference on Computing, Communication Control and Automation* (pp. 1–4), Pune, India. <https://doi.org/10.1109/iccubea47591.2019.9129083>
- McAllister, J. T., Lennertz, L., & Atencio Mojica, Z. (2022). Mapping a discipline: A guide to using VOSviewer for bibliometric and visual analysis. *Science & Technology Libraries*, 41(3), 319–348. <https://doi.org/10.1080/0194262X.2021.1991547>
- Michalos, G., Makris, S., & Chryssolouris, G. (2013). The effect of job rotation during assembly on the quality of final product. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(3), 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2013.03.001>
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., & Vlachou, E. (2018). Augmented reality supported product design towards Industry 4.0: A teaching factory paradigm. *Procedia Manufacturing*, 23, 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.018>
- Ojer, M., Alvarez, H., Serrano, I., Saiz, F. A., Barandiaran, I., Aguinaga, D., Querejeta, L., & Alejandro, D. (2020). Projection-based augmented reality assistance for manual electronic component assembly processes. *Applied Sciences* 2020, 10(3), 796. <https://doi.org/10.3390/app10030796>
- Ozkan, E., Elginöz, N., & Germirli Babuna, F. (2018). Life cycle assessment of a printed circuit board manufacturing plant in Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(27), 26801–26808. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0280-z>
- Quandt, M., Knoke, B., Gorldt, C., Freitag, M., & Thoben, K. D. (2018). General requirements for industrial augmented reality applications. *Procedia CIRP*, 72, 1130–1135. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.061>
- Raw materials for consumer electronics 'at risk of running out'. (2022). *Engineering & Technology*, 17(5), 5. <https://doi.org/10.1049/et.2022.0502>
- Runji, J. M., & Lin, C. Y. (2019). Automatic optical inspection aided augmented reality-based PCBA inspection: A development. In *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology* (pp. 667–671), Amman, Jordan. <https://doi.org/10.1109/jeeit.2019.8717385>
- Sahu, C. K., Young, C., & Rai, R. (2021). Artificial intelligence (AI) in augmented reality (AR)-assisted manufacturing

applications: A review. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4903–4959.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1859636>

Singh, G., Mantri, A., Sharma, O., Dutta, R., & Kaur, R. (2019).

Evaluating the impact of the augmented reality learning environment on electronics laboratory skills of engineering students. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(6), 1361–1375. <https://doi.org/10.1002/cae.22156>

Syberfeldt, A., Danielsson, O., Holm, M., & Wang, L. (2015).

Visual assembling guidance using augmented reality. *Procedia Manufacturing*, 1, 98–109.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.068>

Wang, Z., Bai, X., Zhang, S., Billingham, M., He, W., Wang, P.,

Lan, W., Min, H., & Chen, Y. (2022). A comprehensive review of augmented reality-based instruction in manual assembly, training and repair. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 78, 102407.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102407>

Web of Science. (n.d.). <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>

Xiao, Z., Wang, Z., Liu, D., & Wang, H. (2022). A path planning algorithm for PCB surface quality automatic inspection.

Journal of Intelligent Manufacturing, 33(6), 1829–1841. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01766-3>

TRENDS IN THE USE OF AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY IN THE ELECTRONICS INDUSTRY

Karolina BRAZAUSKAITĖ,
Vida DAVIDAVIČIENĖ

Abstract. Due to the increasing demand for smart devices and the ever-shortening product life cycle, the electronics industry is a constantly fast-growing industry sector, which is why the aim is to increase production volumes and reduce production costs as much as possible. A large part of the output of this industrial sector is produced by human hands, and this nature of work is the main reason for the occurrence of defects. Augmented reality technology is identified as a key technology that allows avoiding human factor errors in the production process, as the augmented reality system allows workers to access digital information through an information layer located in the physical world. The main goal of this article is to determine the relevance of research on the use of augmented reality in the electronics industry. In this study, a bibliometric analysis of scientific publications related to augmented reality in electronics is performed, and the obtained results are displayed using the 'VOSviewer' program. After conducting the research, it was found that the number of publications on this topic is increasing, so the relevance of the topic is increasing. A. Mantri, G. S. C. Bermudez, D. Makarov carry out most of the research on this topic in such countries as Spain, the United States of America and India.

Keywords: electronics industry, augmented reality, bibliometric analysis, VOSviewer.