

# **Rola mikroelektroniki w strategii przemysłowej produktów zaawansowanych technologicznie**

**Dr inż. Piotr Grabiec, prof. ITE (obecnie Łukasiewicz IMiF) emeryt.**

**Dr inż. Jerzy Szyuka**

*Autorzy dziękują Kolegom ze środowiska mikroelektronicznego za dyskusje odnośnie kwestii poruszanych w artykule i podzielenie się doświadczeniem i kompetencjami, które nabyli podczas pracy w kraju i za granicą.*

## **1. Wprowadzenie**

Bodźcem dla niniejszej publikacji stały się ostatnio ogłoszone i szeroko komentowane decyzje administracji amerykańskiej dotyczące ograniczenia dostępu do zaawansowanych układów scalonych. Artykuł koncentruje się na strategicznym znaczeniu mikroelektroniki dla rozwoju przemysłowego, szczególnie w kontekście dynamicznych zmian na arenie międzynarodowej. Jego celem nie jest szeroka analiza, lecz wskazanie synergicznych zależności oraz zilustrowanie ich przykładami zarówno z Polski, jak i z krajów, do których poziomu Polska aspiruje. O potencjale gospodarczym i poziomie dobrobytu kraju poza wyjątkami (posiadane surowce, atrakcyjne położenie geograficzne itp.) decyduje rozwój zaawansowanego przemysłu. Polska nie dysponuje wyjątkowymi atutami, dlatego jej stabilność i dobrobyt zależą od rozwoju przemysłu o wysokim wkładzie intelektualnym. Bezpieczeństwo kraju jest nierozzerwalnie związane z jego potencjałem technologicznym i gospodarczym, który – jak pokazuje historia – ostatecznie decyduje o wyniku konfliktów zbrojnych.

Rozwój gospodarczy Polski w oparciu o zewnętrzne inwestycje wykorzystujące niskie koszty siły roboczej, co miało miejsce w minionych dziesięcioleciach, wyczerpuje już swoje możliwości kreowania siły gospodarki. Oczywiście, kluczowe znaczenie mają partnerskie sojusze gospodarcze i obronne, jednak aby być pełnoprawnym partnerem, trzeba mieć coś do zaoferowania. W przeciwnym razie należy liczyć się z niekorzystnymi konsekwencjami, czego przykładem jest zakwalifikowanie Polski do drugiej kategorii pod względem dostępności zaawansowanych układów scalonych [1] – kwestia ta zostanie rozwinięta dalej.

## **2. Mikroelektronika w strategii przemysłowej**

O dobrobycie i konkurencyjności krajów czołówki gospodarczej świata, do których chcemy dołączyć, stanowi eksport zaawansowanych technologicznie produktów, przy czym **sektor elektroniczny odgrywa kluczową rolę, stanowiąc podstawowe źródło przewagi konkurencyjnej**. Z kolei o funkcjonalności i zaawansowaniu wyrobów elektroniki stanowią zawarte w nich rozwiązania wykorzystujące technologie półprzewodnikowe. Są to przede wszystkim technologie mikroelektroniczne, a w części, współpracujące z mikroelektroniką przyrządy fotoniczne, przyrządy mocy, detektory i sensory. Rozwinięte kraje europejskie posiadają strategiczne gałęzie przemysłu z potencjałem ekspansji międzynarodowej, np. Francja - energetyka atomowa, lotnictwo telekomunikacja, przemysł lotniczy i obronny, Niemcy - budowa maszyn i przemysł samochodowy, przemysł urządzeń dla medycyny i również przemysł obronny. Pod kątem ich potrzeb rozwijana jest w tych krajach infrastruktura (badania, rozwój, produkcja) mikroelektroniczna.

Kluczowe ośrodki półprzewodnikowe we Francji to:

Grenoble – wśród kilku instytutów głównym jest CEA-Leti specjalizujący się w technologii mikroelektronicznej, nanotechnologii i systemach wbudowanych.

Tuluza – jest siedzibą firmy Airbus i stąd ukierunkowanie ośrodków badawczych i firm na technologie elektroniczne dla lotnictwa.

Paryż – jest siedzibą uczelni i instytutów badawczych o szerokiej tematyce. Na czoło wysuwa się mikroelektronika dla telekomunikacji.

Marsylia, Lille - odgrywają istotną rolę w technologiach materiałowych mikroelektroniki.

W Niemczech istnieje 20 producentów elementów półprzewodnikowych i ok. 100 ośrodków projektowania. Producenci grupują się w ośrodkach, w których obok zakładów produkcyjnych mieszczą się instytuty badawcze, firmy kooperujące, start up'y i uczelnie. Jednym z największych takich ośrodków jest Drezno, zorganizowane w ramach klastra **Silicon Saxony**, który zrzesza 550 członków. W dreźnieńskim ośrodku, w pięciu fabrykach, projektuje się i produkuje około 30% układów scalonych wytwarzanych w Europie. Na uwagę zasługuje istniejąca w Niemczech sieć instytutów Fraunhofera z których ok. 17 działa w obszarze różnych aspektów technologii półprzewodnikowych i nanotechnologii dla potrzeb przemysłu. Zarówno w Niemczech jak i we Francji prowadzone są prace nad strategią rozwoju kluczowych gałęzi nowoczesnego przemysłu półprzewodnikowego. Na poziomie europejskim opracowywana jest systematycznie uaktualniana Strategiczna Agenda Badawcza i Innowacyjna – Komponenty i Systemy Elektroniczne [11], wytyczająca kierunki rozwoju przemysłu europejskiego. Podobne opracowania powstają oczywiście również w USA. Znamienne jest jednak, że w międzynarodowym gronie autorów w/w raportu europejskiego znaleźć można (dane za rok 2023) 61 ekspertów z Francji, 96 – z Niemiec, a jedynie 2 z Polski (w tym współautor niniejszego artykułu). W Polsce wprowadzają funkcjonują **Krajowe Inteligentne Specjalizacje**, obejmujące również mikroelektronikę i fotonikę, jednak poza nielicznymi wyjątkami brakuje firm o międzynarodowej ekspansji.

Krajowy potencjał produkcyjny mikroelektroniki został praktycznie zlikwidowany w latach 90-tych, a badawczy sprowadza się do kilku wydziałów uczelnianych i instytutów badawczych. Aby utrzymać kompetencje niektóre z nich zaangażowały się, często z niezłym skutkiem, w współpracę międzynarodową. W Instytucie Technologii Elektronowej (obecnie Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki - IMiF) opracowano detektory promieniowania spełniające wymagania krajowego przemysłu obronnego, a także odbiorców z USA. Zaprojektowano również w nowej innowacyjnej technologii SMARTIS™ rodzinę układów scalonych dla przemysłu samochodowego produkowanych latami przez jedną z czołowych światowych firm półprzewodnikowych Atmel w milionowych ilościach. Silną stroną badań prowadzonych przez zespoły IMiF jest technologia przyrządów fotonicznych i sensorów, a także unikatowa technologia przyrządów opartych o azotek galu GaN. Najbardziej zaawansowaną infrastrukturą techniczną w kraju oraz nowoczesnym, choć nie w pełni skompletowanym potencjałem urządzeń technologicznych mikroelektroniki dysponuje utworzone w oparciu o środki europejskie Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii Politechniki Warszawskiej (CEZAMAT) [2].

Potencjał produkcyjny mikroelektroniki w Polsce jest praktycznie zerowy. Jedynie **IMiF** prowadzi niewielką produkcję układów scalonych, a firma **Lamina Kubara** wytwarza przyrządy mocy, jednak w obu przypadkach stosowane technologie są mocno przestarzałe. Trzeba jednak

podkreślić, że potencjał wiedzy technologicznej zgromadzonej zarówno w **IMiF**, jak i na **Politechnice Warszawskiej** jest znaczący i mógłby umożliwić efektywną absorpcję ewentualnej zaawansowanej produkcji licencyjnej. Wyraźnie lepsza sytuacja panuje w obszarze projektowania układów scalonych. W Polsce istnieje ok. 20 zespołów specjalizujących się w projektowaniu scalonych układów i systemów półprzewodnikowych. Część z nich (12) to firmy komercyjne wykorzystujące obecność w Polsce silnych ośrodków akademickich kształcących w kierunku projektowania układów elektronicznych, zatrudniając absolwentów polskich uczelni. Firmy te projektują układy scalone, które mogą być następnie wytwarzane w światowych wytwórniach chipów przy użyciu najnowocześniejszych dostępnych technologii. Pozostałe, to ośrodki naukowo/edukacyjne, usytuowane na uczelniach lub w instytutach badawczych. Klientem wszystkich tych zespołów jest niemal wyłącznie przemysł zagraniczny.

W szerszym obszarze technologii półprzewodnikowych jasnym punktem jest powstała jeszcze w latach 80-tych firma VIGO Sensors S.A. (obecnie VIGO Photonics S.A.). Firma ta, z niewielkiego spin-off Wojskowej Akademii Technicznej rozwinęła się do w pełni profesjonalnej wytwórni unikatowych detektorów podczerwieni o utrwalonej, solidnej pozycji na bardzo ważnym, choć jednak dość niszowym rynku światowym. Co bardzo ważne, firma ta posiada własny, silny zespół badawczy, blisko współpracujący z Politechniką Warszawską oraz z Łukasiewicz-IMiF, opracowując wysoce innowacyjne przyrządy i systemy dla potrzeb rynku, w tym również dla przemysłu obronnego.

Przedstawiony powyżej, bardzo skrócony opis przeczy pesymistycznym głosom, że nie dysponujemy kompetencjami i możliwościami badawczo-rozwojowymi, które tylko wstrzymują potencjalnych krajowych odbiorców przed zaangażowaniem się w współpracę.

### **3. Elektromobilność , pozyskiwanie zielonej energii i sprzęt podwójnego zastosowania w Polsce bez krajowej technologii– czy to się może udać ?**

Technologia mikroelektroniczna oparta na węglu krzemu SiC odgrywa kluczową rolę w produktach z obszaru elektromobilności, w systemach pozyskiwania zielonej energii i szarzej – w instalacjach energetycznych, zwłaszcza w krytycznych z punktu widzenia gospodarki systemach zarządzania, pomiaru i sterowania przepływem energii. Należy tylko sobie wyobrazić, że współczesnym samochodzie elektrycznym jest ok. 1500 układów scalonych, w tym znaczna część w technologii SiC a pozostałe to przyrządy fotoniczne i chipy mikroelektroniczne sterujące całością. O liczbie liczników energii i układach sterowania energią w gospodarce wspominać nie trzeba. Warto jednak zwrócić uwagę na zagrożenia które związane z wykorzystywaniem taniej, chińskiej elektroniki, stwarzającej możliwość zdalnego wyłączenia.

Symbolem elektromobilności w Polsce miała być produkcja samochodu osobowego Izero. Wykarczowano las pod przyszłą fabrykę, zlecono projekt karoserii w Włoszech i podjęto decyzję, że tzw. platforma będzie importowana z Chin. W konsekwencji tej decyzji produkcja krajowa miałaby polegać głównie na wytłoczeniu, pospawaniu i pomalowaniu blach oraz wykończeniu pojazdu. Prace te mają mały udział w zysku generowanym przez sprzedaż samochodu. Główne przychody generowane są przez podzespoły, w których coraz większy udział stanowią podzespoły elektroniczne [3]. W Polsce jednak zignorowano możliwości współpracy z przemysłem europejskim na rzecz wprowadzania produktu w dużym stopniu chińskiego.

W Niemczech prace nad rozwojem i zastosowaniem technologii SiC zainicjowano ponad 20 lat temu w wyniku porozumienia ośrodków badawczych, głównie Instytutu Fraunhofer'a i przemysłu samochodowego. Wg ADAC w ubiegłym roku w Niemczech pojawiło się kilkadziesiąt nowych modeli samochodów elektrycznych, a w sumie wyprodukowano ok. pół miliona takich pojazdów. Mimo tych liczb przedstawiciele niemieckiego przemysłu samochodowego przyznają, że w produkcji samochodów elektrycznych mają kilkuletnie opóźnienie względem Chin. Przyczyną było skoncentrowanie się na rozwoju tradycyjnego samochodu i niedostateczny nacisk na rozwój samochodu elektrycznego. Aby nadrobić ten dystans zapadły decyzje o wielomiliardowych inwestycjach w fabryki półprzewodnikowe z technologią SiC – firma Bosch w Dreźnie i amerykańska firma Wolfspeed w okręgu Saar'y.

Oddzielny temat stanowi mikroelektronika w sprzęcie podwójnego zastosowania. Tutaj priorytetem są funkcjonalność i bezpieczeństwo. Możliwe zagrożenia związane z ukrytą sprzętowo funkcjonalnością układów scalonych, kupowanych na światowym rynku ze względu na niższą cenę, zostały omówione w cytowanych artykułach [4, 12]. Z tego powodu wiele krajów wprowadziło zakazy stosowania układów scalonych od niektórych producentów w systemach wrażliwych, zarówno o znaczeniu obronnym jak i instalacjach krytycznych.

Przykładem strategicznego definiowania celu jest nawigacja inercyjna, wykorzystywana w pojazdach, okrętach nawodnych i podwodnych, samolotach, dronach, raketach samonaprowadzających, a nawet w pociskach artyleryjskich. W przeciwieństwie do nawigacji satelitarnej trudno ją zakłócić lub przekłamać. W Izraelu istnieje ośrodek, który zajmuje się wyłącznie tą tematyką [5]. Takich nowych obszarów technologicznych o ogromnym znaczeniu z punktu widzenia podwójnego zastosowania (doubleuse) jest wiele i, zwłaszcza ze względu na rosnącą świadomość zagrożenia w światowej geopolityce, są one intensywnie rozwijane przez światowe ośrodki technologiczne. Z oczywistych względów badania w tych obszarach nie są powszechnie publikowane jednak o ich intensywności można wnioskować choćby z udziału w głównych europejskich targach branżowych producentów sprzętu obronnego (np. Security and Policing, Farnborough/Londyn i Milipol, Paryż). Polskę na tych targach, w obszarze technologii Hi-Tech reprezentuje prawie samotnie Grupa WB.

#### **4. Strategia innowacyjna Państwa w warunkach złożonej, niestabilnej sytuacji geopolitycznej.**

Jak pokazuje ranking innowacyjności krajów członkowskich, raportowany w European Innovation Scoreboard [6], **Polska od wielu lat zajmuje jedno z końcowych miejsc pod względem innowacyjności gospodarki** (w raporcie za rok 2024 – miejsce 5 od końca!!!). Innowacyjność polskiej gospodarki w dramatyczny sposób traci ze względu **na braki współpracy na poziomie strategicznym między sferą badawczo-rozwojową i produkcyjną**, najbardziej dotkliwie w decydującym o współczesnej cywilizacji - obszarze elektroniki. Wynika to z faktu, iż łańcuch wartości łączy projektantów układów mikroelektronicznych z producentami wyrobów rynkowych wyposażonych w podnoszącą ich innowacyjność elektronikę jest nieciągły. Brak jest bowiem możliwości przekształcania tych projektów w chipy podzespołów mikroelektronicznych. Uniemożliwia to, w sposób oczywisty, efektywną komunikację wzdłuż tego łańcucha wartości. W krajach azjatyckich, które na taki problem napotykały (Korea Południowa, Tajwan, Chiny) skutecznym remedium okazały się działania władz politycznych oparte o przemyślaną strategię

gospodarczą. Doprowadziły one do utworzenia potencjału technologicznego wytwarzania chipów, efektywnie uzupełniających lukę w łańcuchu wartości. W Polsce jednak można odnieść wrażenie, że u decydentów nadal jeszcze panuje ideologia *laissezfaire* oraz przeświadczenie – po co produkować samemu, ponosić nakłady inwestycyjne i na kształcenie specjalistów, skoro wszystko można kupić. Ostatnio z kolei wytrychem mającym otworzyć nam drzwi do świata nowoczesnej technologii miała być inwestycja firmy INTEL pod Wrocławiem. Inwestycja - która nawiasem mówiąc choć ważna, nie obejmowała wytwarzania chipów lecz jedynie ich integrację i montaż, pomiary i hermetyzację (zamykanie w obudowy) – co w świecie mikroelektroników traktowane jest trochę jak składanie samochodów z importowanych platform i modułów.

Ostatnie miesiące i tygodnie pokazały jednak dowodnie, że taka strategia - oczekiwania na kupioną za grubą dotacją przychylność inwestora zagranicznego, o ile nie jest elementem dobrze przemyślanej, kompleksowej (żeby nie powiedzieć – holistycznej) strategii technologicznej Państwa może być, i jest, skazana na niepowodzenie. Wspomniana inwestycja bowiem, ściśle uzależniona od zamierzeń inwestycyjnych Intelu w Niemczech, upadła zanim się rozpoczęła, ze względu na problemy finansowe tej firmy. Problem nie dotyczy zresztą jedynie samej inwestycji Intelu i jego problemów. Administracja Donalda Trumpa oznajmiła bowiem w ostatnich dniach, że realizowana przez ich poprzedników strategia dotowania amerykańskich producentów chipów ujęta w ramach ustawy CHIP ACT okazała się nieskuteczna. Aby temu zaradzić prezydent Trump zapowiada wprowadzenie wysokich barier celnych zmuszających producentów chipów do inwestowania na ziemi amerykańskiej. Wygląda zatem na to, że o inwestycjach INTELA, N-VIDII czy innych amerykańskich potęg półprzewodnikowych w Polsce możemy zapomnieć. Wniosek ten potwierdza również inna, docierająca do nas z USA informacja. Na przestrzeni ostatnich kilku tygodni polską opinię publiczną poruszyła decyzja administracji Bidena o zakwalifikowaniu Polski do gorszej kategorii krajów, tych o ograniczonym dostępie do zaawansowanych układów scalonych niezbędnych dla rozwijania sztucznej inteligencji. Decyzja ta, mówiąc w dużym uproszczeniu, ogranicza możliwości zakupu takich układów przez Polskę do 50 000 sztuk. Dokładniejszy opis szczegółów technicznych tej decyzji i jej znaczenia technicznego można znaleźć w doskonałej prezentacji pisma Komputer-Świat [10]. Wielce szkodliwe znaczenie tej decyzji dla Polski nie polega jednak na ograniczeniu możliwości zakupu takich procesorów a w efekcie – ograniczeniu możliwości rozwijania w Polsce sztucznej inteligencji. Rzecz bowiem w tym, że limit 50 000 takich, niezwykle kosztownych przyrządów i tak znacznie przekracza możliwości finansowe Polski. Przewidziane są zresztą różne furtki umożliwiające pewne zwiększenie tej liczby. Istotnym problemem jest natomiast to, że decyzja Bidena lokuje Polskę w gronie krajów do których, z różnych względów, nie można mieć pełnego zaufania. Co gorsze, Stany Zjednoczone nie widzą interesu w tym, żeby Polskę włączyć do inwestycji w tym krytycznym z punktu widzenia rozwoju, ale i szczególnie wrażliwym obszarze. Możemy jako Polska czynić starania żeby zamiast Amerykanów inwestowali u nas Tajwańczycy (i tak zresztą słusznie się czyni) niemniej można mieć poważne obawy czy decyzje Trumpa nie wpłyną szkodliwie na konkurencyjną pozycję Polski w wyścigu o inwestorów Hi-Tech.

## **5. Podsumowanie.**

Wieloletnie ignorowanie konieczności rozwijania w Polsce nowoczesnych, innowacyjnych technologii opartych na szerokim wykorzystaniu mikroelektroniki i fotoniki w gospodarce, brak przemysłanej, kompleksowej, opartej zwłaszcza o wiedzę specjalistów, strategii rozwoju

technologicznego jest ogromnym błędem. Trzeba wprawdzie przyznać że w Ministerstwie Rozwoju powstają kolejne strategie, lecz z reguły ich opracowanie zleca się, na zasadzie przetargu, często dość przypadkowym firmom, zbyt rzadko lub wcale nie zasięgając wiedzy szerokiego grona specjalistów. Ponadto, nawet najlepsze strategie nie dają efektów gdy nie są praktycznie implementowane. Konsekwencje takiego stanu rzeczy stają się coraz bardziej dotkliwe, kumulując się wraz z postępem technologicznym światowych liderów gospodarki. Zjawiska tego nie mogą przestąpić skoncentrowane na PR wypowiedzi polityków przekonywujących że Polska staje się „Krzemową Doliną” Europy i że rzucimy świat na kolana naszym niebieskim laserem czy grafenem. Nie rzuciliśmy i nie rzucimy. **Niezbędne jest bowiem rozwijanie szerokiego frontu prac badawczych i zastąpienie konkurowania starających się o granty badaczy - skoordynowaną, dobrze finansowaną współpracą w całym łańcuchu wartości dodanej w nauce.** Powinna ona obejmować **badania fizyków (IF PAN, Uniwersytety), technologów, projektantów, uczelni i instytutów badawczych. a następnie – wspieranych przez Państwo inwestycji przemysłowych w nowe technologie.** Szczególny nacisk trzeba przy tym położyć na technologie półprzewodnikowe i szeroko pojętą, opartą o matematykę, informatykę obejmującą zarówno software jak i oparty o mikroelektronikę hardware – nieodzowny dla praktycznego implementowania nowoczesnych rozwiązań technologii informacyjnej w wyrobach rynkowych.

A otwierają się nowe perspektywy, w których nie musimy nadrabiać zaległości, ponieważ punkt wyjścia dla wszystkich graczy jest zbliżony. Jednym, szczególnie ciekawym z takich obszarów jest implementacja sztucznej inteligencji (AI) w systemach neuromorficznego przetwarzania informacji [7, 8]. Pomysł wzorowania się na sieciach neuronowych do przetwarzania informacji pojawił się ponad pół wieku temu i ewoluował pod różnymi nazwami napotykając jednak na trudności wynikające z ograniczeń technologicznych. Współcześnie dostępna technologia półprzewodnikowa sprawia iż procesory neuromorficzne dla zastosowań AI są na granicy możliwości komercjalizacji [9]. Można zaryzykować twierdzenie, że odnosząca sukcesy implementacja AI z wykorzystaniem aktualnych technologii nie jest docelowa. Stąd poszukiwania, również w Polsce, nowych technologicznych rozwiązań wykorzystujących efekty kwantowe. Nieprzypadkowo ubiegłoroczna nagroda Nobla z fizyki przyznana za sztuczne sieci neuronowe stymuluje badania i rozwój implementacji przetwarzania informacji w procesorach neuromorficznych. Takich perspektywicznych obszarów jest więcej, ale ich zdefiniowanie i rozwijanie wymaga spełnienia wspomnianych wyżej warunków myślenia strategicznego na poziomie decyzyjnym w wieloletnim horyzoncie, rozsądnego finansowania oraz współpracy interdyscyplinarnych zespołów badawczo-rozwojowych przy bliskiej współpracy z przemysłem.

Bardzo obiecującym sygnałem, w kontekście powyższych rozważań jest ogłoszona w tych dniach przez Ministerstwo Cyfryzacji „Polityka dla sektora półprzewodników”. Pamiętać jednak trzeba że, jak powiedziano wyżej - niezbędne jest rozwijanie nie tylko wybranej, najbardziej nośnej dziedziny lecz szerokiego frontu prac badawczych. Szczególnie ważne jest zastąpienie konkurowania starających się o granty badaczy którzy powinni tworzyć naturalny łańcuch wartości – współpracą w całym łańcuchu wartości dodanej w nauce oraz wspieranie współpracy naukowców z przemysłem również wzdłuż całego łańcucha wartości. Last but not least, polityka taka musi być konsekwentnie i kompleksowo wdrażana w wieloletnim horyzoncie czasowym. Autorzy niniejszego artykułu pamiętają bowiem z niedawnej przeszłości interesujące,

wpracowane przy współpracy środowiska mikroelektronicznego plany zakończone fiaskiem gdyż ich realizacja trwałaby dłużej niż 4 lata upływające od wyborów do wyborów.

### **Bibliografia**

- [1] [Polska krajem drugiej kategorii dla USA. Reakcja z rządu](#)
- [2] [CEZAMAT – CEZAMAT/](#)
- [3] Szyńska J., Dobrzański L., Pilch M., , KIGEIT, 2021; [Czy można rozwijać konkurencyjną gospodarkę bez rozwoju krajowej bazy badawczo-rozwojowej i produkcyjnej elementów i układów półprzewodnikowych? - KIGEIT](#)
- [4] JSzyńska J., Pilch M., Dumania P., Grabiec P., ; [Znaczenie mikroelektroniki dla Czwartej Rewolucji Przemysłowej i cyberbezpieczeństwa - Elektronika : konstrukcje, technologie, zastosowania - Tom Vol. 57, nr 8 \(2016\) - BazTech - Yadda](#)
- [5]<https://www.gpsworld.com/israel-opens-advanced-navigation-center-for-non-gps-tech/>.
- [6] European Commission: Directorate-General for Research and Innovation, *European Innovation Scoreboard 2024*, Publications Office of the European Union, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/779689>
- [7] Intel Neuromorphic Research Community, <https://intel-ncl.atlassian.net/wiki/spaces/INRC/overview>
- [8] Szyńska J., **System theoretic approach of information processing in nested cellular automata**, <https://arxiv.org/abs/2210.06052>
- [9] <https://www.intel.com/content/www/us/en/research/neuromorphic-computing-loihi-2-technology-brief.html>
- [10] <https://www.komputerswiat.pl/wideo/jak-nowe-regulacje-usa-wplyna-na-sektor-sztucznej-inteligencji-w-polsce/rhd7vs0>
- [11] Electronic Components and Systems Strategic Research and Innovation Agenda. [ECS SRIA 2024 | ECS SRIA](#)
- [12] <https://www.onet.pl/informacje/onetwiadomosci/fronty-wojny-chinskie-liczniki-energii-moga-spowodowac-blackout-w-kraju/y307v31,79cfc278>