



Česká republika a polovodičové součástky: úvod do problematiky pro tvůrce politik

Alice Rezková, Kryštof Kruliš



OBSAH

Doporučení pro ČR	3
Úvod	5
1. Co jsou to polovodiče a polovodičové součástky?.....	6
2. Jak se používají různé druhy integrovaných obvodů v praxi?	9
3. Case study: proč chybí čipy v automobilovém průmyslu?	16
4. Jak funguje dodavatelský řetězec pro polovodičové součástky?.....	18
5. Jaké jsou geopolitické implikace trendů v dodavatelském řetězci polovodičových součástek?	26
6. Jakou kapacitu má v odvětví polovodičových součástek Česká republika?	28



Autoři studie by touto cestou chtěli poděkovat za cenné připomínky prof. Ing. Eduardu Huliciusovi z Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR.



Doporučení pro ČR

→ Pro posílení české pozice v odvětví polovodičových součástek je třeba definovat několik segmentů, ve kterých ČR může nabídnout celosvětově unikátní expertizu, a tu začít aktivně podporovat ve spolupráci se zahraničními partnery, jakými jsou Spojené státy, Taiwan, Jižní Korea nebo Japonsko.

→ ČR disponuje kvalitními kapacitami v oblasti výzkumu a vývoje, ať už se jedná o podmínky pro vzdělávání lidského kapitálu, výzkumnou infrastrukturu nebo zapojení do mezinárodních projektů. Je však třeba ve spolupráci s partnery dále investovat do vytvoření silného odborného zázemí, které bude přitahovat odborníky z celého světa, a vyčlenit pro tento záměr specifické finanční nástroje, které tento krok umožní.

→ V ČR jsou přítomné dvě významné globální společnosti, které vyrábějí polovodičové součástky. V jejich okolí se koncentrují další dodavatelé v oboru, kteří se mohou pochlubit zákazníky po celém světě. ČR tak může nabídnout unikátní expertizu za konkurenceschopných podmínek.

→ České společnosti se profilují zejména jako subdodavatelé pro klíčové hráče v oblasti strojů nezbytných pro výrobu polovodičových součástek v různých fázích výrobního procesu. Podpora dalšího zapojení těchto společností do mezinárodních partnerství posílí jejich možnosti a významnost ČR v tomto odvětví. Chybí však vhodná cílená prezentace českých kapacit v tomto sektoru směrem k zahraničním partnerům.

→ V kontextu výše zmíněného je důležité, aby stát podporoval vznik nových partnerství v oblasti polovodičových součástek. Prodloužení misí vědeckých diplomatů ve Spojených státech, Izraeli a východní Asii je dobrým krokem, v současné době téměř nutností, ale je otázkou, zda je tento postup dostačující. Pokud se má ČR v odvětví polovodičových součástek prosadit, potřebuje zejména v oblasti východní Asie diplomatickou podporu pro další rozvoj spolupráce v podobě konkrétních programů a projektů, nejen příležitostí pro networking.

→ V ČR již existuje neformální pracovní skupina, která propojuje relevantní ministerstva a státní agentury s cílem podpořit českou pozici v polovodičovém průmyslu. Tato skupina by měla být dále rozšířena o relevantní zástupce z řad vědeckých pracovišť, oborových asociací a obchodních komor, které mohou napomoci s mapováním českých kapacit, existující spolupráce a s realizací konkrétních projektů v budoucnosti.

→ V Německu a Rakousku se společnosti a výzkumné organizace v polovodičovém průmyslu sdružují v rámci oborových asociací, které hrají důležitou roli v prezentaci národních kapacit zahraničním partnerům. V ČR tuto roli částečně zastupuje Optický klastr, kde je řada českých firem z polovodičového průmyslu zastoupená, a představuje tak důležitého partnera pro formování české strategie v polovodičovém průmyslu. Klastr logicky nepokrývá všechny důležité hráče v polovodičovém průmyslu, a proto by alespoň měla vzniknout neformální skupina sdružující tyto společnosti, která bude lépe komunikovat jejich kapacity a možnosti.



ČR svou geografickou pozicí v srdci Evropy může těžit i ve výrobě polovodičových součástek. Koncepce rozvoje polovodičového průmyslu v ČR by se měla odvíjet od aktivit v tomto odvětví u našich sousedů, zejména v německém Sasku, kde se v tomto odvětví realizuje několik významných investic. Potenciálním investorům do tohoto odvětví by tak měly být nabídnuty možné synergie v rámci regionálního polovodičového hubu.



Úvod

Na polovodičové součástky dnes spoléhá téměř každé průmyslové odvětví. Paměťové, logické nebo mikro integrované obvody patří k běžnému životu téměř každého člověka. Důležitou roli hrají také silové součástky jako diody nebo tranzistory. Polovodičové součástky se nachází nejen v počítačích a chytrých telefonech, ale také v dopravních prostředcích, průmyslových strojích, energetických systémech nebo v dětských hračkách a spotřební elektronice. Jsou základní technologií a podmínkou pro jakýkoliv další vývoj v nových oborech jako například umělá inteligence, kvantové výpočty či decentralizované technologie typu blockchain. Z pohledu objemu je největším spotřebitelem polovodičů fotovoltaický průmysl.¹

Co může způsobit výpadek v dodávkách této důležité součástky, nechala širší veřejnosti nahlédnout pandemie covidu-19. Řada oborů se potýká s kritickým nedostatkem čipů, což pociťují spotřebitelé nejen v automobilovém průmyslu, o kterém se mluví nejvíce, ale také ve spotřební elektronice. Proto také země, které disponují výrobními a technologickými kapacitami pro vstup do dodavatelského řetězce pro polovodičové součástky, hrají důležitou geopolitickou úlohu.

Žádná země si nedokáže vyrobit polovodičové součástky jen na základě svého vlastního know-how, a proto musí spolupracovat tisíce dodavatelů a subdodavatelů po celém světě, kteří se zapojují do dílčích fází dodavatelského řetězce. Tomuto řetězci dominuje několik zemí – Spojené státy, Taiwan, Jižní Korea, Japonsko, některé evropské země (Německo, Velká Británie, Francie nebo Nizozemí) a stále více také asijské země jako Čína, ale také Thajsko nebo Malajsie. Přestože tyto ekonomiky nyní usilují o co největší technologickou nezávislost a větší vliv na některé části řetězce, žádná z nich nemůže této pozice dosáhnout.

Americké společnosti excelují zejména ve vývoji designu čipů a vývoji softwaru, který umožňuje tyto komplexní čipy navrhovat. Jsou však závislé na taiwanských továrnách na výrobu polovodičových součástek (foundry), aby podle jejich zadání čipy efektivně a kvalitně vyrobily. Tyto továrny zase potřebují specializované stroje na výrobu čipů či nástroje pro diagnostiku, řízení a kontrolu jejich produkce, které pocházejí zejména z Evropy a Spojených států. Potřebují také podkladový materiál v podobě křemíkových desek (wafers) o průměru až 40 cm při tloušťce 1 mm. Nejpokročilejší součástky se vyrábějí na deskách z karbidu křemíku a nitridu gallitého jejichž rozměry jsou jen o málo menší (30 cm).² Wafery a chemikálie se získávají zejména z Japonska nebo Evropy.

Samotná výroba polovodičových součástek zabere od návrhu až po hotový produkt dobu až 12 měsíců, což činí celý dodavatelský řetězec velmi citlivým na jakékoliv nepředvídatelné vlivy v podobě covidu-19, zablokovaného Suezského průplavu, nečekaných přírodních katastrof, výkyvů počasí nebo jakýchkoliv nehod v samotných továrnách. Dodávky potřebných součástek a materiálů se pak mohou snadno opozdit, protože v řadě oborů souvisejících s výrobou polovodičových součástek je trh konsolidovaný v rukou několika málo hráčů. Jejich potenciální výpadek může výrazně ovlivnit fungování celého odvětví.

V dnešní době běžný uživatel zařízení, která obsahují polovodičové součástky, většinou nezná principy jejich fungování a výroby. Proto na podzim 2020 německý think-tank Stiftung Neue Verantwortung představil studii, která přibližuje základní odborné pojmy z oblasti polovodičových součástek pro tvůrce politiky a pro

¹ Photovoltaics Report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 24. 2. 2022.

² Pokorný Martin „Nové polovodiče z karbidu křemíku umožní delší dojezd a rychlejší nabíjení elektromobilů“, Tech Focus, 10.12. 2021, dostupné na: <https://techfocus.cz/3869-nove-polovodiče-z-karbidu-kremiku-umozni-delsi-dojezd-a-rychlejsi-nabijeni-elektromobilu.html> a Doupal František „Nitrid gallitý jako materiál budoucnosti? Brzy nejen v nabíječkách“, Reseller Magazine, 4.3. 2020, dostupné na: <https://www.rmol.cz/novinky/nitrid-gallity-jako-material-budoucnosti-brzy-nejen-v-nabijekach>.



ty, kteří dělají důležitá politická rozhodnutí, aby jim umožnil základní orientaci v této komplexní problematice.³

Autoři této studie dále navázali a rozpracovali technologický úvod do problematiky polovodičových součástek s jasnou strukturou jejich rozdělení, aby se v nich čtenář snáze zorientoval a pochopil souvislosti. Dále autoři zhodnotili geopolitické dopady komplexity dodavatelského řetězce s polovodičovými součástkami a zmapovali kapacity České republiky v tomto odvětví. Předkládaná studie tak nabízí vhled do klíčového dodavatelského řetězce současnosti, zohledňuje českou perspektivu a v závěru navrhuje krátká doporučení pro českou ekonomiku.

1. Co jsou to polovodiče a polovodičové součástky?

Látky lze z pohledu vedení elektrického proudu rozdělit do tří skupin:⁴

- **Vodiče** ve své struktuře obsahují volné elektrické náboje, které zprostředkují vedení proudu, například kovy.
- **V nevodících** neboli izolantech se nenacházejí prakticky žádné volné náboje, a proto elektrický proud nevedou. Typickými izolanty jsou např. plasty nebo sklo.
- **Polovodiče** jsou izolanty, které se za určitých podmínek chovají jako vodiče, někdy lepší než kovy. Tyto podmínky tvoří například teplota nebo příměsi, které do izolantu přidávají elektrony nebo prázdná místa po nich. Například diamant může být nejen výborný izolant, ale i zajímavý polovodič.

K nejběžnějším polovodičům patří křemík Si a sloučeniny nitridu gallitého (GaN)⁵ či arsenitého (GaAs), kdysi významné germanium (Ge) je dnes už okrajový materiál. Až do 40. let minulého století neměly polovodiče širšího využití. Změna nastala teprve s vynálezem radaru během 2. světové války a konstrukcí prvního tranzistoru v roce 1947. Dnes patří polovodičové součástky jako diody, tranzistory nebo integrované obvody (IO) k základním stavebním kamenům všech elektronických přístrojů a zařízení. V češtině se stejně jako v angličtině zaměňuje pojem polovodič (látka) za polovodičové součástky (IO, diody atd.). Stejně tak se v populární literatuře více používá spíše neformální označení čip než integrovaný obvod.

Za klíčovou polovodičovou součástku lze považovat integrovaný obvod, kterých existuje nespočet různých typů. Tato nepostradatelná elektronická komponenta se v současné době využívá téměř ve všech oborech. Jak vypovídá samotný název, jedná se o elektrický obvod, který se skládá z velkého množství různých elektrických součástek, které jsou komplexním technologickým postupem integrovány na malé křemíkové destičce.⁶

Vzhledem k velkému množství typů IO je seznamování se s jejich charakteristikami časově náročnou disciplínou. Tato studie popisuje 4 hlavní skupiny: digitální logické, paměťové a mikro integrované obvody, které mohou obsahovat prvky paměťové i logické, a obecně analogové integrované obvody.⁷ Studie proto dále nepopisuje součástky výkonové, vysokofrekvenční a optoelektronické (FV, LED a LD), které měly svá „úzká hrdla“ v minulosti a dnes jich není strategický nedostatek jako v případě čipů

³ Jan-Peter Kleinhans, Nurzat Baisakova, „The global semiconductor value chain: a technology primer for policy makers,“ Stiftung Neue Verantwortung, říjen 2020.

⁴ Rozdělení na vodiče, nevodící a polovodiče vychází z následujícího textu: „ČEZ - Polovodiče“ <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k31.htm>.

⁵ Právě nitrid gallitý má stále důležitější úlohu v optoelektronice a osvětlování. Tento materiál přenáší ve srovnání s křemíkem podstatně vyšší napětí s lepší efektivitou.

⁶ „Integrated circuit – Britannica,“ <https://www.britannica.com/technology/integrated-circuit>.

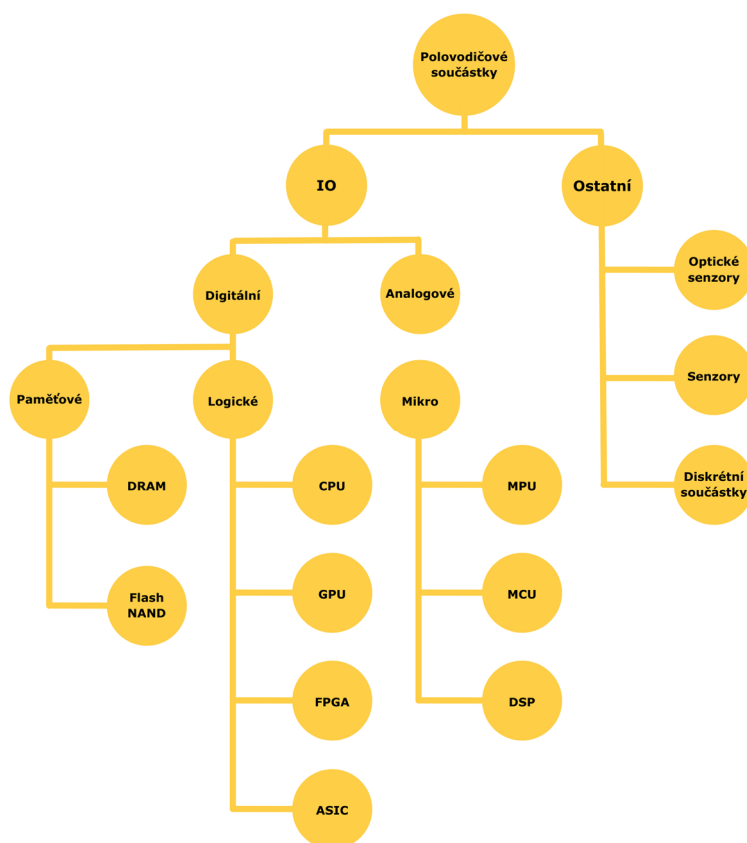
⁷ Peter Van Zant, Microchip Fabrication: A practical guide to semiconductor processing (New York: McGraw Hill, 2014).



V současném světě se velká většina polovodičových zařízení objevuje ve formě tzv. systému na čipu (system on chip), který v sobě integruje všechny výše zmíněné funkce v podobě analogových, paměťových, logických nebo mikro IO.⁸ V některých odvětvích jsou však stále třeba polovodičové součástky, které vykonávají jednu konkrétní funkci, jako diody, tranzistory nebo senzory. Optické senzory vnímají světlo a používají se například ve fotoaparátech. Neoptické senzory a regulátory se nacházejí v různých zařízeních z kategorie Internet věcí (IoT).

Lepší orientaci v hlavních kategoriích polovodičových součástek umožňuje následující zjednodušené schéma, které bere v úvahu zejména jejich využití například v počítačích, chytrých telefonech, automobilech nebo spotřební elektronice.

Graf 1: Přehled druhů polovodičových součástek



Vysvětlení zkratk:

DRAM - Dynamic Random Access Memory (dynamická paměť s náhodným přístupem)

CPU - Central Processing Unit (centrální procesor)

GPU - Graphic Processing Unit (grafický procesor)

FPGA - Field-Programmable Gate Array (programovatelná hradlová pole)

ASIC - Application-Specific Integrated Circuit (aplikačně specifické integrované obvody)

MPU - Microprocessor (mikroprocesor)

MCU - Microcontroller (mikrořadič)

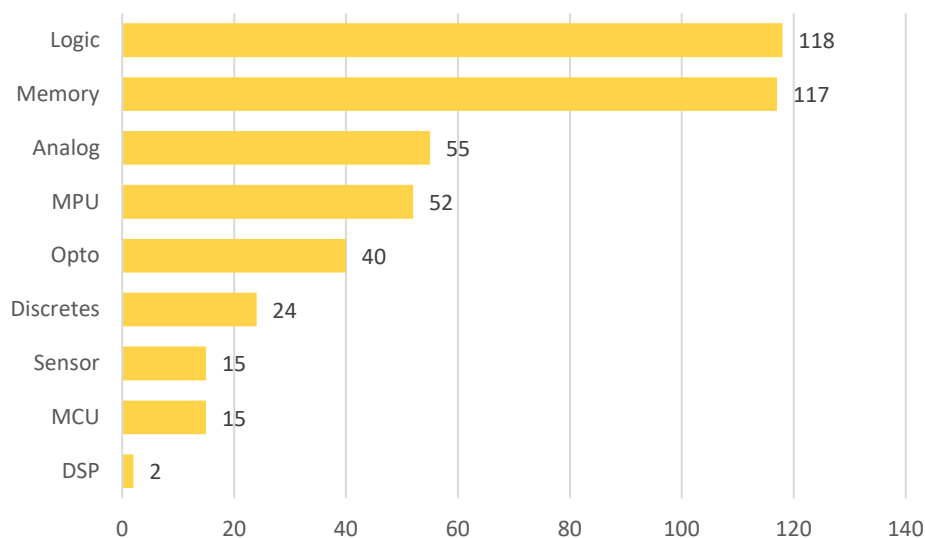
DSP - Digital Signal Processor (procesor digitálního signálu)

⁸ „System on a chip – Techopedia,“ <https://www.techopedia.com/definition/702/system-on-a-chip-soc>.



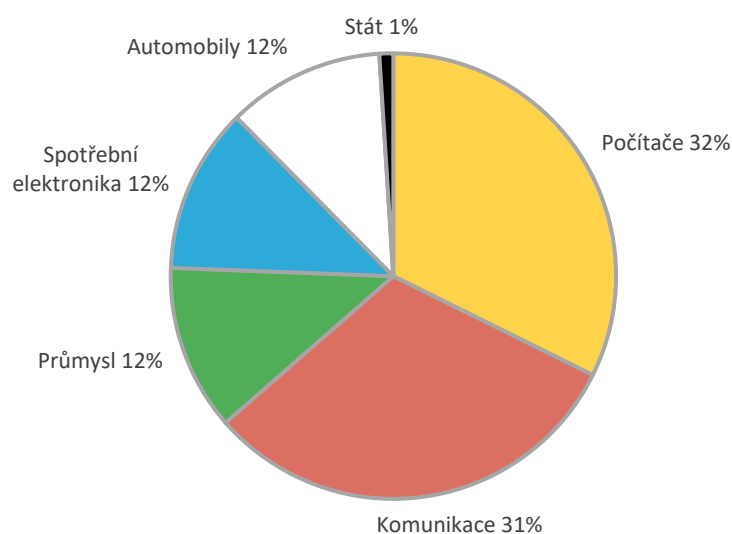
V roce 2020 celkové prodeje polovodičových součástek dosáhly objemu 438 miliard USD. Graf 2 ukazuje, že integrované obvody, a to zejména logické a paměťové, tvořily přes 80 % z prodejů polovodičových součástek. Oba segmenty také zaznamenaly více jak 10% růst. Změna životního stylu spojená s pandemií covidu-19 vedla ke změně životních návyků. Lidé pracují, studují a baví se z domova, což zvedá poptávku nejen po spotřební elektronice, ale také po cloudových službách, následně datových centrech, které pro své fungování potřebují kromě napájecích silových součástek (Si, SiC, GaN) hlavně paměťové IO. V roce 2020 byly prodeje počítačů o 4,8 % vyšší, což zcela obrátilo mnoho let trvající pokles v poptávce po počítačích a zároveň představovalo nejvyšší roční nárůst od roku 2010.⁹ Graf 3 potvrzuje, že 63 % polovodičových součástek směřuje do počítačů a chytrých telefonů.

Graf 2: Distribuce celosvětových prodejů polovodičových součástek podle segmentu, mld. USD, 2020



Zdroj: SIA 2021 Factbook

Graf 3: Trh s polovodičovými součástkami podle jejich využití 2020



Zdroj: SIA 2021 Factbook

⁹ Leswing, Kif: Why there's a chip shortage that's hurting everything from the PlayStation 5 to the Chevy Malibu, CNBC, 10. 2. 2021, <https://www.cnbc.com/2021/02/10/whats-causing-the-chip-shortage-affecting-ps5-cars-and-more.html>.



2. Jak se používají různé druhy integrovaných obvodů v praxi?

Následující kapitola popisuje funkce některých typů integrovaných obvodů s největším objemem prodeje na trhu. Dále identifikuje klíčové dodavatele těchto produktů a odhaluje některé závislosti, které vznikají na konkrétních zemích a dodavatelích.

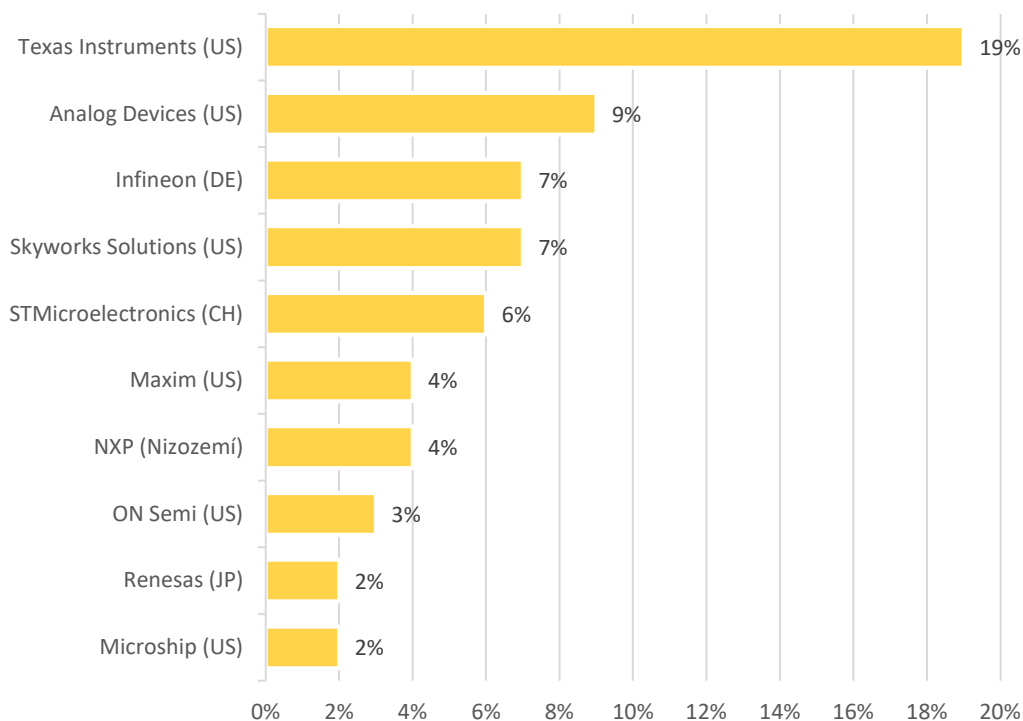
2.1. Analogové integrované obvody

Analogové IO typicky používají pouze několik komponent, a proto patří k těm nejjednodušším typům IO. Jsou spojené se zařízeními, které sbírají signál/vstup (input) z vnějšího prostředí, kterým může být zvuk, světlo nebo teplo, a posílají ho ve změněné podobě ven (output). Dobrým příkladem analogového zařízení může být například mikrofon.¹⁰

V současném světě jsou analogové IO potřeba pro konverzi analogových signálů do digitálních. Digitální spotřební elektronika od chytrých telefonů až po televize používá analogové IO, které typicky mají velmi dlouhou designovou životnost, protože jejich základní funkcionalita se výrazně nemění. Digitální IO se neustále mění (zmenšují) a vylepšují s cílem snížit náklady na jejich výrobu a zvýšit výkon, ale analogová zařízení se mohou používat v nezměněné podobě i více než 40 let.¹¹

Mezi klíčové dodavatele analogových IO patří společnosti ze Spojených států, které drží okolo 45 % podílu na trhu. Důležitou roli však hrají také evropští výrobci, kteří pokrývají okolo 17 % světového trhu.

Graf 4: Přehled klíčových výrobců analogových IO podle podílu na trhu, 2020



Zdroj: IC Insights

¹⁰ „Integrated circuit – Britannica“<https://www.britannica.com/technology/integrated-circuit>.

¹¹ „Analog Integrated Circuits,“ Computer History Museum, <https://www.computerhistory.org/revolution/digital-logic/12/281>.



2.2. Logické integrované obvody

Logické IO fungují na základě binárních kódů (0 a 1) a slouží jako základní stavební bloky v informatice. Digitální logické IO si lze představit jako klasický vypínač světla. Na základě různých vstupů vznikají dva předdefinované výstupy (vypnout/zapnout). Logické IO jsou postavené na logických hradlech (logic gate).¹² Velikost a design hradla ovlivňuje velikost povoleného průchodu, což si lze představit jako místnost s mnoha „vstupními“ dveřmi a pouze jedněmi „výstupními“ dveřmi. Mnoho lidí může do místnosti vstoupit, ale jejich exit je omezený. Princip může fungovat také naopak, vstup je omezený, a výstup otevřený. Logická hradla zajišťují podobnou funkci s elektrickým signálem.

Na základě tohoto principu lze zkonstruovat stovky tisíc různých logických IO, které se rozdělují podle míry jejich přizpůsobení požadovanému účelu. Pro zjednodušení této studie věnuje pozornost zejména centrálním procesorům (CPU) a poté aplikačně specifickým integrovaným obvodům (ASIC), které hrají důležitou roli v odvětví umělé inteligence a zařízení IoT. Centrální procesory jsou součástí mikroprocesorů a vysvětlení jejich fungování následuje v kapitole o mikro IO.

Speciální logické čipy ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) se vyrábějí pro zajištění konkrétních opakovaných funkcí. Jsou vysoce přizpůsobené danému účelu, a jakmile jsou jednou uvedeny do výroby, je velmi těžké změnit jejich design. Výroba ASIC čipů není konsolidována do rukou několika málo společností, tak jak je tomu například v případě paměťových čipů, ale jejich výrobci se spíše konsolidují v jednotlivých segmentech použití ASIC v aplikacích.¹³

ASIC pomáhají vyřešit komplikované matematické úlohy například při těžbě kryptoměn, kdy je pro odhalení bloků transakcí třeba využít komplexní hešovací funkce. Obtížnost těchto výpočtů vede k závodu v získání co největší výpočetní kapacity, pro kterou se od roku 2013 používají právě ASIC čipy.¹⁴ Mezi klíčové výrobce v tomto odvětví až donedávna patřila čínská společnost Bitmain, která zajišťuje jejich design a výrobu, včetně provozu největších datových center na světě, která těžbu kryptoměn umožňují. V září 2021 však čínská centrální banka zakázala všechny transakce v kryptoměnách a jakékoliv návazné aktivity, což vedlo k oslabení společnosti Bitmain a dalších hráčů na čínském trhu. Největší síť pro těžbu kryptoměn tak nyní vlastní Spojené státy.¹⁵

ASIC čipy se objevují také v chytrých zařízeních z kategorie IoT s cílem sbírat data a zpracovávat je pomocí komplexních matematických modelů. Stejně tak jsou klíčové pro IT společnosti, které se pohybují v čemkoliv od sociálních médií až po bankomaty, protože pro své fungování potřebují výkonné cloudové služby.¹⁶

¹² Peter Van Zant, *Microchip Fabrication: A practical guide to semiconductor processing* (New York: McGraw Hill, 2014).

¹³ Stephen Watts, „How application-specific integrated circuits are powering the future of IT today, CIO,“ 3. 3. 2018, <https://www.cio.com/article/3261425/how-application-specific-integrated-circuits-are-powering-the-future-of-it-today.html>.

¹⁴ Evan Rodgers, „23-year-old releases new chips that 'mine' Bitcoins 50 times faster,“ *The Verge*, 1. 2. 2013, <https://www.theverge.com/2013/2/1/3941768/new-chips-mine-bitcoins-50-times-faster>.

¹⁵ Adlea Suliman: U.S. overtakes China to become world's largest bitcoin mining hub, *Washington Post*, 14. 10. 2021, <https://www.washingtonpost.com/world/2021/10/14/us-leads-china-bitcoin-mining-largest/>.

¹⁶ Cloud si lze představit jako globální síť vzájemně propojených serverů po celém světě, které dohromady fungují jako jedno prostředí/ekosystém. Tyto servery slouží k ukládání a správě dat, spouštění aplikací nebo streamování videí. Informace jsou tak dostupné kdekoli a kdykoliv.



2.3. Paměťové integrované obvody

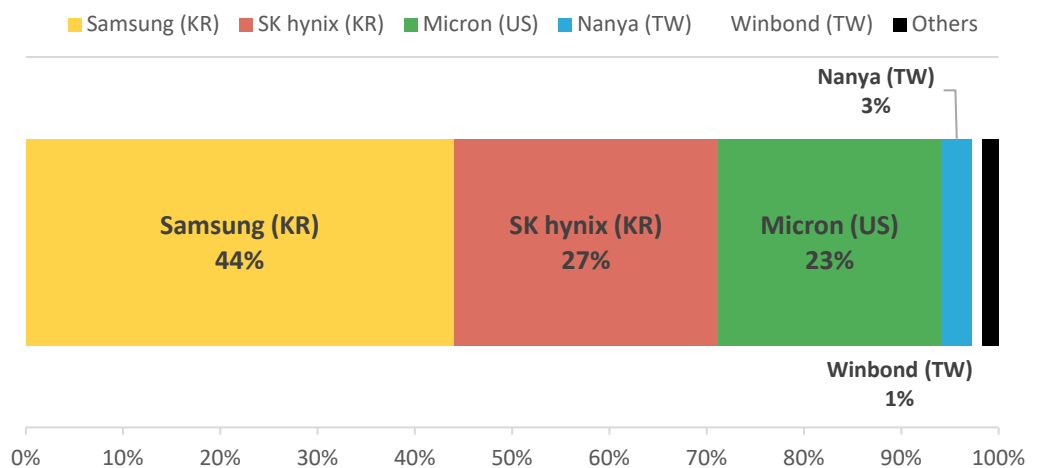
Paměťové IO slouží k ukládání informací potřebných pro výpočetní kapacitu počítačů.¹⁷ Počítače zpracovávají informace uložené v jejich paměti, které se skládají z různých zařízení na uchování dat. Výrobci neustále usilují o zmenšování velikosti paměťových IO s cílem zvýšit kapacitu bez požadavku na další prostor.¹⁸ Tento trend je poháněn poptávkou po ultra tenkých počítačích s baterií s dlouhou životností a vysokým výkonem.

Dva nejčastěji používané paměťové IO jsou DRAM (Dynamic Random Access Memory) a Flash NAND,¹⁹ které dohromady tvoří 96 % trhu.

DRAM je operační paměť v počítači nebo mobilním telefonu, která slouží k přechodnému ukládání procesovaných dat. Trh s DRAM integrovanými obvody dále poroste vzhledem ke stále se zvyšující poptávce po chytrých telefonech s velkou pamětí. Na funkcionality DRAM IO také spoléhají datová centra s cloudovými službami s vysoko rychlostním přenosem dat. V listopadu 2021 společnost Samsung oznámila první 14 nm 16 GB DRAM IO určený pro další vysokorychlostní datové aplikace včetně 5G nebo umělé inteligence.²⁰

Z tabulky níže vyplývá, že svět je v případě DRAM IO plně závislý na společnostech z Jižní Koreje, které drží přes 70 % trhu.

Graf 5: Globální trh výrobců DRAM IO podle podílu na trhu, 2021



Zdroj: TrendForce

¹⁷ „Memory circuits – Britannica,“ <https://www.britannica.com/technology/integrated-circuit/Microprocessor-circuits#ref236556>.

¹⁸ Tento jev popisuje Moorův zákon, který vytvořil Gordon E. Moore, spoluzakladatel firmy Intel v roce 1965. Podle tohoto zákona se počet tranzistorů v IO zdvojnásobí zhruba každé dva roky. Sám Moore prohlásil, že tento exponenciální vývoj nemůže pokračovat a narazí na svou hranici kolem roku 2025. Pokud by se však Moorův zákon vnímal jako výkon čipu, pak platí, protože jejich výkonost se každým rokem zvyšuje. Více zde: <https://www.britannica.com/technology/Moores-law>.

¹⁹ NAND není akronym složený ze začátečních písmen pojmu jako například DRAM. NAND je negace logického součinu. Negovaný logický součin může být definován i pro více vstupních proměnných. Výsledek negovaného logického součinu několika proměnných je roven jedné vždy, když alespoň jedna vstupní proměnná je rovna nule.

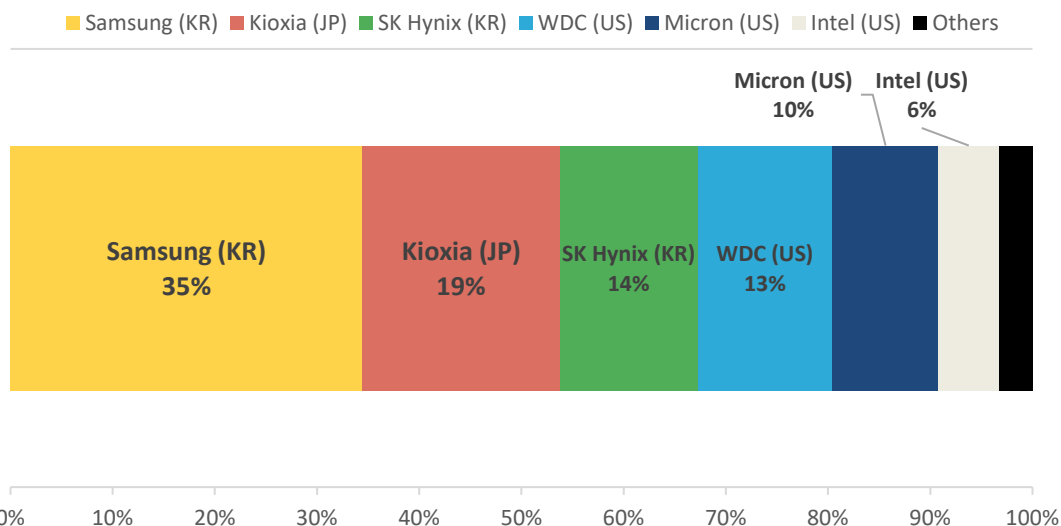
²⁰ „Samsung Develops Industry’s First LPDDR5X DRAM,“ HPC wire, 9. 11. 2021, <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/samsung-develops-industrys-first-lpddr5x-dram/>.



NAND flash je paměť, kterou lze vymazat a znovu zapsat/naprogramovat. Paměť NAND se používá pro paměťové karty, USB disky a další přenosná paměťová zařízení, jako jsou chytré telefony a další elektronická zařízení jako kamery, průmyslové senzory, systémy v automobilech a zdravotnická zařízení, která závisí na NAND.²¹

Poslední vývoj nové generace paměťových karet představuje vysokou kapacitu na minimálním prostoru pomocí tzv. 3D integrovaných obvodů, v rámci kterých se na sebe vrství IO vertikálně. Například paměťová karta typu microSD zabírá plochu 1,5 cm² s tloušťkou méně než 1 mm. Trh s NAND IO je také konsolidován do rukou několika klíčových firem z Jižní Koreje, Japonska a Spojených států. Korejské společnosti ovládají téměř 50 % trhu.

Graf 6: Globální trh výrobců NAND IO, 2021



Zdroj: TrendForce

2.4. Mikročipy

Mikročipy ve schématu z druhé kapitoly zahrnují mikroprocesory, mikrořadiče a procesory na zpracování digitálního signálu (DSP).

MIKROPROCESORY

Mikroprocesory patří mezi nejkompexnější IO. Skládají se z milionů tranzistorů nakonfigurovaných jako tisíce individuálních digitálních obvodů. Každý zajišťuje určitou specifickou logickou funkci. Mikroprocesory typicky obsahují centrální procesorovou jednotku (CPU). Mikroprocesory mohou provádět miliony datových operací za sekundu, a kromě počítačů jsou také v herních konzolách, televizích, fotoaparátech a automobilech.

Prodeje CPU používané v tradičních počítačích a tabletech tvoří okolo 50 % trhu mikroprocesorů, z nichž velkou většinu tvoří prodeje mikroprocesorů postavených na architektuře x86, kterou prodává společnost Intel a konkurenční AMD (Advanced Micro Devices). Z grafu 8 je patrné, že trh s těmito mikroprocesory je rozdělen právě mezi tyto společnosti. Společnosti AMD však meziročně vzrostly tržby o 65 % a Intelu o 1 % poklesly.²² Obecně lze říci, že všem vedoucím

²¹ „NAND Flash Memory – Techopedia,“ <https://www.techopedia.com/definition/1099/nand-flash-memory>.

²² „Annual Revenue Growth to Skyrocket Among Top 25“, ICInsights, 17. 11. 2021, <https://www.icinsights.com/news/bulletins/Annual-Revenue-Growth-To-Skyrocket-Among-Top-25/>.

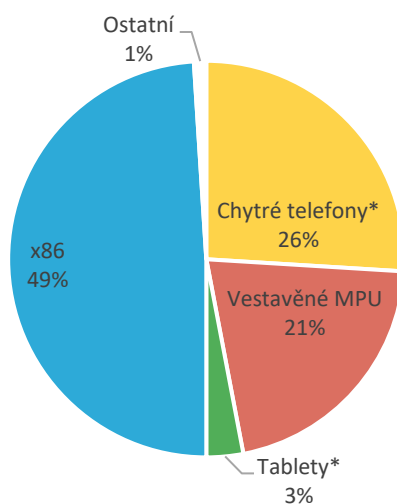


společnostem na trhu polovodičových součástek narostly tržby z roku 2020 do roku 2021 dvouciferným tempem, pouze společnosti Intel a Sony stagnovaly.

Přibližně 21 % prodejů mikroprocesorů tvoří systémy vestavěných procesorů včetně aplikací v automobilovém průmyslu, datové sítě, vybavení pro komunikaci, průmyslové a lékařské systémy a spotřební produkty.

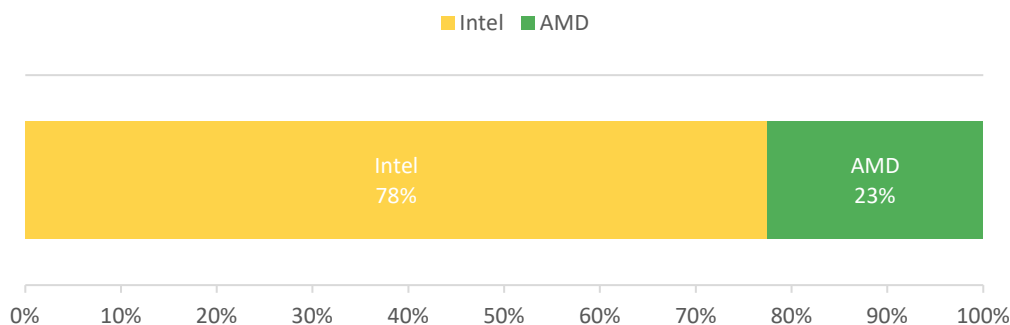
Mikroprocesory pro chytré telefony od společností jako Qualcomm, Samsung, Nvidia nebo MediaTek jsou v podstatě všechny postavené na výpočetních jádrech a technologii licencované společností ARM z Velké Británie. V roce 2020 představovaly 26 % celkových prodejů mikroprocesorů, viz graf 7. Společnost ARM v roce 2016 koupila japonská SoftBank a poté ji v roce 2020 získala americká společnost Nvidia. Evropská komise v této souvislosti otevřela antimonopolní vyšetřování, protože se obává, že by transakce mohla vézt k omezení přístupu k duševnímu vlastnictví společnosti ARM a rušivě ovlivnit trh s polovodičovými součástkami. Komise má v tomto kontextu rozhodnout do 15. 3. 2022.²³

Graf 7: Prodeje mikroprocesorů podle jejich využití (2020)



Zdroj: IC Insights

Graf 8: Rozdělení trhu mikroprocesorů postavených na architektuře x86



Zdroj: Mercury Research

²³ Cellan-Jones, Rory: Arm-Nvidia: Europe investigates chip-designer sale, BBC News, 28. 10. 2021, <https://www.bbc.com/news/technology-59069075>.



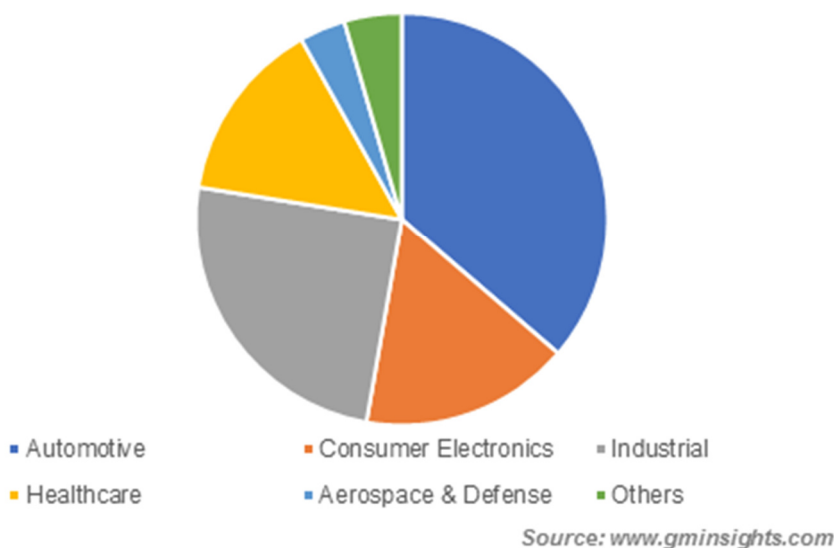
MIKROŘADIČE

Dalším typem mikro IO je mikrořadič (MCU), který si lze představit jako samostatný počítač vykonávající program uložený v paměti.²⁴ Mikrořadiče se používají v automaticky ovládaných zařízeních, jako jsou kontrolní systémy v motorech u automobilů, zdravotnická zařízení, která se zavádějí do lidského těla a jejichž fungování je závislé na zdroji elektrické energie, dálková ovládaná, kancelářské stroje, elektrické nářadí nebo hračky.²⁵ Mikrořadiče umožňují digitálně kontrolovat stále více zařízení a procesů. Mikrořadiče představují populární a ekonomický způsob, jak zařízením ve světě IoT umožnit sbírat data, snímat a ovládat fyzický svět.

Následující graf prezentuje prodeje mikrořadičů podle jejich využití v průmyslu. Je z něj patrné, že tomuto průmyslu dominuje automobilový průmysl s více než 35 % trhu. Průměrné auto má v sobě okolo 60 mikrořadičů, cenově výše položená vozidla pak více než 100 mikrořadičů.²⁶ V průměrné domácnosti je tak třeba jen několik mikroprocesorů, ale mikrořadičů je řádově mnohem víc.

Graf 9: Mikrořadiče, podíl na trhu podle jejich využití, 2020

Microcontroller Market Share, By Application, 2020



Trh s MCU produkty je tradičně velmi stabilní a rovnováhu ztrácí při skutečně velkých ekonomických výkyvech, jakým například byla ekonomická a finanční krize v roce 2008 a následný historicky největší propad MCU trhu o 22 %.²⁷ Křivka prodeje mikrořadičů kopíruje prodeje nových automobilů, a proto je také významně ovlivnila pandemie covidu-19. Příčiny nedostatku čipů v automobilovém průmyslu komplexněji vysvětluje následující kapitola.

Přestože poptávka po mikrořadičích se po stabilizaci trhů v roce 2020 opět navýšila, zvýšení nabídky polovodičových součástek nenásledovalo. Mikrořadiče se

²⁴ V praxi se také používá označení jednočip, mikrokontrolér.

²⁵ „Microcontroller definition – IoT Agenda,“

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcontroller>.

²⁶ Chaudhary, Vikram: Semiconductors: Your car is a computer on wheels, Financial Express. 31. 5. 2021, <https://www.financialexpress.com/auto/industry/semiconductors-your-car-is-a-computer-on-wheels-maruti-suzuki-cv-raman-electric-cars/2261989/>.

²⁷ IC Insights: Research Bulletin, 25. 4. 2013,

<https://www.icinsights.com/data/articles/documents/541.pdf>.

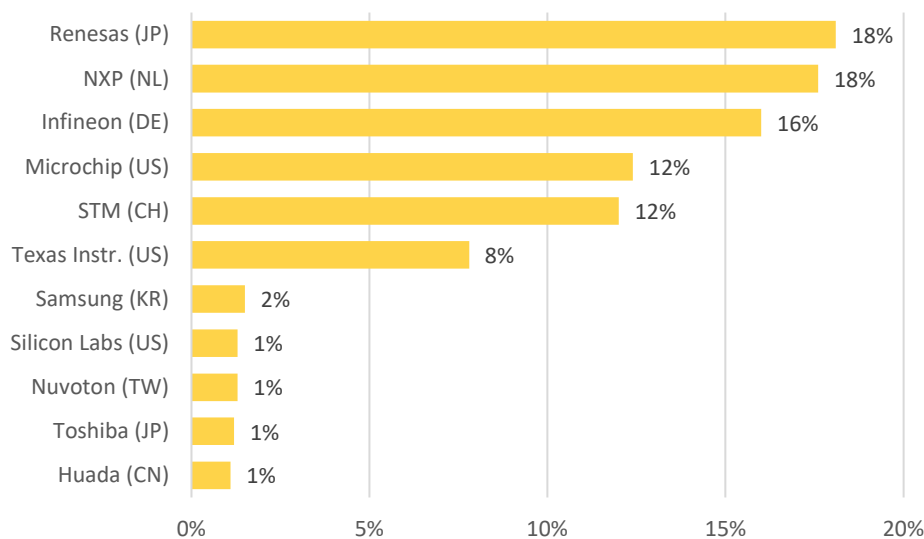


většinou vyrábějí na 200 mm waferech, tedy na několik desítek let staré technologii. Dnes jsou již běžné 300 mm wafery, ale na novou velikost se v podstatě nelze přeorientovat bez významné změny celého výrobního procesu.

Přestože nedostatek mikrořadičů trvá a bude dále trvat s tím, že někteří výrobci automobilů museli pro jejich nedostatek uzavřít své výrobní linky, mikrořadiče pro automobilový průmysl předpokládají v roce 2021 nárůst 23 %, následované 14% růstem v roce 2022.²⁸ Tento trend bude primárně podpořen rostoucím zájmem o elektrická a hybridní auta.

Z následujícího grafu vyplývá, že přes 40 % trhu s mikrořadiči drží společnosti se sídlem v Evropské unii.

Graf 10: Předpověď prodeje mikrořadičů určených pro automobily, 2019



Zdroj: Infineon²⁹

²⁸ IC Insights: 2021 McClean Report, <https://www.design-reuse.com/news/50435/2021-automotive-mcu-sales.html>.

²⁹ „Company presentation – Infineon Technologies, November 2021,“ <https://www.infineon.com/dgdl/IFX-Company-Presentation-Jan-2015-en.pdf?fileId=5546d4614815da88014855cbf595171a>.



3. Case study: Proč chybí čipy v automobilovém průmyslu?

1. PROBLÉMY JIŽ PŘED COVIDEM

Přestože prodeje mikrořadičů v roce 2017 rostly o 17 %, v roce 2018 dosáhly pouze na 1 % a v roce 2019 již jejich prodeje zcela stagnovaly. Globální ekonomika se ocitala na hraně recese, která zpomalovala poptávku po nových automobilech. Poté na konci roku 2019 přišel covid-19.

2. COVID A DALŠÍ KATASTROFY

Částečně za nedostatek automobilových čipů může pandemie covidu-19. Protipandemická opatření v podobě lockdownů, omezení výroby, omezení provozů letišť a přístavů vedla ke snížení poptávky po nových automobilech a logicky i čipech do automobilů. Zároveň se spolu s přesunutím lidské aktivity do online prostoru zvedla poptávka po počítačích, chytrých telefonech a herních konzolích. Někteří výrobci tedy využili příležitosti a přeorientovali svou výrobu na čipy potřebné pro spotřební elektroniku, které tvoří dvě třetiny celkového trhu, viz graf 3. Po částečném oživení v roce 2020 negativní vliv covidu-19 posílily masivní výpadky energie v Texasu během historicky největší arktické studené vlny v únoru, kterou následovaly těžké škody způsobené požárem v továrnách na výrobu křemíkových monokrystalů a desek v Japonsku.

3. ROZDÍL MEZI ČIPY PRO ELEKTRONICKÁ ZAŘÍZENÍ A PRO AUTA

Na polovodičové součástky do aut jsou kladeny zcela jiné požadavky než na ty potřebné do spotřební elektroniky. Automobilové IO si musí zachovat funkčnost v extrémnějších teplotních podmínkách po delší časové úseky: životnost auta je průměrně 11,6 let jízdy. Kvůli bezpečnostním opatřením automobiloví výrobci očekávají v podstatě nulovou chybovost polovodičových součástí po dobu 15 let s možností náhradních dílů po dobu 30 let.³⁰

4. STRUKTURÁLNÍ NEDOSTATEK

Přestože automobilový průmysl zvýšil poptávku po čipech, návrat výrobců čipů zpět k automobilovým čipům je z různých důvodů pomalý. Výrobci se mezitím posunuli k produkci pokročilejších verzí, zatímco tradiční automobilové odvětví stále požaduje starší typy, což znamená 40 nm a starší, tedy technologii starší 15 let. Tyto uzly jsou dnes typicky používané na polovodičových deskách o velikosti 200 mm. S cílem snížit náklady se celé odvětví posunulo k deskám o velikosti 300 mm již v roce 2000. Velká většina výrobní infrastruktury pro 200

³⁰ Andy Lawrence, John VerWey, „The Automotive Semiconductor Market – Key Determinants of U.S. Firm Competitiveness,“ U.S. International Trade Commission, Executive Briefings on Trade, květen 2019, https://www.usitc.gov/publications/332/executive_briefings/ebot_amanda_lawrence_john_verwey_the_automotive_semiconductor_market.pdf.



mm desky však zůstala, případně byla ještě více rozšířena.³¹ Automobilový průmysl pouze neochotně přechází na novější a menší typy, protože takový krok může znamenat významné zvýšení nákladů. Pokročilejší čipy nové generace navíc ještě nebyly prověřené zátěžovou zkouškou odolnosti při provozu automobilu v rámci jeho předpokládané životnosti. Jedná se tedy spíše o jakýsi strukturální nedostatek čipů.

5. VYSOKÝ STUPEŇ GLOBALIZACE DODAVATELSKÉHO ŘETĚZCE

Čím delší je čas na výrobu, tím je dodavatelský řetězec citlivější na potenciální výkyvy a těžko kontrolovatelné vlivy. Vzhledem k tomu, že design, výroba, zabalení a otestování čipů se rozprostírá v podstatě po celém světě a trvá 6 – 12 měsíců, je poměrně těžké tento cyklus zkrátit a vyřešit problém nedostatku čipů v kratší lhůtě.³²

6. OBCHODNÍ VÁLKA MEZI SPOJENÝMI STÁTY A ČÍNOU

Je možné, že někteří výrobci chytrých telefonů začali ve velkém naskladňovat čipy poté, co Trumpova administrativa dala čínskou společnost Huawei na černou listinu, což položilo základy pro následný nedostatek čipů způsobený covidem-19.

7. JUST-IN-TIME VÝROBNÍ POSTUPY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Naskladňování určitých součástí je v přímém rozporu s filozofií běžnou v automobilovém průmyslu, tedy systémem just-in-time. Automobilové společnosti záměrně nedrží velké zásoby, takže velká většina výrobců nebyla na nedostatek čipů připravená.

8. ČIPY NEBUDOU DO ROKU 2023

V následujících letech se očekává růst trhu mikročipů pro automobily, TSMC slíbila v červnu 2021 do konce roku navýšit svou kapacitu pro výrobu mikrořadičů o 60 % do konce roku.³³ I přes tuto iniciativu se pravděpodobně situace s automobilovými čipy nezlepší až do roku 2023.³⁴ Tato situace zcela mění automobilový trh, protože řada potenciálních kupců nových aut s nákupním rozhodnutím vyčkává, zatímco jiní jsou naopak ochotni porušit věrnost značce.

³¹ Samuel K. Moore. How and When the Chip Shortage Will End, in 4 Charts. IEEE Spectrum. 29. června 2021. Zdroj: <https://spectrum.ieee.org/chip-shortage>.

³² Ondrej Burkacky, Stephanie Lungermann, Kluas Pototzky. Coping with the auto-semiconductor shortage: Strategies for success. McKinsey & Company. 27. květen, 2021. Zdroj: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/coping-with-the-auto-semiconductor-shortage-strategies-for-success>.

³³ „TSMC says 2021 output of key auto chip component up 60 % vs last year,“ Reuters, 21. 5. 2021, <https://www.reuters.com/article/tsmc-semiconductors/tsmc-says-2021-output-of-key-auto-chip-component-up-60-vs-last-year-idUSL2N2N8o68>.

³⁴ Jo He-rim, „Automotive chip shortage to continue until 2023: think tank,“ The Korea Herald, 8. 11. 2021, <http://www.koreaherald.com/view.php?ud=20211108000733>.



4. Jak funguje dodavatelský řetězec pro polovodičové součástky?

Pro účely této studie lze výrobní proces polovodičových součástek zjednodušit do třech fází.

- Design
- Výroba
- Montáž a testování

Zda se daná společnost soustředí na všechny fáze nebo pouze na dílčí kroky, záleží na jejím obchodním modelu. Společnosti jako Samsung nebo Intel (Integrated device manufacturers, IDM) pokrývají celý výrobní proces od designu až po testování. Vzhledem ke zvyšující se komplexnosti polovodičových součástek a rostoucím nákladům na jejich design a výrobu se stále více společností specializuje na konkrétní dílčí fáze celého procesu, jak bude popsáno dále v této kapitole.

Společnosti, které polovodičové součástky pouze navrhují a ve výrobním procesu spoléhají na továrnu (foundry), se nazývají „fables“. Termín „fables“, zkrácení anglických slov fabrication a less (bez továrny, bez výrobní jednotky), označuje společnost, která navrhuje své výrobky a je na ni outsourcována veškerá jejich výroba. Mezi ně se řadí například Qualcomm, Nvidia nebo MediaTek, jak prezentuje tabulka níže. Největšími výrobními kapacitami v oblasti polovodičových součástek disponuje taiwanská společnost TSMC, která pokrývá přes 50 % trhu. Celkově taiwanské společnosti vyrobí 64 % všech polovodičových součástek. V poslední době i IDM společnosti jako Intel začínají spolupracovat s továrnami na čipy, aby optimalizovaly svou kapacitu, a přecházejí tak na hybridní model IDM/Fables.³⁵

Poté, co je polovodičová součástka vyrobena, prochází testováním, montáží a je třeba ji odborně zabalit. Tento poslední krok buď zajišťuje samotná továrna, anebo OSAT společnost (Outsourced semiconductor assembly and test). I v této oblasti mají taiwanské společnosti přes 50 % montážních a testovacích kapacit. Tento finální proces se nazývá „back-end“, zatímco dvě předcházející fáze se také nazývají „front-end“.

Design IO je velmi náročný na výzkum a vývoj. Fables společnosti typicky investují 25 % svých tržeb do výzkumu a vývoje.³⁶ Postavení nové továrny se může nákladově pohybovat okolo 15–20 miliard USD a celý proces trvá několik let. Výstavba továrny na čipy vyžaduje obrovské strojírenské know-how a robustní infrastrukturu, která zajišťuje chod výrobního procesu. Tyto provozy se musí rychle přizpůsobovat změnám a novým požadavkům od zákazníků, jinak je velmi rychle vyřadí ze hry konkurence. Vybudování nových OSAT provozů stojí 5–7 miliard USD.³⁷ Realizace nového projektu tedy obnáší vysoké investice a čas, a proto také nelze snadno vyřešit současný nedostatek polovodičových součástek. Jak říká vtip zasvěcenců z odvětví: „Vyrábět čipy není raketová věda, je to mnohem náročnější.“³⁸

³⁵ Dan Gallagher, „Intel’s Fabs Aren’t Going Anywhere“, The Wall Street Journal, 27. 7. 2020, <https://www.wsj.com/articles/intels-fabs-arent-going-anywhere-11595862957>.

³⁶ Jan-Peter Kleinhans, Nurzat Baisakova. The global semiconductor value chain. Stiftung Neue Verantwortung, říjen 2020, 7.

³⁷ Stockal, „Semiconductor Industry: Key growth drivers and the changing trends – an overview“, Financial Express, 9. 7. 2021, <https://www.financialexpress.com/investing-abroad/stockal-specials/semiconductor-industry-key-growth-drivers-and-the-changing-trends-an-overview/2287214/>.

³⁸ Ian King, Adrian Leung, Demetrios Pogkas, „The Chip Shortage Keeps Getting Worse. Why Can’t We Just Make More?“ Bloomberg, 6. 5. 2021, <https://www.bloomberg.com/graphics/2021-chip-production-why-hard-to-make-semiconductors/>.



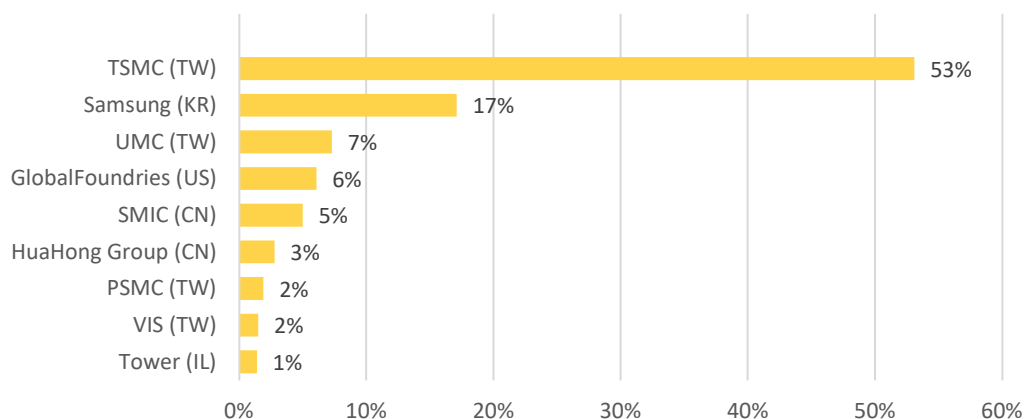
Tabulka: Top 10 hráčů v odvětví polovodičových součástek podle typu obchodního modelu, 2021

2Q21	1Q21	Společnost	Země	1Q21 Celkem	2Q21 Celkem	2Q21/1Q21 % změna
1	2	Samsung	Jižní Korea	17 072	20 297	19%
2	1	Intel	Spojené státy	18 676	19 304	3%
3	3	TSMC (1)	Taiwan	12 911	13 315	3%
4	4	SK Hynix	Jižní Korea	7 628	9 213	21%
5	5	Micron	Spojené státy	6 629	7 681	16%
6	6	Qualcomm (2)	Spojené státy	6 281	6 472	3%
7	8	Nvidia (2)	Spojené státy	4 842	5 540	14%
8	7	Broadcom Inc. (2)	Spojené státy	4 849	4 890	1%
9	10	MediaTek (2)	Taiwan	3 849	4 496	17%
10	9	TI	Spojené státy	4 028	4 299	7%

1) Foundry 2) Fabless

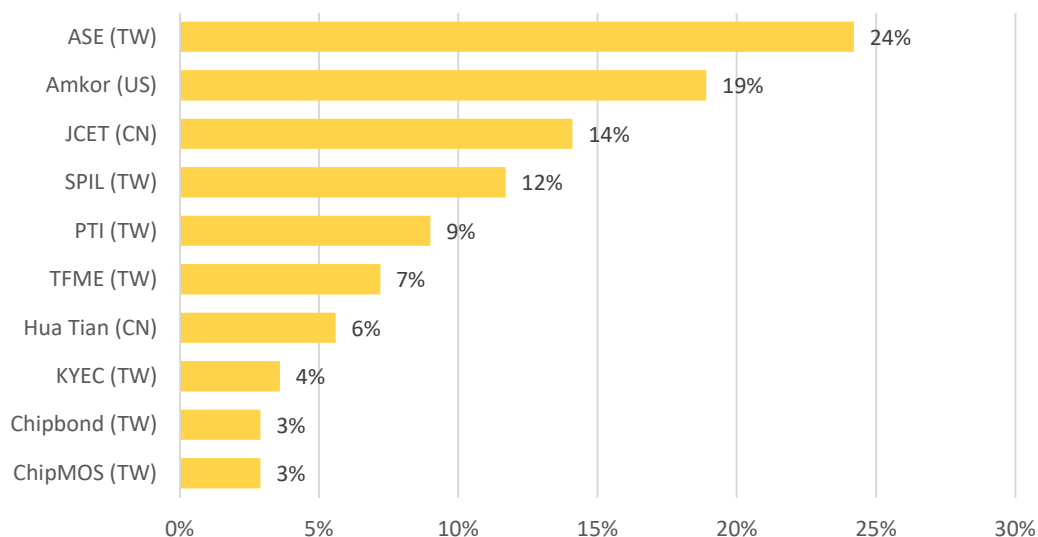
Zdroj: IC Insights

Graf 11: Top 9 továren podle podílu na trhu a výše tržeb, 2021



Zdroj: TrendForce

Graf 12: Top 10 OSAT společností podle výše tržeb a podílu na trhu, 2021



Zdroj: TrendForce

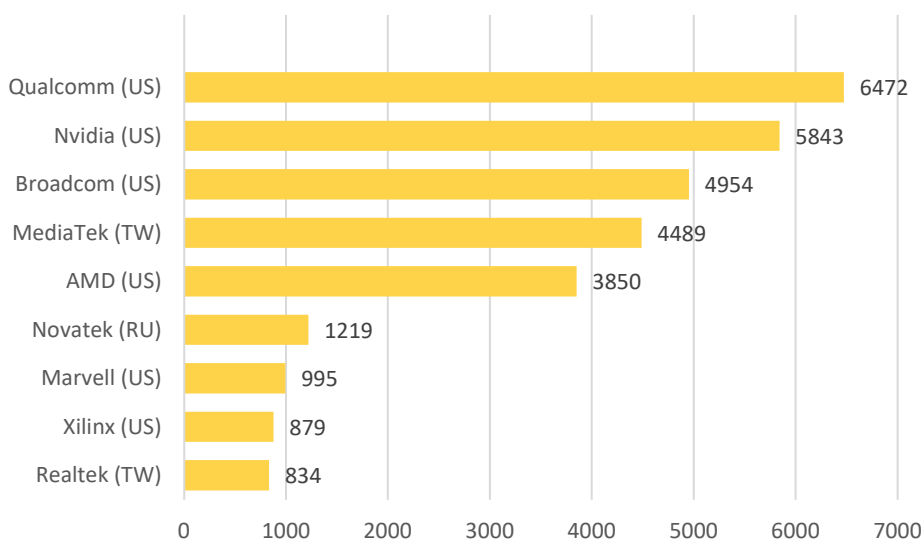


A. Design čipů & EDA (Electronic design automation) & IP

Návrh nového integrovaného obvodu doprovází jeho specifikace, logický design, samotná fyzická podoba, jeho validace a verifikace. Specifikace určí, jakým způsobem bude IO fungovat v systému, který ho bude používat. Logický design představuje schématický model vzájemně propojených elektrických komponent. Během fáze validace a verifikace se kontroluje, zda daný IO skutečně funguje tak, jak daný návrh předpokládá.

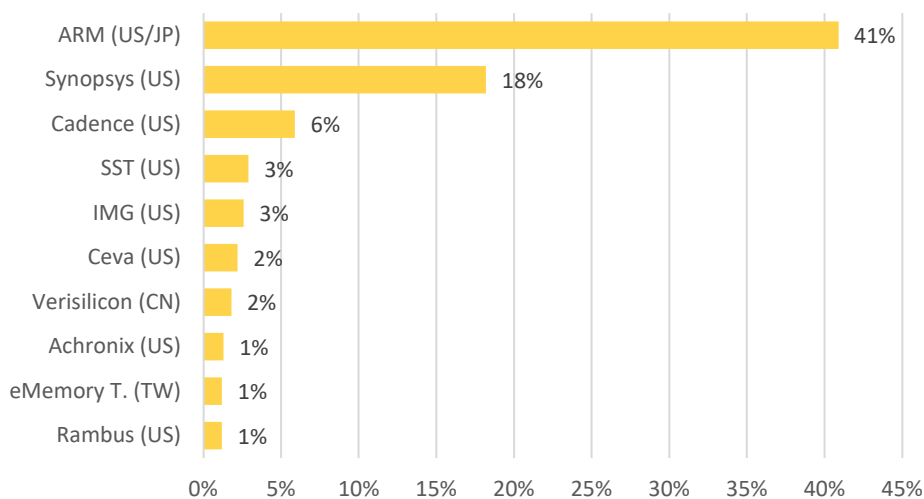
EDA představuje software pomocí, kterého je možné design IO zajistit. IO obsahují miliony vzájemně propojených tranzistorů a dalších elektrických součástek, a některé fáze designu pomáhá tento software automatizovat. Některé části tohoto designu lze v modulární podobě licencovat. Společnosti navrhující nové IO a software usnadňující tento proces musí úzce spolupracovat s továrnami na čipy a výrobci strojů pro polovodičové součástky již na počátku samotného vymyšlení funkcionality čipu.

Graf 13: Top 10 design společností podle výše tržeb, 2Q 2021



Zdroj: TrendForce

Graf 14: Top 10 EDA společností podle podílu na trhu, 2020



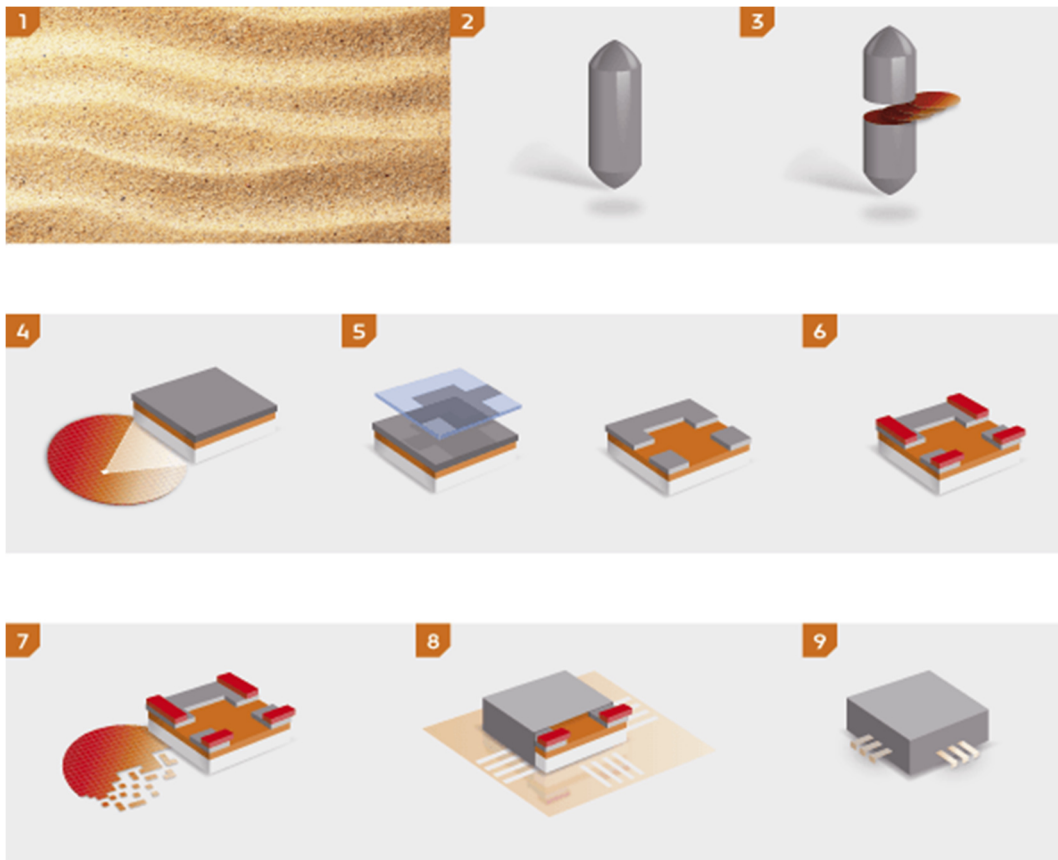
Zdroj: IPnest



B. Výroba

Výroba čipu se skládá ze stovek postupných kroků, které jde rozdělit do několika skupin.

Obrázek 1: Jednotlivé fáze výroby čipu



Zdroj: ASM International³⁹

1. Příprava materiálu

Na začátku stojí křemík, který je hned po kyslíku druhý nejrozšířenější prvek v zemské kůře. Zdrojem křemíku je písek nebo křemen (SiO_2), který je základním materiálem pro výrobu polovodičových součástek.

2. Vytvoření křemíkového ingotu

Křemen i křemík se čistí tak, aby se dosáhlo potřebné čistoty. Na jednu miliardu atomů křemíku připadá max. jeden atom cizí příměsi. I nepatrné znečištění může ovlivnit finální kvalitu tranzistorů a dalších elektronických součástek. Z přečištěného písku se metalurgicky vytaví křemíkový polykrystal. Ten se pak v jiné továrně roztaví ($1450\text{ }^\circ\text{C}$) a při řízeném chlazení se nejčastěji metodou Czochralského připraví jednotlivé monokrystaly, tzv. ingoty, které jsou až stovky kilogramů těžké a mají v průměru $150\text{--}400\text{ mm}$. Mikroprocesory se typicky vyrábí na 300 mm waferech. Čím větší ingot, tím efektivnější výroba z pohledu nákladů.⁴⁰

³⁹ „Chip Making – ASM International,“ <https://asmi-corporatereporting.com/2017/annualreport/about/message-from-the-ceo>.

⁴⁰ Přesto se z různých technických a technologických důvodů stále používá velikost waferu 150 mm .



3. Nařezání prutu na křemíkové desky (wafery) a jejich příprava

Ingot je nařezán na jednotlivé kruhové křemíkové wafery o tloušťce 0,5–1,5 mm diamantovou nebo drátovou pilou. Jednotlivé wafery se důkladně brousí, leští, a leptají, až získají téměř zrcadlu podobný povrch. Wafery slouží jako podklad pro přípravu nejrůznějších struktur nutných pro funkci IO a jiných součástek. V této fázi se wafery mohou odesílat výrobcům IO.

4. Příprava křemíkových waferů

V další fázi se wafer připravuje. Nanáší se na něj tenké vrstvy oxidů křemíku, hliníku a dalších kovů. Dále se čistí. Poté se na roztočený wafer rovnoměrně nanáší co nejtenčí vrstva citlivá na světlo (fotorezist), kterou si lze pro zjednodušení představit jako klasický film do fotoaparátu.

5. Vytvoření masky

Na wafer je třeba vykreslit správnou strukturu výsledných IO, který se dělá prostřednictvím fotolitografické masky. Tyto struktury se nejčastěji připravují ve specializovaných továrnách a v ultračistých prostorech.

6. Leptání a proces vrstvení⁴¹

Přes fotolitografickou masku se wafer ozáří UV zářením a přes masku vykreslí požadované obvody na povrch waferu. Stejně jako kdyby se zakryly některé části filmu a na některé se nechalo dopadnout světlo. Osvětlené části zareagují. Části nechráněné maskou jsou dále odleptány pomocí speciálních chemikálií, čímž se prohloubí vzorek vytištěný na fotocitlivé vrstvě. Naleptané části jsou poté zcela odstraněny včetně zbytků fotorezistu naneseného na samém počátku a odhalí se vytištěný vzor. UV paprsek prochází speciální čočkou, která dále zmenší velikost nanášeného obvodu, protože maska, podle které se obvody tisknou, je většinou 4–5x větší než výsledný integrovaný obvod. Litografických kroků bývají desítky až stovky.

7. Oddělení jednotlivých IO

Na zpracovaných waferech vznikají jednotlivé čipy, které se rozdělí řezáním, leptáním, lámáním, laserem.

8. Zasazení do rámečků

Finální IO jsou poté poskládány do rámečků, které tvoří jejich ochranný obal.

9. Testování a balení

Každý IO je před zabalením otestován (elektricky i mikroskopicky) a poté odeslán dalším výrobcům, například k zasazení do desky plošných spojů (printed circuit board).

Hotový čip je jednou z nejsložitěji vyráběných součástek na zemi. Postup jeho výroby je výrazně složitější a výše je jakási zjednodušená verze pro snazší pochopení jednotlivých kroků. Celý proces musí probíhat v čistém prostředí v tzv. „clean rooms“ a pro výrobu je třeba celý okruh komplexních strojů, materiálů a vysoce kvalifikovaných lidí.

⁴¹ „Semiconductor manufacturing processes – SCREEN Semiconductor Solutions Co., Ltd.“
<https://www.screen.co.jp/spe/en/process>.



C. Materiály a chemikálie

Výroba IO závisí na celé řadě materiálů a chemikálií, které vstupují v jednotlivých fázích do výrobního procesu, jak naznačuje schéma výše. Dodávky těchto materiálů zajišťují zejména japonské a evropské společnosti. Japonské společnosti vyrábějí přibližně 90 % fotorezistu, který se nanáší na wafery (Obrázek 1, fáze 4) a 90 % fluorovodíku, který se používá pro leptání a čištění (Obrázek 1, fáze 6).⁴²

Ještě před pandemií covidu-19 v roce 2019 japonská vláda během bilaterálních sporů s Jižní Koreou zrušila preferenční přístup právě v oblasti chemikálií a začala po vývozcích požadovat povolení každého vývozu, jehož vydání pokaždé trvalo 90 dní.⁴³

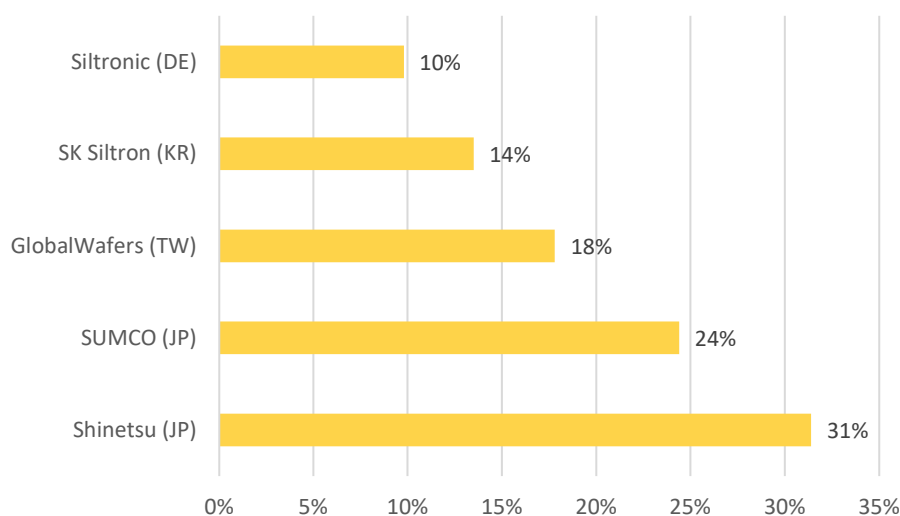
Tento krok významně ovlivnil korejské výrobce Samsung a SK hynix.

D. Wafery

Wafery představují klíčový element pro výrobu IO. V současné době jsou standardem wafery o průměru 300 mm, které se používají pro výrobu pokročilejších IO, jako jsou paměťové IO nebo mikroprocesory. IO pro automobilový průmysl se vyrábějí spíše na 200 mm waferu. Čím větší deska, tím logicky efektivnější a tím větší úspory dané velikostí plochy.

V současné době ovládá 97 % trhu pět hlavních dodavatelů, mezi kterými dominují s 55 % tržního podílu japonské společnosti Shinetsu a SUMCO.

Graf 15: Top 5 dodavatelů křemíkových waferů podle tržního podílu, 2020



Zdroj: IDEALLAB

⁴² Osamu Tsukimori, „Japanese manufacturers use decades of experience to dominate key chemical market for cutting-edge chips,“ Japan Times, 9. 10. 2019, <https://www.japantimes.co.jp/news/2019/10/09/business/japanese-manufacturers-use-decades-experience-dominate-key-chemical-market-cutting-edge-chips/>.

⁴³ Ju-min Park, Makiko Yamazaki, „Supply-chain pain: South Korea chipmakers and their suppliers seek to bypass Tokyo curbs,“ Reuters, 8. 7. 2019, <https://www.reuters.com/article/us-southkorea-japan-laborers-analysis-idUSKCN1U31GS>.



E. Vybavení pro výrobu polovodičových součástek

Továrny pro svůj chod potřebují sofistikované vybavení, které získávají od výrobců z celého světa, protože každý dodavatel se zaměřuje na úzce specializovaný výsek výše popsaného procesu. Graf 15 ukazuje, že stroje na výrobu polovodičových součástek jsou doménou firem ze Spojených států (přes 40 % podílu na trhu), Japonska (20 %) a Nizozemí (17 %).

Společnost ASML se specializuje na fotonografické přístroje, které používají UV paprsky záření na vytvoření vzoru integrovaného obvodu na waferu (Obrázek 1, fáze 6). Každý tento stroj váží okolo 180 tun a stojí více než 150 milionů USD.⁴⁴ Na výrobě tohoto stroje s ASML spolupracuje 4 750 dodavatelů.⁴⁵ Mezi hlavní klienty ASML patří TSMC, Samsung nebo Intel.

Protože se jedná o přelomovou technologii, firma ASML se rázem ocitá také v geopolitickém hledáčku. Pod tlakem ze Spojených států nyní nizozemská vláda prověřuje licenci ASML na vývoz nejpokročilejších strojů do Číny.⁴⁶ Tento krok má však vzhledem k úzce propojenosti všech hráčů vliv například na jihokorejského výrobce SK hynix, který nyní nemůže získat nizozemské stroje pro renovaci své továrny v Číně.⁴⁷ Vzhledem k tomu, že tato továrna produkuje téměř polovinu všech SK hynix DRAM integrovaných obvodů, což činí 15 % z celkového světového objemu, zákaz vývozu těchto strojů může výrazně ovlivnit konkurenceschopnost SK hynix, případně dalších hráčů s aktivitami v Číně.

Tato studie nepokrývá konkrétně jednotlivé fáze výrobního procesu z pohledu výrobců vybavení a dominance jednotlivých společností a zemí.⁴⁸ Kapacity českých společností v oblasti vybavení pro výrobu IO detailněji popisuje kapitola 7.

Z grafu 16 je patrné, že hlavními odběrateli špičkových strojů pro výrobu těch nejmenších a tedy nejpokročilejších IO jsou v dnešní době pouze Taiwan nebo Jižní Korea, a to konkrétně společnosti TSMC a Samsung. Přestože tento druh IO je logicky nejprofitabilnější, různé druhy aplikací potřebují různé druhy IO v různých velikostech.

Zvyšující se poptávka po IO ovlivňuje také firmy specializující se na výrobu strojů. Současný nedostatek IO také motivuje výrobce k výstavbě nových zařízení. Výrobci IO plánují postavit 19 nových výrobních zařízení v roce 2021 a další 10 v roce 2022. Velká většina těchto zařízení (15) bude pracovat s 300mm křemíkovými wafery. Z velké většiny se také bude jednat o továrny na čipy, 4 zařízení budou určena pro paměťové IO.⁴⁹

⁴⁴ John Thornhill, „How the global semiconductor tussle is shaping ASML’s future,“ *Financial Times*, 22. 7. 2021.

⁴⁵ „Responsible supply chain – ASML,“ <https://www.asml.com/en/company/sustainability/responsible-supply-chain>.

⁴⁶ Stu Woo, Yang Jie, „China Wants a Chip Machine From the Dutch. The U.S. Said No.,“ *The Wall Street Journal*, 17. 7. 2021, <https://www.wsj.com/articles/china-wants-a-chip-machine-from-the-dutch-the-u-s-said-no-11626514513>.

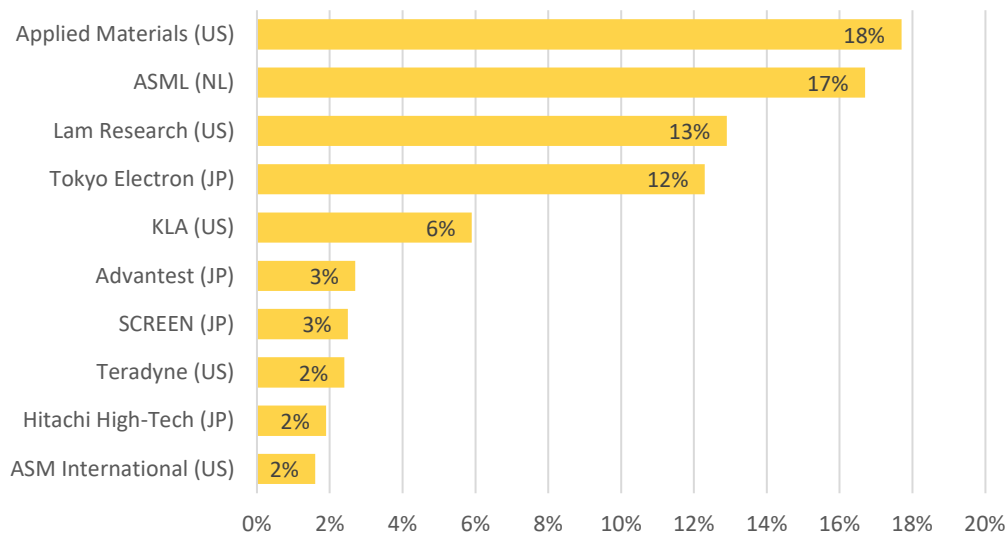
⁴⁷ Stephen Nellis, Joyce Lee, Toby Sterling, „U.S.-China tech war clouds SK Hynix’s plans for a key chip factory,“ *Reuters*, 18. 11. 2021, <https://www.reuters.com/technology/exclusive-us-china-tech-war-clouds-sk-hynixs-plans-key-chip-factory-2021-11-18/>.

⁴⁸ Srovnej: Saif M. Khan, Alexander Mann, Dahlia Peteron, *The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness, Centre for Security and Emerging Technology*, leden 2021, <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

⁴⁹ „New semiconductor fabs to spur surge in equipment spending – SEMI,“ <https://www.semi.org/en/news-media-press/semi-press-releases/new-semiconductor-fabs-spur-surge-equipment-spending>.

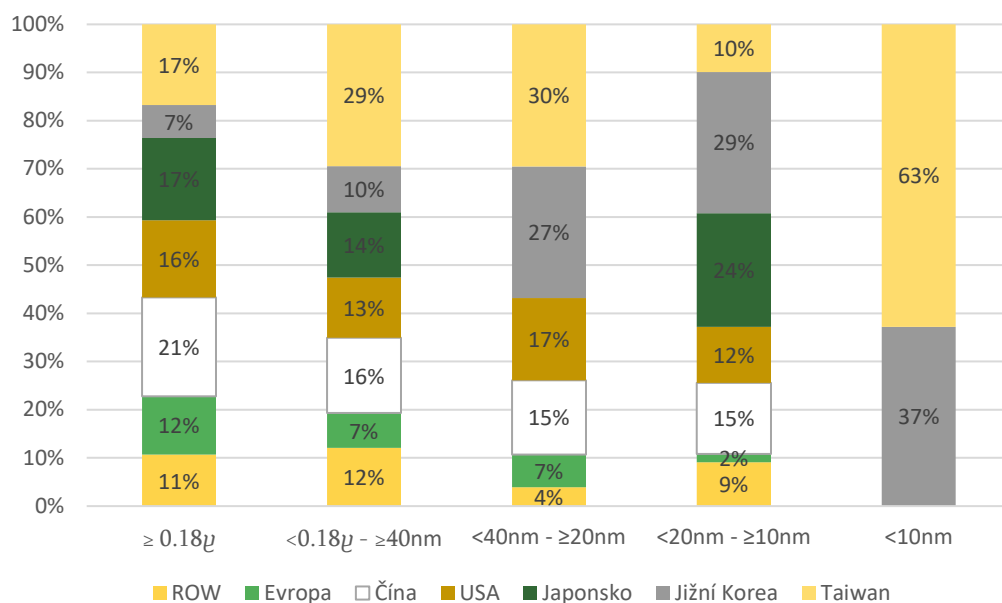


Graf 16: Top 10 dodavatelé vybavení pro výrobu polovodičových součástek podle podílu na trhu, 2020



Zdroj: VLSIresearch

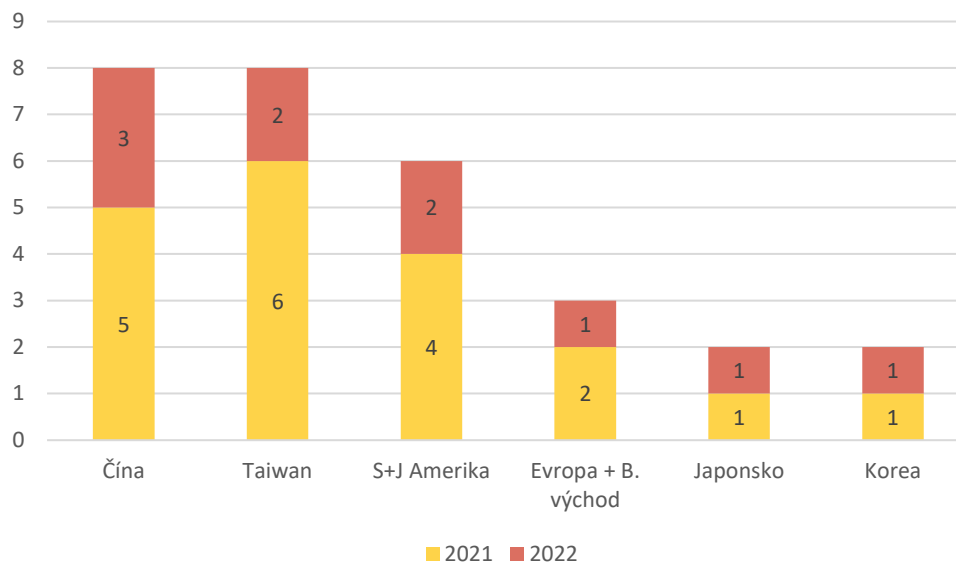
Graf 17: Měsíčně instalovaná kapacita podle min. geometrie a regionu, prosinec 2020



Zdroj: IC Insights



Graf 18: Plánovaná výstavba výrobních zařízení, 2021/2022



Zdroj: SEMI

5. Jaké jsou geopolitické implikace trendů v dodavatelském řetězci polovodičových součástek?

Komplexnost výrobního řetězce čipů, vysoká kapitálová náročnost vstupu na trh a důležitost produktu pro současnou informační společnost vedla mnohé země v jihovýchodní Asii k vytvoření strategie národní bezpečnosti založené na vlastní nepostradatelnosti v globálních řetězcích. Z analýzy výrobního procesu a hlavních dodavatelů jednotlivých polovodičových součástek vyplývá jasná provázanost některých produktů a výrobních procesů s konkrétními regiony, jak naznačuje tabulka výše.

V případě paměťových IO DRAM se svět spoléhá na výrobce v Jižní Koreji, NAND vyrábějí společnosti v Japonsku, analogové čipy jsou naopak ze Spojených států. Žádná země nebo region nemá přístup ke všemu, co je potřeba pro vytvoření tzv. systému na čipu (system on chip, SoC), což představuje IO, který v sobě integruje všechny výše zmíněné funkce v podobě analogových, paměťových, logických nebo mikročipů. Pro výrobu je tak třeba spolupráce různých dodavatelů s vysokou mírou specializace, která tak vede k vysoce konsolidovaným trhům, na kterých vznikají oligopoly.⁵⁰ Jakýkoliv výpadek těchto společností zaviněný přírodní katastrofou, epidemií, jakou je covid-19, nebo restriktivními obchodními opatřeními, rychle vede k problémům v celém dodavatelském řetězci.

Společnosti ze Spojených států drží dominantní pozici v odvětví polovodičových součástek. Společnosti jako Intel, Micron nebo TI patří do top 10 největších firem podle objemu tržeb v tomto průmyslu. Stejně tak americké fabless společnosti jako Qualcomm, Nvidia nebo Broadcom patří do stejné skupiny. Spojené státy tak zjednodušeně řečeno ovládají design čipů a v oblasti EDA mají de facto monopol.

Čína stále ještě nemá v tomto odvětví relativně silné zastoupení. Za poslední dekádu získaly čínské společnosti komparativní výhodu v oblasti designu IO a OSAT. Přestože čínská vláda podporuje nové společnosti v oblasti chemikálií, křemíkových waferů nebo výrobních strojů, nedaří se jí zatím dosáhnout výraznějších pokroků.

⁵⁰ Pro jeden produkt existuje pouze několik výrobců, kteří plně ovládají trh a cenu produktu.



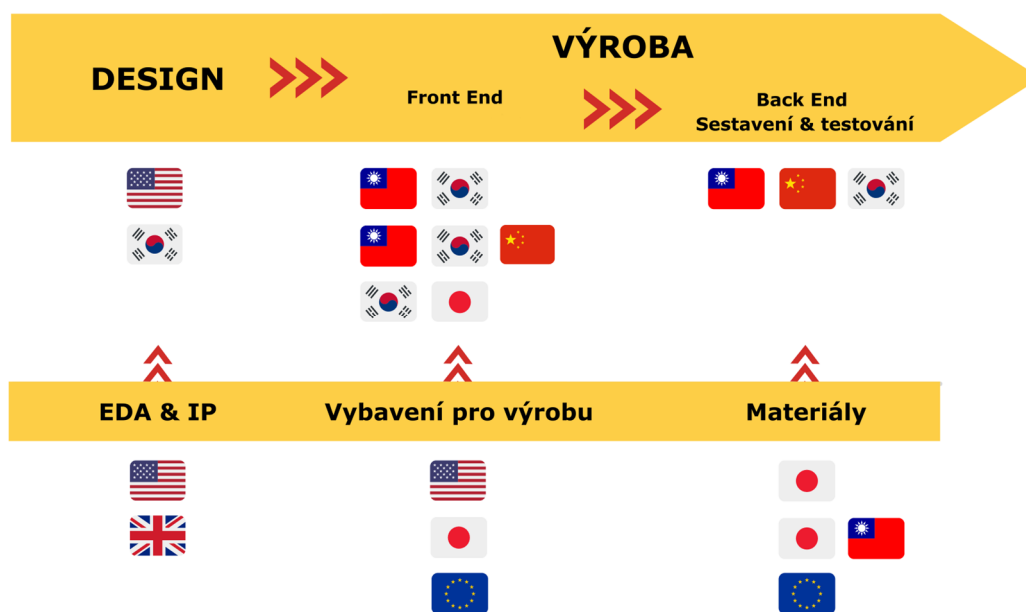
V roce 2020 se čínská společnost HiSilicon (vlastněná Huawei) poprvé objevila na 10. příčce na seznamu největších fabless výrobců IO. Všechny telefony společnosti Huawei fungují na systému na čipu pod názvem Kirin. Stejně jako ostatní výrobci mikroprocesorů pro chytré telefony, HiSilicon spoléhá na mikroprocesory postavené na architektuře od společnosti ARM. To platí i pro společnosti Apple nebo Samsung. Americké obchodní embargo na čínské technologické společnosti však zasáhlo i HiSilicon, které nemůže získávat americké součásti do svých mikroprocesorů, a jeho budoucnost je tak velmi nejistá.⁵¹

Evropské země s výjimkou automobilových mikrořadičů a nizozemské společnosti ASML, která je lídrem ve strojích na výrobu IO, hrají v dodavatelském řetězci spíše menší roli. Evropě chybí kapacity v oblasti designu IO a stejně tak výrobní kapacity pro nejpokročilejší IO.

Japonské společnosti mají velmi silnou pozici v dodávkách křemíkových waferů, kde drží více jak 50 % trhu, chemikálií, v jejichž případě zajišťují 90 % poptávky po fotorezistu, a také v oblasti výrobních strojů.

Taiwan a jeho továrny na výrobu čipů či dominance ve výrobě DRAM čipů v případě Jižní Koreje představují příklad, kdy země šly cestou extrémní specializace na určitou část výrobního procesu (Taiwan) či určitý produkt (Jižní Korea) a dosáhly tím stavu, ve kterém by jejich bezpečnostní ohrožení pocítil celý svět ve výpadku dodávek produktů, které jsou pro informační společnost klíčové.

Obrázek 2: Dodavatelský řetězec z pohledu zemí s větším než 50% podílem na trhu



Zdroj: autoři

Získání statusu nepostradatelnosti v rámci výrobního řetězce polovodičů, jako ve shora uvedených případech Taiwanu či Jižní Koreje, má významné geopolitické přínosy. Tento status totiž přináší posílení motivace bezpečnostních partnerů těchto zemí, zejména USA, aktivně garantovat bezpečnost dané země. Zároveň působí odrazujícím faktorem na potenciálního agresora, protože zvyšuje náklady, které by původce hrozby za případnou agresi musel nést. Konečně, tento stav může přispívat k tomu, že mezinárodní společenství by případnou agresi vůči

⁵¹ Robert Triggs, „HiSilicon: What you need to know about Huawei’s chip design unit“ Android Authority, 1. 6. 2021, <https://www.androidauthority.com/huawei-hisilicon-852231/>.



takové zemi akutně pocítilo, a to by také mohlo vést k široké podpoře pro vytvoření tlaku na agresora.

Jak z uvedených příkladů vyplývá, nepostradatelnost země v určitém segmentu výroby čipů lze založit v první řadě na vhodné volbě segmentu výroby či produktu. Při tom je zapotřebí znalost výrobního řetězce a správný odhad technologického vývoje v následujícím období. Lze totiž vsadit na technologicky slepou vývojovou větev, která status nepostradatelnosti nepřinese, či vyprchá dříve, než může takový stav nastat. Vhodnou volbu segmentu výroby či specializovaného produktu musí doprovázet dlouhodobé masivní investice zacílené na danou oblast, aby výrobcům nedávalo hospodářský smysl realizovat danou výrobní fázi či specializovaný produkt jinde či si jej pořídit s pomocí vlastních výrobních prostředků. Nejde jen o investice do specializované výrobní infrastruktury, ale zejména do výzkumu a vývoje zaměřeného na oblast specializace a vytvoření silného odborného zázemí, které bude přitahovat expertizu z celého světa. Výsledkem může být stav, ze které může daná země těžit jak hospodářsky, tak v oblasti bezpečnosti. Pro země, které mohou z různých geopolitických důvodů pocítovat ohrožení své bezpečnosti, nabízí tato cesta hodně lákavého.

Současná situace s nedostatkem čipů tak například získala podporovatele pro napodobení jihoasijské cesty mezi odborníky na bezpečnostní studia v Polsku.⁵² Pokud by se Polsko v zájmu posílení svého geopolitického významu rozhodlo jít cestou posilování kapacit polovodičového průmyslu, přispělo by to k posílení významu celého širšího regionu. Polsko, podobně jako Česká republika, by přitom mohlo těžit z geografické blízkosti Saska, kde se vytváří významný produkční hub pro výrobu čipů.

Česká republika si z uvedeného může vzít dvě poučení. Zaprvé, jakkoliv otázky geopolitiky obecně vnímá naše populace i politická scéna méně existenčně zásadně, než je tomu v případě Polska, i pro českou zahraniční politiku by cesta „učinit se nepostradatelnou“ svou rolí v řetězci výroby polovodičů mohla být významným přínosem. Zadruhé, posilování kapacit výrobního řetězce polovodičů v širším regionu dává hospodářsky významnou možnost stát se partnerem pro dodávky v niche segmentech výrobního řetězce či vývoji a výrobě specializovaných výrobních nástrojů pro tento obor, a do budoucna tak nabízí možnost postupné transformace ekonomiky na obor s potenciálně vysokou přidanou hodnotou.

6. Jakou kapacitu má v odvětví polovodičových součástek Česká republika?

V regionu bývalého východního bloku s výjimkou Ruska a Ukrajiny stěží existuje země s rozsáhlejší tradicí v polovodičovém průmyslu, než je Česká republika. Počátky výroby polovodičů zde sahají až do 50. let 20. století, kdy prof. Ing. Dr. RNDr. Jan Tauc, DrSc., vytvořil první germaniový transistor mimo území USA a založil oddělení polovodičů v Ústavu technické fyziky ČSAV, které v té době patřilo mezi světová centra fyziky polovodičů. Prof. Tauc ještě v roce 2002 patřil k nejcitovanějším českým vědcům.⁵³

Česká republika se může pochlubit značně rozvinutou znalostní základnou, moderní infrastrukturou umožňující špičkový výzkum a vývoj (VaV) ve fotonice

⁵² Srov. například Dominik Andrzejczuk „Why Poland Should Strive To become The SemiCon manufacturer of the West,“ dostupné na: <https://medium.com/mmusings-on-deep-tech-the-economy-and-venture/why-poland-should-do-whatever-it-takes-to-become-the-semicon-manufacturer-of-the-west-ef7228bbdf05>.

⁵³ Nejcitovanější čeští vědci aneb kteří čeští vědci se výrazně prosazují ve světovém měřítku? Vesmír, 5. 9. 2002 <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2002/cislo-9/nejcitovanejsi-cesti-vedci.html>.



a mikro-/nanoelektronice s dostatečným potenciálem pro aplikační výsledky výzkumu a vývoje v relevantních společnostech. Fond talentů s technickým univerzitním vzděláním v kombinaci s vylepšujícím se výzkumným prostředím navíc poskytuje dobrý základ pro další rozšiřování kapacit v oblasti vývoje i výroby polovodičů. Země má také vysoký podíl pracovníků ve výzkumu a vývoji z celkového produktivního obyvatelstva a v regionu zaujímá také přední místo v oblasti výdajů na výzkum a vývoj. V posledním mezinárodním žebříčku konkurenceschopnosti IMD World Digital Competitiveness Ranking 2021 zaujímá Česko celosvětově 18. místo v počtu zaměstnanců VaV v přepočtu na počet obyvatel a 19. místo v celkových procentuálních výdajích na VaV.⁵⁴

VaV má dlouholetou tradici, kdy výzkumné instituce pracují na kvalitních projektech v celosvětovém srovnání. Například výzkum v oblasti optických světelných zdrojů (zejména laserů) může nabídnout celosvětově unikátní výzkumnou infrastrukturu s mezinárodními výzkumnými týmy.

V polovodičovém průmyslu mohou české firmy přinést zvláštní přidanou hodnotu ve výrobě zařízení pro výrobu polovodičů, zejména v oblasti nástrojů pro řízení procesů a montážních a balicích nástrojů, kde řada českých firem a výzkumných institucí staví na dlouholetých zkušenostech.

Pro oblast polovodičů je dále relevantní, že je Česká republika jako celek skutečnou velmocí ve vývoji a výrobě mikroskopů. Zhruba jedna třetina světových mikroskopů pochází z Brna, kde sídlí společnosti Tescan, Thermo Fischer Scientific a DeLong Instruments. Město má dlouhou tradici ve vývoji vědeckých přístrojů a je také označováno jako světové centrum elektronové mikroskopie. Rozvoj technologického pokroku při výrobě polovodičů a čipů zvláště je přitom zásadně provázán s pokroky právě v technologii mikroskopů, a obě odvětví tak vykazují významné synergie z hlediska využití talentů i možností provázanosti investic do dalšího vývoje.

Česká republika navíc v sektoru polovodičů může významně těžit ze své polohy v samém srdci Evropy. Praha je vzdálená necelé dvě hodiny jízdy od Drážďan, Saska, německého Silicon Valley a největšího evropského centra výroby polovodičů, kde Bosch nedávno otevřel novou továrnu na polovodiče, a očekávají se další investice.

6.1. Výzkum a vývoj⁵⁵

VaV zaměřený na fotoniku a mikroelektroniku má v ČR tradici a je ve srovnání s jinými technologickými oblastmi silný. To souvisí s širokou znalostní a výzkumnou základnou fyzikálních, materiálových a technických věd, která je zejména ve VŠ sektoru a výzkumných ústavech vládního sektoru.

České zapojení do mezinárodní spolupráce ve výzkumu a vývoji je relativně vysoké a srovnatelné se zeměmi EU-15. Finanční podpora výzkumných projektů je poměrně významná, zejména od výzkumných organizací VŠ. Podíl podniků a jejich výzkumných organizací je však stále relativně nízký. Vysoký počet českých subjektů se také zapojuje do projektů H2020.

Zastoupení patentových přihlášek ve fotonice a mikro-/nanoelektronice v celkovém počtu přihlášek je v mezinárodním srovnání nadprůměrné. Počet patentových přihlášek roste rychleji než ve světě a zvyšuje se i jejich zastoupení v celkovém počtu přihlášek. Ve srovnání se zahraničím se na tvorbě patentových přihlášek daleko více podílejí VO, zejména technicky zaměřené VŠ.

⁵⁴ „IMD World Digital Competitiveness Ranking 2021 – IMD,“ https://www.imd.org/globalassets/wcc/docs/release-2021/digital_2021.pdf.

⁵⁵ Analýza propojení KETs s aplikačními odvětvími Národní RIS3 strategie 2021+, Technologické centrum AV ČR, 30. 4. 2020.



Český výzkum a vývoj v oblasti mikro-/nanoelektroniky a fotoniky se soustředí na následující oblasti:

- materiály pro fotoniku a (nano)elektroniku (monokrystaly, tenké vrstvy, nanomateriály, kvantové tečky, materiály pro fotovoltaiku a další) a jejich vlastnosti;
- optické a optoelektronické prvky a zařízení (světelné/kvantové zdroje, energetické zdroje, solární články, senzory apod.);
- optické a elektronické přístroje (elektronové mikroskopy, zpracování signálu apod.);
- měřicí metody (magnetooptika, hmotová spektrometrie);
- komunikace a komunikační prvky (vlákna, kvantová komunikace apod.);
- numerické metody (simulace, modelování apod.).

České patentové přihlášky cílí na následující oblasti:

- světelné (optické zdroje), vlákna a světlovody, lampy, osvětlení apod.);
- optické senzory;
- elektronické prvky (tištěné spoje/desky, kondenzátory a další);
- materiály pro elektroniku a optoelektroniku (vodivé polymery, elektrolyty, monokrystaly, tenké vrstvy apod.).

ČR také disponuje špičkovými vědeckými pracovišti, která vytváří zázemí pro další výzkum a rozvoj v oblasti polovodičových součástek.

Výzkumné centrum HiLASE orientované na vývoj a testování laserů a laserových technologií nové generace – tedy fyziku elementárních částic, kondenzovaných systémů a pevných látek, optiku a fyziku plazmatu – zahájilo činnost v roce 2015. Výzkumné centrum ELI Beamlines (dnes součást konsorcia ELI ERIC) je největší výzkumný projekt v České republice. Projekt je součástí evropské výzkumné iniciativy Extreme Light Infrastructure. Součástí centra je nejvýkonnější laser na světě, který by měl v roce 2023 dosáhnout výkonu 10 PW.

Fyzikální ústav Akademie věd ČR také pod názvem SOLID 21 v září 2021 otevřel nové excelentní centrum pro výzkum fyziky pevných látek. Centrum tvoří 55 laboratoří s čistými prostory pro pokročilé technologie a biofyzikální laboratoře umožní mezinárodnímu týmu více než 200 vědců výzkum nanoelektroniky, fotoniky, magnetismu, funkčních a bioaktivních materiálů a plazmatických technologií.⁵⁶

Ve FZÚ Akademie věd ČR existuje řada oddělení, kde se badatelé zabývají základním i aplikovaným výzkumem různých materiálů, jako jsou polovodiče, dielektrika, magnetické a scintilátorové materiály s bezprostředním vztahem k polovodičovým čipům a IO.⁵⁷

TOPTEC, Výzkumné centrum speciální optiky a optoelektronických systémů je oddělením Ústavu fyziky a plazmatu Akademie věd ČR, představuje špičkově vybavené pracoviště pro výzkum a vývoj opracování optických prvků, realizaci tenkých vrstev a velmi přesná měření. TOPTEC vědecký tým se zabývá řadou vědeckých aktivit na poli optiky a optoelektroniky. TOPTEC se podílí na řešení mezinárodních projektů v oblasti metrologie a vývoje optických systémů pro výzkum kosmu či pro vývoj supervýkonných laserů.

CEITEC je vůbec prvním typem vědeckého centra v ČR, které integruje výzkum a vývoj v oblasti věd o živé přírodě a pokročilých materiálů a technologií v takovém rozsahu. Základní stavební jednotky centra tvoří 53 výzkumných skupin

⁵⁶ Tisková zpráva, Akademie věd ČR, 22. 9. 2021,

https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/tiskove-zpravy/2021/FZU_SOLID21_220921.pdf.

⁵⁷ Výroční zpráva o činnosti a hospodaření za rok 2020, Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, https://www.fzu.cz/sites/default/files/2021-06/FZU%20-%20VZ%202020%20-%20komplet_O.pdf.



s věcně nebo logicky souvisejícím výzkumným zaměřením, které jsou soustředěny do 7 spolupracujících výzkumných programů: 1. Pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie, 2. Pokročilé materiály, 3. Strukturální biologie, 4. Genomika a proteomika rostlinných systémů, 5. Molekulární medicína, 6. Výzkum mozku a lidské mysli, 7. Molekulární veterinární medicína.

Na Elektrotechnické fakultě ČVUT vzniklo moderně vybavené centrum Polovodičová elektronika (Electron Device Group), zaměřené na studium nových polovodičových struktur, jejich návrh, charakterizaci a aplikaci. V současnosti se zaměřuje především na studium polovodičových nanostruktur, kvantově vázaných struktur, vývoj nových technologií pro výkonovou elektroniku a aplikace vybraných polovodičových součástek.

Vysoká škola chemicko-technologická se v Laboratoři teoretické fotodynamiky zabývá výzkumem chemických změn materiálů pod vlivem fotonů o vysoké energii. Zkoumá fotorezistentní materiály pro EUV litografii nové generace využitelné při výrobě čipů.

6.2. Soukromý sektor

Firmy působící v oblasti polovodičů se u nás soustředí zejména v následujících čtyřech klíčových oblastech: v Praze, v Brně, v regionech na severu Čech a v okolí Rožnova pod Radhoštěm (viz následující obrázek).

Obrázek 3. Vybrané firmy aktivní v odvětví polovodičových součástek



Zdroj: autoři

Vedle výroby čipů v oblasti Rožnova pod Radhoštěm vynikají české firmy ve výrobě zařízení nezbytných pro výrobu polovodičů, zejména nástrojů pro řízení procesu výroby (angl. process control tools); montážní a balicí nástroje (angl. assembly and packaging tools) a nástroje pro leptání a čištění (angl. etch and clean tools).

Mezi významné subjekty pro obor výroby polovodičů v České republice lze řadit následující firmy zobrazené na mapě v Obrázku 3.



Optika

- Meopta je významným vývojářem a producentem optických, optomechanických a optoelektronických zařízení, dodává optické systémy pro kontrolu waferů.
- TESCAN Brno a Thermo Fischer Scientific Brno se specializují na elektronové mikroskopy.
- Delong Instruments vyváží do celého světa nízkonapěťové elektronové mikroskopy a Schottkyho elektronové trysky.
- Foton se specializuje na přístrojovou techniku v oblastech vysokonapěťových zdrojů, speciálních elektronických systémů, optoelektroniky, automatizace mikropolohování, diagnostiky plazmatu, technologie kontroly vakuových systémů.
- NenoVision vyrábí světově unikátní mikroskopy atomárních sil.
- CRYTUR zpracovává syntetické krystaly s nabídkou optoelektronických řešení a scintilačních detektorů pro elektronovou mikroskopii.

Výroba

- V Rožnově pod Radhoštěm působí ON SEMICONDUCTOR CZECH REPUBLIC, která nabízí ucelené portfolio polovodičových součástek a řešení.
- STMicro má v Praze vývojové centrum s 200 odborníky, které vzhledem k nedostatku čipů stále roste.
- V pražské továrně ABB Polovodiče se vyrábí vysoce výkonové polovodičové součástky, např. do svařovacích robotů pro automobilky.

Ostatní

- Společnost SVCS Process Innovation projektuje a vyrábí pece pro polovodičový průmysl.
- Argotech poskytuje výrobní, inženýrské a vývojové služby pro mikroelektroniku.
- Společnost Unites vyvinula několik špičkových testerů pro testování polovodičových součástek.



Asociace pro mezinárodní otázky (AMO)

AMO je nevládní nezisková organizace založená v roce 1997 za účelem výzkumu a vzdělávání v oblasti mezinárodních vztahů. Tento přední český zahraničně politický think-tank není spjat s žádnou politickou stranou ani ideologií. Svou činností podporuje aktivní přístup k zahraniční politice, poskytuje nestrannou analýzu mezinárodního dění a otevírá prostor k fundované diskusi.



+420 224 813 460



www.amo.cz



info@amo.cz



Žitná 608/27, 110 00 Praha 1



www.facebook.com/AMO.cz



www.twitter.com/amo_cz



www.linkedin.com/company/amocz



www.youtube.com/AMOCz

Kryštof Kruliš

Kryštof Kruliš je analytikem AMO se zaměřením na vnitřní trh a právo EU a vztah EU a anglofonních zemí. V roce 2017 získal titul Ph.D. v oboru Evropské právo na Právnické fakultě Univerzity Karlovy v Praze, kde předtím také absolvoval summa cum laude magisterské studium v oboru Právo a právní věda. V rámci programu Socrates-Erasmus absolvoval studium ve Švédsku na Jönköping International Business School. Své druhé magisterské studium absolvoval s vyznamenáním v oboru Anglofonní studia na Metropolitní univerzitě Praha, kde následně začal přednášet. Po ukončení právnické fakulty pracoval čtyři roky v pražské pobočce přední mezinárodní advokátní kanceláře, kde poskytoval poradenství v oboru českého práva a práva EU významným českým i zahraničním klientům ze soukromého a veřejného sektoru. Ve své právní praxi se věnuje zejména otázkám práva EU a mezinárodního práva veřejného. S AMO spolupracuje od roku 2014. V roce 2016 založil zapsaný ústav Spotřebitelské fórum a stal se předsedou jeho správní rady.



krystof.krulis@amo.cz

Alice Rezková

Alice Rezková je analytičkou AMO se specializací na ekonomické politiky zemí jižní, jihovýchodní a východní Asie. Vystudovala mezinárodní evropská studia a diplomacii na Vysoké škole ekonomické v Praze s hlavní specializací na evropskou ekonomickou integraci. Dále na VŠE úspěšně zakončila Honors Academia, navazující program magisterského studia s ekonomickým zaměřením pro vynikající studenty a profesionály. Uskutečnila stipendijní studijní pobyt na Hong Kong University of Science and Technology se zaměřením na mezinárodní obchod a politicko-ekonomické strategie jihovýchodních asijských států. Poté absolvovala odbornou stáž v China Africa Business Council v Pekingu. V letech 2007–2010 pracovala jako ředitelka AMO. Byla řešitelkou a koordinátorkou řady výzkumných projektů věnujících se primárně problematice ekonomických a politických vztahů asijských zemí s EU. Věnuje se poradenství v oblasti vstupu na asijské trhy.



alice.rezkova@amo.cz



[@AliceRezkova](https://twitter.com/AliceRezkova)