

# Lietuvos puslaidininkių sektoriaus strateginė apžvalga



**SmartInotech**  
pramonei



Kuriame  
Lietuvos ateitį  
2014–2020 metų  
Europos Sąjungos  
fondų investicijų  
veiksmų programa

2022 m. vasaris

# TURINYS

<b>Iliustracijų sąrašas</b>	1
<b>Įvadas</b>	2
<b>Puslaidininkinės technologijos</b>	3
<b>1. Pasaulinės puslaidininkių rinkos apžvalga</b>	5
JAV ir Kinijos konkurencija	12
COVID-19 pandemija ir puslaidininkių stygius	13
Europos Sąjungos puslaidininkių sektoriaus apžvalga	14
Susijusios Europos Sąjungos iniciatyvos	15
<b>2. Lietuvos puslaidininkių sektoriaus apžvalga</b>	18
Lietuvos kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos statistika	20
Atskirų Lietuvos gamybos sektorių sąsajos su puslaidininkiais	24
Su puslaidininkiais susijusių specialistų ruošimas bei moksliniai tyrimai	26
<b>3. Puslaidininkių sektoriaus plėtra Lietuvoje: SSGG analizė</b>	28
Stiprybės	29
Silpnybės	30
Galimybės	33
Grėsmės	36
<b>4. Lietuvos puslaidininkių ekosistemos pamatas ir plėtros scenarijai</b>	38
Pamatinės puslaidininkių ekosistemos sritys	40
Scenarijus Nr. 1. Lietuva – pasaulinio lygio puslaidininkių MTEP centras	41
Scenarijus Nr. 2. Lietuva – puslaidininkių pramoninės įrangos tiekėja	42
Scenarijus Nr. 3. Lietuva – puslaidininkių gamintoja	43
Scenarijus Nr. 4. <i>Fabless</i> gamybos modelio kūrimas Lietuvoje	44
<b>Priedas Nr. 1. Lietuvos puslaidininkių ekosistemos stiprinimo tikslai ir uždaviniai</b>	46

# ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

<b>Iliustracija 1.</b> Pasauliniai puslaidininkių pardavimai pagal elektroninių gaminių rinkas 8 colių (200 mm) puslaidininkinių padėklų ekvivalentu	5
<b>Iliustracija 2.</b> Pasauliniai gamybos pajėgumai pagal puslaidininkio tipą ir nanometro technologiją	7
<b>Iliustracija 3.</b> Rinkos pasiskirstymas pagal gaminamų puslaidininkinių plokštelių dydį	8
<b>Iliustracija 4.</b> Puslaidininkių pramonės vertės grandinė	9
<b>Iliustracija 5.</b> Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos apyvartos iš pramoninės veiklos augimas apdirbamosios gamybos kontekste	21
<b>Iliustracija 6.</b> Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos sukuriamos pridėtinės vertės augimas apdirbamosios gamybos kontekste	21
<b>Iliustracija 7.</b> Didžiausią pridėtinę valandą dirbtai valandai sukuriančios apdirbamosios gamybos veiklos skyriai	22
<b>Iliustracija 8.</b> Didžiausią pridėtinę valandą dirbtai valandai sukuriančios kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos veiklos grupės	22
<b>Iliustracija 9.</b> Lietuvos puslaidininkių sektoriaus stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės (SSGG)	29
<b>Iliustracija 10.</b> Lietuvos puslaidininkių ekosistemos pamatas ir plėtros scenarijai	39
<b>Iliustracija 11.</b> Pamatinės Lietuvos puslaidininkių ekosistemos sritys	40-41

# ĮVADAS

Puslaidininkiai prietaisai yra neatsiejama modernios elektronikos dalis, įgalinanti technologines inovacijas tiek šių dienų komunikacijos, informacinių ryšių, sveikatos priežiūros, transporto, energetikos, tiek ir ateities – dirbtinio intelekto, kvantinės kompiuterijos ir kitose su skaitmenine ir žaliaja transformacija susijusiose srityse. Be puslaidininkių technologijų – atminties lustų ir procesorių – modernios visuomenės egzistavimas nebūtų įmanomas.

Dėl nuolatinio technologinio progreso ir didėjančios priklausomybės nuo puslaidininkinių technologijų susidomėjimas mikroelektronika ženkliai išaugo. Tam įtakos turėjo įvairūs geopolitiniai, ekonominiai veiksniai ir dėl COVID-19 pandemijos išaugęs prietaisų poreikis. Siekiant neatsilikti globaliame technologijų konkurencijos kontekste ir atsižvelgiant į ekonominį potencialą, didžiosios pasaulio ekonomikos pastebimai suaktyvino savo puslaidininkių sektoriaus plėtros planus. Ne išimtis – Europos valstybės, tarp jų ir Lietuva. Šiame kontekste, Lietuvos puslaidininkių sektoriaus strateginės apžvalgos tikslas yra apžvelgti susijusias globalias tendencijas, išnagrinėti Lietuvos kontekstą bei pateikti galimas plėtros kryptis siejant jas su strateginėmis ES ir pasaulio vertės grandinėmis.

Atsižvelgiant į tai, analizė yra struktūruojama į keturias pagrindines dalis. **Pirmoje** iš jų aprašoma pasaulinė puslaidininkių pramonės apžvalga, įskaitant rinkos tendencijas, puslaidininkių vertės grandinę, pagrindines konkurencijos sritis bei susijusias Europos Sąjungos iniciatyvas. **Antrojoje dalyje** pereinama prie Lietuvos analizės, kurioje apžvelgiama aktuali statistika, atskiri kompiuterinių, elektronikos ir optinių gaminių sektoriai bei Lietuvoje vykdomi puslaidininkių moksliniai tyrimai. **Trečiajame skyriuje** išgryninamos potencialios Lietuvos puslaidininkių sektoriaus plėtros stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės. Remiantis pastarųjų dviejų skyrių analize, **ketvirtojoje dalyje** išskiriamos puslaidininkių ekosistemos sritys, formuojančios pamatą pateiktiems potencialiems proveržių scenarijams. Galiausiai, kiekvienos iš išskirtų pamatinių dalių stiprinimui **dokumento priede** įvardinami rekomendacinio pobūdžio tikslai ir uždaviniai.

Viešai prieinamos informacijos kiekis apie Lietuvos puslaidininkių sektorių yra ribotas, todėl pažymima, jog pateikta Lietuvos atvejo analizė gali reprezentuoti vienus sektorius labiau nei kitus, atsižvelgiant į tai, kokie ekspertai sutiko įsitraukti į studijos rengimą. MITA Tvarios ekonomikos ir analitikos centro vardu dėkojame visiems apžvalgoje paminėtiems bei aktyviai įsitraukusiems ekspertams, kurie sutiko pasidalinti savo įžvalgomis. Už papildomas konsultacijas ir ekspertizę taip pat dėkojame ilgamečiam buvusio Vilniaus universiteto Puslaidininkių fizikos katedros vedėjui, VU Fizikos fakulteto profesoriui Gintautui Tamulaičiui.

# PUSLAIDININKINĖS TECHNOLOGIJOS

Puslaidininkio sąvoka tiek bendrai, tiek ir šios apžvalgos kontekste yra vartojama plačiąja prasme ir gali apibūdinti skirtingus dalykus, kurių konkreti reikšmė priklauso nuo konteksto. Terminas naudojamas apibūdinant puslaidininkines medžiagas, įvairius integrinius grandynus (angl. *integrated circuits*), dar vadinamus lustais (angl. *chip*), optoelektronikos prietaisus, jutiklius ir diskrečius puslaidininkinius įtaisus. Siekiant aiškumo, susiję terminai ir jų vartojimo analizėje kontekstas yra pristatomas kiek detaliau.

**Puslaidininkis** yra elektrai laidūs medžiaga (daugiausiai naudojamos – silicis, germanis, galio arsenidas), kurios elektrinis laidumas, priklausomai nuo išorinių sąlygų ir priemaišų, gali keistis tarp verčių, būdingų izoliatoriams ir metalams. Puslaidininkinės medžiagos laidumas didėja didinant temperatūrą ir yra nulemtas dviejų skirtingo ženklo krūvininkų – elektronų ir skylių, o laidumo tipas ir krūvininkų tankis priklauso nuo atitinkamų priemaišų koncentracijos. Elektronikos ir mikroelektronikos kontekste puslaidininkių sąvoka taip pat vartojama kalbant apie integrinius grandynus (lustus).

**Integrinis grandynas** (IG) yra ant plono puslaidininkinės medžiagos pagrindo suformuotas elektroninių komponentų rinkinys, sudarantis funkcinę elektrinę grandinę, iš mažų aktyviųjų (pvz., tranzistoriai, diodai) ir pasyviųjų (pvz., kondensatoriai ir rezistoriai) įtaisų. Toks grandynas gali siekti vos kelis kvadratinis milimetrus, o atskiri jo komponentai paprastai būna mikroskopinio dydžio. IG taip pat vadinamas mikroelektrone grandine, mikrolustu arba tiesiog lustu (angl. *chip*). Puslaidininkiai gali būti skirstomi į daugybę kategorijų ir sub-kategorijų pagal atliekamas funkcijas. Šia analize nesiekama apžvelgti kiekvienos iš jų, o nagrinėjamas bendras pasaulio ir Lietuvos kontekstas. Taigi, kiek detaliau išskiriami bendri IG tipai – analoginiai ir skaitmeniniai:

- **Analoginiai IG** yra skirti apdoroti netrūkius signalus (pvz., stiprinti, silpninti). Šie grandynai sąveikauja su „išoriniu“ pasauliu generuodami ar transformuodami analoginius signalus iš elektros į radijo bangas ar šviesą (arba atvirkščiai). Analoginiai lustai naudojami galios valdymo grandinėse ir jutikliuose. Šiais laikais jie neretai pakeičiami skaitmeniniais, tačiau tiek atskirai, tiek kaip visos elektrinės grandinės sudedamoji dalis, jie yra vis dar naudojami nemažoje dalyje kasdienių elektronikos prietaisų, pavyzdžiui, ryšių (komunikacijos) technologijose. Analoginiai IG dažniausiai yra sudaryti iš mažesnio skaičiaus aktyviųjų ir pasyviųjų įtaisų nei skaitmeniniai IG.
- **Skaitmeniniai (loginiai) IG** skirti diskretiniams signalams generuoti, perduoti ir analizuoti naudojant dvejetainę algebrą. Yra skirtingų tipų skaitmeninių IG, iš kurių svarbiausi yra **atminties lustai, loginiai grandynai**, kurie naudojami kompiuteriuose, mikroprocesoriuose, skaitmeninių signalų procesoriuose, dažnių skaitikliuose ir kt. Jų pagrindu sukuriama kompiuterių, mobiliųjų telefonų ar kitų elektronikos prietaisų „smegenys“, nes jie leidžia kaupti ir apdoroti duomenis. Skaitmeninius IG sudaro milijardai atskirų itin smulkių puslaidininkinių įtaisų – tranzistorių. Maži tranzistorių matmenys leidžia padidinti atliekamų skaičiavimų pajėgumus bei sumažinti gamybos kaštus. Skaitmeninių IG sektorius reikalauja pačių moderniausių gamybos technologijų, jam yra būdinga itin didelė konkurencija ir specializacija.

Be šių bendrųjų IG tipų, paprastai naudojami ir mišrieji IG, kurie vienoje lusto sistemoje gali apimti abiejų – analoginių ir skaitmeninių – IG funkcionalumą. Kalbant apie visą puslaidininkinių sektorių, taip pat išskirtinos **optoelektronikoje naudojamų puslaidininkinių, puslaidininkinių jutiklių bei diskrečių puslaidininkinių įtaisų** rinkos. Pastarosios puslaidininkinių sektoriaus apžvalgose neretai būna klasifikuojamos kartu su analoginiais IG.

**Optoelektronikoje**, kur informacijai perduoti naudojama šviesa, reikalingi smulkūs puslaidininkiniai įtaisai, sukuriantys galimybę elektros srovę konvertuoti į optinius signalus ir atvirkščiai. Keletas panaudojimo pavyzdžių yra infraraudonieji puslaidininkiai šviestukai, skaitmeninių kamerų fotodetektoriai, lazeriniai diodai, kurie naudojami šviesolaidiniam ryšiui, lazeriniuose spausdintuvuose, skenavimui, diskų skaitytuvuose, įvairiems matavimo prietaisams ir kt. Savo ruožtu, **puslaidininkiai jutikliai** reaguoja į aplinką apibūdinančius fizikinius dydžius (temperatūrą, slėgį, cheminę sudėtį ar kt.) ir sukuria tam dydžiui proporcingą elektrinį signalą. Jutikliai yra plačiai naudojami navigacijos, judesio fiksavimo sistemose, optiniuose įrenginiuose, mediciniuose stebėjimo aparatuose ir t.t. Galiausiai, **diskretūs** (arba – mažos integracijos) **puslaidininkiniai įtaisai** (angl. *discrete semiconductors*) – tai tranzistoriai, diodai, tiristoriai ar kiti puslaidininkiniai elementai. Diskretūs puslaidininkiniai įtaisai, sumontuoti į elektronikos grandines, pavyzdžiui, ant spausdinto montažo plokščių, kartu su kitais elementais gali atlikti įvairias funkcijas (pvz., reguliuoti įtampą, konvertuoti galią).

Taip pat aktualu paminėti ir **technologinio puslaidininkių gamybos proceso** sąvoką (angl. *technology node* arba *process node*), paprastai nurodomą atitinkamo dydžio **nanometrų (nm) technologija**. Technologinis puslaidininkių gamybos procesas apibūdina luste esančių tranzistorių matmenis, o kartu ir specifines puslaidininkių projektavimo ir gamybos proceso taisykles, įskaitant integrinių grandynų architektūras ir jų kartas. Paprastai, kuo mažesnė nanometrų technologija, tuo smulkesni yra tranzistoriai ir didesnis jų tankis, o tai leidžia sutaupyti sunaudojamos energijos ir didinti efektyvumą. Istoriskai nanometrų technologija nurodydavo skirtingas tranzistoriaus savybes, pavyzdžiui, tranzistorių užtūros ilgį, tačiau pastaruosius keletą metų dėl rinkodaros aspektų ir standartų skirtingose gamyklose skirtumų, įvardijami nanometrai yra veikiau indikatyvus matas, nurodantis lusto gaminimui naudotą technologinę kartą, o ne tiksliai tranzistoriaus savybes. Esminis skirtumas tarp skirtingų nanometrų technologijų yra puslaidininkio lusto tranzistorių minimalus dydis, kuris keičia projektavimo ir gamybos proceso taisykles, nes tai nėra vien proporcingas elemento matmenų keitimas.

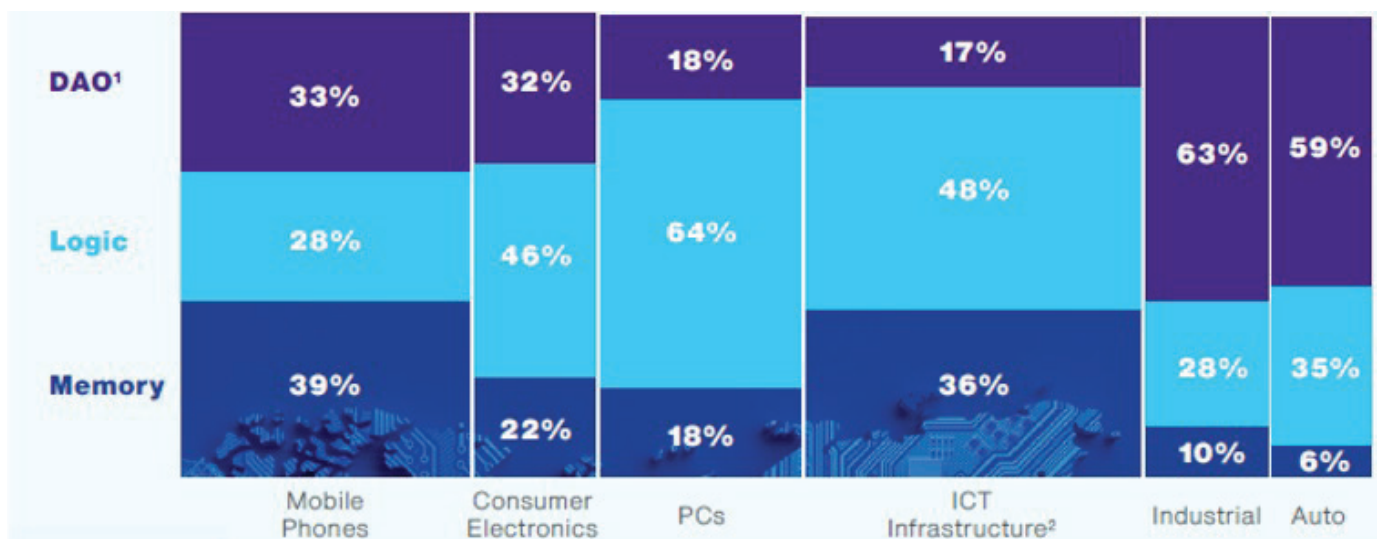
Apsibrėžus ir trumpai apibūdinus keletą pagrindinių, su puslaidininkiais susijusių optinių ir elektroninių prietaisų kontekste vartojamų sąvokų, pereinama prie globalios puslaidininkių rinkos ir tendencijų apžvalgos.

# **Pasaulinės puslaidininkių rinkos apžvalga**

Pastaruosius keletą metų puslaidininkiai yra nuolat minima tema dėl pasaulyje didėjančios technologijų konkurencijos, COVID-19 kontekste kilusių tiekimo grandinių sutrikimų bei vis didėjančio indėlio globaliai pasaulio ekonomikai. Puslaidininkių vertės grandinės svarbą globalioje ekonomikoje atspindi šios rinkos dydis bei augimo tempai. Remiantis Tarptautinės duomenų korporacijos (angl. *International Data Corporation*) bei „Statista“ teikiama duomenimis, pasaulinės puslaidininkių rinkos dydis nuo 1987 m. iki 2020 m. augo nuo 33 milijardų iki daugiau nei 440 milijardų JAV dolerių.<sup>1</sup> Numatoma, jog ši rinka augs ir toliau, o 2025 m. jau viršys 600 milijardų JAV dolerių.<sup>2</sup>

Puslaidininkių rinkos augimas reikšmingai susijęs su įterptųjų sistemų (angl. *embedded systems*) paklausos augimu. Įterptosios arba specializuotos kompiuterinės techninės įrangos sistemos, kurių pagrindą sudaro integrinis grandynas, leidžia įvairiuose elektriniuose įrenginiuose atlikti numatytą funkciją. Tokios sistemos yra plačiai naudojamos įvairiuose galutinio vartojimo pramonės šakose, įskaitant automobilių, informacinių ir ryšio technologijų, medicinos, pramonės automatizavimo, taip pat daiktų interneto įrenginių gamybai. Priskaičiuojama, jog 2020 m. viršijusi 200 milijardų JAV dolerių, įterptųjų sistemų rinka prie 300 milijardų JAV dolerių ribos turėtų priartėti jau 2025 m.<sup>3</sup> Taigi, atsižvelgiant į komunikacinių, duomenų apdorojimo, automobilių, dirbtinio intelekto ir kitų technologijų vystymąsi, prognozuojama, kad puslaidininkių paklausa ir bendras rinkos dydis ilguoju laikotarpiu tik didės.<sup>4</sup>

Investicinių tyrimų bei konsultacijų įmonės „Edison“ duomenimis, apie 80 % puslaidininkių rinkos vertės sudaro analoginio, skaitmeninio ar mišriojo tipo IG.<sup>5</sup> Didžiausią dalį šiame kontekste sudaro atminties bei logikos funkcijas atliekantys lustai, kurie kartu užima virš 50 % visos rinkos vertės. Likusius, kiek mažiau nei 20 %, apima puslaidininkinė optoelektronika (10 %), diskretūs puslaidininkiniai įtaisai (6 %) bei jutikliai (3 %).



Iliustracija 1. Pasauliniai puslaidininkių pardavimai pagal elektroninių gaminių rinkas 8 colių (200 mm) puslaidininkinių plokštelių ekvivalentu. Pagal 2019 m. *World Semiconductor Trade Statistics (WSTS)* ir Gartner duomenis. Pateikta Boston Consulting Group (BCG) ir Semiconductor Industry Association (SIA) (2021), *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*

1 Alsop, T., *Semiconductor industry sales worldwide 1987-2022*, Statista, 2021. Žr. <https://www.statista.com/statistics/266973/global-semiconductor-sales-since-1988/>. Kituose šaltiniuose ši statistika kiek skiriasi, pavyzdžiui, Tarptautinės duomenų korporacijos duomenimis puslaidininkių rinkos dydis 2020 m. buvo didesnis ir siekė 464 milijardus JAV dolerių.

2 International Data Corporation, 2021. Žr. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prAP48247621>.

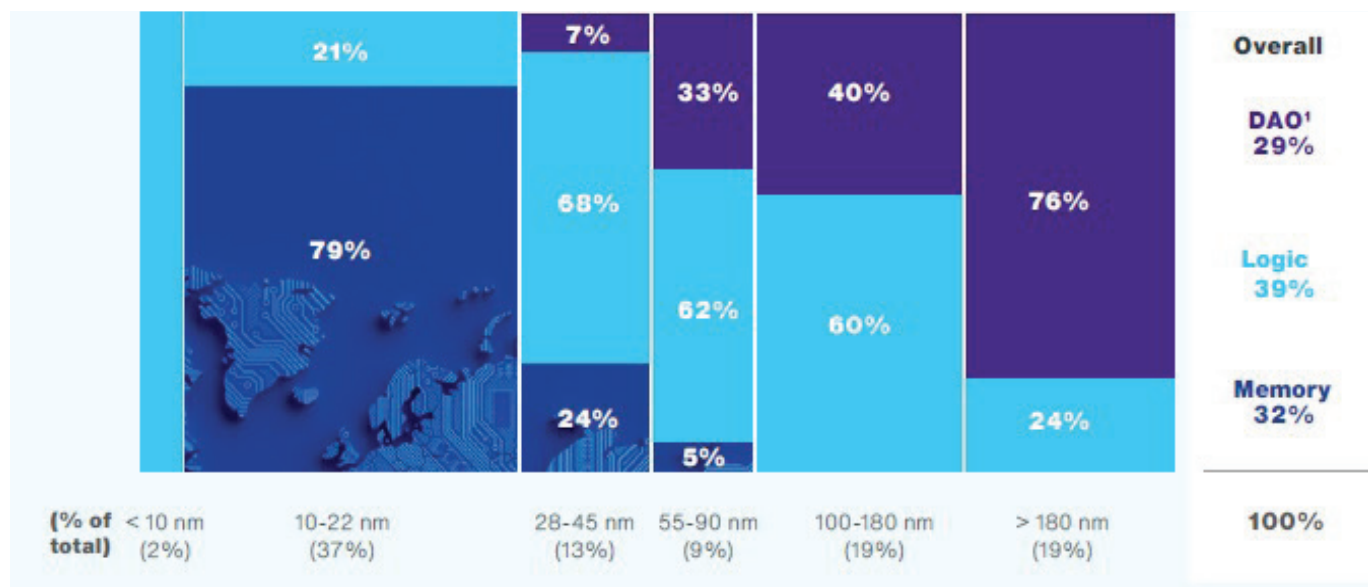
3 Market Research Future, *Embedded Systems Market Research Report*, 2021. Žr. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/embedded-systems-market-8663>.

4 PWC, *Opportunities for the global semiconductor market*, 2020. Žr. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/tmt/publications/global-tmt-semiconductor-report-2019.html>.

5 De Jong, E., *Semiconductor winners – European companies with strong positions*, Edison, 2020. Žr. <https://www.edisongroup.com/investment-themes/semiconductor-winners-european-companies-with-strong-positions/>.



Žvelgiant į „Boston Consulting Group“ (BCG) ir „Semiconductor Industry Association“ (SIA) pateiktus duomenis<sup>6</sup>, puslaidininkių pardavimus taip pat galima apžvelgti pagal skirtingų elektronikos gaminių rinkas. Šiuo požiūriu pastebima, jog skaitmeninių IG pagrindu sukurti loginiai lustai dominuoja kompiuterių rinkoje (64 %) bei sudaro didžiausią dalį buitinei technikai ir elektronikai bei informacijos ir ryšių technologijų (IRT) infrastruktūrai (duomenų centrai ir ryšių tinklai) naudojamų lustų – atitinkamai 46 % ir 48 %. IRT sektoriui bei gaminant mobiliuosius telefonus itin aktualūs yra ir atminties lustai, atitinkamai užimantys 36 % ir 39 % šių sektorių puslaidininkių pardavimų. Savo ruožtu, analoginiai lustai, optoelektronika, jutikliai bei diskretūs puslaidininkiniai įtaisai, lentelėje žymimi DAO trumpiniu (angl. *Discrete, analog, optoelectronics and sensors*), dominuoja pramoninėje elektronikoje bei automobilių rinkoje, kur sudaro 63 % bei 59 % visų puslaidininkių pardavimų.

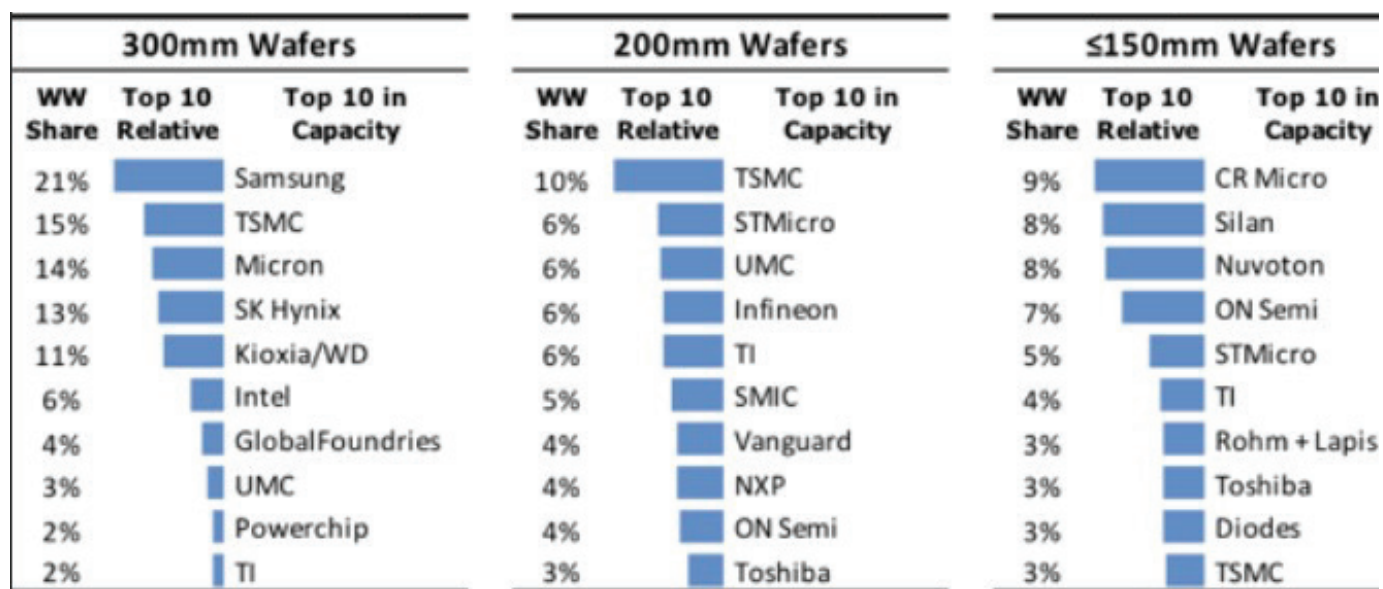


Iliustracija 2. Pasauliniai gamybos pajėgumai pagal puslaidininkio tipą ir nanometro technologiją. Pagal 2019 m. duomenis, BCG ir SIA (2021), *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*

Vertinant pasaulinius gamybos pajėgumus pagal aukščiau iliustracijoje pateiktą technologinį puslaidininkių gamybos procesą, pastebima, jog analoginiai lustai, optoelektronika, jutikliai bei diskretūs puslaidininkiniai įtaisai daugiausia gaminami pagal 55nm ir žemesnę technologiją. Šių tipų puslaidininkiams gaminti pasitelkiama 76 % seniausios kartos (>180nm) puslaidininkių gamybos proceso pajėgumų. Atminties lustams gaminti pasitelkiamas modernesnis, tačiau ne pats naujausias technologinis puslaidininkių gamybos procesas, ypač 10-22nm technologija. Loginio tipo lustai, priklausomai nuo jų naudojimo paskirties ir dydžio, gaminami pasitelkiant tiek senesnės, tiek naujesnės kartos technologiją, tačiau jie yra vieninteliai, gaminami naudojant pačios naujausios (<10nm) kartos gamybos procesą.

Puslaidininkių pramonė, ypač kalbant apie skaitmeninius IG, pasižymi specializacija, koncentruotumu ir itin dideliu kapitalo poreikiu. Vis didėjanti paklausa tiek kiekybiškai, tiek technologinio išsivystymo prasme reikalauja ypač didelių investicijų į susijusią MTEP veiklą, dizainą, gamybos efektyvumo didinimą, testavimą, pakavimą ir kitas puslaidininkių gamybos proceso dalis. Šie aspektai veikia ir susijusius sektorius, tiekiančius gamybai reikalingą įrangą, projektavimo programines sistemas ir kitas naudojamas technologijas.

Atskiros puslaidininkių gamybos grandinės dalys, kartu su didelėmis kapitalo investicijomis, reikalauja aukšto lygio ekspertizės. Visi minimi veiksniai kartu suformuoja barjerą naujiems rinkos dalyviams, o tai lemia ryškia puslaidininkių gamintojų koncentraciją ir specializaciją. Vyrauja tendencija, kad valstybės, turinčios didelę darbo jėgos pasiūlą, labiau įsitraukia į užsakomąjį kitų įmonių gaminamų puslaidininkių surinkimą ir testavimą. Šalys, turinčios reikiamų procesų technologijų kvalifikacijos darbuotojus, labiau nei kitos imasi technologijoms imlių procesų (pvz., gamybos), o labiausiai išsivysčiusios ekonomikos daugiau dėmesio skiria atitinkamų žinių reikalaujantiems darbams (pvz., projektavimui).<sup>7</sup> Kaip pažymi JAV veikianti Puslaidininkių pramonės asociacija SEMI (angl. *Semiconductor Industry Association*), apie 75 % puslaidininkių gamybos yra sukoncentruota Azijoje, o visoje puslaidininkių vertės grandinėje yra daugiau nei 50 sričių, kur vienas pasaulio regionas užima daugiau nei 65 % rinkos.<sup>8</sup> Visgi, toks vienos ar kitos valstybės / regiono santykinis pranašumas nėra statiškas, tačiau kinta priklausomai nuo vietos ekonominio ir politinio konteksto.



Iliustracija 3. Rinkos pasiskirstymas pagal gaminamų puslaidininkinių plokštelių dydį. IC Insights (2021), TSMC Ranks in Top-10 For Capacity in Three Wafer Size Categories

Reikšminga puslaidininkių rinkos koncentracija pastebima ir žvelgiant į gaminamų puslaidininkinių plokštelių (angl. *wafer*) dydį. Aukščiau pateikta iliustracija rodo lyderiaujančių įmonių 2020 m. pabaigoje apskaičiuotus pajėgumus pagal specifinį gaminamų puslaidininkinių plokštelių skersmenį. Didesnis gaminamų puslaidininkinių plokštelių skersmuo leidžia efektyvinti gamybos procesą vienu ciklu ant jos pagaminant daugiau lustų ir taip sumažinti jų savikainą. Didesnių plokštelių gamybai reikalinga modernesnė įranga, todėl ir tokią įrangą turinčių fabrikų statyboms reikia didesnių investicijų.

Kaip teigia puslaidininkių rinkos tyrimų įmonės „IC Insights“ ekspertai, nors dar yra nemažai įmonių gaminančių 200mm, 150mm ar mažesnes plokšteles, rinkos lyderiai vis labiau pereina prie 300 mm skersmens puslaidininkinių plokštelių gamybos.<sup>9</sup> Aukščiau pateikta iliustracija rodo, jog šioje srityje dominuoja Taivano, Pietų Korėjos bei Kinijos gamintojai. Be Azijos gamintojų, reikšmingą 300mm skersmens puslaidininkinių plokštelių gamybos pajėgumų dalį (14 %) taip pat sudaro JAV „Micron Technology“. Savo ruožtu, Europos pramoninkai – prancūzų ir italų įmonė „STMicroelectronics“ bei vokiečių „Infineon“ atitinkamai užima po 6 % 200mm puslaidininkinių plokštelių rinkos.

7 SIA, Beyond borders. The Global Semiconductor Value Chain, 2016, p. 15

8 SIA, Strengthening the global semiconductor supply chain in an uncertain era, 2021. Žr. <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>.

9 IC Insights, TSMC Ranks in Top-10 For Capacity in Three Wafer Size Categories, 2021. Žr. <https://www.icinsights.com/news/bulletins/TSMC-Ranks-In-Top10-For-Capacity-In-Three-Wafer-Size-Categories/>.

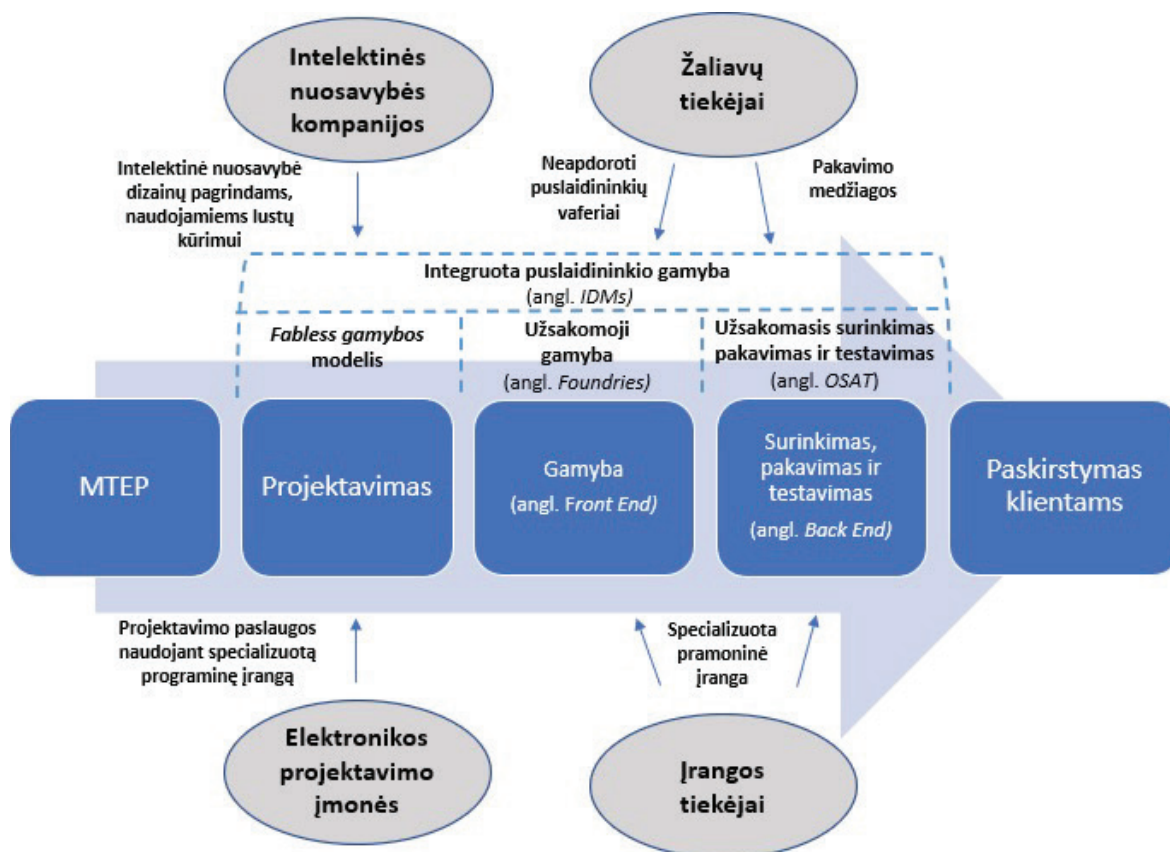
Puslaidininkų pramonės vertės grandinės specializacija pasižymi palyginus nedideliu pagrindinių rinkos dalyvių skaičiumi, tačiau atsispindi ir žvelgiant į vyraujančius gamybos verslo modelius bei jų tendencijas. Tarp tokių modelių išskiriami pagrindiniai keturi: **integruota puslaidininkų gamyba, *fabless* gamybos modelis, užsakomoji gamyba ir užsakomasis surinkimas, pakavimas ir testavimas.**

- **Integruota puslaidininkų gamyba** (angl. *Integrated device manufacturer* (IDM)) – puslaidininkų gamybos verslo modelis, kai įmonė pati atlieka visą puslaidininkinio lusto gamybos procesą: jį projektuoja, gamina, surinkinėja, pakuoja ir testuoja. Visą gamybos procesą savo viduje vykdo tik patys stambiausi rinkos dalyviai, tokie kaip „Infineon“, „Intel“, „Micron“, „Samsung“ ir keletas kitų. Nors ilgą laiką toks verslo modelis puslaidininkų sektoriuje buvo dominuojantis, pastaraisiais dešimtmečiais vis daugiau tokių įmonių užsakinėja dalį gamybos grandinės dalių iš kitų įmonių. Tai, pirmiausia, nulemia dideli ir vis augantys kaštai, kurių reikia atnaujinant gamybos sistemas, atitinkančias naujausius technologinius pasiekimus.<sup>10</sup>
- ***Fabless* gamybos modelis** nurodo į įmonių veiklos tipą, kai puslaidininkiniai lustai yra projektuojami ir jau pagaminus parduodami, tačiau pati gamyba yra užsakoma iš specializuoto gamintojo. Šis verslo modelis, palyginus su kitais, reikalauja mažiausių pirminių kapitalo išlaidų. Tai leidžia dalį investicijų skirti galutinio produkto platinimui bei ypač konkurencingam puslaidininkinių prietaisų projektavimo MTEP, kam *fabless* gamintojai paprastai skiria didžiausią investicijų dalį. *Fabless* verslo modelio pavyzdžiai – tokios įmonės kaip „AMD“, „Broadcom“, „MediaTek“, „Qualcomm“.
- **Užsakomoji gamyba** (angl. *foundries*) – puslaidininkų sektoriaus dalyviai, kurie gamina lustus pagal *fabless* bei IDM įmonių, kurios nusprendžia dalį savo produkcijos užsakyti iš kitų įmonių, užsakymus. Atsižvelgiant į egzistuojančius *fabless* bei IDM įmonių poreikius, toks modelis leidžia diversifikuoti rizikas, susijusias su didelėmis pradinėmis investicijomis, kurios reikalingos statant ir nuolat atnaujinant gamyklos įrangą. Tokio tipo gamintojai užima apie 35 % visos puslaidininkų rinkos gamybinių pajėgumų; šis procentas pakyla iki 78 % 60nm ir naujesnės technologijos lustų gamyboje.<sup>11</sup> Tarp pagrindinių šio verslo modelio atstovų yra „TSMC“, „Global Foundries“, „HH“, „UMC“.
- **Užsakomasis surinkimas, pakavimas ir testavimas** (angl. *Outsourced Assembly & Testing* (OSAT)). OSAT modelis suteikia *fabless* bei IDM įmonėms galutinio lustų gamybos proceso paslaugas: surinkimą, pakavimą ir testavimą. Šis tipas pasižymi mažesnėmis nei IDM ar užsakomosios gamybos modelių kapitalo investicijomis. Lyginant su kitais modeliais, šiam taip pat būdingas žemesnės kvalifikacijos darbo jėgos poreikis. Tarp šio sektoriaus atstovų: „Amkor“, „ASE“, „ChipPAC“, „JCET“.

Kiekvienas iš minėtų gamybos verslo modelių yra pateiktas kitame puslapyje esančioje iliustracijoje. Iliustracija žymi supaprastintą puslaidininkų vertės grandinę, kurios apžvalga bei didžiausi rinkos atstovai atskirose jos dalyse pateikiami toliau.

10 SIA, Beyond borders. The Global Semiconductor Value Chain, 2016, p. 8.

11 BCG ir SIA, Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era, 2021, p. 25



Iliustracija 4. Puslaidininkių pramonės vertės grandinė. Sudaryta autorių remiantis SIA (2016) *Beyond Borders: The Global Semiconductor Value Chain*.

Puslaidininkių pramonės vertės grandinę, ženkliai supaprastinus, galima skirstyti į penkias sudėtines dalis, kurios aplink formuoja susijusius sektorius, taip sudarydamos visą puslaidininkių ekosistemą.

**Moksliniai tyrimai ir eksperimentinė plėtra (MTEP)** puslaidininkių vertės grandinėje užima pagrindinį vaidmenį, vystant inovacijas kiekvienoje iš atskirų vertės grandinės šakų. Atsižvelgiant į publikuojamus mokslinius straipsnius bei investicijas, **tarp puslaidininkių MTEP globalių lyderių išsiskiria JAV, Japonija, Pietų Korėja, Taivanas bei keletas ES valstybių narių** (Belgija, Prancūzija, Vokietija, Nyderlandai ir Italija). Puslaidininkių MTEP veikla gali būti skirstoma į dvi dalis:

- **Fundamentiniai moksliniai tyrimai** – medžiagų savybių tyrimai ir technologinių procesų tobulinimas, suteikiantis pagrindą integrinių grandynų projektavimo ar pramoninių technologijų inovacijoms. Tai tyrimai fundamentinių gamtos ar inžinerijos mokslų srityje, kurių rezultatai yra pasidalinami su visa mokslo bendruomene ir publikuojami moksliniuose žurnaluose. Skirtingai nei MTEP konkrečiai gamybos proceso daliai, tai yra sąlyginai nekonkurencinga sritis, kurios atradimai į rinką patenka lėtai – tam paprastai prireikia bent 10-15 metų.<sup>12</sup> Viso puslaidininkių sektoriaus MTEP kontekste investicijos į fundamentinius mokslinius tyrimus sudaro apie 15-25 %.<sup>13</sup>
- **Rinkos MTEP.** Toks terminas šios apžvalgos kontekste pasitelkiamas apibūdinti MTEP, vykdomą siekiant patobulinti savo produkciją ar teikiamą paslaugą. MTEP pagalba siekiama atsižvelgti į klientų poreikius tobulinant patį produktą, didinant gamybos spartą bei efektyvinant procesus. Į šias veiklas patenka dizaino tobulinimas, leidžiantis įdiegti programinę ir techninę įrangą bei integruoti įvairias puslaidininkių struktūras. MTEP atskirose vertės grandinės dalyse pasižymi dideliu konkurencingumu. Jai didieji rinkos dalyviai, ypač kalbant apie moderniausių gamybos procesų pagalba gaminamus loginius ir atminties lustus, skiria itin dideles investicijas. Didžiausios iš jų – IG **projektavimo** (53 % visų MTEP investicijų), **front-end gamybos** (13 %) bei **pramoninės įrangos sistemų tiekimo** (9 %) sektorių MTEP.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> BCG ir SIA, *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*, 2021, p. 14.

<sup>13</sup> Ten pat.

<sup>14</sup> BCG ir SIA, *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*, 2021, p. 13.

**Projektavimas.** Projektavimo veikla puslaidininkių vertės grandinėje susideda iš *fabless* verslo modelio elektronikos projektavimo įmonių, kurios, pasitelkusios specializuotą programinę įrangą, lustus projektuoja pagal individualų poreikį. Tai dažniausiai daroma įsigijus intelektinę nuosavybę iš procesorių architektūrą teikiančių įmonių arba naudojant viešai prieinamus dizainus. Integruoti puslaidininkių gamintojai lustus projektuoja savo įmonės gaminamiems lustams.

- Tarp pagrindinių rinkos dalyvių šioje vertės grandinės dalyje absoliučiai dominuoja JAV įmonės, kuriančios ir projektuojančios modernius procesorius, korinio ir radijo ryšio juostas, dizainus signalo keitikliams, stiprintuvų ir kitiems analoginiams įtaisams. Tarp kompiuteriuose naudojamų atminties IG projektuotojų taip pat išsiskiria Pietų Korėja. Iš susijusių sektorių galima išskirti JAV svarbą kuriant specializuotą IG projektavimui naudojamą programinę įrangą bei Jungtinę Karalystę, tiekiančią intelektinę nuosavybę kompiuterių procesorių architektūrai.

**Gamyba.** Gamyba (angl. *front-end manufacturing*). Pati lustų gamyba skirstoma į dvi dalis. Pirmojoje iš jų yra apdirbamos puslaidininkių plokštelės – pasitelkus litografines sistemas sukuriamos mikrosistemos. Į šį procesą įeina dešimtys etapų, įskaitant mikroschemų litografinių kaukių (trafaretų) paruošimą, fotorezisto užnešimą, cheminį išdavinimą kt. Šiame etape dalyvauja tiek užsakovieji, tiek integruoti puslaidininkių gamintojai bei išoriniai tiekėjai, kurie tiekia specializuotą gamyklose naudojamą įrangą bei puslaidininkines plokšteles.

- Šioje puslaidininkių vertės grandinės dalyje dominuoja **Taivano, Pietų Korėjos, Japonijos** bei **Kinijos** įmonės, kurios sudaro apie 75 % viso pasaulio gamybinių pajėgumų.<sup>15</sup> 10-22nm technologijose taip pat žymią dalį užima JAV, o pačius moderniausius loginius lustus (<10nm technologija) gamina išskirtinai Taivano (92 %) ir Pietų Korėjos (8 %) įmonės. Pramoninės įrangos puslaidininkių gamybai tiekėjų rinkoje dominuoja **JAV, Japonija** bei kelios Europos Sąjungos narės, ypač **Nyderlandai**, atitinkamai teikiantys puslaidininkių legiravimo (angl. *doping*), fotorezisto apdirbimo bei litografines sistemas.

**Surinkimas, pakavimas ir testavimas** (angl. *back-end manufacturing*). Antroji lustų gamybos proceso dalis pradedama po to, kai IG jau yra sukurti ant puslaidininkinių plokštelių. Šio proceso metu plokštelės yra inspektuojamos, testuojamos, pjaustomos, žymimos ir pakuojamos – tam reikia itin didelio įrangos preciziškumo, tikslumo ir pralaidumo. Šiame vertės grandinės etape dominuoja OSAT gamyklos, taip pat dalyvauja integruoti puslaidininkių gamintojai, susijusios pramoninės įrangos bei pakavimo medžiagų tiekėjai.

- Pagrindiniai rinkos žaidėjai šioje dalyje yra **Taivane, Kinijoje, Pietų Korėjoje** bei **Japonijoje** įsikūrusios OSAT gamyklos. Tarp reikiamų medžiagų tiekėjų – didžiausi **Japonijos** ir **Taivano** verslai.

**Produkcijos skirstymas klientams** – paskutinė puslaidininkių vertės grandinės fazė. Jos metu elektroninių komponentų distributoriai lustus paskirsto elektronikos gamintojams. Tokios įmonės, neretai įsikūrusios Kinijoje, Taivane ar kitose Azijos valstybėse, perka lustus ir integruoja juos į jau vartotojui skirtą elektroniką.

## JAV IR KINIJOS KONKURENCIJA

Puslaidininkių sektoriaus apžvalgai taip pat **aktualus per pastaruosius keletą metų ypač išryškėjęs geopolitinis diskursas**. Puslaidininkiai buvo ir tebėra vienas pagrindinių dviejų didžiausių pasaulio ekonomikų – JAV ir Kinijos – technologinės konkurencijos aspektų.<sup>16</sup> **Kinija, didžiausia lustų importuotoja pasaulyje**, yra priklausoma nuo su puslaidininkinių prietaisų gamyba susijusių JAV kuriamų technologijų. Šis aspektas ypač išryškėjo Donaldso Trumpo administracijos įvesto griežtesnio puslaidininkinių eksporto į Kiniją reguliavimo metu. Kaip vienas tokio reguliavimo pavyzdžių – sąlyga, numatanti, jog „Huawei“ kompanijai negali būti parduodami pagal užsakymą gaminami puslaidininkiniai lustai, jei bet kurioje gamybos stadijoje naudojama JAV sukurta technologija.<sup>17</sup> Toks reguliavimas lėmė nemažus nuostolius, nes „Huawei“ savo lustų dizainui naudojo JAV sukurtą programinę įrangą ir buvo priversti nutraukti ryšius su didžiausiu lustų gamintoju „TSMC“, naudojančiu JAV sukurtą pramoninę įrangą. Artimai su geopolitiniu kontekstu susijusi priklausomybė nuo importo prisidėjo prie Kinijos pastangų vystyti visą reikiamą puslaidininkinių pramonės ekosistemą savo šalies viduje. Pastaraisiais dešimtmečiais Kinija tam skyrė milijardines investicijas.<sup>18</sup>

Savo ruožtu, JAV taip pat jaučia ne tik Kinijos, tačiau ir kitų valstybių investicijų paskatintą didesnę konkurenciją puslaidininkinių sektoriuje, labiausiai matomą puslaidininkinių gamyboje. Nors bendra **JAV puslaidininkinių pramonė** dėl savo lyderystės MTEP, dizaino bei 10-22nm technologijos puslaidininkinių gamybos srityse vis dar **užima beveik pusę pasaulinės puslaidininkinių rinkos**<sup>19</sup>, išaugusią konkurenciją gerai atspindi šios valstybės pasaulio puslaidininkinių gamybinių pajėgumų dalies sumažėjimas nuo 37 % 1990 m. iki 12 % 2021 m.<sup>20</sup>

Atsižvelgdama į augančią konkurenciją ir kartu su COVID-19 pandemija užklupusiu tiekimo grandžių sutrikimu, JAV 2021 m. priėmė **Amerikos lustų aktą** (angl. *CHIPS for America Act*), kuriuo pripažino kritinį JAV puslaidininkinių sektoriaus vaidmenį šalies ateičiai ir įsipareigojo papildomomis investicijomis ir mokestiniais kreditais plėsti puslaidininkinių gamybos ir MTEP infrastruktūrą. Šių tikslų įgyvendinimui JAV vyriausybė 2021 m. vasarą priėmė **Inovacijų ir konkurencijos aktą** (angl. *Innovation and Competition Act*), kuriuo numatomos 52 milijardų JAV dolerių investicijos į šalies puslaidininkinių dizaino, mokslinių tyrimų ir gamybos lustų akte numatytus veiksmus.<sup>21</sup> Šiuo metu taip pat yra svarstomos papildomos mokestinių kreditų investicinės programos (angl. *Facilitating American-Built Semiconductors (FABS)*), kurios skatintų vietos puslaidininkinių gamybą bei investicijas į dizainą ir taip prisidėtų prie visos JAV puslaidininkinių ekosistemos stiprinimo.<sup>22</sup>

---

16 Capri, A., Semiconductors at the Heart of the US-China Tech War. Hinrich Foundation, 2020. Žr. <https://hinrichfoundation.com/trade-research/global-trade-research/thought-leadership/semiconductors-at-the-heart-of-the-us-china-tech-war/>.

17 Barrett, E., China will spend \$ 300 billion on semiconductor imports as U.S. squeezes chip supply, 2020. Žr. <https://fortune.com/2020/08/27/china-semiconductor-chip-imports-us-ban-huawei/>.

18 Triolo, P. ir Allison, K., The Geopolitics of Semiconductors, 2020. Žr. <https://www.eurasiagroup.net/live-post/geopolitics-semiconductors>.

19 SIA, Factbook, 2020, p.3. Žr. [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/04/2020-SIA-Factbook-FINAL\\_reduced-size.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/04/2020-SIA-Factbook-FINAL_reduced-size.pdf).

20 SIA, CHIPS for America Act & FABS Act. Žr. <https://www.semiconductors.org/chips/>.

21 SIA, Senate Passage of USICA Marks Major Step Toward Enacting Needed Semiconductor Investments, 2021. Žr. <https://www.semiconductors.org/senate-passage-of-usica-marks-major-step-toward-enacting-needed-semiconductor-investments/>.

22 SIA, SIA Applauds Senate Introduction of FABS Act, 2021. Žr. <https://www.semiconductors.org/sia-applauds-senate-introduction-of-fabs-act/>.

## COVID-19 PANDEMIJA IR PUSLAIDININKIŲ STYGIUS

Prie JAV, Kinijos, Europos Sąjungos ir kitų didžiųjų pasaulio ekonomikų puslaidininkių tiekimo grandinės autonomijos siekių mažinant tiekimo rizikas ženkliai prisidėjo ir **COVID-19 pandemija bei jos padarinių sukeltas puslaidininkių stygius**. Antroje 2020 m. pusėje keletas tarpusavyje susijusių faktorių lėmė pasaulinių puslaidininkių tiekimo grandinių sutrikimus ir dėl to kilusį ženklų kainų augimą bei lustų stygių. Pandemijos valdymui įvesti karantiniai padidino IRT (informacinių ir ryšio technologijų) ir kitų elektronikos prietaisų paklausą. Tuo pat metu dėl suaktyvintų JAV puslaidininkių eksporto kontrolės mechanizmų ir bendrai rinkoje numatomo stygiaus didžiausios importuotojos Kinijos ir kitų valstybių elektronikos gamintojai ėmė vis aktyviau lustus sandėliuoti ateičiai, siekdami, jog nenukentėtų jų pačių produktų gamyba.<sup>23</sup> Nebegalėdami patenkinti išaugusių poreikių, puslaidininkių gamintojai pradėjo prioritetizuoti didžiausius savo klientus – būtent IRT sektorių. Tai lėmė puslaidininkių tiekimo pristabdymą sektoriuose, kurių produktų paklausa pandemijos pradžioje buvo ženkliai sumažėjusi. Lengvinant su pandemija susijusius ribojimus ir ekonomikoms atsigaunant, tokių sektorių paklausa vėl pradėjo augti, tačiau puslaidininkių gamybos pajėgumai jau buvo perskirstyti.

**Vienas ryškiausių tokių pavyzdžių – automobilių pramonė.** Jau 2021 m. pavasarį dauguma didžiųjų automobilių gamintojų, tokie kaip „General Motors“, „Volkswagen“, „Volvo“, „Renault“, „Hyundai“ ir kiti, iš pradžių dėl su karantinų įvedimu susijusios mažėjančios paklausos, o vėliau ir dėl puslaidininkių stygiaus, buvo priversti pristabdyti arba mažinti savo gamybos apimtis.<sup>24</sup> Galiausiai, šis lustų stygius pasiekė ir pačią IRT rinką, todėl išmaniųjų telefonų, žaidimų konsolių ir kompiuterių gamintojai buvo taip pat priversti pristabdyti savo gamybą ar pavėlinti naujų produktų pristatymus.<sup>25</sup>

Problema, kuri susiklosčius nepalankioms sąlygoms virto į lustų tiekimo grandinės sutrikimus, siejama su tuo, kad puslaidininkius gamina ribotas skaičius gamintojų ir gamybos pajėgumai nėra pakankamai greitai adaptuojami reaguojant į rinkos pokyčius. Nors COVID-19 pandemijos kontekste priežastys skiriasi, verta paminėti, kad žiūrint į ilgesnę perspektyvą **puslaidininkių stygius nėra naujas fenomenas**. Pažymėtina, jog puslaidininkių sektoriaus generuojamos pajamos ilguoju laikotarpiu sparčiai auga, taip pat matomi gana staigūs šuoliai, tačiau šiam sektoriui taip pat būdingi kas 4-5 metus įvykstantys ir daugiau nei metus besitęsiantys pardavimų nuosmukai, koreliuojantys su galutinių produktų rinkų svyravimais ir MTEP ciklais.<sup>26</sup> Paskutinis toks pardavimų nuosmukis buvo 2019 m., kai puslaidininkių pardavimai krito 12 %.<sup>27</sup>

Elektronikos gamintojai praneša apie tai, jog ilgesnis nei tikėtasi puslaidininkių stygius žymi reikšmingą disbalansą tarp egzistuojančios pasiūlos ir vis augančios paklausos.<sup>28</sup> Dėl šios priežasties pastaruoju metu suaktyvėjo ir naujų lustų gamyklų statybų planai. Vienas naujausių to pavyzdžių yra 2021 m. lapkritį pristatyti „Sony“ ir „TSMC“ siekiai jau 2022 m. pradėti statyti 22/28nm technologijos lustų gamyklą Japonijoje.<sup>29</sup> Atsižvelgiant į bendras puslaidininkių rinkos svyravimo tendencijas, ekspertai visgi palieka atvirą klausimą, ar ir kiek susijusios pastarųjų metų problemos rodo naujus sisteminius iššūkius.<sup>30</sup>

23 Bloomberg News, China Stockpiles Chips, Chip-Making Machines to Resist U.S., 2021. Žr. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-02/china-stockpiles-chips-and-chip-making-machines-to-resist-u-s>.

24 Miller, J., Keohane D., ir Inagaki, K., Car manufacturing hit by global semiconductor shortage, Financial Times, 2021. Žr. <https://www.ft.com/content/e264fd41-7ee9-4fba-be3c-21446298efd9>.

25 Criddle, C., Chip shortage: Samsung warns of “serious imbalance”, BBC News, 2021. Žr. <https://www.bbc.com/news/technology-56433082>.

26 Duthoit, A., A 2020 semiconductor slump will send shockwaves across the global electronics industry. The View, Euler Hermes Allianz Economic Research, 2019.

27 Alsop, T., Forecast revenue growth rate global semiconductor industry 1988-2022, Statista, 2021. Žr. <https://www.statista.com/statistics/266976/forecast-revenue-growth-in-the-semiconductor-industry-worldwide/>.

28 King, I., Wu, D., ir Pogkas, D., How a Chip Shortage Snarled Everything From Phones to Cars, Bloomberg, 2021. Žr. <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-semiconductors-chips-shortage/>.

29 Sony, TSMC to BUILD Speciality Technology Fab in Japan with Sony Semiconductor Solutions as Minority Shareholder, 2021. Žr. <https://www.sony-semicon.co.jp/e/news/2021/2021110901.html>.

30 Poitiers, N.F. ir Weil, P., A new direction for the European Union’s half-hearted semiconductor strategy, Policy Contribution Issue n°17/21, 2021, p 11. Žr. <https://www.bruegel.org/wp-content/uploads/2021/07/PC-2021-17-semiconductors-.pdf>.

Šiuo atžvilgiu aktualios ir plačiai cituojamos Tarptautinės duomenų korporacijos prognozės, teigiančios, jog puslaidininkių stygius mažės, bet tęsis iki 2022 m. vidurio. Tuomet rinka jau turėtų normalizuotis ir pasiekti balansą. Savo ruožtu, toliau didinami gamybos pajėgumai gali lemti, jog jau 2023 m. susidarys gamybos perteklius, kuris trumpuoju periodu galimai pasireikštų ir kainos kritimu.<sup>31</sup>

Spartus technologijų vystymasis ir visuomenės skaitmenizavimo procesai ilguoju laikotarpiu iššaukia didelį puslaidininkių rinkos augimo potencialą. Nepaisant to, nemažos investicinės rizikos, susijusios su gana ženkliai kintančia paklausa, itin konkurencinga MTEP aplinka, didelių kapitalo investicijų poreikis, komponentų tiekimo grandinių užsitikrinimas, stipri intelektinės nuosavybės apsauga ir kt. susiję poreikiai dažnu atveju lemia neužtikrintą investicijų atsiperkamumą, ypač kalbant apie pačios moderniausios technologijos lustų projektavimą ir gamybą.<sup>32</sup> Be to, puslaidininkių sektorius reikalauja nemažų žmogiškųjų išteklių bei ekspertizės. Dėl šių priežasčių pažymima, jog **puslaidininkių pramonės ekosistemos kūrimas ir reikšminga plėtra reikalauja ilgojo laikotarpio planavimo ir perspektyvos**. Lengvo ir greito sprendimo dabartiniams sektoriaus iššūkiams nėra.<sup>33</sup>

## EUROPOS SĄJUNGOS PUSLAIDININKIŲ SEKTORIAUS APŽVALGA

Lustų ir su jais susijusių įvairios elektronikos tiekimo grandinių sutrikimai, puslaidininkių rinkos geopolitinis bei strateginis jautrumas pastaruosiu metu yra vis dažniau akcentuojami kaip pagrindiniai veiksniai, siekiant sumažinti tiekimo grandinių rizikas.<sup>34</sup> Kaip minėta JAV ir Kinijos pavyzdžiais, taip ir kitose pasaulio ekonomikos šie aspektai pastaruosius keletą metų pasireiškia naujais investicijų planais, skirtais tiekimo grandinių diversifikavimui bei vietinės puslaidininkių pramonės ekosistemos plėtrai. Šiuo požiūriu ne išimtis yra ir Europos Sąjunga.

**Europos Sąjungos vaidmuo globalioje puslaidininkių vertės grandinėje** per pastaruosius dešimtmečius, nors augantis absoliučiais skaičiais, **išlieka gana nežymus**. Remiantis Europos Komisijos 2020 m. išleistoje studijoje apie regiono elektronikos ekosistemą pateiktais duomenimis, ES dalis nuo pasaulinės puslaidininkių rinkos per pastaruosius dešimtmečius stabiliai laikosi apie 10 %, tačiau konkrečiai gamybos srityje ženkliai mažėja – 1998 m. siekusi 22 % stabiliai krito iki 13 % 2010 m., o 2017 m. jau sudarė vos 9 % visos puslaidininkių gamybos rinkos.<sup>35</sup> Pačių moderniausių lustų gamybos grandinėje **Europos valstybės turi svarbų indėlį tiekiant gamyboje naudojamas puslaidininkines plokšteles bei įrangą**, kur pabrėžtina Nyderlanduose įsikūrusių įmonių lyderystė pasaulyje tiekiant pramonines sistemas litografijai. Nyderlandai artimiausiais metu taip pat yra išsiskyrę prioritetą fotonikos grandynų (angl. *photonic integrated circuits*) srityje – tai žymi reikšmingą perėjimą nuo elektronikos puslaidininkiuose į optoelektroniką. Nepaisant to, šiuo metu **Europa atsilieka priešakinių technologijų (angl. *cutting-edge*) lustų projektavimo ir gamybos srityse**.<sup>36</sup> Tai iš dalies sietina su palyginti mažomis investicijomis ir senesnės gamybos technologijos lustų ar mažos integracijos puslaidininkių prietaisų rinkų prioretizavimu. 2020 m. tik 3 % visų gamyklų įrangai skirtų globalių investicijų buvo investuota Europoje.<sup>37</sup>

31 International Data Corporation, Semiconductor Market to Grow By 17.3% in 2021 and Reach Potential Overcapacity by 2023, 2021. Žr. <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prAP48247621>.

32 Bauer, H., et al., Semiconductor design and manufacturing: Achieving leading-edge capabilities, McKinsey & Company, 2020. Žr. <https://www.mckinsey.com/industries/advanced-electronics/our-insights/semiconductor-design-and-manufacturing-achieving-leading-edge-capabilities>.

33 Poitiers, N.F. ir Weil, P., A new direction for the European Union's half-hearted semiconductor strategy, 2021, p. 11.

34 Ten pat.

35 Coulon, O., et al., Study on the Electronics Ecosystem: Overview, Developments and Europe's Position in the World, Publications Office of the European Union, 2020, p.14.

36 Kleinhans, J. P., ir Baisakova, N., The Semiconductor Value Chain, 2020, p. 22. Žr. [https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the\\_global\\_semiconductor\\_value\\_chain.pdf](https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf).

37 Poitiers, N.F. ir Weil, P., A new direction for the European Union's half-hearted semiconductor strategy, 2021, p. 8.



Europos puslaidininkių gamyklos, tokios kaip „Global Foundries“, „STMicroelectronics“, „Bosch“, „Infineon“ ar „NXP“, užima palyginus nedidelę pasaulinių gamybinių pajėgumų dalį ir specializuojasi savose nišose: gamina kelių kartų senumo technologijomis paremtus lustus savo specializacijos srityse, įskaitant analoginius grandynus, optoelektroniką, jutiklius, radijo dažnių identifikavimo sistemų lustus bei mažos integracijos puslaidininkinius prietaisus.<sup>38</sup>

14nm, 7nm ar dar modernesnės technologijos lustai sunaudoja mažiau energijos, todėl gali būti sudėtingesni bei galingesni nei tie, kurie pagaminti naudojant 28nm ar dar senesnės kartos puslaidininkių technologijas. Moderniausių technologijų gamybos procesai bei inovacijos kainuoja kelis ar net keliasdešimt kartų daugiau nei kiek senesnių technologinių kartų IG.<sup>39</sup> Žvelgiant būtent per IG gamybos technologinio proceso prizmę, kuri pasaulio rinkoje yra tapusi ir marketingo kriterijumi, bei atskyrus JAV įmonės „Intel“ gamyklą Airijoje, kurios pagamintą produkciją „Intel“ panaudoja daugiausia savo reikmėms, Europa negamina modernesnių nei 20nm technologijos lustų. Kiek senesnės kartos – iki 22nm ir 28nm – lustus gamina „STMicroelectronics“ Prancūzijoje bei „Globalfoundries“ Vokietijoje, o **didžioji dalis yra 40nm-180nm bei 180nm≤ technologijos lustai**.<sup>40</sup> Pastarieji sudaro beveik 50 % visų Europos gamybinių pajėgumų. Dauguma šių gamyklų yra įsikūrusios **Vokietijoje** bei **Prancūzijoje**.

Akcentuojama, kad tranzistorių tankis nėra itin svarbus rodiklis analoginiams IG ar jutikliams, kuriuose specializuojasi Europa. Dėl šios priežasties **Europos puslaidininkių subsektoriuose inovacijų yra siekiama ne keičiant tranzistorių dydį ar tankį, tačiau taikant naujas medžiagas**. Europa nesispecializuoja didesnių ir geriau išvystytų elektronikos sektorių, išmaniųjų telefonų, kompiuterių ar kitų panašių vartotojiškų skaitmeninių prietaisų gamyboje. Vietos puslaidininkių sektorius yra orientuotas į kitą Europos pramonės stiprybes atspindinčią, greitai augančią elektronikos produkciją. Šiame kontekste ypač aktuali **autotransporto elektronika**, kur Europa 2017 m. duomenimis sukuria 27 % viso pasaulio produkcijos, taip pat **pramoninė elektronika** (20 %) bei **aviacijos, gynybos bei saugumo elektronika** (22 %).<sup>41</sup> Puslaidininkių sektoriaus vystymasis ir inovacijos ES yra sietinos su čia esančia bendra pramonės ir inovacijų ekosistema. Europoje kuriamoms inovacijoms puslaidininkių srityje visuomet buvo būdinga sąsaja su čia vykdomais pažangiais fundamentiniais moksliniais tyrimais, bendradarbiavimas su universitetų tyrimų padaliniais. Inovacijos puslaidininkinėse technologijose taip pat glaudžiai susijusios su Europoje dominuojančių įmonių, gaminančių plataus vartojimo prekes, poreikių tenkinimu.<sup>42</sup>

## SUSIJUSIOS EUROPOS SAJUNGOS INICIATYVOS

ES identifikuoja puslaidininkių sektorių kaip strateginę ir būtiną sąlygą savo technologinei nepriklausomybei užtikrinti. Šiandieniniame geopolitiniame bei COVID-19 pandemijos kontekste ES politikos formuotojų dėmesys puslaidininkių sektoriui ypač suaktyvėjo. Vienas to pavyzdžių – 2020 m. gruodžio mėnesį 17 ES narių<sup>43</sup> bendrai pasirašyta deklaracija dėl **Europos iniciatyvos procesorių ir puslaidininkių technologijose** (angl. *A European Initiative on Processors and Semiconductor Technologies*), kuria valstybės narės pasisakė už Europos procesorių ir puslaidininkių ekosistemos stiprinimą, įtraukiant konkretų tikslą pradėti gaminti moderniausius, 2nm gamybos technologijos, lustus.<sup>44</sup>

38 Ten pat.

39 Varas, A., et al., Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing, Boston Consulting Group, 2020. Žr. <https://www.bcg.com/publications/2020/incentives-and-competitiveness-in-semiconductor-manufacturing>.

40 Kleinhans, J. P., The lack of semiconductor manufacturing in Europe. Why the 2nm fab is a bad investment, 2021, p. 12.

41 Coulon, O., et al., Study on the Electronics Ecosystem: Overview, Developments and Europe's Position in the World, 2020, p. 12.

42 Guadagno, F., Hoeren, T. ir Vincent, S. W., Breakthrough technologies – Semiconductor, innovation and intellectual property, Economic Research Working Paper, Nr. 27, World Intellectual Property Organisation, 2015, p. 11. Žr. [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_econstat\\_wp\\_27.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_econstat_wp_27.pdf).

43 Tarp deklaraciją pasirašiusių: Belgijos, Vokietijos, Estijos, Graikijos, Ispanijos, Prancūzijos, Kroatijos, Italijos, Maltos, Nyderlandų, Portugalijos, Slovėnijos, Suomijos, Rumunijos, Austrijos, Slovakijos ir Kipro šalių atstovai.

44 Declaration A European Initiative on Processors and semiconductor technologies, 2020. Žr. [https://www.eusemiconductors.eu/sites/default/files/uploads/20201209\\_EuropeanInitiativeonProcessorsandsemiconductortechnologies.pdf](https://www.eusemiconductors.eu/sites/default/files/uploads/20201209_EuropeanInitiativeonProcessorsandsemiconductortechnologies.pdf).

Panašus siekis buvo dar kartą išreikštas ir 2021 m. kovą Europos Komisijos paskelbtame 2030 m. **Skaitmeninės politikos kelrodyje: Europos skaitmeninio dešimtmečio kelias** (angl. *2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade*), kuriame kartu su modernesne nei 5nm technologijos lustų gamyba numatytas tikslas iki 2030 m. pasiekti 20 % globalios puslaidininkų gamybos rinkos vertės.<sup>45</sup>

Dar 2018 m. patvirtintas ir pirmasis mikroelektronikos sričiai skirtas **bendriems Europos interesams svarbus projektas** (angl. *IPCEI on Microelectronics; toliau – BEISP ME*), apjungęs Italijos, Jungtinės Karalystės, Prancūzijos ir Vokietijos (2021 m. prisijungė ir Austrija) įmones ir mokslinius institutus. Šis projektas skirtas naujų mikroelektronikos produktų vystymui ir gamybai, orientuojantis į pagrindines penkias technologines sritis: energiją taupančius lustus, galios puslaidininkius, išmaniuosius jutiklius, pažangią optinę įrangą bei naujas puslaidininkines medžiagas.<sup>46</sup>

COVID-19 pandemijos kontekste pradėta svarstyti ir **antrojo BEISP mikroelektronikos sričiai** skirto projekto galimybė (BEISP ME2). BEISP ME2 tikslas – padidinti ES rinkos saugumą ir tvarumą Europoje skatinant sprendimų integravimą ir gamybą mikroelektronikos komponentų srityje, remti Europos pramonės sritis, kuriose Europa yra labai priklausoma, ir užtikrinti ES pramonės konkurencingumą pasaulinėje rinkoje. Išsikeltam tikslui pasiekti projektas orientuojasi į proveržį šiose srityse (tačiau jomis neapsiriboja):

- procesorių ir lustų, skirtų dirbtiniam intelektui, projektavimas;
- lustų projektavimas komunikacijai (5G, 6G ir kt.) ir ryšiu;
- lustų komunikacijai ir ryšiu kūrimas ir gamyba Europoje;
- pažangus heterogeninės integracijos puslaidininkų pakavimas;
- puslaidininkinės plokštelės radijo dažnių ir galios elektronikai.

Mikroelektronikos sričiai skirti BEISP ME ir BEISP ME2 projektai numato galimybę skleisti įgytas žinias ir inovacijas visoms susijusioms interesų grupėms, įskaitant užsakovus, projekto partnerius, tiekėjus, akademinės institucijas ir įmones. Taigi, remiamos priemonės numato galimybę teigiamam poveikiui ne tik konkrečiam pareiškėjui, tačiau ir visam konsorciui ir susijusiam verslo sektoriui. BEISP projektų reikšmė taip pat akcentuojama ir dėl galimybės dalyvaujantiems projektams gauti iki 100 % finansavimo trūkumo.

2021 m. birželio mėnesį įkurtas **ES procesorių ir puslaidininkinių technologijų aljansas**, kuriam numatytos dvi pagrindinės veikimo kryptys: Europos elektronikos projektavimo ekosistemos stiprinimas bei būtinų gamybinių pajėgumų sukūrimas.<sup>47</sup> Kartu su rugsėjo mėnesį pasakyta metine Europos Komisijos pirmininkės Ursulos von der Leyen kalba, Komisija taip pat pranešė apie **ES lustų aktą**, kuris „sugrąžins Europą atgal į technologines lenktynes“<sup>48</sup>. Šiame plane numatyta Europos puslaidininkinių strategija, kurios pagrindiniai akcentai yra: Europos puslaidininkinių tyrimų strategija, kolektyvinis gamybinių pajėgumų didinimo planas, įtraukiant ir pačius našiausius 2nm technologijos lustus, bei sukurtas pagrindas tarptautiniam bendradarbiavimui ir partnerystei. Pranešime apie ES lustų aktą taip pat numatyta galimybė įkurti ir **Europos puslaidininkinių fondą**, kuris kartu su kitomis susijusiomis ES ir nacionalinėmis iniciatyvomis, privačiu finansavimu ir BEISP projektais suteiks papildomas finansavimo galimybes puslaidininkinių ekosistemos vystymui.

---

45 Europos Komisija, 2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade, p. 6. [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-digital-compass-2030\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/communication-digital-compass-2030_en.pdf).

46 Plačiau apie BEISP ME žr. <https://www.ipcei-me.eu/what-is/>.

47 Plačiau apie ES procesorių ir puslaidininkinių technologijų aljansą žr. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/all-ance-processors-and-semiconductor-technologies>.

48 Plačiau apie ES lustų aktą žr. [https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/bretton/blog/how-european-chips-act-will-put-europe-back-tech-race\\_en](https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/bretton/blog/how-european-chips-act-will-put-europe-back-tech-race_en).

Atsižvelgiant į globalų kontekstą, šių iniciatyvų atsiradimas vertinamas palankiai. Visgi, **dalis ekspertų kritikuoja ES planus siekiant puslaidininkių sektoriaus autonomijos nuo pasaulio rinkos.** Šiuo požiūriu išskirtina 2021 m. spalio pradžioje Nyderlandų vyriausybės išleista studija, teigianti, kad kuriant vietinę puslaidininkių ekosistemą ES neturėtų atsiriboti nuo pasaulinių tiekimo grandinių.<sup>49</sup> Tokia nuomonė, tikėtina, pareikšta atsižvelgiant į svarbią Europos, įskaitant ir Nyderlandų, įmonių vaidmenį tiekiant puslaidininkių pramonei reikalingas žaliavas ir pramoninę įrangą. Nurodoma, kad rengiamame ES lustų akte turi būti pripažinta, jog atsiribojimas nuo globalių tiekimo grandinių yra iliuzija, o Europos interesas kaip tik turėtų būti atvira ekosistema, kuri specializuotųsi inovacijų skatinime, investicijų pritraukime bei pridėtinės vertės kūrimu. Ne atsiribojimas, o tiekimo diversifikacija ir abipusė priklausomybė skatina sektoriaus atsparumą.<sup>50</sup> Tokioms mintims iš esmės pritaria ir už ES konkurenciją atsakinga Europos Komisijos narė Margrethe Vestager, kuri teigia, jog visiškos ES autonomijos siekis puslaidininkių gamyboje, atsižvelgiant į naudojamų puslaidininkių įvairiapusiškumą ir gamybai reikiamas investicijas, yra neįmanomas.<sup>51</sup> Todėl M. Vestager pabrėžia būtinybę megzti partnerystes su globaliais partneriais.

Kai kurie **ekspertai kritikuoja** ir konkrečias ES strateginių puslaidininkių ekosistemos plėtros kryptis, akcentuojant **įsitraukimą į globalias lenktynes dėl pačių moderniausių 5nm ir naujesnės kartos technologijų lustų gamybą.** Šiame kontekste teigiama, jog investuoti į modernių loginių puslaidininkių gamybas nėra didelio poreikio, kol Europos Sąjunga neturi stiprios vietinio verslo paklausos, kuris turėtų tokiems puslaidininkiams reikalingus projektavimo pajėgumus.<sup>52</sup> Tokios pozicijos atstovai pripažįsta, jog Europai trūksta modernios technologijos lustų gamyklų, tačiau mini, jog dar svarbiau yra plėsti būtent projektavimo kompetencijas ir *fabless* modelio įmonių industriją, kuri orientuotųsi į inovacijas lustų projektavimo srityje, o ne jų gamyboje. Neturint vietinės industrijos paklausos, tikėtis, jog užsienio kompanijos projektuos savo dizainus pagal tokių Europoje planuojamų moderniausių lustų gamyklos procesus, yra gana naivu, atsižvelgiant į tai, jog pažangiausi lustų gamintojai „TSMC“ ir „Samsung“ šiuo metu planuoja steigti gamyklas JAV.<sup>53</sup> ES turi pasaulinio lygio puslaidininkių gamyklų įrangos, puslaidininkių plokštelių tiekėjus, kurie visi yra įtraukti į moderniausių lustų gamybą Pietų Korėjoje, Taivane ar JAV. Nepaisant to, pačios ES puslaidininkių pramonė loginius lustus pramoniniam naudojimui projektuoja remdamasi ankstesnių kartų technologiniais procesais. Dėl šios priežasties, jei norima investuoti būtent į vietos ekosistemai pritaikytą lustų gamybą, o ne kitas vertės grandinės dalis, svarstoma, jog reikėtų orientotis ne į 2nm ar 5nm, o į 14nm ir dar ankstesnės kartos gamybos technologijas.<sup>54</sup>

---

49 Strauss, M., ir Yun Chee, F., Dutch warn against global decoupling in European Chips Act, Reuters, 2021. Žr. <https://www.reuters.com/technology/dutch-warn-against-global-decoupling-european-chips-act-2021-10-13/>.

50 Ten pat.

51 Amaro, S., Achieving semiconductor independency is 'not doable', EU competition chief says, CNBC, 2021. Žr. <https://www.cnbc.com/2021/11/29/eu-vestager-independent-semiconductor-production-isnt-doable.html>.

52 Kleinhans, J. P., The lack of semiconductor manufacturing in Europe. Why the 2nm fab is a bad investment, 2021, p. 22.

53 Financial Times, TSMC: how a Taiwanese chipmaker became a linchpin of the global economy, 2021. Žr. <https://www.ft.com/content/05206915-fd73-4a3a-92a5-6760ce965bd9>.

54 Kleinhans, J. P., The lack of semiconductor manufacturing in Europe. Why the 2nm fab is a bad investment, 2021, p. 22.

# Lietuvos puslaidininkių sektoriaus apžvalga

Konkrečiai su puslaidininkių panaudojimu, gamyba ar prekyba Lietuvos elektronikos gamyboje susijusi statistika nėra kaupiama. Dėl šios priežasties nėra galimybių giliau išnagrinėti tikslų Lietuvos vaidmenį globalioje puslaidininkių vertės grandinėje ir apžvelgti jo pokyčių tendencijas. Atsižvelgiant į tai, Lietuvos puslaidininkių sektoriaus apžvalga remiasi viešai prieinama informacija ir kalbintų ekspertų įžvalgomis. Šis skyrius susideda iš bendros puslaidininkių tematikos konteksto Lietuvoje apžvalgos, kompiuterių, elektroninių ir optinių prietaisų gamybos statistikos bei atskirų šių pramonės sektorių sąsajų su puslaidininkiais ir Lietuvoje vykdomų puslaidininkių mokslinių tyrimų analizės.

**Lietuva turi gilų puslaidininkinių fizikos mokslų įdirbį**, gajų dar nuo sovietmečio, kai Vilniaus universiteto Fizikos fakultete puslaidininkinių fizikos tyrimai buvo vykdomi didžiausioje Sovietų Sąjungoje Puslaidininkinių fizikos katedroje, ruošusioje puslaidininkinių fizikos specialistus. Tuometiniame Kauno politechnikos institute (dabar – Kauno technologijos universitetas) taip pat rengti inžinieriai puslaidininkinių pramonei. Ilgainiui ši susijusių mokslinių institutų infrastruktūra išsiplėtė iki Sovietų Sąjungos mastu reikšmingo Puslaidininkinių fizikos instituto (dabar – Fizinių ir technologijos mokslų centro dalis). Nuo 1960 m., kai buvo įkurta Puslaidininkinių fizikos katedra, o 1967 m. – minėtas institutas, šalies mokslininkai greitai įgavo tarptautinį pažinimą. VU atsirado optinės metodikos, leidžiančios bekontakčiu būdu nustatyti puslaidininkinių plokštelių kokybę. Puslaidininkinių fizikos institutas buvo vienu iš pasaulinių lyderių aukštų dažnių fizikos bei karštųjų elektronų tyrimo puslaidininkiuose kryptyse. Be to, Lietuvoje tuo metu veikė ir kiti susiję tyrimų centrai, tokie kaip Kauno radijo matavimų technikos mokslinių tyrimų institutas (vėliau susivienijimas „Lira“). Taip pat gyvavo dideli vidaus rinkai skirtų puslaidininkinių lustų gamintojai, tokie kaip „Vilniaus Venta“ ar „Nuklonas“ (Šiauliuose).

Visgi, dalis minėtų institucijų ilgainiui išnyko ar persikvalifikavo ir susikoncentravo į kitas sritis, o kartu su nepriklausomybės atgavimu atsiveriant rinkoms, vietos gamintojai nebuvo konkurencingi pasauliniu mastu ir tam, jog išliktų, buvo priversti specializuotis nišinių tiristorių, didelės galios diodų, triakų bei kitų diskrečių puslaidininkinių prietaisų gamyboje. Šiandien, be kelių išimčių, lustus Lietuvos elektronikos gamintojai importuoja, programuoja bei panaudoja savo produkto gamybai, tačiau patys jų negamina. Lietuva taip pat neturi reikšmingos patirties sudėtingų IG VLSI (angl. *Very Large Scale Integration*) projektavimo srityje. Nepaisant to, Lietuvoje veikia įmonės, kurios specializuojasi diskrečių puslaidininkinių prietaisų gamyboje arba puslaidininkinių vertės grandinėje užsienio gamintojams tiekia lustų gamybos infrastruktūroje naudojamos įrangos komponentus.

Kaip ir visame pasaulyje, Lietuvos elektronikos gamintojus ir mokslinių tyrimų centrus, kurie kuria IG prototipus, paveikė 2020 m. antroje pusėje prasidėjęs lustų stygius. **Lietuvoje veikiantiems elektronikos gamintojams puslaidininkinių stygius tapo vienu augimą ribojančių veiksnių.** Problemai spręsti bendrovės telkė papildomus resursus burdamos konkrečiai šiam reikalui dirbančias komandas, bendradarbiaudamos su kitomis įmonėmis ir užsakydamos didesnius lustų ar kitų elektronikos komponentų kiekius, bandydamos pagreitinti užsakymų transportavimą bei kaupdamos atsargas.<sup>55</sup> Visgi, būdami visiškai priklausomi nuo lustų importo, elektronikos gamintojai susidariusiai problemai iš esmės neturi ženklų pokytį atnešančių sprendimo įrankių. Prie šios problemos, pasak ekspertų, prisideda ir tai, kad Lietuvos elektronikos gamintojų apimtis užsakinėjant lustus pasaulio rinkos mastu nėra didelės, o puslaidininkinių gamintojai prioretizuoja didžiausius užsakovus, todėl lustų įsigyti tampa dar sunkiau.<sup>56</sup> Nors globalus puslaidininkinių tiekimo grandinių sutrikimas, bent kol kas, yra trumpojo laikotarpio reiškinys, šiame kontekste tiek jaučiant dabartinį stygių, tiek suprantant puslaidininkinių rinkos plėtros perspektyvas ateityje, verslo atstovų ir sprendimų priėmėjų dėmesys puslaidininkinių pramonės ekosistemos plėtrai Lietuvoje smarkiai suaktyvėjo.

---

<sup>55</sup> LRT, „Hella Lietuva“ vadovas: rinkoje trūksta mikroschemų, puslaidininkinių, 2021. Žr. <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/1459247/hella-lietuva-vadovas-rinkoje-truksta-mikroschemu-puslaidininkiu>; taip pat, Verslo žinios Autopramonės gamykla stabdantis puslaidininkinių trūkumas pavijo ir Lietuvos bendroves, 2021. Žr. <https://www.vz.lt/pramone/2021/02/22/autopramones-gamyklas-stabdantis-puslaidininkiu-trukumas-pasivijo-ir-lietuvos-bendroves&QddJa>

<sup>56</sup> Pokalbis su KTU Senato pirmininku bei Elektros ir elektronikos prof. Žilvinu Nakučiu, 2021.10.28.

Prie tokių planų skatinimo prisideda ir pastaraisiais metais suaktyvėjusi **Lietuvos ir Taivano ekonominio bendradarbiavimo sričių paieška**. Kaip rodo 2021 m. spalio mėn. į Lietuvą atvykusi didžiausia iki šiol Taivano verslo delegacija, sudaryta iš įmonių, verslo organizacijų atstovų bei įvairių ministerijų vadovų, viena iš pagrindinių bendradarbiavimo temų yra puslaidininkiai. Šio prekybos ir investicijų forumo dalyviai pasirašė 6 abipusio susitarimo memorandumus, tarp kurių numatytos Taivano ir Lietuvos puslaidininkinių talentų ir tyrimų programos bei Nacionalinio Sun Yat-sen universiteto Kristalų tyrimų centro ir FTMC bendradarbiavimas.<sup>57</sup> Susitikimo metu Lietuvos Ekonomikos ir inovacijų ministrė Aušrinė Armonaitė išsakė potencialias galimybes Taivano įmonei ar Lietuvos įmonėms bendradarbiaujant su Taivano įmonėmis Lietuvoje atidaryti puslaidininkinių gamyklą. Taivano ekonomikos ministras tokios galimybės ateityje taip pat neatmetė, tačiau nurodė pirmus tam reikiamus žingsnius<sup>59</sup>:

- **specialistų rengimą**, kuris galėtų būti skatinamas Taivano skiriamomis stipendijomis Lietuvos jaunimui studijuoti ir semtis susijusios patirties Taivane;
- **ekspertų grupės suformavimą**, kuri diskutuotų ir priimtų sutarimą dėl naudingo ir pagrįsto Lietuvos vaidmens puslaidininkinių tiekimo grandinėje. Tokioje ekspertų grupėje, esant reikalui, taip pat galėtų dalyvauti ekspertai iš Taivano.

Papildomos mintys apie Lietuvos ir Taivano bendradarbiavimą puslaidininkinių srityje buvo išsakytos ir 2022 m. sausio mėnesį pasirodžius žiniai apie Taivano planus steigti 1 mlrd. USD paskolų fondą bendriems Lietuvos ir Taivano verslo projektams. Tarp tokių projektų numatytos ir Taivano investicijos į puslaidininkinių ir lazerių gamybą.<sup>60</sup> Šiame kontekste lazeriai minimi kaip Lietuvos stiprybė, kuri galėtų būti integruota į puslaidininkinių gamybą.

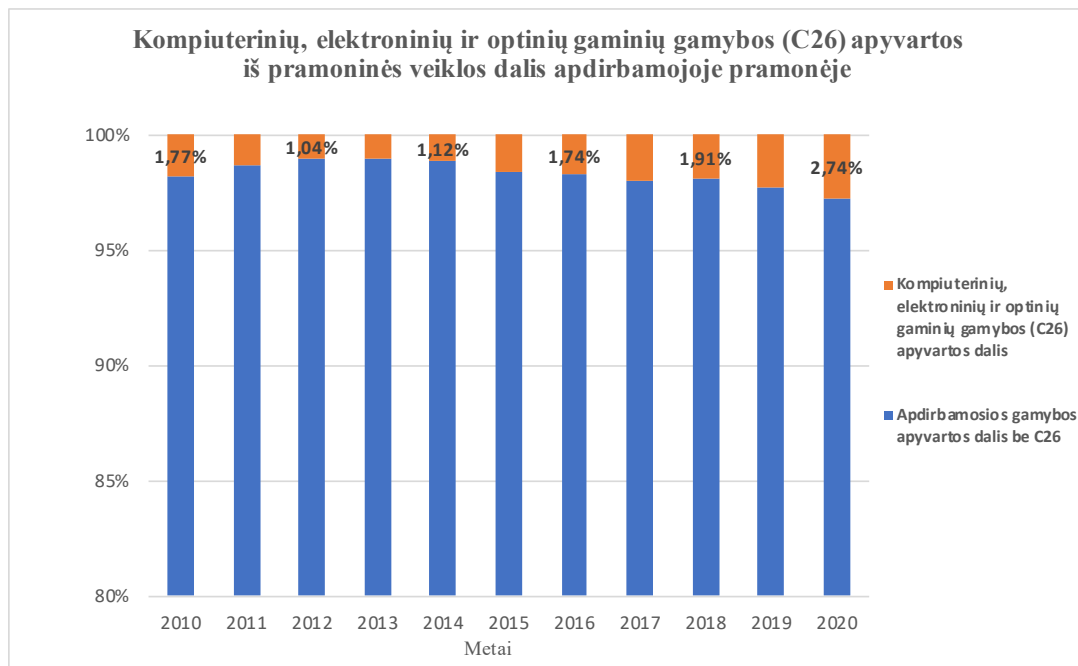
## LIETUVOS KOMPIUTERINIŲ, ELEKTRONINIŲ IR OPTINIŲ GAMINIŲ GAMYBOS STATISTIKA

Prieš pradėdant nagrinėti atskirų Lietuvos elektronikos sektorių ir vykdomų mokslinių tyrimų sąsajas su puslaidininkiais, naudinga paminėti bendras susijusias elektronikos gamybos tendencijas Lietuvoje ir jų indėlį visame apdirbamosios pramonės kontekste. Šiam tikslui toliau pateikiamoje statistikoje a kcentuojama **kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamyba**, priskiriama apdirbamosios gamybos C26 veiklos skyriui pagal statistinį Europos Bendrijos ekonominės veiklos rūšių klasifikatorių. Šis veiklos skyrius tekste taip pat skaidomas į atskiras jį sudarančias ekonominės veiklos grupes.

Per pastaruosius 10 metų kompiuterinių **elektroninių ir optinių prietaisų gamybos apyvarta** Lietuvoje augo daugiau nei du kartus nuo kiek mažiau nei 240 mln. eurų 2010 m. iki beveik 580 mln. eurų 2020 m.<sup>61</sup> Minimą laikotarpį galima skaidyti į du smulkesnius periodus. 2010–2013 m. šie skaičiai šiek tiek smuko, tačiau nuo 2014 m. pasiekiamos apyvartos atsigavo ir nuo tada iki 2020 m. metų augo vidutiniškai po 29,3 % per metus.

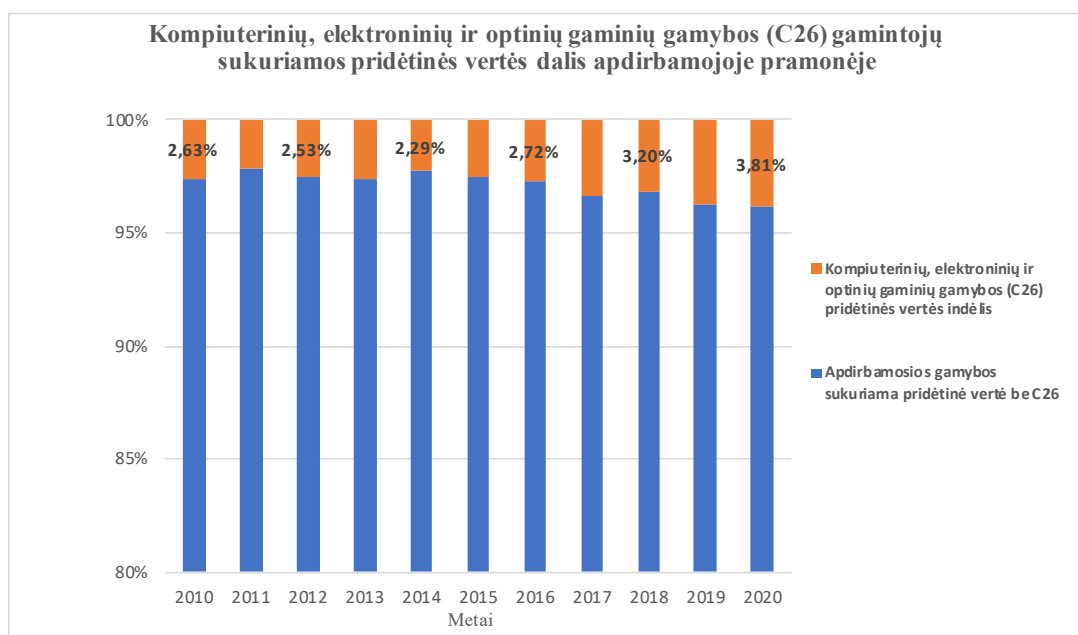
<sup>60</sup> Lietuvos Respublikos ekonomikos ir inovacijų ministerija, A. Armonaitė: Taivanas atidarys 1 mlrd. USD paskolų fondą bendriems Lietuvos ir Taivano verslo projektams, 2022, Žr. <https://eimin.lrv.lt/lt/naujienos/a-armonaite-taiva-nas-atidarys-1-mlrd-usd-paskolu-fonda-bendriems-lietuvos-ir-taivano-verslo-projektams>.

<sup>61</sup> Statistikos departamentas, Apyvarta iš pramoninės veiklos (nefinansų įmonių, be statybos).



Iliustracija 5. Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos apyvartos iš pramoninės veiklos augimas apdirbamosios gamybos kontekste. Paruošta autorių remiantis Statistikos departamento informacija

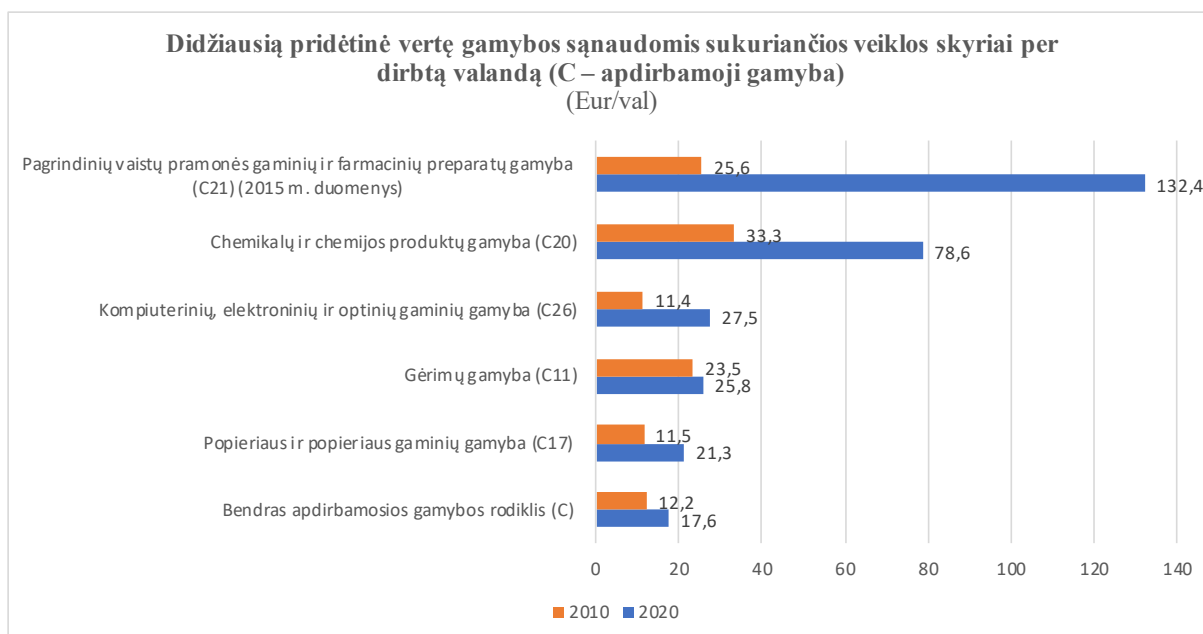
Santykinis šio ekonominės veiklos skyriaus apyvartos dydis tuo pačiu laikotarpiu visame Lietuvos apdirbamosios gamybos kontekste (žr. aukščiau pateiktą iliustraciją) taip pat augo beveik 54 % ir, 2010 m. sudaręs 1,77 %, pastaraisiais metais jau siekė 2,74 % visos apdirbamosios gamybos apyvartos.



Iliustracija 6. Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos sukuriama pridėtinės vertės augimas apdirbamosios gamybos kontekste. Paruošta autorių remiantis Statistikos departamento informacija

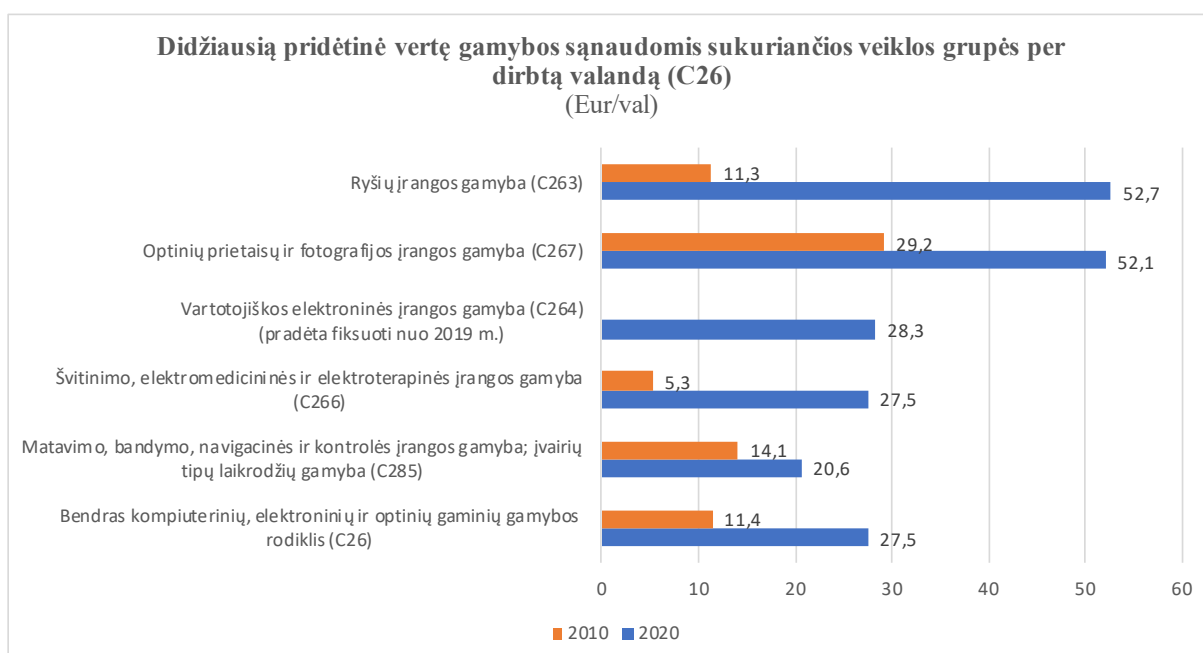
Nagrinėjamo elektronikos gamintojų skyriaus dalis per pastarųjų 10 metų laikotarpį didėjo ir kalbant apie gamybos sąnaudas **sukuriamą pridėtinę vertę**. Apdirbamosios gamybos ekonominėje veikloje, kuri, lyginant su kitomis, Lietuvoje sukuria daugiausiai pridėtinės vertės, kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių sukuriama pridėtinės vertės indėlis augo nuo 66 mln. eurų 2010 m. iki daugiau nei 227 mln. eurų 2020 m., o tai atspindi ir santykinį šio subsektoriaus sukuriama pridėtinės vertės augimą atitinkamu laikotarpiu nuo 2,63 % iki 3,81 % viso apdirbamosios gamybos sektoriaus kontekste.<sup>62</sup>

62 Statistikos departamentas, *Pridėtinė vertė gamybos sąnaudomis (nefinansų įmonių)*.



*Iliustracija 7. Didžiausią pridėtinę valandą dirbtai valandai sukuriančios apdirbamosios gamybos veiklos skyriai. Paruošta autorių remiantis Statistikos departamento informacija*

Kompiuteriniai, elektroniniai ir optiniai gaminiai patenka ir tarp trijų didžiausių pridėtinę vertę sukuriančių apdirbamosios gamybos pramonės veiklos skyrių. Kaip nurodyta aukščiau pateiktoje iliustracijoje, šio veiklos skyriaus sukuriamą **pridėtinę vertę vienai dirbtai valandai** siekia 27,5 Eur, ženkliai viršydama bendrą apdirbamosios pramonės rezultatą (17,6 Eur/val.). Šiuo rodikliu nagrinėjamas veiklos skyrius nusileidžia tik chemijos bei pagrindinių vaistų ir farmacinių preparatų pramonei (2015 m. duomenimis – 132,4 Eur/val.)<sup>63</sup>. Žvelgiant į pokytį nuo 2010 metų, kompiuterių, elektroninių ir optinių gaminių gamintojų sukuriamą pridėtinės vertės per dirbtą valandą augo beveik pusantro karto (141 %) ir šiuo požiūriu atsiliko tik nuo vaistų ir farmacinių preparatų gamintojų.



*Iliustracija 8. Didžiausią pridėtinę valandą dirbtai valandai sukuriančios kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamybos veiklos grupės. Paruošta autorių remiantis Statistikos departamento informacija*

Nagrinėjant minėtą ekonominės veiklos skyrių detaliau, iliustracijoje Nr. 8 pateikiami aukščiausią **pridėtinę vertę per dirbtą valandą sukuriančios kompiuterių, elektroninių ir optinių gaminių veiklos grupės**. Čia išryškėja ryšių įrangos bei optinių prietaisų ir fotografijos įrangos gamintojų, tarp kurių patenka ir Lietuvos lazerių klasterio veikla, dominavimas. Šios veiklų grupės 2020 m. atitinkamai kūrė 52,7 Eur ir 52,1 Eur pridėtinės vertės per dirbtą valandą.

<sup>63</sup> Statistikos departamentas, *Pridėtinė vertė gamybos sąnaudomis dirbtai valandai pagal veiklas (nefinansų įmonių)*.



Bendrą veiklos skyriaus vidurkį taip pat nežymiai viršija ir vartotojiškos elektronikos ir įrangos gamyba. Pateikta statistika iliustruoja, kad nuo 2010 m. efektyvumas sukuriama pridėtinės vertės vienai dirbtai valandai požiūriu sparčiausiai augo tarp švitinimo, elektromedicininės ir elektroterapinės įrangos gamintojų, kur atitinkamas rodiklis per 10 metų laikotarpį didėjo kiek daugiau nei 5 kartus nuo 5,3 Eur/val. iki 27,5 Eur/val. Tuo pačiu laikotarpiu daugiau nei 4 kartus augo ir ryšių įrangos gamintojų sukuriama pridėtinė vertė vienai dirbtai valandai – nuo 11,3 Eur/val. iki 52,7 Eur/val.

Pateikti duomenys rodo, jog nors kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių gamintojai bendrame apdirbamosios gamybos kontekste turi palyginus nedidelį vaidmenį, per pastaruosius dešimt metų jo santykinis indėlis didėja gana sparčiai – atitinkamai beveik 55 % bei 49 % pagal savo apyvartą bei sukuriamą pridėtinę vertę. Nagrinėjamos produkcijos gamintojai yra ir tarp trijų aukščiausių pridėtinę vertę dirbtai valandai sukuriančių apdirbamosios gamybos ekonominės veiklos skyrių (27,5 Eur/val.), kuris pastaraisiais metais sparčiai auga. Tarp kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių veiklos grupių pagal šį rodiklį dominuoja ryšių įrangos bei optinių prietaisų ir fotografijos įrangos gamintojai, atitinkamai sukuriantys 52,7 Eur ir 52,1 Eur pridėtinės vertės per dirbtą valandą. Kartu su švitinimo, elektromedicininės ir elektroterapinės įranga, šios pramonės šakos pastaraisiais metais fiksuoja ir aukščiausių sukuriamos pridėtinės vertės dirbtai valandai augimą.

Kompiuterinių, elektroninių ir optinių gaminių pramonei reikia vis daugiau bene visoje elektronikoje naudojamų puslaidininkių. Remiantis prieinama statistika, tiesiogiai patikrinti maždaug 2020 m. II ketv. prasidėjusių puslaidininkių tiekimo grandinių sutrikimų įtakos Lietuvos elektronikos gamintojams tiek pajamų prasme, tiek bendrai, galimybių nėra. Visgi, galima daryti prielaidą, jog šie sutrikimai atsispindi Lietuvos statistikos departamento kas mėnesį pildomoje pramonės verslo tendencijų statistikoje. Šiame kontekste tam tikri verslo atstovų vertinimo pokyčiai, laikotarpiu sutampantys su puslaidininkių stygiumi, įžvelgtini pramonės pagamintos produkcijos atsargų lygio bei pramonės gaminamos produkcijos paklausos vertinimuose.

Įžvelgiant į **elektronikos ir optinių prietaisų gamintojų turimų atsargų vertinimą**, pastebima, jog nuo 2021 m. vasario mėn. bene 10 kartų išaugo (nuo 3 % iki apie 30 %) ir toliau stabiliai laikosi (2021 m. spalio mėnesio duomenys) skaičius elektronikos gamintojų, teigiančių, jog jų turimas pagamintos produkcijos atsargų lygis yra per mažas.<sup>64</sup> Iš pateikiamos statistikos nesunku įžvelgti, jog šis rodiklis yra periodiškai – gana ryškūs tokių vertinimų skaičiaus pokyčiai paprastai pasikartoja kas kelis metus ir trunka bent keletą mėnesių. Nepaisant to, toks ryškus minėtų vertinimų augimas ir toks jų tęstinumas, koks pastebimas šiuo metu, nefiksuotas nuo 2009 m.

**Produkcijos paklausos vertinimas** rodo panašią tendenciją. Šiuo atžvilgiu taip pat nuo 2021 m. vasario mėn. matomas staigus ir toliau besitęsiantis (2021 m. spalio mėnesio duomenys) šuolis tarp elektronikos gamintojų, kurie teigia, jog jų gaminamos produkcijos paklausa yra per didelė. Taip savo produkciją vertinančių procentas augo nuo 3 %, fiksuotų 2021 m. sausį, iki apie 25 %.<sup>65</sup> Šioje statistikos grafoje taip ilgai užsitęsę šuoliai iki šiol fiksuoti nebuvo.

Iš pastarųjų dviejų minėtų rodiklių ir jų pasireiškimo laikotarpio galima daryti prielaidą, jog tiek pačių įmonių, tiek ir ekspertų įvardintos puslaidininkių stygiaus problemos iki šiol veikia nemažą dalį Lietuvoje veikiančių elektronikos gamintojų, kurie stringa stengiantis patenkinti paklausą jų produkcijai ir neturi pakankamai pagamintų atsargų. Nepaisant to, svarbu akcentuoti, jog per didelės paklausos vertinimams įtakos gali turėti ir kiti, nebūtinai su puslaidininkių tiekimo grandinių sutrikimu susiję aspektai, pavyzdžiui, darbuotojų trūkumas.

64 Statistikos departamentas, Pramonės pagamintos produkcijos atsargų lygio vertinimas.

65 Statistikos departamentas, Pramonės gaminamos produkcijos paklausos vertinimas.

## ATSKIRŲ LIETUVOS GAMYBOS SEKTORIŲ SAŠAJOS SU PUSLAIDININKIAIS

Ekonomikos ir inovacijų ministerijos kartu su Europos Komisijos užsakymu, vietos bei užsienio ekspertų pagalba 2021 m. parengtame „Lietuvos pramonės integracijos į Europos vertės grandines kelrodyje“ mikroelektronika ir puslaidininkiai yra įvardijami kaip viena iš Lietuvos prioritetinių sričių.<sup>66</sup> Į Lietuvos inžinerinės pramonės prioritetinį sektorių<sup>67</sup> patenkanti mikroelektronika kelrodyje apibūdinama kaip vis labiau stiprėjanti sritis, o Lietuvos optikos ir lazerių gamintojai išskiriami kaip pasaulinėje rinkoje gerai žinomi ir įsitvirtinę. Pasak minimos studijos, tai rodo, jog Lietuva turi potencialo bendradarbiauti su pasaulinės puslaidininkių vertės grandinės įmonėmis.

FTMC Lazerinių technologijų skyriaus vadovas Gediminas Račiukaitis teigia, jog puslaidininkių lustų gamyba telkiasi didelėse gamyklose, kurioms detalizuotus užsakymus teikia lustus naudojančios įmonės. Pasak jo, tai galima pasakyti ir apie kai kurias Lietuvoje veikiančias įmones, gaminančias puslaidininkinius prietaisus (pvz.: „Elinta“, „Polimaster“, „Esemda“, „Litalka“, „Continental Automotive Lithuania“, „HELLA Lithuania“, „Kitron“, „Littelfuse LT“ ir kt.), kurios jau suformavo nemažą tokių prietaisų gamybos klasterį Lietuvoje.<sup>68</sup>

Kaip vienas iš išskirtinių pavyzdžių tiek Lietuvos lazerių ekosistemoje, tiek puslaidininkinių lustų gamyboje yra išskiriama „Brolis Semiconductors“ gaminama **puslaidininkinių optoelektronika**. Ši įmonė savo veiklą pradėjo kaip infraraudonųjų puslaidininkinių lazerių gamintoja, atliekanti visas puslaidininkinio gamybos procedūras. Šiuo metu įmonė kuria bei gamina pasauliniu mastu rekordinius parametrus turinčius infraraudonuosius prietaisus, projektuoja mažos integracijos puslaidininkinius įtaisus, panaudodami molekulinio pluoštelio technologiją augina III-V puslaidininkinių sluoksnius, juos integruoja su silicio fotonikos elementais, kuria fotonines sistemas, neretai pritaikomas karinėje pramonėje.<sup>69</sup>

Žvelgiant į globalios puslaidininkinių vertės grandinės kontekstą, **išskirtinas Lietuvos lazerių sektoriaus** vaidmuo. Lazerių gamybai reikia puslaidininkinių, tačiau eksportuojant dalį šalyje pagaminamų lazerių jie ir patys yra įtraukiami į IG gamybai reikiamą infrastruktūrą. Kaip teigia Vilniaus universiteto Lazerinių tyrimų centro (VU LTC) direktorius prof. Aidas Matijošius, lazerių gamyboje tiek lustai, tiek ir kiti elektroniniai komponentai yra naudojami lazerinės spinduliuotės valdymui, todėl be puslaidininkinio modernaus lazerio pagaminti neįmanoma.<sup>70</sup> Žvelgiant iš kitos perspektyvos, pasak jo, lazeriai, tarp jų ir dalis tų, kurie gaminami Lietuvoje, yra svarbūs pačių lustų gamybai. Tokie lazeriai yra pritaikomi surinkimo pakavimo ir testavimo puslaidininkinių gamyklose, kur yra „aprengiami“ reikiama įranga bei robotine technika. Taip lazeriai panaudojami puslaidininkinėms medžiagoms sudalinti, pjaustyti puslaidininkines plokšteles bei itin ploniems sluoksniams užnešti.

66 Pupinis, M., et al., *Roadmap for the integration of the Lithuanian industry into European value chains*, 2021, p. 64.

67 Tarp prioritetinių Lietuvos pramonės sektorių be inžinerinės pramonės taip pat išskiriama:

- Informacinės ir ryšių technologijos;
- Sveikatos technologijos ir biotechnologijos
- Chemijos pramonė
- Energetika ir tvari aplinka
- Inovatyvi aukštos pridėtinės vertės tradicinė pramonė

68 FTMC Lazerinių technologijų skyriaus vadovas Gediminas Račiukaitis, Lietuva ir ES lustų programa, 2021, nepublikuotas šaltinis.

69 Daugiau apie „Brolis Semiconductors“, Žr. <https://brolis-defence.com/company/>.

70 Pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.

Nagrinėjant kitus Lietuvos elektronikos gamybos sektorius, taip pat akcentuoti **daiktų interneto prietaisų gamintojai**. Šioje srityje pirmiausia minima šiuo metu virš 2000 darbuotojų turinti ir toliau sparčiai besiplečianti „Teltonikos“ įmonių grupė. Jai priklausančios 6 įmonės Lietuvoje kuria ir gamina telemetrijos, tinklo įrangos, telemedicinos, asmeninio sekimo prietaisus bei elektromobilių krovimo stoteles. Vilniuje įsikūrusi „Teltonika EMS“ gamykla per mėnesį pagamina apie pusę milijono elektronikos prietaisų, kuriems naudojami didžiųjų Azijos kompanijų kuriami puslaidininkių lustai. „Teltonikos“ įmonių grupė puslaidininkių kontekste, Lietuvos mastu, išsiskiria dar ir tuo, kad yra pirmieji ir kol kas vieninteliai parengę ir pristatę ambicingus planus gaminti lustus Lietuvoje. Pasak įmonės atstovų, per dešimtmetį planuojama pradėti visą lusto gamybos procesą (*front-end*, ir *back-end*). Įmonių grupė taip sukurs ir MTEP centrą, kuriuo siekia ne tik projektuoti lustus savo poreikiams, bet ir sudaryti puslaidininkių pramonės ekosistemą Lietuvoje. Įgyvendinus tokį verslo modelį įmonė taptų integruotu puslaidininkių gamintoju. Planuojama „Teltonikos“ puslaidininkių lustų pramonės ekosistema susidaro iš mokslinių tyrimų ir eksperimentinės **plėtros (MTEP) centro, lustų gamyklos bei lustų pjaustymo, surinkimo ir pakavimo gamyklos**.<sup>71</sup>

Sėkmingai pradėjus aukščiau minimas veiklas, **įmonės atstovai taip pat numato galimybę pradėti Lietuvoje vystyti ir silicio gryninimą iš kvarcinio smėlio**. Įmonių grupės atstovai teigia, kad tokia puslaidininkių pramonės ekosistema būtų naudinga ne tik jos pačios veiklai ar Lietuvos pramonei, tačiau prisidėtų ir prie vidinės ES puslaidininkių sektoriaus ekonomikos stiprinimo, įskaitant naujų specialistų rengimą Europos rinkai, ES žaliavų ir pramoninės įrangos naudojimą bei galimybę pritaikyti mokslininkų sukurtą intelektualinę nuosavybę.<sup>72</sup>

Ekspertai taip pat išskiria Lietuvoje pastaruosiu metu ryškėjančią puslaidininkių pramonės šaką, susijusią su **fotovoltinių elementų gamyba**.<sup>73</sup> Akcentuotinos tiek fotovoltinius elementus gaminančios įmonės, tiek ir su jomis glaudžiai susieti verslai, tiekiantys tokių elementų modulius, konverterius ir sistemas. Šiame kontekste galima išskirti „Bod Group“ įmonių grupei priklausančią „SoliTek“, kuri yra viena lyderiaujančių saulės energijos sprendimų tiekėja Šiaurės Europoje. Įmonė valdo visą susijusį gamybos procesą nuo saulės elementų tyrimų ir technologijų plėtros iki modulių gamybos, saulės jėgainių projektavimo ir instaliavimo. Lietuvos saulės energetikos plėtrą pastarąjį dešimtmetį taip pat atspindi ir 2009 m. įsteigta Lietuvos saulės energetikos asociacija (LSEA), kuri užsiima visuomenės švietimu apie saulės energijos naudojimo technologijas, plečia saulės energetiką bei siekia palankių sprendimų saulės energijos naudojimui Lietuvoje.<sup>74</sup>

---

71 Pokalbis su Teltonika IoT Group atstovu, viceprezidentu inovacijoms ir verslo plėtrai Ernestu Zdaniauskiu, 2021.10.11.

72 Ten pat.

73 Gediminas Račiukaitis, Lietuva ir ES lustų programa.

74 Daugiau apie LSEA, Žr. <https://www.lsea.lt/lt/nariai>.

## SU PUSLAIDININKIAIS SUSIJUSIŲ SPECIALISTŲ RUOŠIMAS BEI MOKSLINIAI TYRIMAI

Lietuvos universitetuose – VGTU, KTU bei VU – ruošiamas platus su puslaidininkių panaudojimu susijusių elektronikos, kompiuterių inžinerijos, lazerinės fizikos ir optinės technologijos, fotonikos ir nanotechnologijų ir kt. specialistų spektras. Šie universitetai ir kiti tyrimų centrai, kaip FTMC, vykdo aukšto lygio susijusius taikomuosius ir fundamentinius mokslinius tyrimus.

Fizikos mokslų specialistus Lietuvoje rengia **VU Fizikos fakultetas**, kur, be kitų temų, būsimiems fizikams yra dėstomi ir baziniai puslaidininkių kursai. Vykdomų tyrimų kontekste fakultete išskirtini Fotonikos ir nanotechnologijų, Taikomosios elektrodinamikos ir telekomunikacijų institutai bei Lazerinių tyrimų centras (VU LTC). VU Fizikos fakultete ilgą laiką veikė 1960 m. įsteigta Puslaidininkių fizikos katedra, kuri ilgainiui buvo pertvarkyta ir kurios bei Taikomųjų mokslų instituto pagrindu buvo įkurtas Fotonikos ir nanotechnologijų institutas (VU FNI). Nors instituto pavadinime puslaidininkių nebeliko, VU FNI remiasi ir toliau vysto mokslinius tyrimus puslaidininkių medžiagotyroje ir optoelektronikos kryptyse.<sup>75</sup> Pasak instituto direktoriaus Sauliaus Antano Juršėno, institute sukaupta ir toliau kuriama puslaidininkių kristalų ir jų nanodarinių charakterizavimo metodika.<sup>76</sup> FNI atliekami aukščiausio lygio tyrimai su minkštaisiais, organiniais bei hibridiniais, nitridiniais puslaidininkiais, naudojamiems šviestukų technologijoms. Tarp stiprybių VU FNI direktorius išskiria puslaidininkių ir jų darinių spektroskopija, įdirbį tiriant susijusius defektus ir jų poveikį. Taip pat pažymėtina, kad institutas jau ilgiau nei dešimtmetį aktyviai bendradarbiauja su Europos branduolinių mokslinių tyrimų organizacija (CERN) plėtojant radiacijos detektorių technologijas, kur turi parengę ne vieną patentą.

Kaip teigia VU LTC direktorius Aidas Matijošius, buvusio Vilniaus universiteto Puslaidininkių fizikos katedros pertvarkos iš dalies atspindi su lazeriais susijusių tyrimų temų prioretizavimą Lietuvoje.<sup>77</sup> Pačios VU LTC veikloje puslaidininkinė optoelektronika – lazeriai ar lazeriniai puslaidininkiai diodai yra naudojami kaip įrankiai moksliniams tyrimams laidininkuose, diaelektrinėse bei puslaidininkinėse medžiagose. VU LTC veikla domisi didžiausi pasaulyje smulkių plataus vartojimo prekių gamintojai, kuriems labai aktualus lazerių preciziškumas apdirbant medžiagas, tarp jų ir puslaidininkius.<sup>78</sup>

**KTU Senato pirmininkas bei Elektros ir elektronikos fakulteto** profesorius Žilvinas Nakutis teigia, jog KTU taip pat vykdomi susiję medžiagų tyrimai, įskaitant ir puslaidininkinius šviestukus bei holografinius sprendimus.<sup>79</sup> 2022 m. KTU atidaromame prototipavimo ir testavimo centre MLAB bus diegama *fabless* skaitmeninė gamyba, skirta greitam mažų tiražų mikro elektronikos produktų prototipavimui ir testavimui. Šios laboratorijos išplės paslaugų spektrą, kuris jau yra išvystytas Elektros ir elektronikos fakulteto elektromagnetinio suderinamumo ir testavimo laboratorijose. Skaitmeninių puslaidininkinių sistemų, įterptinių sistemų projektavimo bei medžiagų mokslo specialistai ruošiami KTU Elektros ir elektronikos, Informatikos bei Matematikos ir gamtos mokslų fakultetuose visose studijų pakopose, apimant ir doktorantūrą, o absolventai sėkmingai atlieka praktikas ar įsidarbina tokiose puslaidininkinių sistemų projektavimo įmonėse, kaip „Si Femto“, „Lime Microsystems“. Apibūdinant universiteto su puslaidininkinėmis technologijomis susijusias veiklas, aktualu paminėti ir KTU Medžiagų mokslo institutą. Šis institutas vykdo taikomuosius užsakymus bei dalyvauja tarptautiniuose mokslo projektuose, be kita ko, skirtuose mikro- ir nano-struktūrų, mikrosistemų, optoelektronikos, nano-optikos bei puslaidininkių įrenginių tyrimams ir su tuo susijusioms technologijoms kurti.<sup>80</sup>

75 Daugiau apie Fotonikos ir nanotechnologijų institutą, Žr. <https://www.ff.vu.lt/fni/apie>.

76 Pokalbis su VU FNI direktoriumi Sauliumi Antanu Juršėnu, 2022.01.10.

77 Pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.

78 Ten pat.

79 Pokalbis su KTU Senato pirmininku bei Elektros ir elektronikos prof. Žilvinu Nakučiu 2021.10.28

80 Daugiau apie KTU medžiagų mokslo institutą, Žr. <https://medziagos.ktu.edu/>.

Savo ruožtu, **VGTU Elektronikos fakultetas** turi mikro - ir nanoelektroninių sistemų projektavimo ir tyrimų darbus atliekančią laboratoriją. Šioje laboratorijoje dirbantys VGTU ir kitų institucijų mokslininkai bei studentai vykdo tiek užsakomuosius verslo įmonių darbus, tiek fundamentinius ir taikomuosius mokslinius tyrimus.<sup>81</sup> Išskiriant kelis pavyzdžius, laboratorijos veiklos sritys apima konsultavimą bei IG tematikos galimybių studijų rengimą, bendradarbiaujant su pasaulinio dydžio kompanijomis („IBM“, „TSMC“, „AMS“) ir Lietuvos įmonėmis („Teltonika“, „Ruptela“, „Lime Microsystems“ ir kt.). Laboratorijoje taip pat vykdomas specialiosios paskirties bipolių IG kūrimas nuo idėjos iki pat lusto. Minima VGTU laboratorija, kaip ir VU Fizikos bei Chemijos ir geomokslų fakultetų laboratorijos, yra įsikūrusios Nacionaliniame fizinių ir technologijos mokslų centre.

**Fizinių ir technologijos mokslų centras (FTMC)** yra didžiausia mokslinių tyrimų įstaiga Lietuvoje, vykdanči fizikos, chemijos ir technologijos krypties fundamentinius ir taikomuosius tyrimus bei eksperimentinės plėtros darbus. FTMC buvo įkurtas 2010 m. reorganizavus Chemijos, Fizikos ir Puslaidininkų fizikos institutus Vilniuje bei reorganizavus ir prijungus Tekstilės institutą Kaune.<sup>82</sup> Puslaidininkų tematikoje išskirtinas FTMC Optoelektronikos skyrius, kuris, naudodamas puslaidininkines nanotechnologijas, kuria naujas puslaidininkines medžiagas, jas tiria ir pritaiko prietaisų kūrimo reikmėms. FTMC Fizikinių technologijų skyrius taip pat turi plačias medžiagų apdorojimo galimybes, įgalinčias kurti naujos kartos puslaidininkų prietaisų prototipus. Centro tyrimų kryptys apima kvantinius puslaidininkų optinius spektroskopinius, naujų puslaidininkinių medžiagų optinio atsako, paviršinių nanodarinių, fotovoltinių heterostrukturų, organinių puslaidininkų ir fotoninių kristalų tyrimus. Be to, GaAsBi darinių auginimą bei tyrimą, puslaidininkinių terahercinių sistemų bei jų komponentų kūrimą ir tyrimus. FTMC taip pat teikia puslaidininkinių sistemų kūrimo ir gamybos paslaugas, gamina lazerius, šviestukus, diodus, tranzistorius ir visus kitus šiuolaikinės elektronikos komponentus, pradedant veidrodžiais, skirtais sudėtingoms lazerinėms sistemoms, ir baigiant naujos kartos dujų detektoriais ir spektrofotometrais. FTMC Fizikinių technologijų skyriaus turima puslaidininkinių prietaisų gamybos ir kūrimo linija leidžia gaminti komponentus, optoelektronines sistemas bei galutinius prietaisų prototipus.

---

81 Daugiau apie susijusius VGTU vykdomus tyrimus, Žr. <https://vilniustech.lt/elektronikos-fakultetas/padaliniai/-mikro-ir-nanoelektroniniu-sistemu-projektavimo-ir-tyrimo-laboratorija/apie-laboratorija/201094>.

82 Daugiau apie FTMC, Žr. <https://www.ftmc.lt/apie-mus-2>.

# **Puslaidininkų sektoriaus plėtra Lietuvoje: SSGG analizė**

Remiantis pateikta apžvalga, ekspertų įžvalgomis bei mąstant apie potencialias Lietuvos puslaidininkių sektoriaus plėtros kryptis, toliau pasitelkiama **stiprybių, silpnybių, galimybių ir grėsmių (SSGG)** analizė. Toks analizės tipas leidžia giliau pažvelgti į susijusią problematiką, įvairias ekspertų pateiktas įžvalgas ir siūlymus sugrupuojant į nuoseklią sistemą, kuri apibendrinta žemiau pateiktoje lentelėje.

<b>STIPRYBĖS:</b>	<b>SILPNYBĖS:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Įdirbis puslaidininkių fizikos moksliniuose tyrimuose ir nišinėse technologijose</li> <li>• Stiprus lazerių sektorius, kuriantis įrankius lustų gamybai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Specialistų trūkumas</li> <li>• Mažą pridėtinę vertę kurianti pramonė, kuri nėra imli mokslui</li> <li>• Iššūkiai, susiję su intelektine nuosavybe ir jos dalijimusi</li> <li>• Mokestinių lengvatų trūkumas MTEP</li> <li>• Tikslingai puslaidininkių elektronikos plėtrą skatinančių MTEP programų trūkumas</li> <li>• Realizavimo rinkų trūkumas</li> </ul>
<b>GALIMYBĖS:</b>	<b>GRĖSMĖS:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• „Teltonikos“ kuriama puslaidininkių pramonė</li> <li>• Lazerių sektoriaus plėtra ir bendradarbiavimas su pramonės automatizavimo sistemų gamintojais</li> <li>• Mažatirazės gamybos specializacija</li> <li>• Perėjimas prie žaliųjų technologijų/žaliųjų miestų iniciatyva</li> <li>• Pramonės transformacija</li> <li>• Misijomis grįstos mokslo ir inovacijų programos</li> <li>• Dvišalis bendradarbiavimas su užsienio partneriais</li> <li>• Patekimas į strategines vertės grandines prisijungiant prie ES iniciatyvų</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Didelė konkurencija</li> <li>• Didėjantis tikslųjų mokslų specialistų stygius</li> <li>• Geopolitinės rizikos</li> </ul>

Iliustracija 9. Lietuvos puslaidininkių sektoriaus stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės (SSGG)

<b>STIPRYBĖS:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Įdirbis puslaidininkių fizikos fundamentiniuose moksliniuose tyrimuose ir nišinėse technologijose</li> <li>• Stiprus lazerių sektorius, kuriantis įrankius lustų gamybai</li> </ul>

**Įdirbis puslaidininkių fizikos fundamentiniuose moksliniuose tyrimuose ir nišinėse technologijose.** Puslaidininkių tyrimai Lietuvoje mena dar penktą praėjusio amžiaus dešimtmetį, neilgai trukus po to, kai pasaulyje buvo atrastas tranzistorius. Šiuo metu VU, KTU, VGTU tyrimų institutuose bei FTMC vykdomi fundamentiniai ir nišinių technologijų taikomieji puslaidininkių tyrimai atspindi didelį sukauptą mokslinį įdirbį ir kompetencijas. Pagrindinės Lietuvos mokslininkų susijusios kompetencijos yra koncentruotos šiomis trimis kryptimis:

- **Optinės puslaidininkių savybės ir optoelektronika**, įskaitant teikiamą ypatingą dėmesį puslaidininkinių šviestukų (angl. *light emitting diodes*) tobulinimui ir panaudojimui.
- **Medžiagotyra** – puslaidininkinės medžiagos ir jų nanodariniai, medžiagų gamybos ir apdorojimo technologijos, naujos medžiagos ir technologijos.
- **Puslaidininkinė elektronika** – fizikiniai elektroninių prietaisų pagrindai bei naujausi elektroniniai prietaisai.

Kartu su giliu įdirbiu puslaidininkių tyrimuose išskiriama Lietuvoje esanti spektroskopinė fundamentinių ir taikomųjų puslaidininkių tyrimų infrastruktūra. Pasak ekspertų, technologinė įranga, naudojama VU bei FTMC spektroskopijai, medžiagotyrai, defektų nustatymui ir paviršiaus analizei, yra sudėtinga, brangi ir nedaug puslaidininkių tyrimų centrų pasaulyje tokią turi.<sup>83</sup>

**Stiprus lazerių sektorius, kuriantis įrankius lustų gamybai.** Vykdomi moksliniai tyrimai tiriant optines puslaidininkių savybes ar užsiimant medžiagotyra yra glaudžiai susiję su fotonika ir Lietuvoje vystomomis lazerinėmis technologijomis, dėl kurių Lietuva yra žinoma visame pasaulyje. Lietuvos lazerių asociacijos duomenimis, šalies lazerių gamintojai eksportuoja daugiau nei 90 % savo produkcijos į daugiau nei 70 valstybių visame pasaulyje.<sup>84</sup> Tokius didelius eksporto rodiklius iš dalies lemia tai, jog vietos lazerių įmonės yra atradusios savo perspektyvias nišas.

<sup>83</sup> Pokalbis su VU FNI direktoriumi Sauliumi Antanu Juršėnu, 2022.01.10.

<sup>84</sup> Kęstutis Jasiūnas, Lazeriai – Reikšminga inžinerinės pramonės ekosistemos dalis, LINPRA.. Žr. <https://linpra.lt/lazeriai-reiksminga-inzinerines-pramones-ekosistemos-dalis/>.

Tai leidžia Lietuvos lazerių klasterio įmonėms iki minimumo sumažinti tarpusavio konkurenciją, bendradarbiauti ir maždaug kas 5 metus dvigubinti savo pardavimų apimtį, kurios, 2017 m. duomenimis, pasiekė daugiau nei 115 mln. Eur.<sup>85</sup> Lietuvos lazerių ekosistema, susikūrusi iš moksliniuose instituteose įgytų žinių, yra unikali Europoje ir pasaulyje savo glaudumu ir bendradarbiavimu – didžioji dalis įmonių yra įsikūrusios Vilniuje ~20 km spinduliu.<sup>86</sup> Lietuvos lazerių įmonės, tokios kaip „Light Conversion“, „Ekspla“ ar mažesnės (pvz., „Evana Technologies“) jau dabar atranda ir vysto naujus su puslaidininkiais susijusius produktus tiekdami specifinius, MTEP pagrįstus gaminius puslaidininkinių medžiagų charakterizavimui ir lustų dalinimui paskutiniuose puslaidininkinių gamybos etapuose.<sup>87</sup> Tarp Lietuvos lazerių įmonių puslaidininkinių kontekste taip pat išskiriama „Brolis Semiconductors“ įmonė, kuri pati kuria fotonines sistemas, projektuoja mažos integracijos puslaidininkinius prietaisus, augina puslaidininkinių sluoksnius ir integruoja juos su silicio fotonikos elementais.

## SILPNYBĖS:

- Specialistų trūkumas
- Mažą pridėtinę vertę kurianti pramonė, kuri nėra imli mokslui
- Iššūkiai, susiję su intelektine nuosavybe ir jos dalijimusi
- Mokestinių lengvatų trūkumas MTEP
- Tikslingai puslaidininkinių elektronikos plėtrą skatinančių MTEP programų trūkumas
- Realizavimo rinkų trūkumas

**Specialistų trūkumas.** Ekspertai akcentuoja, jog didžiausia problema – žmogiškųjų išteklių ir specialistų stygius, kuris aktualus tiek kuriant potencialią puslaidininkinių ekosistemą, tiek planuojant Lietuvoje veikiančią aukštųjų technologijų pramonės plėtrą. Tai galima iliustruoti Lietuvos lazerių sektoriaus pavyzdžiu. Lietuvos lazerių įmonės, kuriose šiuo metu dirba apie tūkstantį darbuotojų, pasak kalbintų ekspertų, auga maždaug po 10-15 % per metus, o VU, vienintelis Lietuvoje fizinių mokslų studentus ruošiantis universitetas, per metus paruošia apie 120 studentų.<sup>88</sup> Taigi, hipotetiniu atveju, beveik visų Lietuvoje paruošiamų fizikų, jei jie ir būtų tam specifiškai ruošiami, galbūt užtektų patenkinti lazerių klasterio įmonių poreikius. Tačiau tai tik vienas iš sektorių, kur fizikos ar kitų susijusių tikslųjų mokslų išsilavinimą turinčių specialistų ypač stinga. Darbuotojų stygius aukštųjų technologijų pramonėje skatina įmones ieškoti darbuotojų tarp bakalauro studijas įpusėjusių susijusių sričių studentų, kurie reikiamą patirtį ir žinias įgyja jau dirbdami įmonėse. Ekspertai mini, jog vietos rinkoje **specialistų stygius jaučiamas ne tik tarp fizikų, tačiau bene visose STEM** (angl. *Science, Technology, Engineering, Maths*) **mokslų srityse**. Dėl to reikėtų daugiau valstybės pastangų siekiant nukreipti studentų srautus į tiksluosius mokslus.<sup>89</sup>

Fizikinių, inžinerinių ir kitų tikslųjų mokslų išsilavinimą turinčių specialistų stygiaus problemą kalbinti ekspertai siejo su **nepakankamu tiksliesiems mokslams skiriamu dėmesiu mokykloje**. Akcentuojama, kad moksleiviai nesusidomi tiksliaisiais mokslais. Viena to priežasčių – motyvuotų mokytojų trūkumas.<sup>90</sup> Manoma, jog yra per mažai moksleivių, kurie susivokia, kad norėtų eiti į tikslųjų mokslų sritį, o tam reikia motyvuotų mokytojų, kurie be „sausų“ uždavinių sprendimo norėtų ir gebėtų remtis inovatyvesniais mokymo metodais bei organizuoti mokiniams susijusias papildomas veiklas. Tarp tokių veiklų galima paminėti įmonių išvykas į mokyklas, STEM centrų kūrimą, galimybes moksleiviams apsilankyti moksliniuose instituteose. Taip pat reikalinga infrastruktūra, moksleivius sudominanti tiksliaisiais mokslais: interaktyvūs technologijos muziejai, modernus planetariumas ir pan.

<sup>85</sup> Ten pat.

<sup>86</sup> Pokalbis su Lietuvos lazerių asociacijos direktoriumi Petru Balkevičiumi, 2021.10.29. Taip pat pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.

<sup>87</sup> Pokalbis su „Evana Technologies“ direktoriumi Egidijumi Vanagu, 2021.11.12.

<sup>88</sup> Pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.

<sup>89</sup> Pokalbis su Gamybos inovacijų slėnio direktoriumi Gintaru Vilda, 2021.11.19.

<sup>90</sup> Pokalbis su KTU Elektros ir elektronikos prof. Žilvinu Nakučiu 2021.10.28. Taip pat pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.



Pasak FTMC Optoelektronikos skyriaus mokslo darbuotojo Domo Jokubauskio, bendradarbiavimas su mokyklomis yra naudingas, tačiau nuolatos vyksta tik su nedideliu skaičiumi mokyklų, nes tam, pirmiausia, trūksta tuo suinteresuotų mokytojų.<sup>91</sup> „Light Conversion“ direktorius Martynas Barkauskas be motyvuotų mokytojų mokyklose išskiria ir kitą problemą – infrastruktūros stoką. Jo teigimu, **vos iki 10 % Lietuvos mokyklų turi savo laboratorijas**, kur mokiniai galėtų „prisiliesti“ prie tikslųjų mokslų ir taip, galbūt, sužadinti savo susidomėjimą.<sup>92</sup>

Tikslųjų mokslų išsilavinimą turinčių specialistų stygiaus kontekste tiek KTU, tiek VU atstovai įžvelgia ir kitą iššūkį. Pasak jų, pastebimi mažėjantys su fizika ir fizikinėmis technologijomis susijusių mokslo sričių magistro ar doktorantūros studijas besirenkančių studentų srautai, o tai ilgainiui didina pačių **aukštųjų mokyklų žmogiškųjų išteklių problemas**.<sup>93</sup> Finansinių paskatų ir atsiveriančių galimybių vedini studentai pasirenka dirbti privačiame sektoriuje, o universitetuose lieka tik nedidelė dalis mokslo idėjai pasišventusių studentų. Todėl nėra aišku, kas pakeis dabartinę universitetuose dirbančių ir dėstančių mokslininkų kartą. Universitetai finansiškai nėra konkurencingi tam, ką gali pasiūlyti privataus sektoriaus įmonės. Šiuo požiūriu didžiausia problema yra su jaunais, neseniai doktorantūrą pabaigusiais mokslo darbuotojais.

Doktorantūroje finansinė padėtis yra dar pakankamai neblogo – gaudami stipendiją doktorantai dažnai dalyvauja papildomuose projektuose arba dirba institute, kur atlieka savo mokslinį darbą bei gauna papildomą atlygį. Tai, pasak kalbintų ekspertų, leidžia užsidirbti atlyginimą, neretai ne mažiau konkurencingą nei tai, ką atitinkamos patirties specialistams siūlo privataus kapitalo įmonės.<sup>94</sup> Problema išryškėja pabaigus doktorantūrą – nebetekę stipendijos jauni mokslo darbuotojai gauna daug mažesnes pajamas nei dar būdami doktorantai. Kad išlaikytų buvusias pajamas, jauni mokslininkai prisiima didesnę mokymo krūvį, todėl mokslinei veiklai ir projektams laiko lieka gerokai mažiau.<sup>95</sup> Ilgainiui, iš asistentų tapdami docentais ir profesoriais, šie specialistai dėsto mažiau ir vėl turi kiek daugiau laiko įsilieti į projektus. Tai leidžia užsidirbti ir didesnius atlyginimus, tačiau ta tarpinė grandis yra vienas pagrindinių barjerų, kurį pereiti pasiryžta tik nedidelė jaunųjų mokslininkų dalis.

**Mažą pridėtinę vertę kurianti pramonė, kuri nėra imli mokslui.** Mąstant apie inovacinį proveržį puslaidininkų, mikroelektronikos ar kurioje nors kitoje pramonės srityje, problema taip pat yra tai, jog didžioji dalis Lietuvos pramonės kuria mažą pridėtinę vertę. Pasak verslo konsultanto, fiziko Aleksandro Abišalos, Lietuvos pramonė, neskaitant kelių išimčių, didžiąja dalimi nėra kurianti ir todėl nėra imli mokslui.<sup>96</sup> Jo teigimu, trūksta bendradarbiavimo tarp mokslo institucijų ir verslo. Fundamentinis mokslas be imlaus verslo įsisavinimo pats savaime į rinką nepatenka. FTMC direktorius Gintaras Valušis šiai minčiai pritaria akcentuodamas, kad mūsų pramonė tebėra netransformuota – aukštųjų technologijų dalis sudaro tik 1,5 %, kas yra bene dešimt kartų mažiau nei šioje srityje lyderiaujančiose valstybėse, tokiose kaip Vokietija ar Izraelis.<sup>97</sup> Šis kontekstas lemia nepakankamą mokslo institutų ir verslo bendradarbiavimą bei fundamentinių mokslinių tyrimų taikymo galimybių Lietuvoje trūkumą. Reikšminga dalis Lietuvoje veikiančių mokslininkų pasiekimų, taip pat ir aptariamose puslaidininkų srityje, užsibaigia fundamentiniais tyrimais, ir dėl to nemaža dalis atradimų mokslinių straipsnių pavidalu iškeliauja iš Lietuvos nepanaudoti kaip *know-how* ir nesukūrę pridėtinės vertės.

---

91 Pokalbis su FTMC Optoelektronikos skyriaus mokslo darbuotoju Domu Jokubauskiu, 2021.11.04.

92 Pokalbis su „Light Conversion“ direktoriumi Martynu Barkausku. 2021.11.12.

93 Nacionalinė fizikos konferencija, diskusija Fizika ir aukštųjų technologijų pramonė, 2021.10.08. Taip pat, pokalbis su KTU Elektros ir elektronikos prof. Žilvinu Nakučiu 2021.10.28.

94 Pokalbis su FTMC Optoelektronikos skyriaus mokslo darbuotoju Domu Jokubauskiu, 2021.11.04.

95 Pokalbis su „Light Conversion“ direktoriumi Martynu Barkausku. 2021.11.12.

96 Nacionalinė fizikos konferencija, 2021.10.08.

97 Pokalbis su FTMC direktoriumi Gintaru Valušiu, 2021.11.04.

Neimlių mokslui pramonę FTMC direktorius sieja ir su **patentavimo problematika**. Pasak jo, Lietuvoje trūksta diskusijos apie intelektinę nuosavybę – kurdamos inovacijas pramonės įmonės turėtų būti labiau suinteresuotos pirkti jau esamas licencijas, tačiau ir pačios patentų turėtų registruoti žymiai daugiau.<sup>98</sup> Savo nišas puslaidininkų vertės grandinėje jau atradusios Lietuvos lazerių įmonės taip pat teigia, jog svarbu numatyti valstybes, kuriose reikės produkcijos ir kuriose reikia savo technologiją patentuoti, tačiau pats patentas būtinas – neturint patentų joks didesnis puslaidininkų gamintojas pasiūlyta, net ir efektyvesne nei dabar naudojama, technologija nesusigundys.<sup>99</sup> Visgi, Lietuvos įmonės neretai vengia patentų dėl potencialių komercinių paslapčių nutekėjimo, nes abejojama galimybėmis užtikrinti intelektinės nuosavybės apsaugą.

**Iššūkiai, susiję su intelektine nuosavybe ir jos dalijimusi.** Lietuvoje nepakankamai suvokiami patentavimo procesai, jo nauda ir, kai kuriais atvejais, jo būtinybė tiek apsaugant intelektinę nuosavybę, tiek siekiant ją komercializuoti. Dėl to nėra pakankamai iniciatyvos susijusių žinių plėtrai. Lietuvoje aplinka intelektinės nuosavybės dalijimuisi vykdančius bendrus privataus verslo ir mokslo įstaigų projektus šiuo metu nėra palanki. Būtinas bendradarbiavimas ir lankstumas, siekiant paskatinti privatų verslą investuoti į mokslinius tyrimus bei norint neišstumti privataus verslo bendradarbiauti su užsienio universitetais, kurių paslaugos yra nors ir brangesnės, tačiau su lankstesnėmis intelektinės nuosavybės perdavimo sąlygomis.

**Mokestinių lengvatų trūkumas MTEP.** Mokestinės lengvatos moksliniams tyrimams ir eksperimentinei plėtrai yra viena iš svarbiausių viešosios politikos fiskalinių priemonių siekiant didinti investicijas į MTEP veiklas, kurių aktualumas ypač auga ES šalyse pastaruosius dešimtmečius. Lietuvoje taikomos mokestinės lengvatos paprastai orientuotos tik į pelningą verslą, investuojantį į MTEP veiklas. Įmonėse, kurios neturi pelno arba jis mažas, tokių mokestinių lengvatų nauda juntama tik netiesiogiai arba jų poveikis minimalus. Tokios lengvatos turi ribotą poveikį įmonėms, vykdančioms sparčią plėtrą. Kaip alternatyva esamoms priemonėms, dauguma ES valstybių taiko mokesčių kreditą, t.y. verslo subjekto atskirų mokamų mokesčių (pelno, pajamų, PVM) sumos sumažinimą nustatytu dydžiu. Mokesčių kreditas skatina investuoti į MTEP ir jaunas įmones, kurios pelno neturi ar jis nedidelis, nors joms trūksta apyvartinio kapitalo. Tai ypač svarbu skatinant kurtis startuoliams (angl. *start-up*) ir padedant jiems augti. Mokesčių kreditas skatina ir dideles įmones, kurios numačiusios agresyviai investicijas į MTEP veiklą.

**Tikslingai puslaidininkų elektronikos plėtrą skatinančių MTEP programų trūkumas.** Puslaidininkų pramonė galėtų sukurti papildomą paskatą susijusiems MTEP tiek fundamentinių tyrimų įvairovės, tiek tyrimų pritaikymo galimybių prasme. Visgi, tyrimų centrų atstovai šiuo požiūriu mato ir susijusių silpnų – naujų sričių atsivėrimas nebūtinai paskatins mokslininkus imtis tyrimų naujose kryptyse. Taip yra dėl naujiems tyrimams nepalankios institucinės sąrangos. Viena vertus, bet kuri tyrimų kryptis reiškia, jog reiks bent kelerių metų įdirbio, kai, tikėtina, bus mažiau mokslinių pasiekimų, kurių kiekis turi tiesioginę įtaką mokslininkų vertinimui. Dėl šios priežasties, norint vystyti naujus mokslinius tyrimus ir juos pritaikyti, Lietuvos mokslo taryba turėtų kiek atlaisvinti reikalavimus mokslininkams nuolat publikuoti savo darbus ir taip leisti jiems prisiimti didesnes rizikas, kurios naujų sričių tyrimuose yra neišvengiamos.<sup>100</sup> Akcentuodamas elektronikos tyrimais užsiimančių mokslininkų veiklą, KTU profesorius Žilvinas Nakutis taip pat pažymi, kad jau dabar šių sričių specialistams projektų vertinimo kriterijai yra nepalankūs, nes jų MTEP produkcijos konkurencingumą su fundamentinių mokslų atstovų produkcija riboja *know-how* atskleidimo rizika.<sup>101</sup> Trūkstamos MTEP finansavimo programos, atsižvelgiančios į šiuos aspektus, yra puslaidininkų pramonės plėtros Lietuvoje silpnė.

98 Ten pat.

99 Pokalbis su „Evana Technologies“ direktoriumi Egidijumi Vanagu, 2021.11.12.

100 Pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.

101 Pokalbis su KTU Elektros ir elektronikos prof. Žilvinu Nakučiu 2021.10.28

**Realizavimo rinkų trūkumas** – šiuo metu Lietuvoje neturime lustų tiekimo grandžių į užsienį, t.y. esame importuotojai ir neturime susikurto patikimo mikroelektronikos ir lustų tiekėjo vardo. Taip pat ribotai dalyvaujame ir kitose pramonės šakose, kuriose yra didelis lustų poreikis. Dėl šios priežasties, pradėjus gaminti lustus, neturėsime galimybės kliautis esamų kontaktų užsakymais. Būtent patikimumas ir buvusi patirtis yra itin svarbūs aspektai įsitvirtinant konkurencingoje lustų rinkoje, kur itin aktuali kokybė ir prekių pristatymas laiku.

#### **GALIMYBĖS:**

- „Teltonikos“ kuriama puslaidininkų pramonė
- Lazerių sektoriaus plėtra ir bendradarbiavimas su pramonės automatizavimo sistemų gamintojais
- Mažatiražės gamybos specializacija
- Perėjimas prie žaliųjų technologijų/žaliųjų miestų iniciatyva
- Pramonės transformacija
- Misijomis grįstos mokslo ir inovacijų programos
- Dvišalis bendradarbiavimas su užsienio partneriais
- Patekimas į strategines vertės grandines prisijungiant prie ES iniciatyvų

**„Teltonikos“ kuriama puslaidininkų pramonė.** Viena labiausiai viešai aptariamų galimybių, tiesiogiai susijusių su puslaidininkų pramonės kūrimu, yra jau minėtas „Teltonikos“ įmonių grupės planas kurti Lietuvoje puslaidininkų pramonės ekosistemą, į kurią įeitų MTEP centras, lustų gamykla, lustų pjaustymo, surinkimo ir pakavimo gamykla, o vėliau ir silicio gryninimas. Įmonės atstovai teigia, kad daugiau nei 3 mlrd. eurų vertės projektas būtų itin naudingas ne tik jos veiklai, tačiau ir Lietuvai bei visam regionui, nes sukurtų naujų, itin gerai apmokamų darbo vietų, smarkiai praplėstų tematinį aukštos kvalifikacijos reikalaujantį darbų spektrą, kas paskatintų daugiau žmonių rinktis susijusias studijų kryptis ir pritrauktų darbuotojų iš užsienio – tiek išveivų lietuvių mokslininkų, tiek ir kitų šalių specialistų.<sup>102</sup> Be to, „Teltonikos“ puslaidininkų gamyba Lietuvoje galėtų pasitarnauti ir Lietuvoje vykdomų mokslinių tyrimų plėtrai ir pritaikymui. Kalbinti ekspertai palaiko siekį vystyti diskusiją apie puslaidininkų sektoriaus plėtrą Lietuvoje. Nepaisant potencialių proveržio sričių, dalis ekspertų planus kurti visą puslaidininkų pramonės ekosistemą Lietuvoje, visgi, vertina atsargiai. Toks vertinimas yra susijęs su identifikuotomis rizikomis bei specialistų stoka (žr. Grėsmės).

**Lazerių sektoriaus plėtra ir bendradarbiavimas su pramonės automatizavimo sistemų gamintojais.** Kita identifikuota galimybė, susijusi su galimai svariausiu Lietuvos pramonės įsitraukimu į tarptautinę puslaidininkų vertės grandinę, yra lazerių sektoriaus plėtra. Jau dabar kai kurių lazerių įmonių kuriamos technologijos yra pasitelkiamos puslaidininkų gamybos grandinėje, ypač paskutinėje puslaidininkinių lustų gamybos proceso dalyje, kur dėl savo precizikos gali pasiūlyti kur kas efektyvesnius už šiuo metu rinkoje įsitvirtinusius technologinius sprendimus. Nors ši rinka šiandien yra palyginus smulkios nišos bendrame lazerių sektoriuje, kuris pats yra santykinai nedidelė pramonės sritis, tikėtina, jog tiek puslaidininkinių lazerių, tiek ir lustų gamyboje naudojamų lazerių paklausa augs dėl jų panaudojamumo puslaidininkinių plokštelių pjaustymui, itin plonų sluoksnių užnešimui bei lustų žymėjimui. Dar didesnė pridėtinė vertė iš lazerių sektoriaus galėtų būti sukurta apjungiant lazerių gamybą su susijusia pramonėje naudojama infrastruktūra. Pasak Lietuvos lazerių asociacijos direktoriaus Petro Balkevičiaus, abipusiai naudinga galėtų būti kooperacija tarp Lietuvoje veikiančių lazerių ir pramonės automatizavimo sprendimus siūlančių robotikos įmonių.<sup>103</sup> Tam reikėtų daugiau specifinių inžinerinės pakraipos specialistų, tačiau tai leistų Lietuvoje kurti didesnę pridėtinę vertę.

<sup>102</sup> Nacionalinė fizikos konferencija, 2021.10.08.

<sup>103</sup> Pokalbis su Lietuvos lazerių asociacijos direktoriumi Petru Balkevičiumi, 2021.10.29.

**Mažatiražės gamybos specializacija** yra viena iš galimybių Lietuvoje kurti ir gaminti lustus, pritaikytus konkrečioms produktams, taip atsisakant kelių lustų naudojimo, jų apjungimo, iš esmės didinant efektyvumą, gerinant produkto kokybę ir ilginant tarnavimo trukmę. Tai galėtų atverti kelią naujiems gaminiams, kurie jutiklius integruotų tiesiogiai į lustus, ženkliai sumažinant energijos poreikį bei įgalinant gaminti prietaisus, kurie mažiau priklausytų nuo išorės maitinimo. Tai nauja sritis, todėl tokių lustų gamyba mažomis serijomis yra santykinai brangi, bet dėl didelio intelektualio potencialo turi geras perspektyvas didelei pridėtinei vertei.

**Perėjimas prie žaliųjų technologijų ir žaliųjų miestų iniciatyva.** Perėjimas prie žaliųjų technologijų ir su jomis susijusiai žaliųjų miestų iniciatyvai įgyvendinti reikalinga rinkti duomenis apie mieste susidarantią taršą, energijos poreikį ir pasiūlą bei kitus aplinkos faktorius. Išorinius ir ypač autonominius energijos šaltinius turinčių jutiklių gamyba turi geras perspektyvas kaip nišinę rinką, paranki mažu mastu, bet su dideliu intelektualiu potencialu dirbančioms įmonėms.

**Pramonės transformacija.** ES siekia išlaikyti ir didinti savo ekonomikos konkurencingumą pasauliniame kontekste bei prisitaikyti prie neišvengiamų pokyčių klimato kaitos akivaizdoje. Tai sukuria papildomą stimulą ir galimybes Lietuvos pramonės įmonėms siekti transformacijos ir adaptuoti naujausias technologijas efektyvinant savo gamybos ir verslo procesus. Rinkos spaudimas ir ES bei Lietuvos strateginės žaliosios skaitmeninės transformacijos kryptys turėtų paskatinti Lietuvos pramonės įmones deramai suvokti šios krypties inovacijų nešamą naudą ir paskatinti investicijas į Lietuvoje vykdomų mokslinių tyrimų pritaikymą vietos gamyboje bei verslo ir mokslo bendradarbiavimą.

**Misijomis grįstos mokslo ir inovacijų programos.** Viena iš galimybių puslaidininkų ekosistemos skatinimui galėtų būti misijomis grįstų mokslo ir inovacijų programų koncepcija. Nors šiuo metu dar nėra galutinai patvirtintos programų tematikos, tačiau, atsižvelgiant į platų identifikuotų problemų spektrą, šios programos galimai galėtų padėti spręsti dalį puslaidininkų ekosistemai kūrimui egzistuojančių iššūkių, ypač švietimo srityje.

**Dvišalis bendradarbiavimas su užsienio partneriais.** Galimybės plėsti puslaidininkų sektorių Lietuvoje taip pat sietinos ir su tarptautiniais partneriais. Šiuo atžvilgiu išskirtinos dvišalės bendradarbiavimo galimybės su didžiausiais puslaidininkų rinkos atstovais bei aktyvus įsitraukimas į aktualias ES iniciatyvas (žr. Susijusios Europos Sąjungos iniciatyvos). Nagrinėjant dvišalius santykius, visų pirma, pabrėžtina galimybė išnaudoti šiuo metu suaktyvėjusį ekonominį bendradarbiavimą su Taivanu ir JAV pasisemiant puslaidininkų ekosistemos kūrimui reikiamų kompetencijų ir *know-how*. Glaudesnis dvišalis bendradarbiavimas puslaidininkų srityje galėtų atverti galimybes tiek privačioms Lietuvos įmonėms, tiek ir universitetams išsiųsti savo specialistus ar studentus stažuotis į didžiausias pasaulyje puslaidininkų gamybos ar projektavimo įmones. Kaip vieną iš tokių kompetencijos gilinimo sričių galima išskirti VLSI lustų projektavimą – mokant projektuoti bei įsigijus atitinkamą architektūrą, galima kurti originalų lusto dizainą ir jį užsakyti gamybai. Lietuvos mokslo taryba šiuo metu vykdo nedidelės apimties bendrų Lietuvos, Latvijos ir Taivano mokslininkų grupių projektų programas. Anksčiau yra vykdžiusi ir su JAV mokslininkais bendradarbiaujančių Lietuvos mokslininkų grupių projektų programas. Tokių ir panašių programų apimties didinimas, numatant kelias tokių projektų pakopas ir tuo siekiant pakelti projektų rezultatų technologinės parengties lygį iki priimtino verslui, galėtų pasitarnauti puslaidininkų pramonės ekosistemos kūrimui Lietuvoje.

Bendradarbiavimas puslaidininkų srityje taip pat atvertų platesnes galimybes pasikviesti aukščiausio lygio užsienio specialistus dėstyti į Lietuvos universitetus ir kurti susijusias ekspertų grupes ir/ar struktūras, teikiančias rekomendacijas politikos formuotojams. Ilgainiui, dvišalės partnerystės galėtų paskatinti susijusias verslo misijas bei pritraukti Taivano ar JAV didžiųjų puslaidininkų gamintojų/projektuotojų investicijas į Lietuvą. Tiesa, kaip teigia inovacijų vadybos ekspertas Artūras Jakubavičius, tam Lietuvai visų pirma reikia išsiginčinti savo potencialų vaidmenį puslaidininkų vertės grandinėje, o tuomet suformuoti kitų valstybių kontekste konkurencingą vertės pasiūlymą, į kurį įeitų valstybės bei privačių įmonių indėlis, reikiama infrastruktūra (tyrimų centrai, specialistų kiekis ir pan.), aprūpinimas energijos ištekliais, patogi lokacija, mokestinės lengvatos ir kt. susiję aspektai.<sup>104</sup>

**Patekimas į strategines vertės grandines prisijungiant prie ES iniciatyvų.** Strateginė vertės grandinė suprantama kaip visuma tarpusavyje susijusių ekonominių veiklų ir jas vykdančių ūkio subjektų, kurie produktui, procesui ar paslaugai sukuria pridėtinę vertę. Strateginės vertės kūrimo grandinės yra sisteminės svarbos ir atitinka tris dimensijas:

- **Technologinis novatoriškumas** (vertės grandinės pagrindumas strateginių technologijų pritaikymu, MTEP rezultatais ar technologinėmis inovacijomis, pavyzdžiui, autonominiu vairavimu, mažą CO2 kiekį išskiriančiomis technologijomis).
- **Ekonominis ir rinkos potencialas** (vertės grandinės faktinė ar potenciali ekonominė svarba).
- **Visuomeninė ir politinė svarba Europai** (vertės grandinės reikšmingas indėlis atliepiančios Europos visuomenės iššūkius ir politikos tikslus, pavyzdžiui, klimato kaitos, visuomenės senėjimo, Europos saugumo ir autonomiją bei kitus tikslus).

Europos Komisija yra identifikavusi šias 9 strategines ES vertės kūrimo grandines:

- švarus, susietas ir autonominis transportas;
- išmanioji sveikata;
- CO2 emisiją mažinanti pramonė;
- vandenilio technologijos ir sistemos;
- pramoninis daiktų internetas;
- kibernetinė sauga;
- baterijos;
- aukšto našumo skaičiavimo sistemos;
- mikroelektronika.

Puslaidininkų pramonė turi glaudžias sąsajas net su trimis iš devynių ES strateginių vertės grandinių: **švarus, susietas ir autonominis transportas, pramoninis daiktų internetas, mikroelektronika.**

Potencialios partnerystės gali būti užmegztos aktyviai įsitraukiant į Europos puslaidininkų ekosistemai stiprinti skirtas ES iniciatyvas. Šiuo požiūriu išskiriamas 2021 m. vasarą įsteigtas **ES procesorių ir puslaidininkinių technologijų aljansas**, skirtas ES elektronikos projektavimo kompetencijų stiprinimui bei gamybinių pajėgumų plėtrai. Prie aljanso gali prisijungti organizacijos, turinčios patirties ar planuojančios veiklas, susijusias su procesorių ar puslaidininkinių technologijomis. Lietuvos įmonėms, atitinkančioms valstybės paramos, skirtos BEISP suderinamumo su vidaus rinka kriterijus, taip pat akcentuojama galimybė prisijungti prie **BEISP projekto mikroelektronikos srityje** (BEISP ME2).<sup>105</sup> Vienas pagrindinių BEISP ME2 privalumų yra tai, kad dalyvaujantiems projektams suteikiama galimybė padengti iki 100 % finansavimo trūkumo, remiant daugybę tinkamų finansuoti išlaidų, atsižvelgiant į susijusias rizikas vykdant mokslinius tyrimus šiame sektoriuje.

<sup>104</sup> Pokalbis su Lietuvos inovacijų centro, Inovacijų paramos paslaugų departamento vadovu Artūru Jakubavičiumi, 2021.11.22.

Lietuvos įmonė, net ir neprijungusi prie BEISP ME2 iniciatyvos kaip tiesioginis dalyvis, turi galimybių įsijungti į susijusią vertės grandinę – prisijungti kaip BEISP ME2 tiesioginių dalyvių partneriams arba dalyvauti BEISP ME2 subprojektuose. Tam, kad Lietuvos įmonės turėtų prieigą ir galimybes prisijungti prie tokių projektų, yra kritiškai svarbu paskatinti dalyvauti tinklaveikoje artimose *Horizon Europe* partnerystėse, kuriose būtų galima užmegzti reikiamus dalykinius ryšius ir tapti matomiems. Tematiškai artimiausia *Horizon Europe* partnerystė yra „**Pagrindinės skaitmeninės technologijos**“ (angl. *Key Digital Technologies*)<sup>106</sup>. Kitos puslaidininkinėms technologijoms tematiškai artimos partnerystės, kuriose Lietuvos įmonės galėtų plėtoti naudingus ryšius ir siekti prisijungti prie bendrų MTEPI projektų, yra šios:

- Išmanieji tinklai ir paslaugos (angl. *Smart Networks & Services*)
- Europos fotonika (angl. *Photonics Europe*)
- Pasauliniu mastu konkurencingos kosmoso sistemos (angl. *Globally Competitive Space Systems*)
- Didelio našumo skaičiavimai (angl. *High Performance Computing*)
- Dirbtinis intelektas, duomenys ir robotika (angl. *Artificial Intelligence, Data and Robotics*).

Galimybės ir potencialas prisijungimui prie konkrečios partnerystės turėtų būti vertinamas individualiai įmonės lygiu, tačiau labai svarbus yra bendras krypties nustatymas ir valstybės finansinis ar nefinansinis paskatinimas. Be minėtų ES iniciatyvų, taip pat išskiriama galimybė siekti papildomų finansavimo šaltinių atidžiai sekant šiuo metu rengiamo ES lustų akto įgyvendinimo procesą, kuris numato galimybę sukurti papildomą Europos puslaidininkinių fondą.<sup>107</sup>

## GRĖSMĖS:

- Didelė konkurencija
- Didėjantis tikslųjų mokslų specialistų stygius
- Geopolitinės rizikos

**Didelė konkurencija.** Viena pagrindinių išskiriamų rizikų, susijusi su valstybės indėliu į puslaidininkinių pramonės vystymą Lietuvoje, yra atsiperkamumas. Pažymima, jog norint užimti bent dalį puslaidininkinių lustų gamybos proceso, reikia milžiniškų investicijų, kurios keliautų į itin didelės konkurencijos sritį. Susijusių technologijų kaitos greitis yra didelis, todėl, remiantis ekonomine kaštų ir naudos analize, reikia labai gerai pasverti, į kokią vertės grandinės dalį verta investuoti valstybės pinigus ir mokslo bei verslo atstovų laiką. Šiuo metu lustų ir kitų elektronikos komponentų stygius yra itin aktualus, tačiau tai – trumpojo laikotarpio problema. Kuriant tokių investicijų reikalaujančią pramonę reikia atsižvelgti, ar puslaidininkinių gamyba (ar bent jos dalis) vykdoma Lietuvoje bus pakankamai konkurencinga ir sukurs pakankamai pridėtinės vertės, kuri tokias investicijas pateisins.

Puslaidininkinių pramonės atsiradimas Lietuvoje galėtų apjungti įvairių sektorių verslų, mokslo ir studijų institutų veiklą, sutaptų su strateginiais ES tikslais bei skatintų ES technologinę nepriklausomybę nuo trečiųjų šalių tiekėjų. Nepaisant to, dalis ekspertų teigia, jog šiuo metu nesimato, jog būtų pakankamas poreikis lustų gamybai Lietuvoje.<sup>108</sup> Lietuvos patirtis puslaidininkinių lustų gamyboje yra ribota, taip pat nėra iki galo aiškus inovacinis potencialas, kuris leistų sėkmingai konkuruoti šioje didelės konkurencijos pasaulinėje rinkoje.<sup>109</sup> Šiuos pamąstymus papildo ir „Deeper“ gamybos vadovas Martynas Pikšrys, kuris įmonėje atsakingas už visų reikalingų komponentų tiekimą. Puslaidininkinių pramonės atsiradimas Lietuvoje, net jei ir tiktų jo atstovaujamos įmonės produkcijai, pats savaime vargu, ar paskatintų keisti tiekėjus.

105 Europos Komisija, Valstybės pagalbos, skirtos bendriems Europos interesams svarbių projektų vykdymui skatinti, suderinamumo su vidaus rinka analizės kriterijai, Europos Komisijos komunikatas, 2014. Žr. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014XC0620%2801%29&from=EN>.

106 European Partnership under Horizon Europe. Key Digital Technologies. Žr. [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research\\_and\\_innovation/funding/documents/ec\\_rtd\\_he-partnerships-for-key-digital-technologies.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/funding/documents/ec_rtd_he-partnerships-for-key-digital-technologies.pdf).

107 Breton, T., European Commission, How a European Chips Act will put Europe back in the tech race, 2021, Žr. [https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/breton/blog/how-european-chips-act-will-put-europe-back-tech-race\\_en](https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2019-2024/breton/blog/how-european-chips-act-will-put-europe-back-tech-race_en)

108 Pokalbis su FTMC Optoelektronikos skyriaus mokslo darbuotoju Domu Jokubauskiu, 2021.11.04.

109 Ten pat.

Pasak jo, ar derėtis su lietuvių gamintojais, ar, kaip daroma šiuo metu, su dabartinių tiekėjų atstovais Lietuvoje, tiek dėl tiekimo tempų, tiek ir kainos atžvilgiu didelio skirtumo nėra. Dėl masto ekonomijos principų patrauklesnis variantas, veikiausiai, vis tiek būtų užsakinėti iš Azijos gamintojų.<sup>110</sup> Kartu su minimais aspektais, FTMC atstovas Domas Jokubauskis pažymi infrastruktūros išlaikymo kaštus. Kaip pavyzdį jis mini lustų gamybos procesui reikalingas švarias patalpas, kurių įranga nuolatos dėvisi ir energija jai išlaikyti naudojama nepriklausomai nuo to, ar ten kažkas gaminama, ar ne. Dėl šios priežasties reikia tiksliai įsivertinti paklausą ir užtikrinti nenutrūkstamą gamybą.<sup>111</sup>

**Didėjantis specialistų stygius.** Skiriant valstybės pagalbą, tačiau neužtikrinant tarpsektorinio Lietuvos įmonių įsitraukimo į puslaidininkių pramonę, kyla grėsmė subsidijuoti vieną verslo šaką kitų susijusių sektorių pajėgumų, kurie yra priklausomi nuo tų pačių resursų, sąskaita.<sup>112</sup> Šiuo atžvilgiu išskirtinas būtent specialistų stygius, aktualus bene visiems tikslųjų mokslų išsilavinimo reikalaujantiems sektoriams, tiek Lietuvoje, tiek ir visoje Europoje. Galima daryti prielaidą, kad puslaidininkių pramonė Lietuvoje iš dalies paskatins susidomėjimą susijusiais inžinerinės, fizikinės pakraipos ir kitais STEM mokslais, didesniais atlyginimais galbūt pavyks prisitraukti daugiau specialistų iš užsienio, tačiau, tikėtina, jog tai specialistų stygiaus problemos ne tik neišspręs, bet ir ją pagilins. Tvariam specialistų rengimui reikėtų ilgalaikės, bent 10-15 metų tęsiamos programos, į kurią, be kita ko, būtų įtraukti papildomi svertai, leidžiantys padidinti tiksluosius mokslus besirenkančių mokinių srautus, paskatinti naujų studijų programų kūrimą ir esamų plėtrą, padidinti stažučių užsienyje intensyvumą ir sustiprinti kitas su specialistų rengimu susijusias veiklas.<sup>113</sup>

**Geopolitinės rizikos.** Galiausiai, mąstant apie puslaidininkių pramonės kūrimą Lietuvoje, reikia atsižvelgti ir į geopolitinį kontekstą bei su tuo susijusias rizikas. Kaip ir ES, taip ir Lietuvoje, pritariama bendrai idėjai, jog pasaulinių technologinių varžybų akivaizdoje lustų gamybą reikėtų telkti būtent Europoje, dar geriau – Lietuvoje, jeigu rastume ekonomiškai naudingą ir įgyvendinamą vertės grandinės vaidmenį.<sup>114</sup> Puslaidininkių pramonės segmentuose suradus savo nišas, kurios būtų pripažintos kaip visos ES strateginės vertės grandinės dalys, tai tarnautų ne tik kaip potencialiai ekonomiškai naudingas, bet ir kaip itin svarbus politinis, saugumo svertas.<sup>115</sup> Tai sukurtų Lietuvai papildomo politinio svorio atsižvelgiant į grėsmes mūsų regione. Tačiau tos pačios regioninio nestabilumo grėsmės gali pasitarnauti ir priešingai – keliamas klausimas, ar ES turėtų valios investuoti į ilgalaikį strateginės vertės objektą sąlyginai nestabiliame regione?<sup>116</sup> Taigi, tiek globalūs technologinės autonomijos siekiai, tiek regioninis kontekstas ir su tuo susijusios rizikos taip pat turi būti apsvarstomi.

---

110 Pokalbis su „Deeper“ gamybos vadovu Martynu Pikšriu, 2021.11.16.

111 Pokalbis su FTMC Optoelektronikos skyriaus mokslo darbuotoju Domu Jokubauskiu, 2021.11.04.

112 Pokalbis su „Light Conversion“ direktoriumi Martynu Barkausku. 2021.11.12

113 Pokalbis su VU LTC direktoriumi Aidu Matijošiumi, 2021.10.27.

114 Nacionalinė fizikos konferencija, 2021.10.08.

115 Pokalbis su Gamybos inovacijų slėnio direktoriumi Gintaru Vilda, 2021.11.19.

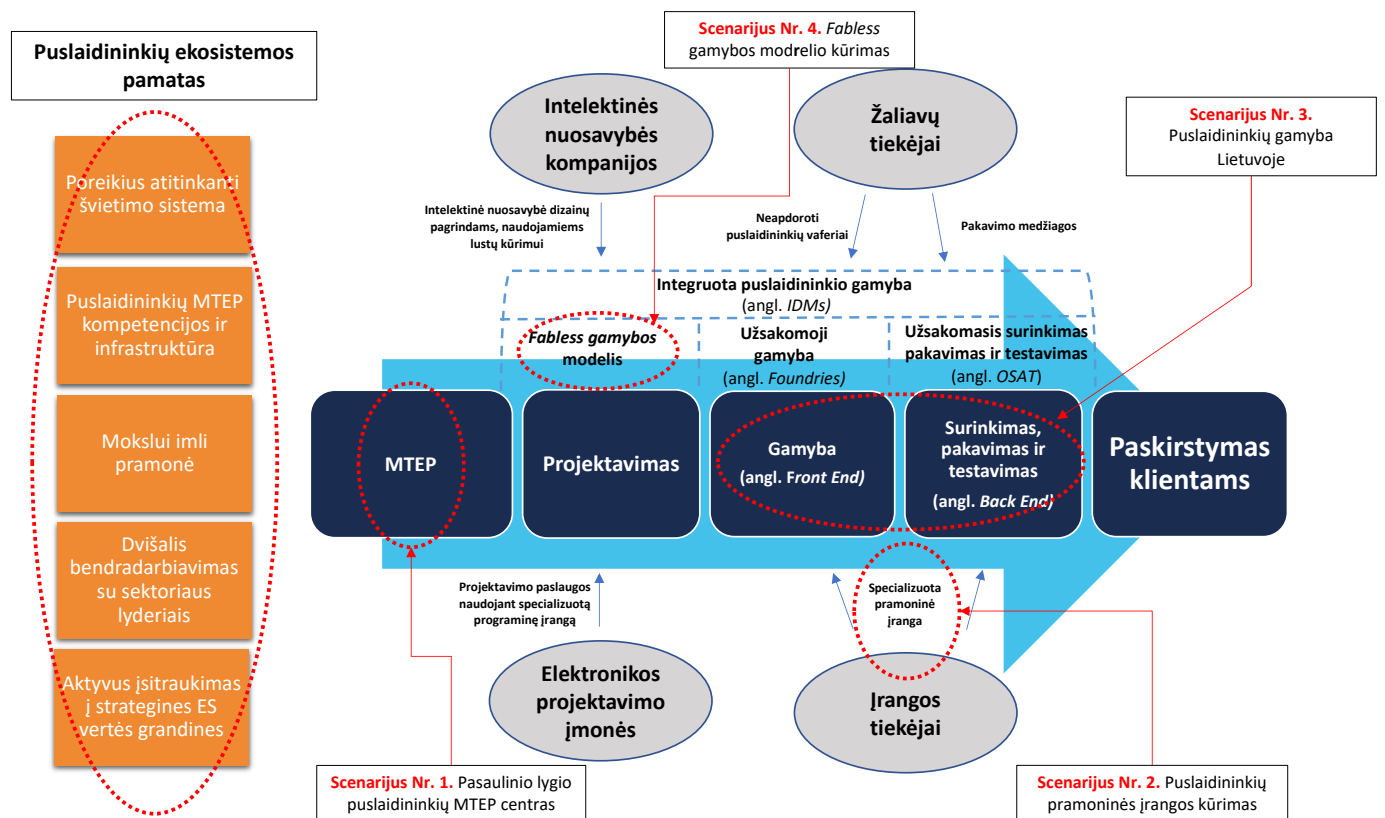
116 Ten pat.

# Lietuvos puslaidininkių ekosistemos pamatas ir plėtos scenarijai



Ekspertai akcentuoja poreikį išsiginčyti Lietuvos siekiamą vaidmenį ir jo gylį puslaidininkų vertės grandinėje. Prioritetų išsirinkimas yra būtinas, atsižvelgiant į globalios puslaidininkų rinkos specializacijos tendencijas bei dideles šiam sektoriui vystyti reikiamas investicijas. Tai turėtų būti įgyvendinama suburiant susijusius politikos formuotojus, pramonės, mokslo šakų atstovus ir nustatyti ekonomine investicijų nauda pagrįstą puslaidininkų sektoriaus sritį, jos gylį bei sąsajas su ES strateginėmis vertės grandinėmis. Sutarus dėl prioritetingos srities, ši turėtų būti įtraukta tarp ilgalaikių strateginių valstybės tikslų, kurių nuosekliai siekiama kryptingai investuojant į susijusias puslaidininkų ekosistemos pamatinės sritis.

Šio skyriaus tikslas yra išgryninti puslaidininkų ekosistemai Lietuvoje kurti reikalingą pamatą bei pateikti keletą alternatyvių plėtros scenarijų ženklesniam Lietuvos pramonės įsitraukimui į tarptautinę puslaidininkų vertės grandinę. Tikimasi, jog išskirtos pamatinės sritys, kartu su potencialiais plėtros scenarijais pasitarnaus kaip atramos taškas platesnei susijusių šalių diskusijai. Alternatyvių plėtros scenarijų kūrimui pasitelkiama analizės pradžioje pateikta globali puslaidininkų vertės grandinės apžvalga. Žemiau esančioje iliustracijoje pasaulinė puslaidininkų vertės grandinė yra susiejama su Lietuvos puslaidininkų sektoriaus bei SSGG analize. Tai leidžia nurodyti preliminarias sritis globalioje vertės grandinėje, atspindinčias Lietuvos pramonės ir mokslinių institutų stiprybes ir galimybes.



Iliustracija 10. Lietuvos puslaidininkų ekosistemos pamatas ir plėtros scenarijai. Sudaryta autorių remiantis ekspertų įžvalgomis bei Semiconductor Industry Association (2016) Beyond Borders: The Global Semiconductor Value Chain.

Aukščiau pateiktoje iliustracijoje kartu su puslaidininkų vertės grandine pateikti ekspertų įžvalgomis paremti blokai, formuojantys Lietuvos puslaidininkų ekosistemos pamatą: **puslaidininkų ekosistemos poreikius atitinkanti švietimo sistema; puslaidininkų MTEP kompetencijos ir infrastruktūra; mokslui imli pramonė; dvišalis bendradarbiavimas su puslaidininkų sektoriaus lyderiais bei aktyvus įsitraukimas į strategines ES vertės grandines.** Šios sritys atliepia Lietuvos elektronikos ir optinių prietaisų pramonės bei mokslinių institutų ankščiau analizėje įvardintas stiprybes, silpnybes, galimybes bei grėsmes. Teigiamas progresas šiose srityse yra būtinas formuojant Lietuvos puslaidininkų ekosistemos pagrindą. Konkretus autorių siūlomų tikslų ir uždavinių sąrašas kiekvienai iš minimų sričių pateikiamas dokumento priede Nr. 1. Lietuvos puslaidininkų ekosistemos stiprinimo tikslai ir uždaviniai.

Pamatinių puslaidininkų ekosistemos sričių vystymas leistų Lietuvos verslams ir/ar susijusiems moksliniams institutams užimti reikšmingą vietą globalioje puslaidininkų vertės grandinėje. Kaip kelios potencialią vietą nurodančios kryptys, pateikiami keturi preliminarūs Lietuvos puslaidininkų sektoriaus plėtros scenarijai:

- 1) Lietuva – pasaulinio lygio puslaidininkų MTEP centras;
- 2) Lietuva – puslaidininkų pramoninės įrangos tiekėja;
- 3) Lietuva – puslaidininkų gamintoja;
- 4) *Fabless* puslaidininkų gamybos modelio kūrimas Lietuvoje.

Akcentuotina, jog šie scenarijai yra indikatyvūs ir neužkerta kelio kitų proveržio kryptų kūrimui ar kelių scenarijų vystymo paraleliai.

## PAMATINĖS PUSLAIDININKŲ EKOSISTEMOS SRITYS

Remiantis praeituose skyriuose atlikta Lietuvos puslaidininkų sektoriaus apžvalga bei SSGG analize, išskiriami penki tarpusavyje susiję blokai, sudarantys Lietuvos puslaidininkų ekosistemos pamatą. Norint kurti tvirtą ir tvarų puslaidininkų ekosistemą ir ilgainiui vienaip ar kitaip reikšmingiau įsilieti į globalią puslaidininkų vertės grandinę, turi būti skiriamas papildomas dėmesys šioms prioritetinėms sritims:

**Tikslų sąrašas kiekvienai iš nurodytų sričių pateikiamas šio dokumento priede Nr. 1.**

**Puslaidininkų ekosistemos poreikius atitinkanti švietimo sistema.** Norint pasiekti reikšmingą proveržį puslaidininkų sektoriuje, būtina investuoti laiko ir pinigų į susijusias švietimo reformas. Reformos turėtų orientuotis į didesnę susidomėjimą STEM mokslais. Tai leistų paruošti daugiau specialistų, kurių trūksta jau dabartiniams pramonės poreikiams užpildyti ir, tikėtina, dar labiau trūks, jeigu Lietuva turės žymų indėlį puslaidininkų pramonės vertės grandinėje. Didesnis dėmesys tiksliesiems ir inžineriniams mokslams, pradėdant nuo mokyklos, yra būtinas siekiant Lietuvos proveržio pasaulinėje puslaidininkų vertės grandinėje, nepriklausomai nuo išsivysčiusios ir pasirinktos prioritetinės srities.

**Puslaidininkų ekosistemai reikalingos MTEP kompetencijos ir infrastruktūra.** Su švietimu ir mokslo kompetencijų didinimu yra susijęs ir universitetų bei puslaidininkų srityje dirbančių mokslinių institutų stiprinimas. Tai leistų kurti know-how (tiek specialistų, tiek mokslinių pasiekimų prasme), toliau gilinti ilgą laiką įdirbtą fundamentinių puslaidininkų tyrimų srityje. Puslaidininkų MTEP infrastruktūros stiprinimas paskatintų inovacijas puslaidininkinių medžiagų ir jų apdirbimo ir optoelektronikos srityse, kurias vėliau galėtų pritaikyti mokslui imli ir aukštą pridėtinę vertę kurianti vietos pramonė. Šiuo atžvilgiu taip pat aktualu vystyti su VSLI lustų projektavimų susijusias MTEP veiklas, kurios puslaidininkų vertės grandinėje turi itin didelį sukuriamos pridėtinės vertės potencialą. MTEP kompetencijų ir infrastruktūros stiprinimui reikia priemonių, skatinančių daugiau tikslųjų absolventų rinktis susijusias akademinės sritis, investuojant į MTEP infrastruktūrą,

gerinant mokslininko profesijos patrauklumą bei suteikiant sąlygas naujoms tyrimų sritims.

**Mokslui imli pramonė.** Būtina vystyti ir bendresnio pobūdžio reformas, skatinančias inovacijas, transformuojančias Lietuvos pramonę, ir taip didinti aukštesnės pridėtinės vertės produkciją bei aukštųjų technologijų elektronikos ar optinių gaminių pramonę. Tai ilgainiui prisidės prie glaudesnio bendradarbiavimo tarp pramonės ir mokslo, suteikiant sąlygas pritaikyti fundamentinių puslaidininkių mokslų žinias praktikoje tuo pačiu padedant pramonės įmonėms tobulinti savo produktus ir procesus. Tam reikalingos skatinamosios priemonės didesnėms verslų MTEP investicijoms, mokslinių institutų bendradarbiavimui su verslu kuriant gaminių prototipus, specialistų kvalifikacijos tobulinimui ir kt.

**Dvišalis bendradarbiavimas su puslaidininkių sektoriaus lyderiais.** Skatinama išnaudoti dvišales partnerystes su valstybėmis, kurių įmonės skirtingose puslaidininkių vertės grandinės etapuose užima didžiausią vaidmenį. Priklausomai nuo išsigryninto vaidmens puslaidininkių vertės grandinėje, tai galėtų būti JAV, Taivanas, Pietų Korėja, Vokietija, Prancūzija, Nyderlandai. Kryptingas ir nuoseklus dvišalis bendradarbiavimas galėtų pasitarnauti kviečiant jų ekspertus į darbo grupes Lietuvoje bei siunčiant įmonių specialistus ar studentus į stažuotes naujoms kompetencijoms įgyti. Turint reikiamą įdirbį ir suformavus į Lietuvos stiprybes, sektoriaus technologines, geopolitines ir geografines sąlygas atsižvelgiantį vertės pasiūlymą, galima siekti ir tiesioginių šių šalių investicijų pasirinktai puslaidininkių pramonės šakai vystyti.

**Aktyvus įsitraukimas į strategines ES vertės grandines.** Paraleliai kitoms numatytoms pamatinėms kryptims, reikia skatinti mokslinių tyrimų centrus bei su puslaidininkių sektoriumi susijusias įmones jungtis į ES aljansus bei BEISP projektus mikroelektronikos, procesorių ir puslaidininkinių technologijų srityse, siekiant rasti naujų partnerysčių ir investicijų į veiklų plėtrą. Akcentas vystomose ES partnerystėse turėtų būti į strategines vertės grandines, ypač mikroelektronikos, pramoninio daiktų interneto bei švaraus, susieto ir autonominio transporto srityse.

*Ilustracija 11. Pamatinės Lietuvos puslaidininkių ekosistemos sritys*

Siekiant reikšmingo įsitraukimo į globalią puslaidininkių vertės grandinę, šių sričių stiprinimas turėtų atspindėti ilgalaikius (bent 10-15 metų) prioritetinius valstybės tikslus. Kiekvienam iš šių pamatinių blokų autoriai išskyrė atskirus uždavinius, išdėstyti analizės priede **Nr. 1. Lietuvos puslaidininkių ekosistemos stiprinimo tikslai ir uždaviniai.**

Pažymėjus Lietuvos puslaidininkių ekosistemos pamatą formuojančias sritis, toliau pateikiami keli potencialūs įsitraukimo į globalią puslaidininkių vertės grandinę scenarijai. Plėtos scenarijai priklauso nuo sėkmingų pokyčių pamatinėse srityse ir gali būti pasitelkiami kaip atramos taškas tolesnei diskusijai.

## **SCENARIJUS NR. 1. LIETUVA – PASAULINIO LYGIO PUSLAIDININKIŲ MTEP CENTRAS**

Fundamentiniai puslaidininkių moksliniai tyrimai yra viena iš Lietuvos stiprybių, todėl gali būti pagrindu Lietuvai tampant pasaulyje žinomu puslaidininkių mokslo tyrimų centru. Kaip minėta SSGG analizės kontekste, Lietuvos mokslinių tyrimų institutai bei universitetai turi gilų įdirbį ir ekspertizę tiriant optines puslaidininkių savybes, optoelektroniką, taip pat puslaidininkines medžiagas, jų darinius ir apdirbimo technologijas. Investicijos į mokslinių tyrimų infrastruktūrą bei į tiksluosius mokslus orientuotos švietimo reformos leistų panaudoti turimą įdirbį vystant naujas tyrimų kryptis ir pasiekiant atradimus, kurie ilgainiui patektų ir į rinką.

117 Kitos aktualios Horizon Europe partnerystės:

- Išmanieji tinklai ir paslaugos (angl. *Smart Networks & Services*)
- Fotonika Europa (angl. *Photonics Europe*)
- Pasauliniu mastu konkurencingos kosmoso sistemos (angl. *Globally Competitive Space Systems*)
- Didelio našumo skaičiavimai (angl. *High performance Computing*)
- DI, duomenys ir robotika (angl. *AI, data and robotics*)

Tam, jog proveržis, formuojantis pamatus Lietuvai tampant pasaulyje žinomu puslaidininkų mokslo centru, būtų didesnis, reikia papildomos paramos kuriant universitetų *know-how* (tiek specialistų rengimas, tiek mokslinių tyrimų plėtra), gilesnio bendradarbiavimo tarp Lietuvos mokslinių institutų ir pasaulinių puslaidininkų MTEP lyderių. Bendradarbiavimas turėtų būti stiprinamas Europoje, visų pirma, su „IMEC“ (Belgija), „CEA-Leti“ (Prancūzija) ir „Fraunhofer“ (Vokietija) bei pasaulyje, atitinkamai prioretizuojant JAV, Japonijos, Pietų Korėjos ir Taivano tyrimų centrus. Taip pat būtina valstybės pagalba aktyviam Lietuvos mokslinių tyrimų centrų įsitraukimui į susijusias ES programas: *Horizon Europe* projektus, „Pagrindinės skaitmeninės technologijos“ (angl. *Key digital technologies*)<sup>117</sup> bei ES procesorių ir puslaidininkinių technologijų aljansą, mikroelektronikos BEISP projektus ir susijusias iniciatyvas.

Svarbu paminėti, jog didesnės investicijos į fundamentinius puslaidininkų tyrimus nebūtinai sukurs daugiau pridėtinės vertės Lietuvai, nes galimybės naujų žinių pritaikomumui dėl žemomis technologijomis paremtos Lietuvos pramonės yra ribotos. Šio scenarijaus vystymui itin aktualus ir tikslųjų mokslų specialistų trūkumas. Dėl šių priežasčių kuriant stiprų puslaidininkų MTEP centrą reikalingos ne tik trumpojo laikotarpio investicijos gerinant turimą infrastruktūrą, didinant mokslininkų karjeros patrauklumą, kuriant naujas studijų kryptis ir vystant tarptautines partnerystes. Tuo pačiu reikia atsižvelgti ir į ilgesnio laikotarpio perspektyvą vykdant į tiksluosius mokslus nukreiptas švietimo reformas bei vystant aukštųjų technologijų pramonę Lietuvoje.

## SCENARIJUS NR. 2. LIETUVA – PUSLAIDININKIŲ PRAMONINĖS ĮRANGOS TIEKĖJA

Dalis Lietuvos lazerių sektoriaus įmonių, nors ir nedideliu mastu, tačiau jau dalyvauja puslaidininkų vertės grandinėje, tiekdamos gamyboje naudojamas lazerines technologijas. Lietuvos lazerių gamintojų technologijos gali pasiūlyti didesnę nei šiuo metu rinkoje vyraujančią tikslumą ir preciziškumą, kuris pasižymi ir mažesnėmis kintamomis sąnaudomis. Puslaidininkų gamybos procese lazeriai daugiausiai potencialo turi būtent galutinėje stadijoje – lustų surinkimo, pakavimo ir testavimo gamyklose. Nors šios rinkos šiaudien yra pakankamai smulkios nišos bendrame lazerių sektoriuje, tikėtina, jog lazerių, naudojamų lustų gamyboje, paklausa augs. Dėl šios priežasties reikėtų atskiros studijos su susijusiomis šalimis, kuri leistų įsivardinti tiksliai puslaidininkų gamybos proceso dalis ir/ar gaminamų puslaidininkų tipus, kurių poreikis Lietuvoje kuriamiems lazeriams būtų didžiausias.

Mąstant apie puslaidininkų tipus, vienas iš variantų galėtų būti orientuotis į moderniausių technologinių puslaidininkų gamybos procesu paremtus Taivane, Pietų Korėjoje ar JAV gaminamus **loginius ar atminties lustus**, kurie šiuo metu rinkoje užima didžiausią dalį. Taip pat būtų galima **prioretizuoti ES kuriamas strategines vertės grandines** ir tiekti pramoninę įrangą, reikalingą gaminti puslaidininkiniams įtaisams, analoginiams IG (analoginiams-skaitmeniniams keitikliams ir kt.) ir/ar ankstesnės gamybos technologijos kartos lustams, naudojamiems pramoniniam daiktų internetui ar švaram, susietam ir autonominiam transportui. Aktualu šiuo požiūriu galėtų būti ir aktyviai besivystanti puslaidininkų optoelektronikos pramonės šaka bei fotonikos integriniai grandynai, glaudžiai susiję su Lietuvoje vystomais moksliniais tyrimais. Bet kuriuo iš atvejų būtina pagrįsti Lietuvos lazerių pagrindu kuriamų pramoninių sistemų technologinį novatoriškumą, ekonominį ir rinkos potencialą, visuomeninę ir politinę technologijos naudą. Pagal tai svarbu nusimatyti pramonines sistemas, kurių reiktų tokių lazerinių technologijų įgalinimui puslaidininkų gamybos linijoje ir ieškoti partnerių bei investuoti į tokios pramoninės sistemos kūrimą. Minimų veiklų plėtrai reikėtų išnaudoti dvišalį ir daugiašalį ekonominį bendradarbiavimą skatinant partnerystes tarp Lietuvos lazerių įmonių ir pramoninės įrangos tiekėjų Europoje ir pasaulyje ir puslaidininkų vertės grandinėje veikiančių IDM ar OSAT gamintojų.

Papildomas dėmesys šiame kontekste turėtų būti skiriamas ir **puslaidininkių gamyboje naudojamų pramoninių sistemų kūrimui Lietuvoje**. Lazerių sektoriaus atstovai mini, jog puslaidininkių gamintojai jų siūloma, nors ir pranašesne, lazerine technologija neretai nesusidomi, nes ieško jau visiškai integruotos pramoninės įrangos, kurią galėtų lengvai įdiegti į savo gamybos procesus. Atsižvelgiant į tai, aukštą pridėtinę vertę galėtų kurti partnerystė tarp Lietuvos puslaidininkių dalinimui, itin plonų sluoksnių užnešimui ar žymėjimui naudojamų lazerių. Puslaidininkių pramoninės įrangos kūrimo proveržiui užtikrinti papildomai reikėtų tvarių ir ilgalaikių į tiksluosius ir inžinerinius mokslus nukreipto švietimo pokyčių, daugiau aukštesnę pridėtinę vertę kuriančios vietos pramonės ir mokslinių tyrimų centrų įsitraukimo.

### SCENARIJUS NR. 3. LIETUVA – PUSLAIDININKIŲ GAMINTOJA

Kitas scenarijus sektoriaus plėtrai galėtų būti šalyje vystoma puslaidininkių gamyba. Toks scenarijus gali būti vystomas renkantis iš kelių alternatyvų – statyti *front-end* gamyklą, surinkimo pakavimo ir testavimo gamyklą ar abi. Šiuo atžvilgiu aktualūs aukščiau apžvalgoje aptarti „Teltonikos“ įmonių grupės planai (žr. Atskirų Lietuvos gamybos sektorių sąsajos su puslaidininkiais). Svarstant apie finansinį valstybės indėlį į šiuos ar kitokius planus gaminti Lietuvoje puslaidininkius, pirmiausia, reikia pagrįsti ekonominį potencialą, kuris atlieptų susijusias rizikas.

**Front-end puslaidininkių gamyba**, ypač moderniausios nanometrų technologijos lustų, pasižymi didele konkurencija ir reikalauja itin didelių investicijų tiek kūrimui, tiek pramoninės sistemos išlaikymui ir atnaujinimui. Tokio masto valstybės investicijas reikėtų orientuoti ne į vidaus rinką, kuri yra palyginus nedidelė, tačiau taikyti į viso pasaulio, ar bent Europos rinkas ir vykdyti užsakomąją puslaidininkių gamybą. Atsižvelgiant į šiuos aspektus, prioritetas turėtų būti senesnės technologijos (angl. *trailing-edge*) gamybos procesams atskira rinkos studija, aiškiai pagrindžianti, kaip ir kuo Lietuvoje gaminami lustai sudomins elektronikos gamintojus ir galės konkuruoti su šiuo metu veikiančiais gamintojais.

**Surinkimo, pakavimo ir testavimo gamyklai** investicijos būtų kiek mažesnės ir šiuo atžvilgiu būtų galima svarstyti apie Lietuvos lazerių bei pramoninių sistemų gamintojų įtraukimą, plačiau aprašytą antrame scenarijuje. Visgi, šioje gamybos grandinės dalyje taip pat yra savų rizikų. Nėra iki galo aišku, kokią pridėtinę vertę tokios gamyklos turėjimas sukurtų Lietuvai, ir kiek ji būtų konkurencinga šiuo metu veikiančioms OSAT tipo gamykloms Azijos valstybėse ir turinčioms didelę bei neretai pigesnę darbo jėgos pasiūlą.

Kitas variantas galėtų būti orientacija ne į moderniausiu technologiniu puslaidininkių gamybos procesu paremtą lustų gamybą, tačiau į ankstesnės nanometrų technologijos puslaidininkius, analoginius IG, analoginius-skaitmeninius, skaitmeninius-analoginius keitiklius, puslaidininkinę optoelektroniką, jutiklius ar kitus diskrečius puslaidininkinius įtaisus, kurie atspindi ES valstybių puslaidininkių sektoriaus stiprybes ir yra glaudžiai susieti su Europos pramone ir strateginėmis vertės grandinėmis. Lietuvoje jau dešimtis metų veikia įmonės, kurios gamina **diskrečius puslaidininkinius prietaisus** (žr. Lietuvos puslaidininkių sektoriaus apžvalga). Bet norint išeiti į didesnes rinkas ir būti jose konkurencingiems, kaip ir puslaidininkinių lustų gamybos atveju, investicinių rizikų įsivertinimui reikia atskiro rinkos tyrimo. Būtina pagrįsti technologinį novatoriškumą, kuris leistų konkuruoti su egzistuojančiais gamintojais ir taip sukurti ekonominę naudą. Galvojant apie vieną ar kitą gamybos tipą (statant gamyklas ar pasirenkant *fabless* modelį), aktualu atsižvelgti ir į puslaidininkių rinkos cikliškumą – ilguoju laikotarpiu rinka yra sparčiai auganti ir kai poreikis, kaip šiuo metu, yra didelis, viskas puiku. Nepaisant to, kas maždaug 4-5 metus dėl pokyčių galutinių produktų rinkose svarstyklys apsiverčia ir puslaidininkių pasiūla kuriam laikui tampa didesnė nei paklausa.<sup>118</sup>

118 Duthoit, A., A 2020 semiconductor slump will send shockwaves across the global electronics industry. The View, Euler Hermes Allianz Economic Research, 2019.

Ženkliai plečiant diskrečių puslaidininkinių prietaisų gamybos mastus ar gaminant puslaidininkinių lustus, būtina apjungti kuo daugiau vietos pramonės sektorių bei orientuotis į ES strategines vertės grandines. Tuo pačiu, pasirinkimas turėtų atliepti Lietuvos pramonės stiprybes ir pastarųjų metų pokyčius aukštesnės pridėtinės vertės elektroninių ir optinių gaminių gamyboje. Pavyzdžiui, aktualios gali būti **pramoninio daiktų interneto bei švaraus, susieto ir autonominio transporto sritys**, kurios glaudžiai siejasi su stipriomis Lietuvos pramonės sritimis: automobilių sektoriumi, gaminančiu įvairius komponentus ir detales, bei navigacinių, ryšio sistemų ir telematikos gamintojais. Reikšminga dalis šių sektoriaus įmonių jau gamina ar naudoja įvairiausių puslaidininkinius elementus, šviestukus, jutiklius ir kt. prietaisus ir galėtų būti suinteresuoti įsitraukti į jų gamybos plėtrą Lietuvoje.

Priklausomai nuo pasirinktų sektorių ir puslaidininkinių tipo, gamybos pajėgumams vystyti būtinas dvišalis bendradarbiavimas su sektoriaus lyderiais. Jei gaminami analoginiai lustai, puslaidininkiniai įtaisai, optoelektronikos puslaidininkiniai, kuriais taikoma į Europos pramonę, bendradarbiauti rekomenduojama, pirmiausia, su Vokietija bei Prancūzija. Jei pagrindžiama nauda gaminti naujesnių gamybos technologijų loginius ar atminties lustus – su JAV, Taivanu, Pietų Korėja. Visais atvejais, dvišalis bendradarbiavimas galėtų būti pradedamas siunčiant Lietuvos įmonių specialistus, studentus bei puslaidininkinių MTEP vykdančių mokslininkų studentus stažuotėms į atitinkamų šalių institucijas ar verslus. Būtinas susijusių verslų ir puslaidininkinių MTEP sektoriaus skatinimas aktyviai įsitraukti į ES procesorių ir puslaidininkinių technologijų aljansą bei mikroelektronikos BEISP projektus.

Puslaidininkinių lustų gamybai, be minėtų aspektų, būtinos ir tiesioginės užsienio investicijos, kurios galėtų atsirasti sukūrus kitų valstybių požiūriu konkurencingą vertės pasiūlymą. Toks pasiūlymas turėtų apimti valstybės bei privačių įmonių indėlį, reikiamą infrastruktūrą (specialistų kiekis, tyrimų centrai), mokesťines lengvatas, energijos išteklius, tinkamą lokaciją. Atsižvelgiant į tai, reikėtų ir į gausesnį susijusių gamtos bei inžinerinių mokslo sričių specialistų rengimą ir puslaidininkinių MTEP stiprinimą nukreiptos švietimo sistemos. Taip pat aktualu apgalvoti ir geopolitinės regiono rizikas, kurios gali turėti įtakos ES ar kitiems partneriams svarstant apie didelio masto ilgalaikes investicijas į strateginės reikšmės gamyklas Lietuvoje.

#### **SCENARIJUS NR. 4. *FABLESS* GAMYBOS MODELIO KŪRIMAS LIETUVOJE**

Kita alternatyva puslaidininkinių gamybai Lietuvoje yra *fabless* tipo gamybos modelis. Jis reikalauja mažesnių pirminių kapitalo investicijų, lyginant su *front-end* gamyklomis, nes suteikia galimybę pasigaminti savo projektuotus puslaidininkinius jau veikiančiose *front-end* ir *back-end* gamyklose. Pažymima, jog užsimezgantys glaudesni dvišaliai ekonominiai santykiai puslaidininkinių sektoriuje su sektoriaus lyderiais trumpuoju ir vidutiniu laikotarpiu gali būti ypač naudingi būtent projektavimo srityje (pavyzdžiui, mokantis VSLI lustų projektavimo). Puslaidininkinių projektavimo kompetencija leistų pradėti galvoti apie potencialų *fabless* gamybos tipo modelį. Visgi, kaip ir kiti gamybos modeliai, puslaidininkinių projektavimas ir gaminimas užsakomosiose gamyklose taip pat turi savo iššūkių ir rizikų.

Kelios iš pagrindinių rizikų, vėlgi, yra ekonominis potencialas bei švietimas. Pasaulyje *fabless* tipo gamyba paprastai yra orientuota į didžiausias rinkas – pačių naujausių nanometrų technologijų skaitmeninių IG, loginių lustų gamybą. Nuolatinės šių priešakinųjų (angl. *cutting-edge*) technologijų inovacijos reikalauja itin didelių *fabless* įmonių investicijų į rinkos MTEP, kurios leistų projektuoti inovatyvius dizainus bei pritaikyti juos užsakomųjų gamyklų gamybai. Į minimas rinkas orientuotos *fabless* gamyklos į MTEP investuoja didžiausią dalį pajamų visoje puslaidininkinių vertės grandinėje. Taigi, sunku tikėtis, jog ateityje, bent jau šiose srityse, Lietuvos įmonės galėtų konkuruoti su rinkos lyderiais.

Dėl šios priežasties reikėtų orientuotis į **vidutinio dydžio ir augančias rinkas, paremtas senesnėmis gamybos technologijomis**, kur MTEP investicijų intensyvumas nėra toks didelis. Įgijus atitinkamų kompetencijų bei pasinaudojus atvirai prieinamomis dizaino architektūromis, ar įsigijus jų intelektinę nuosavybę, galima projektuoti individualius lustus iš pradžių savo elektronikos produkcijai, vėliau ir eksportui. Visgi, nedideliais kiekiais lustų prototipus užsakinėjančios Lietuvos įmonės ar moksliniai tyrimų centrai teigia, kad gauti individualiai projektuoti lustus yra pakankamai sunku dėl gamyklų užimtumo didžiųjų *fabless* ir IDM įmonių lustų gamybai. Taigi, svarstant apie Lietuvoje veikiančią *fabless* verslo modelį, reikalinga pakankamai plataus masto gamyba, kuri sukurtų interesą užsakomosioms gamykloms pergrupuoti savo pramoninius procesus ir leistų užsitikrinti tiek tiekimo grandines, tiek prieinamą pagaminimo kainą. Šiam tikslui pasiekti Lietuvoje projektuojami puslaidininkiai turėtų būti technologiškai inovatyvūs ir taikyti į besikuriančias ES strateginės vertės grandines atliepančias rinkas, kurios leistų sukurti didelę klientų bazę.

Kitas susijęs iššūkis šiam scenarijui yra **švietimo sistema ir MTEP infrastruktūra**. Sukūrus *fabless* tipo puslaidininkių pramonę, atsirastų poreikis investuoti į švietimo pokyčius, leidžiančius paruošti daugiau susijusių STEM pakraipos specialistų, paraleliai stiprinti universitetus ir mokslinius institutus bei susijusius verslus, užsiimančius mikroelektronikos ir puslaidininkių MTEP. Be šių aspektų, puslaidininkių projektavimo kompetencijoms stiprinti reikia išnaudoti galimybes siunčiant suinteresuotų įmonių bei universitetų specialistus bei studentus į daugiausiai patirtiesmokaupusias įmones JAV, Taivane ir Jungtinėje Karalystėje. Taip pat jungtis į kitų scenarijų kontekste minėtus ES projektus ir iniciatyvas.

Apibendrinant šį skyrių, akcentuojama, jog pateiktas scenarijų sąrašas nėra baigtinis ir gali būti plečiamas. Yra įvairiausių sričių, kur būtų galima rasti papildomą vietą puslaidininkių vertės grandinėje, pavyzdžiui, iš kvarcinio smėlio gryninant silicį. Taip pat galimos ir siektinos atskirų dalių kombinacijos – į vienokio ar kitokio pobūdžio puslaidininkių gamybą galėtų būti įtraukiamos Lietuvoje gaminamos susijusios pramoninės sistemos, o paraleliai derinamos iniciatyvos į susijusios puslaidininkių srities MTEP. **Pateikti skirtingi scenarijai yra indikatyvūs ir veikia kaip atspirties taškas platesnei diskusijai.** Į platesnį diskursą turėtų būti įtraukti su puslaidininkių tematika susiję ir/ar atitinkamus planus bevystantys elektronikos, optinių įtaisų gamintojai. Išsigryninus prioritetus, šie turėtų būti atspindėti ilgalaikiuose valstybės strateginiuose prioritetuose. Vienu ar kitu atveju pabrėžiama, kad **visos alternatyvos puslaidininkių sektoriaus plėtrai Lietuvoje yra susijusios su puslaidininkių ekosistemos pamato formavimu ir stiprinimu.** Tai yra atspirties taškas siekiant proveržio ir norint užimti reikšmingą vaidmenį globalioje puslaidininkių vertės grandinėje. Atsižvelgiant į tai, paskutiniame šios analizės skyriuje pateikiamos susiję uždaviniai kiekvienai iš pamatinių sričių.

# PRIEDAS NR. 1. LIETUVOS PUSLAIDININKIŲ EKOSISTEMOS STIPRINIMO TIKSLAI IR UŽDAVINIAI:

## Tikslas Nr. 1. Puslaidininkių ekosistemos poreikius atitinkanti švietimo sistema

1.1	<p>Sukurti ir vykdyti informacinę kampaniją, skatinančią rinktis fizikos, elektronikos, inžinerijos, nano mokslų, lustų VSLI projektavimo ir kitas STEM studijų kryptis:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• naudotis turimais komunikacijos kanalais, prisidedant prie universitetų susijusių studijų programų viešinimo mokyklose;</li><li>• kurti naujas bei intensyvinti jau veikiančias mobiliųjų laboratorijų programas mokyklose ilgainiui transformuojant jas į specializuotas stacionarias (fizikos, chemijos, biologijos ir kt.) laboratorijas;</li><li>• skatinti aktyvų mokyklų įsitraukimą į regionuose šiuo metu kuriamus atviros prieigos STEM centrus;</li><li>• skatinti STEM mokslų paremtų sektorių lyderius verslininkus bei mokslininkus kaip kviestinius svečius vesti parodomąsias pamokas mokyklose;</li><li>• prisidėti prie susijusių sektorių įmonių siūlomų stipendijų universitetų studentams viešinimo (pvz., „Teltonika“, „Light Conversion“);</li><li>• pasitelkiant turimus komunikacijos kanalus paskleisti universitetų vykdomas informacines kampanijas, siekiant į susijusias studijas pritraukti studentus iš užsienio;</li><li>• prisidėti viešinant universitetinių tyrimų ir kitus susijusios srities pasiekimus bei inovacijas.</li><li>• prisidėti skatinant studentus pasinaudoti esamomis universitetų partnerystėmis išvykstant į stipendijų, stažuočių ar mainų programas (pvz., „Erasmus+) taip suteikiant galimybę pasisemti susijusių žinių iš lyderiaujančių universitetų.</li></ul>
1.2	<p>Remti naujų specializuotų gamtos mokslų laboratorijų kūrimą mokyklose suteikiant moksleiviams daugiau galimybių pritaikyti įgytas žinias praktiniuose užsiėmimuose.</p>
1.3	<p>Kurti naujas ir plėsti jau esančias fizikos, elektronikos, inžinerijos ir kitų susijusių STEM sričių programas universitetuose, kuriuose būtų rengiami (mikro)elektronikos sektoriui reikalingi specialistai. Taip pat kurti ir viešinti jau esančias susijusių sričių profesines kvalifikacijos gilinimo ir/ar persikvalifikavimo programas.</p>
1.4	<p>STEM studijų pakraipų studentams kurti naujas stažuočių, praktikų ir (ar) mainų programas lyderiaujančiuose Lietuvos bei pasaulio universitetuose ir įmonėse.</p>
1.5	<p>Išnaudoti Lietuvos finansuojamas universitetų studijų vietas partnerių šalių studentams (pvz., Ukrainos ar Baltarusijos), nukreipiant finansavimą į STEM kryptis. Tokiems studentams taip pat suteikti lengvatines sąlygas darbo vizų/laikino leidimo gyventi išdavimui, įskaitant ir laikotarpį po studijų baigimo.</p>
1.6	<p>Spręsti mokytojų stygių lengvinant sąlygas ir skatinant atitinkamą tikslųjų mokslų išsilavinimą turintiems kitų profesijų atstovams lengviau persikvalifikuoti ir tapti mokytojais. Taip pat prisidėti prie susijusių jau egzistuojančių programų (pvz., „Renkuosi mokyti“) viešinimo.</p>
1.7	<p>Skatinti šiuo metu dirbančius tikslųjų mokslų mokytojus, ypač regionuose, informuojant apie bendradarbiavimo su universitetais, įmonėmis galimybes, siekiant organizuoti daugiau mokinių išvykų į tyrimų laboratorijas ir iš arti susipažinti su pažangiomis technologijomis paremtų įmonių veikla.</p>



## Tikslas Nr. 2. Puslaidininkių ekosistemai reikalingos MTEP kompetencijos ir infrastruktūra

2.1	Skatinti universitetus ir mokslo centrus kurti ir plėsti su puslaidininkiais susijusių tyrimų laboratorijas, užtikrinant prieigos galimybę atitinkamas fizikos, chemijos, elektronikos ir kt. susijusių sričių specializacijas pasirinkusiems studentams.
2.2	Įvertinti poreikius ir sukurti specializuotą laboratoriją(-as), pritaikytą lustų dizaino moksliniams tyrimams ir eksperimentinei plėtrai. Galimas vienas veiklos modelis arba jų kombinacija: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bendras pramonės ir mokslo MTEP centras, papildantis jau esamą mokslinę-technologinę infrastruktūrą trūkstamais pramonės reikmėms skirtais technologiniais komponentais;</li> <li>• keletas laboratorijų, veikiančių skirtingose Lietuvos vietose;</li> <li>• virtuali laboratorija.</li> </ul>
2.3	Sukurti paskatų sistemą verslui investuoti privačias lėšas į atviros lustų dizaino laboratorijos (-ų) sukūrimą ir eksploataciją. Skatinti akademinės bendruomenės ir verslo subjektų įsitraukimą į mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros veiklas, susijusias su lustų dizainu.
2.4	Didinti finansavimą mokslininkų atlyginimams, ypač jaunesniesiems mokslo darbuotojams ir mokslo darbuotojams, skatinant daugiau studentų tęsti savo profesinę karjerą moksle.
2.5	Pagerinti doktorantų socialinę apsaugą: <ul style="list-style-type: none"> <li>• doktorantų stipendiją socialinių išmokų kontekste prilyginti atlyginimui. Tai leistų numatytą terminą gauti socialines išmokas (pvz. tėvystės/motinstės) ir akademių atostogų metu.</li> </ul>
2.6	Sukurti finansavimo priemonę, suteikiančią galimybę mokslininkams pradėti naujos krypties MTEP tyrimus mikroelektronikos ir puslaidininkinės fizikos srityse. Skatinti imtis naujų MTEP tyrimų tokia priemone suteikiant galimybę pirmus 2-3 metus nepublikuoti/mažinti publikavimo reikalavimus ir juos pakeisti kitais reguliariais efektyvaus darbo įvertinimo kriterijais.
2.7	Peržiūrėti ir diferencijuoti publikavimo karteles taikomųjų ir fundamentinių mokslų atstovams projektų vertinimo rodikliuose, siekiant suteikti lygias galimybes skirtingų mokslinių sričių atstovams (pvz., elektronikos, mechanikos), kur publikavimo tempai yra mažesni dėl objektyvių priežasčių, įskaitant grėsmę atskleisti praktinį <i>know-how</i> .
2.8	Vykdyti tarptautinę informacinę kampaniją, informuojančią tyrimų institutus ir įstaigas apie galimybes Lietuvoje bei kviečiančią tyrimus ar jų dalį, susijusią su puslaidininkių lustais, vykdyti mūsų šalyje.
2.9	Skatinti puslaidininkių gamintojų ir projektuotojų startuolių ekosistemos kūrimąsi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nustatytą terminą finansuoti startuolius, gaminančius ir projektuojančius puslaidininkius didelės pridėtinės vertės elektronikos sektoriams;</li> <li>• skatinti puslaidininkius gaminančių ir projektuojančių startuolių bendradarbiavimą su universitetais, tyrimų institutais (pvz. FTMC);</li> <li>• skatinti verslų konsultacines ir mentorystės programas puslaidininkius gaminantiems ir projektuojantiems startuoliams.</li> </ul>
2.10	Sukurti ir vykdyti informacinę kampaniją, skatinančią išnaudoti mažaserijinės puslaidininkinių prietaisų gamybos privalumus: <ul style="list-style-type: none"> <li>• skleisti informaciją apie mažaserijinės puslaidininkinių prietaisų ar lustų gamybos galimybes bei teikiamus privalumus gamintojams;</li> <li>• skleisti informaciją įmonėms apie galimybes sukurti pavyzdinius mažos integracijos lustų prototipus Lietuvos tyrimų centruose (pvz., FTMC).</li> </ul>

### Tikslas Nr. 3. Mokslui imli pramonė

- |     |  |
|-----|--|
| 3.1 | Sukurti ir remti jau esamas dirbančių specialistų fizikos/elektronikos inžinerijos ir susijusių sričių kvalifikacijos tobulinimo programas.  |
| 3.2 | Stiprinti Lietuvos puslaidininkių pramonės atstovų kompetencijas ir gebėjimus dalyvauti tarptautinėse tyrimų programose ir iniciatyvose.   |
| 3.3 | Sukurti mokestinių kreditų sistemą, leidžiančią sukaupti skolą valstybei, jei atliekamos investicijos į MTEP bet kuriame puslaidininkių vertės grandinės etape. Apibrėžti limitus, įsiskolinimo ir skolos grąžinimo sąlygas bei kitas charakteristikas.  |
| 3.4 | Skatinti praktiškai pritaikyti puslaidininkių projektavimo galimybes finansuojant pirmuosius gaminius.   |
| 3.5 | Sukurti verslui, bendradarbiaujančiam su mokslo įstaigomis, skirtą su puslaidininkiais susijusių technologijų MTEP puslaidininkių sektoriuje skatinimo priemonę.   |
| 3.6 | Sukurti finansinių paskatų sistemą Lietuvos subjektams, vykdančioms MTEPI veiklas, pasitelkiant užsienio tyrimų institutų ir įstaigų patirtį.  |
| 3.7 | Skatinti žaliavų, skirtų lustų gamybai išgavimą ir apdirbimą Lietuvoje. Skatinimas turėtų apimti galimybių studijos atlikimą, įvertinant gamybos potencialą, žaliavų paklausą, galimus iškasenų šaltinius, apytikres reikalingas investicijas ir kitus svarbius faktorius. Esant galimybių studijos teigiamai išvadai dėl šių žaliavų gavybos vystymo Lietuvoje, taikyti: <ul style="list-style-type: none"><li>• nefinansinę paramą kuriant žaliavų skirtų lustų gamybai išgavimą ir apdirbimą;</li><li>• finansinį skatinimą šių pajėgumų atsiradimui.</li></ul> |
| 3.8 | Sukurti priemonę, skatinančią bendradarbiavimą tarp Lietuvos lazerių sektoriaus ir pramoninių automatizavimo sistemų (robotikos) kūrėjų, siekiant generuoti daugiau pridėtinės vertės Lietuvoje.   |

## Tikslas Nr. 4. Dvišalis bendradarbiavimas su puslaidininkių sektoriaus lyderiais

4.1	Išskirti investicijas į puslaidininkius TUI pritraukimo strategijoje ir išvystyti šiam sektoriui specifinį TUI pritraukimo planą, atsižvelgiant į sektoriaus technologines, geopolitines ir geografines sąlygas. Teikti investicines paskatas aukštą pridėtinę vertę kuriančioms investicijoms, kurios būtų nukreiptos į iš anksto nustatytas prioritetines puslaidininkių technologines sritis (pvz., lustų VSLI projektavimas).
4.2	Parengti Lietuvos, kaip puslaidininkių gamintojų plėtrai palankios aplinkos, komunikacijos strategiją ES ir pasauliui bei ją įgyvendinti.
4.3	<p>Suformuoti puslaidininkių LEZ, skirtą puslaidininkių gamybai ir tyrimams. LEZ sukūrimas apima, bet neapsiriboja, šiomis užduotimis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• įvertinti galimybę sukurti virtualią LEZ, kuri įtrauktų įmones veikiančias ne tik konkrečioje teritorijoje, bet ir visoje Lietuvoje, ir, esant palankiam sprendimui, sukurti virtualų puslaidininkių LEZ;</li> <li>• pritaikyti mokestines lengvatas investicijoms į puslaidininkių gamybos pajėgumų didinimą ir tyrimus;</li> <li>• pritraukti organizacijas, vertikalčiai ar horizontalčiai susijusias su puslaidininkių gamybos ir kūrimo vertės grandine;</li> <li>• atstovauti sukurtą LEZ ES politikos ir bendradarbiavimo programose arba įgalinti bei finansinėmis ir politinėmis priemonėmis remti LEZ atstovų įsitraukimą į šias bendradarbiavimo veiklas;</li> <li>• įrengti LEZ reikalingą infrastruktūrą: kelius, elektros, vandens tiekimą ar kitą pagal poreikį reikalingą infrastruktūrą.</li> </ul>
4.4	Vykdyti išvykstažiamas ir atvykstažiamas mažaserijinės pritaikytų puslaidininkių gamintojų bei projektuotojų verslo misijas.
4.5	<p>Vystyti partnerystę su globalios puslaidininkių vertės grandinės lyderiais ir organizuoti su puslaidininkių veikla susijusių Lietuvos įmonių specialistų stažuotes bei universitetų studentų mainų programas į šių šalių įmones, universitetus ir mokslinių tyrimų centrus. Priklausomai nuo Lietuvai išskirto prioritetinio puslaidininkių vertės grandinės vaidmens, prioritetas turėtų būti teikiamas šių šalių verslams ir mokslinių tyrimų institutams:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• įvertinti galimybę sukurti virtualią LEZ, kuri įtrauktų įmones veikiančias ne tik konkrečioje teritorijoje, bet ir visoje Lietuvoje, ir, esant palankiam sprendimui, sukurti virtualų puslaidininkių LEZ;</li> <li>• pritaikyti mokestines lengvatas investicijoms į puslaidininkių gamybos pajėgumų didinimą ir tyrimus;</li> <li>• pritraukti organizacijas, vertikalčiai ar horizontalčiai susijusias su puslaidininkių gamybos ir kūrimo vertės grandine;</li> <li>• atstovauti sukurtą LEZ ES politikos ir bendradarbiavimo programose arba įgalinti bei finansinėmis ir politinėmis priemonėmis remti LEZ atstovų įsitraukimą į šias bendradarbiavimo veiklas;</li> <li>• įrengti LEZ reikalingą infrastruktūrą: kelius, elektros, vandens tiekimą ar kitą pagal poreikį reikalingą infrastruktūrą.</li> </ul>
4.6	<p>Kartu su komercijos atašė sukurti platesnį Lietuvos ekonomikos atstovų tinklą, kuris reprezentuotų Lietuvos elektronikos ir optoelektronikos pramonės sektorių, orientuojantis į puslaidininkių pramonės plėtrą. Atstovaujami nebūtinai turėtų būti vien elektronikos ir optoelektronikos gamintojų interesai, tačiau tai turėtų būti viena iš prioritetinių sričių.</p> <p>Toks tinklas turėtų būti kuriamas skiriant atstovus į šalis, kuriose jų šiuo metu nėra, ir skiriant papildomų darbuotojų, kurie padėtų šių atstovų ir esamų komercijos atašė darbui. Prioritetas turėtų būti teikiamas stiprinant ekonominį atstovavimą svarbiausiose šio sektoriaus šalyse (žr. uždavinį Nr. 4.5.) ir turėtų tris pagrindinius tikslus:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aktyviai stebėti ekonominę situaciją ir atitinkamas įmones šalyse bei aktyviai ieškoti galimybių užmegzti ryšius tarp užsienio įmonių ir Lietuvos įmonių;</li> <li>• aktyviai remti Lietuvos įmones ieškant verslo galimybių ir partnerių užsienyje, įskaitant Lietuvos įmonių tiesioginių užsienio investicijų skatinimą;</li> <li>• aktyviai remti užsienio įmones, kurios ieško partnerių ar investavimo galimybių Lietuvoje.</li> </ul>
4.7	Kurti naujas ir didinti jau vykstančių Lietuvos mokslo tarybos programų apimtis tarp Lietuvos, Latvijos, Taivano, taip pat JAV mokslininkų grupių puslaidininkių srityje. Numatyti kelias tokių projektų pakopas ir siekti pakelti projektų rezultatų technologinės parengties lygį iki priimtino verslui.

## Tikslas Nr. 5. Įsitraukimas į strategines vertės grandines

5.1	<p>Suformuoti ekspertų grupę, kuri diskutuotų ir priimtų sutarimą dėl naudingo ir pagrįsto Lietuvos vaidmens puslaidininkių vertės grandinėje. Tokia ekspertų grupė taip pat turėtų vadovauti ekonominių atstovų tinklui (žr. uždavinį Nr. 4.6).</p> <p>Ekspertų grupė turėtų būti sudaryti iš Ekonomikos ir Inovacijos ministerijos, Užsienio reikalų ministerijos, „Verslios Lietuvos“, „Investuok Lietuvoje“, susijusių mokslo institucijų (FTMC, VU, KTU, VGTU) padalinių bei verslo asociacijų atstovų. Esant reikalui, į ekspertų grupę taip pat galėtų dalyvauti užsienio ekspertai iš valstybių, kurių įmonės skirtinguose puslaidininkių vertės grandinės etapuose užima didžiausią vaidmenį (žr. uždavinį Nr. 4.5).</p>
5.2	<p>Tikslingai skleisti žinių ir skatinti įmones prisijungti prie susijusių ES industrinių aljansų (pvz., Alliance on processors and semiconductor technologies, European Battery Alliance, Alliance on Space Launchers ar kt.), ES programų (susiję Horizon Europe projektai, partnerystės, Europos lustų aktas ar kt.) ir kitokio pobūdžio tarptautinių konsorciūmų:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• finansuoti su prisijungimu ir naryste aljansuose, partnerystėse ar kitokio pobūdžio tarptautiniuose konsorciūmuose susijusius mokesčius;</li><li>• įtraukti reikalavimą būti bent vieno aljanso, partnerystės ar kitokio pobūdžio tarptautinio konsorciūmo nariu į visus susijusius kvietimus viešosiomis lėšomis finansuojamiems projektams.</li></ul>
5.3	<p>Parengti ir įgyvendinti Lietuvos puslaidininkių pramonės atstovų dalyvavimo ES mokslinių tyrimų ir inovacijų programoje Horizon Europe akceleravimo veiksmų planą.</p>
5.4	<p>Stiprinti Lietuvos puslaidininkių pramonės MTEPI tarptautinį atstovavimą.</p>
5.5	<p>Siekti Lietuvos įtraukimo į „European Chips Act“ ir finansavimo pritraukimo projektus Lietuvoje.</p>

