

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

MASARYKŮV ÚSTAV VYŠŠÍCH STUDIÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Růst významu polovodičových součástek
v českém průmyslu**

**Growing importance of semiconductor
components in the Czech industry**

2024

Bc. Vítězslav Kochman

Studijní program: N0413A050002 – Projektové řízení inovací

Vedoucí práce: Ing. Oldřich Bronec, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kochman Jméno: Vítězslav Osobní číslo: 492846
Fakulta/ústav: Masarykův ústav vyšších studií
Zadávající katedra/ústav: Institut manažerských studií
Studijní program: Projektové řízení inovací

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Růst významu polovodičových součástek v českém průmyslu

Název diplomové práce anglicky:

Growing Importance of Semiconductor Components in the Czech Industry

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce se bude skládat z teoretické a praktické části.

Teoretická část představí polovodičové odvětví a jeho globální význam. Zpracována bude analýza nedávného globálního nedostatku čipů a jeho příčin.

Praktická část nejdříve identifikuje a charakterizuje odvětví v České republice, které významným způsobem využívají polovodičové součástky.

V návaznosti, a na základě veřejných i obdržených dat, bude provedeno hodnocení rostoucího významu polovodičů na konkurenceschopnost vybraného českého odvětví průmyslu na globálním trhu a odhad případných dopadů při možném výpadku ve světovém dodavatelském řetězci.

Práce se bude také zabývat některými aspekty řízení inovačních projektů v oblasti polovodičů a příležitostmi pro inovace v daném sektoru.

Přínosem práce je komplexní zhodnocení současného významu polovodičových součástek v českém průmyslu a predikci budoucího vývoje.

Seznam doporučené literatury:

1. BROWN, Clair a Greg LINDEN, 2011. Chips and Change: How Crisis Reshapes the Semiconductor Industry. 2. vyd. MIT Press. ISBN 0262516829.
2. HUŽVÁR, Miroslav, 2014. Informačné technológie v ekonomickej praxi. Bratislava: Wolters Kluwer. ISBN 8081680854.
3. MILLER, Chris, 2023. Chip War. London: Simon + Schuster UK. ISBN 1398504122.
4. WELLENIUS, Bjorn, Carl J. DAHLMAN a Arnold MILLER, 1993. Developing the Electronics Industry. Washington, D.C.: The World Bank. ISBN 0821325221.
5. OSBORNE, Adam. An introduction to microcomputers. 2nd ed. Berkeley, Calif. Osborne/McGraw-Hill, 1979. ISBN 0931988349.
6. HORÁK, Jaroslav. Hardware: učebnice pro pokročilé. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2007, 360 s. ISBN 978-80-251-1741-5.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Oldřich Bronec, CSc. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 08.12.2023

Termín odevzdání diplomové práce: 25.04.2024

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Oldřich Bronec, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Dagmar Skokanová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

KOCHMAN, VÍTĚZSLAV. *Růst významu polovodičových součástek v českém průmyslu*. Praha: ČVUT 2024. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV
VYŠŠÍCH STUDIÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval(a) samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval(a) a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 25. 4. 2024

Podpis:

Poděkování

Rád bych upřímně poděkoval všem, kdo mi pomohl a podporoval mě jak během psaní této diplomové práce, tak v průběhu celého vysokoškolského studia. Zvláštní díky patří vedoucímu práce Ing. Oldřichu Broncovi, CSc. jehož expertní přístup a odborné znalosti pro mě byly neocenitelnou pomocí. Dále mé poděkování patří Ing. Tomáši Činčalovi, který mi poskytl nezbytné podklady a cenný pohled z praxe.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá komplexním zhodnocením polovodičových komponent v českém národním průmyslu a prognózuje jejich budoucí vývoj. Prostřednictvím komplexní analýzy trhu a případové studie poskytuje tato práce ucelený pohled na současný stav a potenciál pro růst a inovace polovodičového sektoru v České republice. Hlavní zjištění práce ukazují, že polovodičový průmysl je pro ČR strategickou oblastí s vysokým potenciálem růstu. Výsledky práce zdůrazňují význam koordinovaného přístupu, který by zahrnoval podporu výzkumu a vývoje, zlepšení legislativního prostředí, investice do vzdělávání a rozvoj mezinárodních partnerství. Takové kroky by ČR umožnily lépe čelit globálním výzvám a využívat nové příležitosti na trhu s polovodiči. Závěry práce též přispívají k širšímu porozumění dynamiky a specifik polovodičového průmyslu, což je zásadní pro každou ekonomiku usilující o udržení kroku s technologickými inovacemi a maximalizaci potenciálu pro růst. Práce slouží jako cenný zdroj informací pro akademické, podnikatelské a především vládní sektory.

Klíčová slova

Polovodiče, Mikročip, Globální dodavatelské řetězce, Strategické plánování, Automobilový průmysl, Český průmysl, Inovační řízení

Abstract

This thesis deals with a comprehensive assessment of semiconductor components in the Czech national industry and forecasts their future development. Through a comprehensive market analysis and case study, this thesis provides a comprehensive view of the current state and potential for growth and innovation of the semiconductor sector in the Czech Republic. The main findings of the thesis show that the semiconductor industry is a strategic area with high growth potential for the Czech Republic. The results of the thesis underline the importance of a coordinated approach including support for R&D, improvement of the legislative environment, investment in education and development of international partnerships. Such steps would enable the Czech Republic to better face global challenges and exploit new opportunities in the semiconductor market. The conclusions of the paper also contribute to a broader understanding of the dynamics and specificities of the semiconductor industry, which is essential for any economy seeking to keep pace with technological innovation and maximise its potential for growth. Above all, the thesis serves as a valuable resource for the academic, business and, most importantly, government sectors.

Keywords

Semiconductors, Microchips, Global Supply Chains, Strategic Planning, Automotive, Czech Industry, Innovation Management

Seznam použitých zkratek

AI – Umělá inteligence

AMD – Advanced Micro Devices

ASIC – Zákaznický integrovaný obvod

CEITEC – Středoevropský technologický institut

CPU – Centrální procesorová jednotka

DRAM – Dynamická paměť s náhodným přístupem

EDA – Automatizace elektronického navrhování

HMMC – Hyundai Motor Manufacturing Czech

IDM – Výrobci integrovaného zařízení

IO – Integrované obvody

IoT – Internet věcí

MCU – Mikrořadič

SIA – Americké asociace výrobců polovodičů

TMMCZ – Toyota Motor Manufacturing Czech Republic

TSMC – Taiwan Semiconductor Manufacturing Company, Limited

USB – Univerzální sériová sběrnice

VaV – výzkum a vývoj

WSTS – Světová organizace pro polovodiče

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
Úvod	11
1 Polovodiče	13
1.1 Definice polovodičů	13
1.2 Historie a vývoj	14
1.3 Druhy polovodičových součástek	15
1.3.1 Druhy moderních polovodičů	16
1.4 Využití polovodičových součástek	17
1.4.1 Analogové integrované obvody	17
1.4.2 Logické integrované obvody	18
1.4.3 Paměťové integrované obvody	19
1.4.4 Mikročipy	20
1.5 Výroba čipů	21
1.5.1 Design čipů	22
1.5.2 Příprava materiálu pro výrobu čipů	23
1.5.3 Wafery	25
1.5.4 Proces lapování	26
1.5.5 Fotolitografie	26
1.5.6 Testování hotových čipů	27
1.6 Recyklace a znovuvyužití polovodičů	28
1.7 Další vývoj a inovace v odvětví	29
2 Globální nedostatek čipů	31
2.1 Definice a specifika polovodičového průmyslu jako celku	31
2.2 Monopolizace odvětví	32
2.3 Rozdělení v hodnotovém řetězci	33
2.3.1 Design	33
2.3.2 Výroba	34
2.3.3 Montáž	35
2.4 Vývoj poptávky po polovodičích	35
2.4.1 Vývoj tržeb v odvětví	36
2.5 Nedostatek součástek potřebných pro výrobu polovodičů	38
2.6 Nedostatek polovodičů zapříčiněný zásahy vyšší moci	38
2.6.1 Bouře v USA	39
2.6.2 Zemětřesení v Japonsku	39
2.6.3 Sucho na Tchaj-wanu	39

2.6.4	Pandemie Covid-19	40
2.7	Těžba kryptoměn	41
2.8	Nedostatek v důsledku geopolitických vlivů	42
2.9	Souhrn faktorů vedoucích k celosvětovému nedostatku polovodičů	44
3	Polovodičový sektor v ČR.....	48
3.1	Popis a historie	48
3.2	Výzkum a vývoj na území ČR	49
3.3	Privátní sektor v ČR	51
4	Tržní výhled polovodičů v ČR.....	53
4.1	Shrnutí kapitoly	57
5	Polovodiče v českém automobilovém průmyslu	59
5.1	Elektronika v automobilech	60
5.2	Dodavatelský řetězec polovodičů v automotivu	64
5.3	Různé strategie pro možné snížení rizik v budoucnu	67
5.3.1	Strategické zásobování	67
5.3.2	Inovativní přepravní trasy	68
5.3.3	Dodavatel se specializací výhradně na výrobu automobilových polovodičů	68
5.3.4	Agilní logistický řetězec	68
5.3.5	Sdílení pomocí IT systému	68
5.3.6	Strategická partnerství	69
5.3.7	Akvizice dodavatele	69
6	Případová studie společnosti EWM Hightec Welding	70
6.1	Představení společnosti	70
6.1.1	Historie	71
6.2	Strategie společnosti během nedostatku zdrojů	72
6.3	Nákup materiálů	72
6.4	Možné strategie společnosti v budoucnu	73
7	Závěrečné zhodnocení.....	75
	Závěr.....	78
	Seznam použité literatury	80
	Seznam obrázků	87
	Seznam grafů	88
	Seznam tabulek.....	89
	Evidence výpůjček.....	90

Úvod

V současnosti se přes 90 % moderních polovodičových čipů vyrábí v Asii, především na Taiwanu. Ještě v 90. letech se však Evropa na jejich světové produkci podílela téměř z poloviny. Nicméně hlavně kvůli ceně pracovní síly se pak výroba posunula směrem na východ do asijských zemí. Přestože ve vývoji elektroniky je EU díky špičkovým technologiím na světové špičce, z hlediska dodávek a výroby čipů jsou evropské státy zcela závislé na dovozu. To se ukázalo především během pandemie COVID-19 v posledních letech, kdy byla kvůli výpadku v mezinárodním obchodu zcela paralyzována některá průmyslová odvětví. Cílem této diplomové práce je provést komplexní zhodnocení současného významu polovodičových součástek v českém průmyslu a odhadnout možné směry jejich budoucího vývoje.

V teoretické části se autor nejdříve zaměřuje na obecnou definici polovodičů, popisuje jejich historii, vývoj, využití a složitý proces výroby. Historie polovodičů sahá do až 19. století, neméně dynamický rozvoj tohoto odvětví nastal zejména ve druhé polovině 20. století s nástupem tranzistorů a integrovaných obvodů, které umožnily miniaturizaci a zvýšení výkonu elektronických zařízení. Druhá kapitola teoretické části práce se pak podrobněji věnuje nedávnému globálnímu nedostatku čipů, který výrazně zasáhl mnohá průmyslová odvětví a ukázal zranitelnost globálních dodavatelských řetězců. Tento nedostatek byl zapříčiněn řadou faktorů, včetně politických napětí, přerušování výroby způsobených pandemií COVID-19 i zvýšené poptávky po elektronice během lockdownů.

V praktické části diplomové práce je využíváno metod případové studie společně s tržní analýzou k posouzení stavu a perspektiv polovodičového sektoru v České republice. Celkově se praktická část skládá z pěti kapitol, kde první z nich představuje polovodičový sektor v ČR a zkoumá jeho silné a slabé stránky. Druhá kapitola analyzuje tento sektor z tržního hlediska a předvídá jeho možný vývoj v nadcházejících letech. Třetí kapitola se věnuje specificky vlivu nedostatku polovodičů na český automobilový průmysl, což je kritické téma vzhledem k tomu, že automobilový průmysl je pro českou ekonomiku klíčový. Čtvrtá kapitola se věnuje případové studii společnosti EWM, která vyrábí svářecí zařízení a která se potýká s výzvami spojenými s nedostatkem polovodičů. Tato kapitola poskytuje konkrétní pohled na to, jak mohou firmy čelit výzvám spojeným s globálními nedostatky a jaké strategie mohou implementovat, aby minimalizovaly negativní dopady na svou výrobu. Poslední, celkově sedmá kapitola diplomové práce pak obecně shrnuje výsledky práce a diskutuje, jaké závěry z toho vyplývají pro budoucnost polovodičového průmyslu v České republice.

Jedním z klíčových zjištění této práce je, že i přes silnou závislost Evropy a České republiky na dovozu polovodičů z Asie, existují značné možnosti pro rozvoj tohoto průmyslu i na domácí půdě. Evropská unie již přijala několik iniciativ, které mají za cíl posílit výrobní kapacity v oblasti polovodičů a snížit závislost právě na dodavatelích z Asie. Tyto kroky jsou reakcí na nedávné globální krize, které ukázaly, jak je zásadní mít diverzifikované a spolehlivé dodavatelské řetězce.

Lze jednoznačně říci, že polovodiče zůstanou i nadále klíčovým prvkem technologického pokroku a ekonomického rozvoje. Česká republika má v následujících letech šanci stát se významným hráčem v tomto sektoru, pokud dokáže efektivně reagovat na globální výzvy a využít příležitosti pro inovace a rozvoj nových technologií.

TEORETICKÁ ČÁST

1 Polovodiče

První kapitola se zaměřuje na průmysl segmentu čipů, který od roku 2020 prožívá celosvětovou výraznou nerovnováhu mezi poptávkou a nabídkou. Abychom lépe pochopili krizi v oblasti čipů, která je detailněji popisovaná v druhé kapitole této práce, je nejprve nutné se seznámit se samotnou definicí mikročipu (v tomto textu dále označovány jako čipy, polovodičové čipy nebo jen polovodiče). Úvodní kapitola tak představuje definici a popis čipů, stručnou historii, představeny jsou informace o složitosti výrobního procesu, jakožto i základní kategorizace těchto čipů.

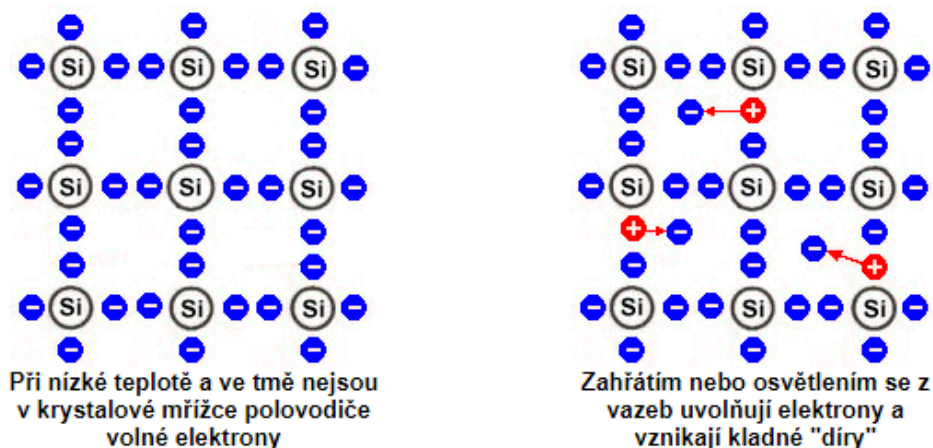
1.1 Definice polovodičů

Drápal a Kursa (2012) definují polovodiče jako materiály, které vykazují jedinečné vlastnosti v závislosti na teplotě. Za nízkých teplot se chovají jako izolanty, zatímco s narůstající teplotou se jejich vodivost zvyšuje, a přibližují se tak chováním k vodičům. To je v kontrastu s tradičními vodiči, jejichž konduktivita s rostoucí teplotou klesá. Klasickými příklady polovodičových prvků jsou zejména křemík (Si), germanium (Ge), ale i selen (Se) a tellur (Te). Hitachi technologies poznamenávají (Hitachi High-Tech, 2001), že právě křemík je pak díky své hojnosti v zemské kůře a specifickým vlastnostem nejčastěji používaným prvkem. Nicméně jelikož se vyskytuje ve formě sloučenin s hořčíkem i hliníkem, je nutná pro jeho užití v technologiích odborná extrakce a rafinace do formy s extrémně vysokou čistotou (99,999%) a monokrystalickou strukturou.

Polovodičové materiály jsou charakteristické tím, že jejich elektrická vodivost není neměnnou vlastností, ale může být modulována řadou vnitřních a vnějších faktorů. Přidáním různých prvků do polovodičového materiálu je možné upravit jeho vodivostní charakteristiky, stejně jako reakci na změny teploty, osvětlení nebo aplikaci elektrického pole. Takové modifikace umožňují široké spektrum aplikací, od jednoduchých diod po složité integrované obvody (Mudruňková, 2016).

Porozumění jedinečným vlastnostem polovodičů je klíčové pro jejich praktické využití. Na mikroskopické úrovni je chování polovodičů určeno strukturou jejich krystalové mřížky. Při nízkých teplotách jsou valenční elektrony pevně vázány k atomům, což zabraňuje průchodu elektrického proudu. Avšak při zahřátí nebo osvětlení se některé elektrony mohou uvolnit, čímž se vytvoří prázdná místa známá jako "díry" (viz obr. 1). Tyto díry se chovají jako kladné náboje a umožňují pohyb náboje skrze materiál. Tento proces, zahrnující pohyb elektronů a děr, stojí v jádru vlastní vodivosti polovodičů a je základem pro mnohé elektronické a fotovoltaické aplikace (Kusala, 2006).

OBRÁZEK 1: KRYSTALOVÁ MŘÍŽKA POLOVODIČE V RŮZNÝCH STAVECH



Zdroj: (Kusala, 2006)

1.2 Historie a vývoj

Historie polovodičů představuje odvětví plné průlomů a inovačních kroků, jehož kořeny lze nalézt už na počátku 19. století. První informace o tomto odvětví lze vystopovat v roce 1821, kdy německý fyzik Thomas Johann Seebeck narazil na síran olovnatý a popsal jeho unikátní vlastnosti. V roce 1833 pak anglický vědec Michael Faraday odhalil, že polovodiče jsou citlivé na změny teploty. Přelom v pochopení vlivu světla na polovodiče přišel o čtyři dekády později s prací na polovodiči ze selenu. V roce 1823 byl izolován křemík, klíčový prvek pro současnou polovodičovou technologii, a následně, v roce 1886, bylo objeveno germanium (Hitachi High-Tech, 2001).

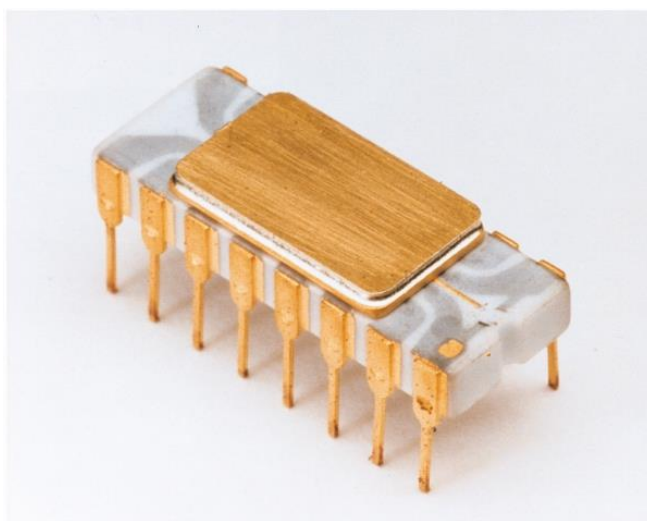
Vstup do 20. století označil významný posun v elektronice a polovodičových technologiích, když americký inovátor Lee de Forest v roce 1906 představil první efektivní zesilovač signálu sestávající se z elektronek. Následně ve 30. letech došlo k významnému pokroku ve výrobě čistých polovodičů typu N a P. Ve 40. letech pak Russell Ohl objevil rektifikační vlastnosti spojení P a N typu, což vedlo k výrobě prvních polovodičových diod, jež měly zásadní vliv na zdokonalení radarové technologie během válečných let (Wellenius, 1993).

Pokus o získání čistého křemíku podnikl již v roce 1924 švédský chemik J. J. Berzelius, ale jeho významnější využití v polovodičové technologii nastalo až ke konci druhé světové války. Německý vědec Eberhard Spenke získal křemík s čistotou 99,9999 %, čímž položil základy pro procesy čištění křemíkových krystalů. Přestože do roku 1945 byl křemík (Si) nahrazován jinými prvky jako germanium (Ge), galenit (Pbs) či selen (Se), jeho role se stala klíčovou až po válce, což bylo demonstrováno u prvního elektronického počítače ENIAC, sestaveného v roce 1946 (Pearson, 1955).

Padesátá léta pak znamenala revoluci v produkci tranzistorů a na trh přišla první tranzistorová rádia. Křemík se v této době stal nejrozšířenějším polovodičem. Mezi roky 1955 a 1965 se vyráběly křemíkové a germaniové diody, ačkoliv jejich výroba byla komplexní a náročná. Přelom přišel v roce 1958, kdy Jack Kilby zkonstruoval první integrovaný obvod, známý v českém prostředí jako „elektronický šváb“, což byl průlom směřující k miniaturizaci elektronických komponent (Lojek, 2007).

V roce 1971 představila společnost Intel čip Intel 4004, považovaný za první mikroprocesor. Tento čip, původně vyvíjený pro programovatelné kalkulačky od roku 1969, obsahoval 2250 tranzistorů a byl součástí čtyřčipového setu MCS-4. Do 90. let se vývoj posunul k čipům s milióny tranzistorů, základními prvky dnešních procesorů. Za první osobní počítač je považován IBM PC 5150, představený v roce 1981 společností IBM. Tento model, díky jednoduché konstrukci a dostupné ceně, definoval standardy pro budoucí vývoj v oblasti osobních počítačů. Odhalení technických řešení společností jako IBM umožnilo dalším firmám adaptovat a rozvíjet tuto architekturu, což přispělo k rychlému rozvoji v oblasti polovodičů a elektroniky (Łukasiak, 2010).

OBRÁZEK 2: PROCESOR INTEL 4004 Z ROKU 1971



Zdroj: (Mika, 2011)

Již od okamžiku svého vzniku elektronické čipy podstoupily obrovskou transformaci. Primárně se projevuje ve výrazném redukování jejich rozměrů, stejně jako v nárůstu výkonnosti a spolehlivosti. Současné silikonové mikroprocesory jsou schopné integrovat až miliardy tranzistorů, které jsou vzájemně spojeny v složité elektronické struktuře s velikostí v řádu nanometrů. To je činí jedním z nejsložitějších výtvorů, které byly kdy vyrobeny (tamtéž).

1.3 Druhy polovodičových součástek

Existuje několik přístupů, jak klasifikovat materiály z hlediska jejich struktury a elektrických vlastností. Jedním z nich je rozdělení na látky organické a anorganické. Anorganické materiály lze dále rozčlenit podle jejich mikrostruktury na ty, jež mají amorfní strukturu, a na ty, které jsou charakteristické uspořádáním své krystalické struktury. Pokud se zaměříme na oblast polovodičů, lze je kategorizovat na základě dominantních nositelů náboje. Zde rozlišujeme polovodiče N-typu, jejichž hlavními nositeli jsou volné elektrony, a polovodiče P-typu, kde hlavní roli hrají elektronové vakance, obvykle označované jako díry (Kusala, 2006).

Další třídění polovodičů je možné podle nositelů náboje. Mluvíme-li o polovodičích intrinsických, jedná se o materiály, které mají polovodivé vlastnosti přirozeně. Typicky se tak jedná o materiály velmi vysoké čistoty. Naproti tomu stojí polovodiče extrinsické, jejichž polovodivost je uměle indukována nebo výrazně zesílena pomocí dopování materiálu prvky, které změni jeho vodivostní vlastnosti (tamtéž).

Pokud se podíváme na mechanismus přechodu nositelů náboje mezi energetickými pásy, rozlišujeme polovodiče s přímým a nepřímým přechodem. U polovodičů s přímým přechodem nedochází během přeskočení nositelů náboje ke změně jejich hybnosti. U polovodičů s nepřímým přechodem je naopak pro přechod nutná změna hybnosti, často vyvolaná interakcí s fononem, jak je to například u křemíku (Van Zath, 2014).

Nakonec můžeme polovodiče též rozlišovat na základě statistického rozložení nositelů náboje na degenerované a nedegenerované. Každá z těchto kategorií nám poskytuje hlubší porozumění vlastnostem materiálu a otevírá cestu k jejich efektivnějšímu využití v různých technologických aplikacích (tamtéž).

1.3.1 Druhy moderních polovodičů

Polovodičové komponenty jako jsou diody, tranzistory a integrované obvody (IO) se staly nezbytnými prvky moderní elektroniky. V českém i anglickém jazyce dochází často k záměně mezi termíny polovodič (materiál) a polovodičové komponenty (jako IO, diody atd.). V běžném jazyce se navíc často setkáváme s neformálním výrazem "čip" namísto "integrovaný obvod".

Integrované obvody jsou považovány za základní kámen polovodičové technologie a existuje velké množství jejich druhů. Tyto zásadní elektronické součástky se dnes uplatňují prakticky ve všech průmyslových odvětvích. Jak název napovídá, integrovaný obvod je sestaven z mnoha různých elektrických komponent, které jsou za použití složitých technologických procesů integrovány na malém křemíkovém čipu (Saint, 2023).

Prohloubení znalostí o různých typech IO může být časově náročné kvůli jejich širokému spektru. Tato diplomová práce se proto zaměří pouze na představení čtyř hlavních kategorií: digitální logické IO, paměťové IO, mikrointegrované obvody, které mohou kombinovat paměťové a logické prvky, a obecné analogové IO. Nejsou zde zahrnuty součástky jako výkonové, vysokofrekvenční a optoelektronické (FV, LED a LD), jelikož tyto zažily své výzvy v minulosti a dnes již nejsou považovány za kriticky nedostatkové (Van Zath, 2014).

V dnešním technologickém světě se většina polovodičových zařízení objevuje jako takzvaný systém na čipu (angl. system on chip), který integruje všechny výše uvedené funkce v podobě analogových, paměťových, logických či mikro IO. V některých aplikacích jsou však stále potřeba polovodičové komponenty pro specifické účely, jako jsou diody, tranzistory nebo senzory. Optické senzory, které detekují světlo, se využívají například v fotoaparátech, zatímco neoptické senzory a regulátory nacházejí své uplatnění v různých přístrojích spojených s Internetem věcí (IoT). Zjednodušené schéma, které je uvedeno na další stránce, poskytuje lepší přehled o hlavních kategoriích polovodičových součástek a jejich využití v zařízeních jako jsou počítače, chytré telefony, automobily či spotřební elektronika (Rouse, 2017).

GRAF 1: PŘEHLED TYPŮ KOMPONENT Z POLOVODIČOVÉHO MATERIÁLU



Zdroj: (Kruliš, 2022)

Vysvětlení zkratk:

DRAM – Dynamická paměť s náhodným přístupem (z angl. Dynamic Random Access Memory)

CPU – Centrální procesorová jednotka (z angl. Central Processing Unit)

GPU – Grafická procesorová jednotka (z angl. Graphics Processing Unit)

FPGA – Programovatelné hradlové pole (z angl. Field Programmable Gate Array)

ASIC – Zákaznický integrovaný obvod (z angl. Application Specific Integrated Circuit)

MPU – Mikroprocesory (z angl. Microprocessing Unit)

MCU – Mikrořadiče (z angl. Microcontroller)

DSP – Digitální signálový procesor (z angl. Digital Signal Processor)

1.4 Využití polovodičových součástek

Následující podkapitola se zabývá popisem funkcí vybraných druhů integrovaných obvodů, které zabírají nejvyšší prodejní objem na trhu, a vysvětluje, jak se tyto obvody uplatňují v praxi.

1.4.1 Analogové integrované obvody

Analogové vstupně-výstupní integrované obvody jsou známé svou jednoduchostí, což je důsledek omezeného počtu komponent, které obsahují. Tyto systémy slouží k interakci s okolním světem, neboť zachytávají vnější signály, jako jsou zvuk, světlo, či teplota, a přetvářejí je do upravené formy. Dobrým příkladem z praxe může být klasický mikrofón, který funguje na analogovém principu (Saint, 2023).

V digitální éře jsou analogové IO nezbytné pro transformaci signálů z analogové do digitální formy. Tato konverze je klíčová pro funkci široké škály spotřební elektroniky, od inteligentních telefonů až po televizory. Vzhledem k tomu, že základní funkce analogových IO se v průběhu času významně nemění, mají tyto komponenty obvykle dlouhou životnost. Mohou být využívány i desetiletí bez nutnosti zásadních úprav. Na druhé straně digitální IO procházejí rychlým vývojem, kde hlavními motivacemi jsou snižování výrobních nákladů a zvyšování výkonu. Trh s analogovými IO je dominován firmami ze Spojených států, které drží téměř polovinu tržního podílu. Nicméně významný vliv mají i evropští výrobci, kteří zastupují zhruba pětinu globálního trhu (Analog Integrated Circuits, 2024).

1.4.2 Logické integrované obvody

Logické IO, neboli tzv. Input/Output IO, představují základ digitálních systémů. Operují s binárními hodnotami (0 a 1) a tvoří stavební kameny moderní informatiky. Tyto digitální prvky můžeme přirovnat k běžnému světelnému spínači, kde rozdílné vstupy produkují dva specifické výstupy – zapnutí či vypnutí. Tyto IO jsou založeny na principu logických bran (angl. logic gates), jejichž velikost a konstrukce určuje kapacitu signálu, který mohou zpracovávat. Lze si to představit jako pokoj s několika vstupními dveřmi, ale pouze jedněmi výstupními. Množství lidí může vstoupit, avšak jejich odchod je limitován. V některých případech může být vstup omezen, zatímco výstup je volný. Podobně logické brány manipulují s elektrickými signály (Van Zath, 2014).

Z těchto základních principů je možné vyvinout obrovské množství různých logických IO, které se liší podle stupně specializace na určité úlohy. Proto se dále práce primárně soustředí na centrální procesorové jednotky (CPU) a na aplikačně specifické integrované obvody (ASIC), které jsou klíčové pro oblasti jako umělá inteligence nebo IoT zařízení. CPU jsou integrovány do mikroprocesorů a jejich principy budou podrobněji vysvětleny v následující sekci o mikro IO (tamtéž).

Zvláštní kategorii tvoří ASIC čipy (Application-Specific Integrated Circuit), které jsou navrženy pro specifické úlohy a jakmile jsou uvedeny do výrobního procesu, je poté obtížné měnit jejich strukturu. Tento typ čipů není monopolizován několika společnostmi, jako je tomu u paměťových čipů, ale jejich výrobci jsou často specializováni na konkrétní aplikace ASIC (Watts, 2018).

ASIC čipy jsou využívány k řešení složitých matematických problémů, například při těžbě kryptoměn, kde je nezbytné použít komplexní hashovací algoritmy pro zpracování transakčních bloků. Vysoká náročnost těchto výpočtů vedla k souboji o maximální výpočetní výkon, pro který se od roku 2013 uplatňují právě ASIC čipy (Rodgers, 2013). Hlavním producentem v tomto odvětví byla až do nedávna čínská firma Bitmain, která se starala o design a výrobu čipů a o provoz velkých datových center pro těžbu kryptoměn. V září 2021 však čínská vláda zakázala veškeré transakce s kryptoměnami, což oslabilo pozici Bitmainu a dalších čínských firem. Nyní největší těžební síť vlastní USA (Suliman, 2021).

ASIC čipy jsou také důležité v IoT zařízeních, kde slouží ke sběru a zpracování dat pomocí složitých matematických modelů. Rovněž jsou klíčové pro IT společnosti, které působí v oblastech od sociálních médií až po bankovní automaty, neboť tyto společnosti vyžadují výkonné cloudové služby pro své operace (Watts, 2018).

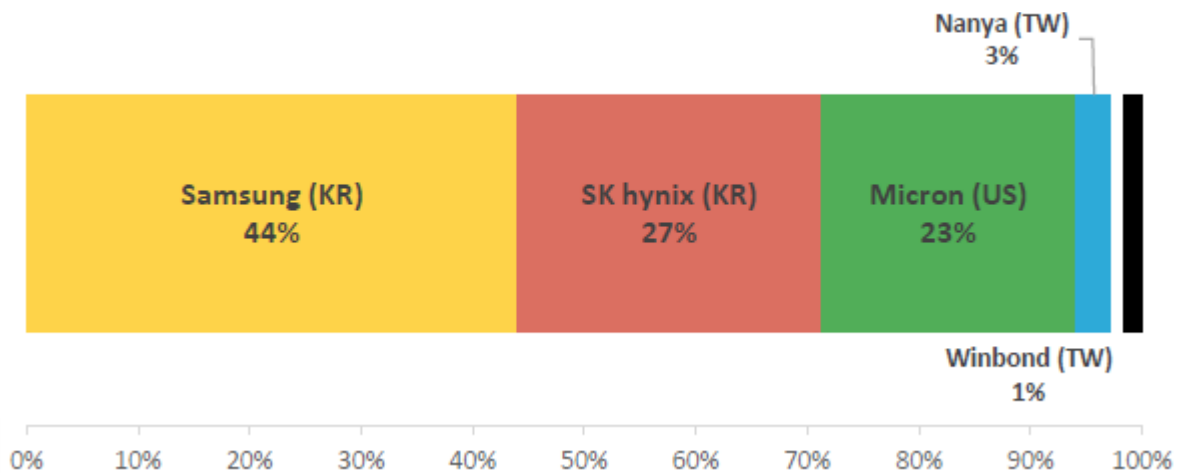
1.4.3 Paměťové integrované obvody

Paměťové IO jsou klíčovou součástí pro ukládání dat nezbytných pro výkonové schopnosti počítačů. Tyto stroje manipulují s informacemi, které jsou uloženy v jejich paměťových modulech, skládajících se z různých datových úložišť. Vývojáři se stále zaměřují na miniaturizaci těchto paměťových prvků, aby dosáhli vyšší kapacity bez nutnosti zvětšování fyzického prostoru. Tento vývojový směr odpovídá rostoucí poptávce po extrémně tenkých počítačových zařízeních s dlouhodobou výdrží baterie a nadstandardním výkonem (Memory circuits, 2024).

Nejdůležitějšími typy paměťových prvků na trhu jsou DRAM (Dynamická paměť s náhodným přístupem) a Flash NAND¹, které společně zastávají 96 % celkového tržního podílu. DRAM slouží jako operační paměť v počítačích a smartphonech a je využívána pro dočasné uložení dat během jejich zpracování. Očekává se, že trh s DRAM integrovanými obvody poroste v důsledku stále rostoucí poptávky po výkonnějších smartphonech s rozsáhlou pamětí. Datacentra a poskytovatelé cloudových služeb také závisí na vlastnostech DRAM pro rychlý přenos dat. V listopadu 2021 představila firma Samsung první 14 nm 16 GB DRAM, který je navržen pro využití v aplikacích vyžadujících rychlý přenos dat, včetně oblastí jako je 5G nebo umělá inteligence (Samsung, 2021).

Z následujícího grafu 2 vyobrazeného níže je zřejmé, že v oblasti DRAM IO má svět velkou závislost na firmách z Jižní Koreje, které ovládají více než dvě třetiny celosvětového trhu.

GRAF 2: SVĚTOVÝ TRH VÝROBCŮ DRAM IO DLE TRŽNÍHO PODÍLU



Zdroj: (Kuo, 2024)

NAND flash je typ paměti, která umožňuje opakované mazání a zápis dat. Tento druh paměti nachází uplatnění v různých zařízeních jako jsou paměťové karty, USB flash disky a další mobilní úložiště, stejně jako v smartphonech a dalších elektronických přístrojích včetně kamer,

¹ NAND neodpovídá zkratce složené z prvních písmen daného výrazu, jako je tomu u DRAM. Ve skutečnosti NAND představuje negaci logického součinu, tedy operaci, která se používá na dvě nebo více vstupů. Výstupem této operace je hodnota jedna tehdy, pokud minimálně jeden ze vstupů má hodnotu nula.

průmyslových detektorů, automobilových systémů a zdravotnických přístrojů, které se spoléhají na NAND pro ukládání dat.

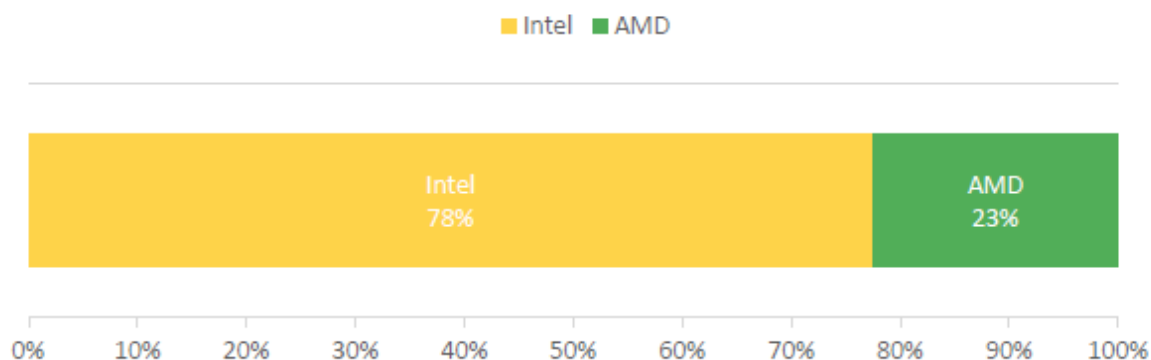
Současný trend v oblasti vývoje paměťových technologií směřuje k vytváření úložných řešení s vysokou kapacitou dat, která zaujmají minimální fyzický prostor. To se dosahuje pomocí takzvaných 3D integrovaných obvodů, kde se jednotlivé vrstvy integrovaných obvodů skládají vertikálně nad sebou. Jako příklad lze uvést microSD kartu, která má plochu pouze 1,5 cm² a tloušťku méně než 1 mm. Trh s NAND integrovanými obvody je v současnosti centralizován mezi několik hlavních firem, převážně z Jižní Koreje, Japonska a Spojených států amerických, přičemž jihokorejské společnosti drží téměř polovinu tržního podílu (Rouse, 2018).

1.4.4 Mikročipy

Mikročipy jsou považovány za jedny z nejsložitějších integrovaných obvodů v technologickém průmyslu. Skládají se z obrovského množství tranzistorů uspořádaných do mnoha digitálních modulů, z nichž každý plní specifické logické úkoly. Hlavním komponentem mikročipů je obvykle centrální procesorová jednotka (CPU), která umožňuje provádět množství datových operací v řádu milionů za sekundu. Mikročipy najdeme nejen v počítačích, ale také v zařízeních jako jsou herní konzole, televize, digitální fotoaparáty a automobily (Hužvár, 2014).

Trh s CPU, jenž jsou určeny primárně pro desktopové počítače a tablety, představuje přibližně polovinu celkového trhu s mikročipy. Dominují na něm produkty založené na x86 architektuře, které nabízejí společnosti jako Intel a její hlavní konkurent AMD (Advanced Micro Devices). Z příloženého grafu 3 níže vyplývá, že tyto dvě společnosti si trh s těmito mikročipy většinou rozdělují. Zajímavým trendem je rychlý růst prodeje AMD o 65 % oproti mírnému poklesu o 1 % u Intelu. Celkově si většina předních výrobců polovodičových komponent udržuje růst tržeb, někdy dokonce s dvoucifernou procentuální rychlostí, s výjimkou Intelu a Sony, které vykazují stagnaci (McClean, 2021).

GRAF 3: TRH S MIKROPROCESORY ZALOŽENÝMI NA X86 ARCHITEKTUŘE



Zdroj: (Mercury Research, 2023)

Zhruba 21 % tržeb na celém trhu s mikročipy generují právě vestavěné procesorové systémy, využívané v široké škále aplikací od automobilového průmyslu přes datové sítě, telekomunikační zařízení, průmyslové a zdravotnické systémy až po spotřební elektroniku. Mikročipy pro smartphony, vyráběné společnostmi jako Qualcomm, Samsung, Nvidia či MediaTek, jsou většinou založeny na jádrech a technologiích licencovaných britskou společností ARM. Ta byla v roce 2016 akvizicí získána japonskou SoftBank a následně v roce 2020 přešla pod

americkou Nvidia. Tato akvizice vedla k zahájení antimonopolního šetření ze strany Evropské komise, která vyjádřila obavy z možného omezení přístupu k duševnímu vlastnictví ARM a potenciálního negativního dopadu na trh s polovodičovými součástkami (Cellan-Jones, 2021).

Dalším typem IO jsou mikrokontrolery (MCU). Jedná se o základní součást moderních mikroelektronických systémů, působících jako integrované počítače, které provádějí instrukce uložené ve své paměti. Tyto komponenty najdou své uplatnění v řadě automaticky řízených aplikací, včetně motorových řídicích systémů ve vozidlech, samočinných medicínských zařízení, dálkových ovladačů, kancelářských přístrojů nebo elektronických nástrojů a hraček. S rostoucí digitalizací, mikrokontrolery stále více umožňují sofistikovanou digitální správu různých zařízení a procesů a jsou klíčovým prvkem v ekosystému IoT, kde poskytují schopnost shromažďování dat a interakce s fyzickým světem (Lutkevich, 2019).

Trh s mikrokontrolery je obecně stabilní, ale projevuje náchylnost k významným fluktuacím v důsledku velkých ekonomických otřesů, jakým byla například globální finanční krize v roce 2008, kdy došlo k nevídanému poklesu v tomto sektoru o 22 % (Matas, 2013). Vztah mezi prodejem mikrokontrolerů a automobilovým průmyslem je úzce propojen, což bylo patrné i během pandemie covidu-19, která výrazně ovlivnila tento segment.

I přes obnovu poptávky po mikrokontrolerech v roce 2020 zůstává produkce polovodičových součástek za očekáváním. Standardem pro výrobu mikrokontrolerů zůstávají 200 mm wafery, ačkoliv modernější technologie již dnes využívají 300 mm wafery. Adaptace na tuto novou velikost by však vyžadovala zásadní přepracování celého výrobního procesu, což představuje významnou výzvu pro výrobce a značné investice (Miller, 2023).

1.5 Výroba čipů

V práci je zvolen obšírnější přístup k popisu výrobních procesů, aby zajistil ucelený vhled do technologické složitosti, která stojí za unikátními polovodičovými technologiemi. Znalost technických nuancí a sofistikovanosti výrobních procesů je klíčová pro výrobu moderních polovodičů a nezbytná pro navrhování efektivních strategií v oblastech výzkumu a vývoje i legislativních úprav.

Pokud by se jeden počítačový čip vyráběl ručně a každou vteřinu by se na křemíkovou destičku umístil jeden transistor, předpokládaná doba výroby takového jednoho moderního polovodiče by přesáhla 1500 let. Každý rok se nicméně takových čipů vyrábí miliardy kusů. Samotná výroba čipů je extrémně komplexní a skládá se z tisíců dílčích procesů. Právě díky náročnosti na výrobu se jedná z pohledu nákladů o jednu z nejdražších věcí na planetě. Díky vysokému objemu produkce je však možné jejich konečnou cenu snížit dostatečně nízko natolik, abychom za relativně přijatelné ceny mohli polovodiče využívat ve všech zařízeních od automobilů po telefony. Vzhledem k faktu, o jak náročný proces se jedná, lze výrobní proces zjednodušit do třech následujících fází (Farky, 2021)

- design
- výroba
- montáž a testování.

V rámci polovodičového průmyslu lze pozorovat různé přístupy k výrobním procesům, které jsou odrazem specifických obchodních strategií firem. Zatímco některé korporace jako Intel či Samsung (známé jako Integrated Device Manufacturers – IDM) pokrývají celý výrobní proces

od návrhu přes výrobu až po finální testování, jiné firmy se zaměřují pouze na vybrané segmenty tohoto řetězce (Kruliš, 2022).

Právě z toho důvodu existují společnosti, známé jako "fables", které se specializují pouze na design polovodičů a outsourcují veškerou výrobu třetím stranám. Tento model, jehož název vychází z anglických slov "fabrication" a "less", je reprezentován firmami jako Qualcomm, Nvidia nebo MediaTek. Tyto společnosti se spoléhají na výrobní kapacity externích továren, jako je například taiwanský gigant TSMC, který dominuje více než polovině trhu s polovodiči. V současné době lze pozorovat trend, kdy i tradiční IDM firmy, jako je třeba právě Intel, začínají využívat externí výrobní kapacity, čímž přecházejí k hybridnímu modelu IDM/Fables (Gallagher, 2020).

Po vyrobení musí být polovodičové komponenty pečlivě testovány, sestaveny a profesionálně baleny. Tyto kroky jsou buď zajištěny přímo výrobním závodem, nebo jsou outsourcovány specializovaným firmám, známým jako OSAT (Outsourced Semiconductor Assembly and Test). I v této fázi drží taiwanské společnosti přes polovinu kapacit pro montáž i testování. Tyto koncové procesy jsou označovány jako "back-end", v protikladu ke "front-end" procesům, které zahrnují návrh a výrobu (tamtéž).

Proces vytváření čipu je složitý a zahrnuje stovky jednotlivých etap. Jelikož není možné detailně popsat každý jednotlivý krok, následujících několik podkapitol se tak zaměří na základní a nejdůležitější postupy, které jsou nezbytné pro vyrobení nových čipů na silikonové desce.

1.5.1 Design čipů

Návrh a vývoj polovodičových komponent je velmi náročný a vyžaduje významné investice do výzkumu a vývoje, často představující až čtvrtinu tržeb fables společností. Založení nové výrobní jednotky může představovat investici v řádech 15-20 miliard dolarů a celý proces trvá dlouho. Výstavba továrny na čipy je komplexní úkol vyžadující rozsáhlé strojírenské znalosti a pevnou infrastrukturu pro podporu výrobního procesu. Tyto operace musí být flexibilní a rychle reagovat na požadavky trhu, aby dokázaly konkurovat. Zakládání nových OSAT zařízení si vyžaduje investice v řádu 5-7 miliard dolarů. Proto i přes vysoké investice a dlouhý časový horizont není možné rychle řešit aktuální nedostatek polovodičů (Gallagher, 2020).

Příprava nového čipu zahrnuje několik klíčových fází: definici parametrů, vytvoření logického schématu, realizaci fyzické struktury, a následnou kontrolu a ověření funkčnosti. V první fázi se stanovují požadavky na to, jak má čip interagovat se systémem, do kterého bude integrován. Logické schéma pak reprezentuje vzájemné propojení elektronických součástí na schematičtější úrovni. Procesy ověřování a kontrola zajišťují, že finální produkt odpovídá původním specifikacím (Van Zath, 2014).

Proces návrhu čipu je podporován softwarovými nástroji EDA (Electronic design automation), které umožňují efektivní realizaci složitých designů, jež obsahují miliony propojených tranzistorů a dalších komponent. Tyto nástroje nejenže zjednodušují a automatizují určité části návrhu, ale umožňují také licencování jednotlivých modulárních částí designu. Pro úspěšný vývoj nových čipů je klíčová úzká spolupráce mezi vývojáři čipů, poskytovateli EDA nástrojů, továrnami na výrobu čipů a výrobci polovodičových zařízení, a to již od raných fází definování funkčnosti čipu (Kruliš, 2022).

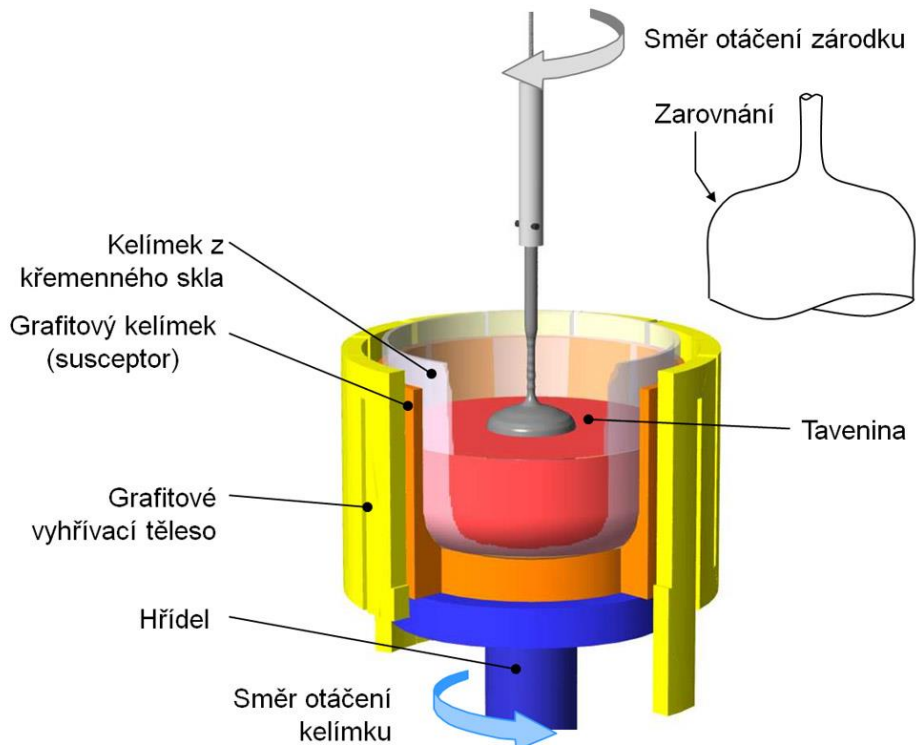
1.5.2 Příprava materiálu pro výrobu čipů

Proces výroby polovodičových čipů začíná extrakcí silikátového písku (SiO_2), který musí být přečištěn do extrémní míry čistoty, přibližně na 99,9999999 %. Abychom si dokázali tuto míru čistoty představit, pokud bychom si představili řadu tenisových míčků rozložených od Země až k Měsíci (přibližně 380,000 km), mohli bychom mezi ně zařadit pouze šest fotbalových míčů a stále by byla zachována požadovaná čistota (Pánek, 2021).

Prvním krokem v procesu je chemická transformace silikátového písku na metalurgické silicium a oxid uhličitý (podle reakce $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$). Metalurgické silicium však ještě nedosahuje požadované čistoty, proto se podrobuje další reakci s kyselinou chlorovodíkovou, čímž vzniká trichloristan ($\text{Si} + 3\text{HCl} \rightarrow \text{SiHCl}_3 + \text{H}_2$). Tato látka se pak další destilací čistí a následná reakce s vodíkem vede k získání silicia s dostatečnou čistotou pro použití v integrovaných obvodech (Šulc, 2012).

Silicium po této fázi čištění je ve formě polykrystalu, což není ideální pro použití v elektrotechnice. Požadováno je monokrystalické silicium, které má jednotnou krystalickou orientaci ve svém objemu. Monokrystal se získává tavením polykrystalického silicia a jeho postupnou krystalizací pomocí Czochralského metody v zařízení zvaném jako tažička. Při tomto procesu se do keramického kelímku, který je umístěn uvnitř druhého grafitového kelímku, nasypou kousky polykrystalického silicia. Může být přidána i určitá dávka příměsí, protože často se vyrábějí monokrystalu s určitou úrovní nevlastní vodivosti, typicky typu N nebo P (tamtéž).

OBRÁZEK 3: VÝROBA MONOKRYSTALICKÉ HLAVY A JEJÍ POZDĚJŠÍ ZAROVNÁNÍ



Zdroj: (Šulc, 2012)

Keramický kelímek je zvolen kvůli jeho odolnosti vůči vysokým teplotám a pomalé reakci s taveným siliciem. Po zahřátí a roztavení silicia se do něj pomalu zavádí držák se zárodečným

křišťálem. Ten je již vytvořen jako monokrystal s požadovanou krystalografickou orientací. Jakmile je část zárodečného křišťálu ponořena, začne se tavit, čímž se odstraní případné defekty a vytvoří se spojení s taveninou. Poté se zárodečný křišťál začne pomalu vytahovat z taveniny, přičemž se dbá na to, aby rychlost byla nastavena tak, aby se formoval úzký krček, který slouží k odstranění potenciálních krystalografických vad. Následně, při pokračování v procesu tažení, se formuje monokrystal, který se nakonec použije pro výrobu integrovaných obvodů (Šulc, 2012).

Po odstranění jakýchkoli technických problémů dochází ke snížení rychlosti extrakce zárodka, což umožňuje postupný růst vytaženého monokrystalu do cílového průměru, čímž se formuje tzv. hlavice. S pokrokem v technologiích řízení výroby se průměr monokrystalů zvyšuje, a dnes se tak výroba procesorů a grafických čipů opírá o monokrystalu o průměru 300 mm. Očekává se, že v následujících letech se začnou používat monokrystalu s průměrem 450 mm. K historickému srovnání, v období přelomu 60. a 70. let minulého století byly běžné pouze 50 mm monokrystalu, zatímco v 90. letech se používaly 200 mm monokrystalu. Po dosažení požadovaného průměru monokrystalu následuje jeho finální vyrovnaní a stabilizace všech kritických parametrů, aby se v průběhu dalšího výtažku průměr monokrystalu již neměnil (Łukasiak, 2010).

Po dokončení zarovnání monokrystalu a nastavení jeho cílového průměru, což je v současné době standardně 300 mm, pokračuje proces výtažku těla monokrystalu, z něhož se pak vyrábějí integrované obvody. Je klíčové, aby výtažek probíhal za striktně homogenních podmínek, přičemž se pečlivě monitorují faktory jako teplota roztaveného materiálu, rychlost extrakce monokrystalu, otáčky nádoby i samotného monokrystalu, spolu s tlakem a koncentrací plynného média pro ochranu. Proces vytahování těla monokrystalu trvá desítky hodin a jeho konečná délka může dosáhnout až jednoho metru.

Dokončený silikonový monokrystal, označovaný jako ingot, se oddělí od výtažného zařízení u úzkého konce a je připraven na další zpracování. Produkce ingotu z polykrystalického silikonu obvykle zabere dva až tři dny, přičemž ingot může být dlouhý více než metr a vážit přes 100 kg (Horák, 2007).

OBRÁZEK 4: MONOKRYSTALICKÝ KŘEMÍKOVÝ



Zdroj: (UniversityWafer, Inc., 2024)

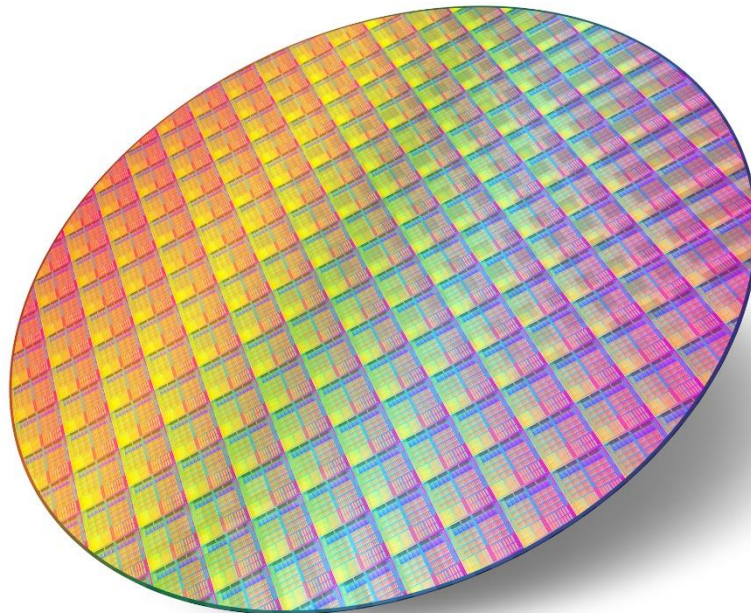
1.5.3 Wafery

Z křemíkového ingotu, který je postupně ochlazován, se nejprve odstraní nevyužitelné části, jako jsou vrchol a základna. Tento blok se následně rozdělí na menší segmenty, z nichž se pro analýzu odeberou vzorky z různých míst. Na těchto vzorcích se poté zkoumají základní fyzikální charakteristiky, jako je elektrický odpor nebo hladiny požadovaných (v závislosti na typu polovodiče P nebo N) a nepožadovaných nečistot. Přestože je proces výroby křemíkového monokrystalu optimalizován pro minimalizaci přítomnosti nečistot, malé množství kyslíku, a ještě menší množství uhlíku se mohou v monokrystalu i přesto objevit (Screen, 2024).

Pokud ingot splňuje všechny stanovené požadavky, je možné přistoupit k další fázi výrobního procesu. Následuje precizní úprava ingotu do válcovitého tvaru s definovaným průměrem (v současnosti obvykle 300 mm) a vytvoření primární a sekundární fasety, které označují typ vodivosti (P nebo N) a krystalografickou orientaci křemíkové mřížky vzhledem k povrchu budoucího čipu. Tyto fasety nejsou vytvářeny náhodně, ale jsou orientovány radiálně, kolmo na osu krystalické mřížky. Pro určení přesné orientace mřížky se používá metoda rentgenové difrakce (Šulc, 2012).

Dalším krokem je rozřezání ingotu na tenké disky, známé jako wafery, které mají tloušťku v řádech stovek mikrometrů. Tyto wafery slouží jako základ pro výrobu integrovaných obvodů. Aby se při řezání minimalizovala ztráta materiálu, používá se k chlazení řezného nástroje voda s čistícími přísadami. Řezané wafery mají ostré okraje, které je nutné zaoblit brusným procesem, což zvyšuje jejich pevnost a snižuje náchylnost k lámání při dalším zpracování. Wafer se umísťuje na pomalu rotující podložku a k jeho okraji je přiložen rychle rotující brusný disk s diamantovým práškem v drážce, čímž dochází k zaoblení okrajů (tamtéž).

OBRÁZEK 5: KŘEMÍKOVÝ WAFER



Zdroj: (WaferWorld, 2018)

1.5.4 Proces lapování

Porušení struktury křemíku na povrchu waferů v důsledku řezání je nutné odstranit, aby bylo možné zahájit výrobu procesorů a dalších integrovaných obvodů. Začíná se s čištěním a leštěním waferů procesem lapování. Do držáků se vloží monokrystalové disky, které se spolu s držáky ponoří do brusného roztoku obsahujícího oxid hlinitý, vodu a čisticí. K oběma stranám waferů se přitlačí litinové lapovací kotouče, které po nich kloužou a vyhlazují povrch (Onsemi, 2024).

I přes efektivní vyrovnání povrchu lapováním zůstávají na waferu drobné defekty, které je třeba odstranit. K tomuto účelu se využívá chemické leptání, jež dokáže defekty eliminovat bez vytváření zbrusu nových. Při práci s waferem obsahujícími vysoké množství příměsí je důležité též chránit jejich zadní stranu, aby nedošlo k úniku nečistot, což by mohlo změnit elektrické vlastnosti materiálu. Na zadní stranu waferu se aplikuje silan (SiH_4), který při expozici vysokým teplotám reaguje, a na povrchu disku vytváří tenkou vrstvu oxidu křemičitého (SiO_2), čímž se zabrání průniku příměsí z waferu (Šulc, 2012).

I když se může zdát, že po procesu lapování a leptání je povrch silikonových disků dostatečně hladký, ve skutečnosti je nutné jej ještě více vyrovnat a zjemnit procesem leštění. Během leštění se disky, pevně přichycené k podložce, otáčejí nad leštícím diskem s podložkou. Mezera mezi disky a leštící podložkou je vyplněna vodní směsí obsahující částice křemičitého oxidu a čisticí přísady. Tento proces, známý jako chemicko-mechanické planarizace zajišťuje, že povrch disku je vypořádán do vysokého lesku (Onsemi, 2024).

Přesto na povrchu leštěného disku zůstávají nečistoty, které musí být odstraněny sérií chemických čistících postupů. Tyto postupy zahrnují použití zvuku o frekvenci přibližně 1 MHz k uvolnění nečistot. Prvním krokem čištění je použití směsi sírové kyseliny a peroxidu vodíku k odstranění organických látek. Následuje aplikace kyseliny fluorovodíkové, která odstraní nanesené oxidy a zbytky z leštícího roztoku. Další krok zahrnuje použití směsi hydroxidu amonného a peroxidu vodíku, která odstraní prach a brání jeho znovusazování. Závěrečné čištění prováděné směsí kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku odstraňuje z povrchu disku kovové částice (Šulc, 2012).

Před zahájením výroby samotných polovodičových zařízení je nezbytné provést kontrolu připravených disků. Tyto kontroly se provádějí bezdotykově a zahrnují měření elektrických charakteristik, jako je odpor, a mechanických vlastností, včetně deformace disků nebo jejich tloušťky a homogenity. Vzhledem k tomu, že po měřeních mohou na disku přetrvávat nečistoty, je provedeno finální čištění, při kterém se disky oplachují roztokem hydroxidu amonného a jsou mechanicky čištěny pomocí jemných kartáčů z polyvinylalkoholu. Po tomto čištění a následné optické inspekci jsou disky připraveny k dalšímu balení a přepravě do výrobních zařízení, kde se z nich stanou hotové polovodičové komponenty (Screen, 2024).

1.5.5 Fotolitografie

Výrobní proces IO je složitý a skládá se z mnoha dílčích procesů, ve kterých hraje klíčovou roli technika zvaná fotolitografie. Ačkoli je tato metoda jen jednou z mnoha, je nezbytná pro vytváření přesných vzorů na polovodičových waferech. Fotolitografie umožňuje aplikaci masek, které definují oblasti pro další výrobní procesy, jako je difuze či iontová implantace. Tento proces je rozdělen do osmi základních fází (Farky, 2021).

Začíná se chemickou a fyzikální přípravou povrchu waferu, což zahrnuje jeho čištění a úpravu pro zlepšení adheze fotorezistu, což je světlocitlivý materiál, který mění své vlastnosti pod vlivem světla. Fotorezist může být buď pozitivní, kde světlo způsobuje jeho rozklad, nebo negativní, kde světlo způsobuje jeho ztvrdnutí (Onsemi, 2024).

Dalším krokem je aplikace fotorezistu na wafer. Tento proces začíná umístěním waferu na speciální podstavec a aplikací fotorezistu ve formě kapalných kapek. Poté se podstavec roztočí, aby se fotorezist rovnoměrně rozšířil po celé ploše waferu. Nadbytečný materiál je odstraněn a solvent se z fotorezistu rychle odpaří, což vede k jeho částečnému vytvrzení. Následuje proces sušení fotorezistu na vyhřívané plotně, během kterého se materiál zcela vytvrdí. Tento krok zajišťuje, že fotorezist je aplikován na obě strany waferu pro celkovou ochranu (tamtéž).

Čtvrtým krokem je samotná expozice, při které se wafer osvětluje skrze masku s předem definovaným vzorem. Tento proces vyžaduje vysokou přesnost a moderní techniky, jako je použití čoček pro zmenšení vzoru masky na požadovanou velikost na waferu. Po expozici je nutné fotorezist znovu vysušit a vytvrdit. Následuje vyvolání expozicí změněného fotorezistu, jeho další sušení a pečlivá kontrola pod mikroskopem. Kontroluje se nejen přesnost a ostrost vzoru, ale i správné umístění masky vůči waferu, což je zajištěno pomocí značek (Pánek, 2021).

Pokud je vzor bez chyb, může se pokračovat v dalším výrobním procesu, například v leptání oxidu na místech nechráněných fotorezistem. Fotorezist zde v tomto případě slouží jako ochranná vrstva. Pro spojení jednotlivých součástek ve funkční celek je pak potřeba vytvořit vodivou síť. To vyžaduje další procesy, včetně napaření kovu (například mědi místo tradičního hliníku) na povrch waferu, vytvoření ochranné vrstvy fotorezistu pro kontakty, leptání nechráněných oblastí a odstranění zbývajícího fotorezistu (Screen, 2024).

Tyto postupy se opakují pro vytvoření různých součástek na waferu, které jsou nakonec propojeny do funkčního integrovaného obvodu.

1.5.6 Testování hotových čipů

Vzhledem k tomu, že výroba polovodičových zařízení je nákladná a technicky náročná, navíc jakékoliv vady výrobku jsou neopravitelné, klade se velký důraz na prevenci chyb již v průběhu výrobního procesu. Jedním z přístupů, jak odhalit potenciální problémy, je použití optické reflektometrie. Tato metoda, založená na principu odrazu světelných paprsků od povrchu křemíkového waferu, umožňuje měření různých parametrů, jako je tloušťka izolačních vrstev tranzistorů nebo vrstvy fotorezistu. Pokud se v průběhu tohoto testování objeví příliš mnoho defektů, je dotčený wafer vyřazen z dalšího zpracování (Šulc, 2015).

I přes důkladné testování během výrobního procesu probíhá nejintenzivnější a nejdetailnější kontrola až po dokončení finálních výrobních kroků, kdy je wafer plně vybaven a připraven k testování. Pro tento účel se používají speciální testovací zařízení, upravená pro typy vyráběných zařízení, kde operátoři využívají sadu testovacích hrotů pro ověření funkčnosti každého jednotlivého čipu na waferu. Výsledky testů a specifikace každého čipu jsou pečlivě dokumentovány, což umožňuje následné určení tržní pozice a parametrů prodeje daného čipu (Onsemi, 2024).

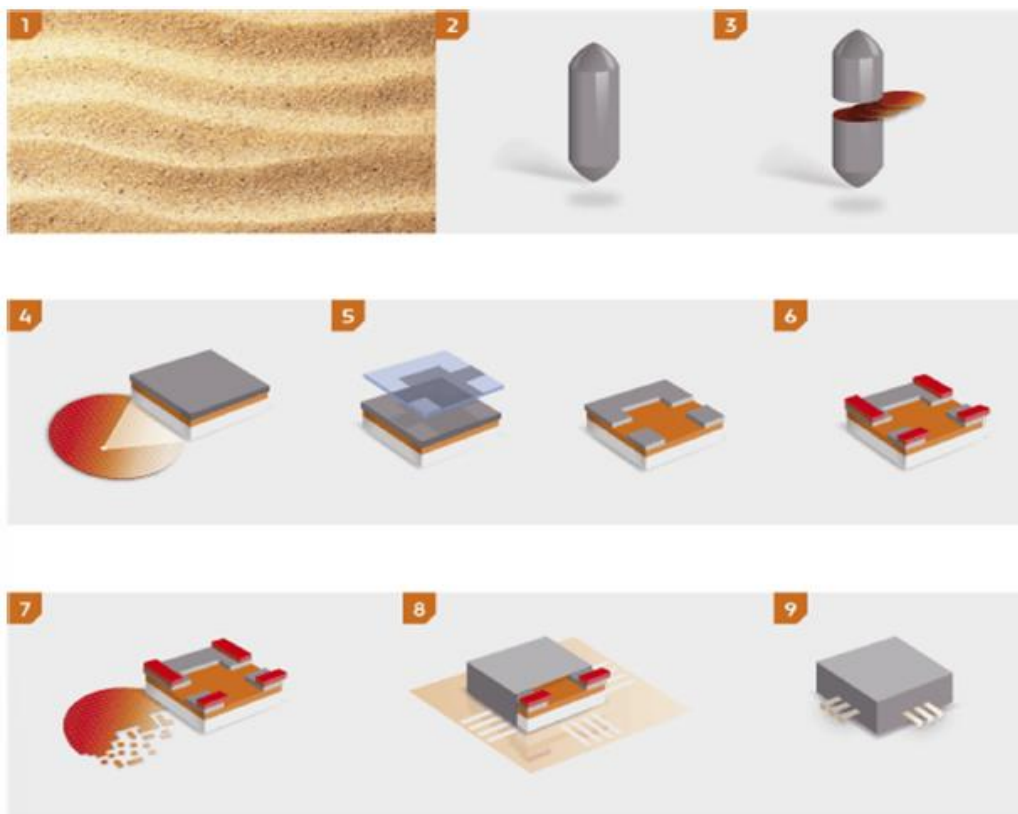
Nalezení nedokonalostí během testovací fáze neznamena automatickou diskvalifikaci čipu pro další použití. Výrobci se snaží maximalizovat využití každého čipu a pokud to situace dovoluje, zařazují částečně funkční čipy do nižších produktových řad. To je běžnou praxí například u grafických karet, kde vyšší modely obsahují plně funkční jádra, zatímco nižší modely mohou

využívat jádra s menšími defekty. Z opačného hlediska v některých případech se dokonce stalo, že i produkt s plně funkčním jádrem byl zpočátku z trhu vynechán a byl uveden až po optimalizaci výrobního procesu a zlepšení výnosů, tak aby se výroba společnosti vyplatila (Šulc, 2015).

Po úspěšném testování a hodnocení kvality čipů je wafer připraven na další fázi, která zahrnuje jeho dělení na jednotlivé čipy. Tento proces zahrnuje připevnění waferu na speciální lepící podložku v kovovém rámu, což zajišťuje, že křehké čipy zůstanou po rozdělení waferu na jednotlivé kusy neporušené (Pánek, 2021).

Výroba polovodičových čipů je jedním z nejsložitějších výrobních procesů, vyžadující přesnost, pokročilé technologie a vysoce specializovaný personál. Proces výroby se odehrává v prostředí tzv. čistých místností a vyžaduje široké spektrum sofistikovaných strojů a materiálů. Uvedený popis je zjednodušeným přehledem klíčových kroků pro lepší pochopení komplexního procesu výroby čipů.

OBRÁZEK 6: CHRONOLOGICKÉ USPOŘÁDÁNÍ FÁZÍ VÝROBY ČIPŮ



Zdroj: (ASM, 2018)

1.6 Recyklace a znovuvyžití polovodičů

V současné době se svět potýká s narůstajícím problémem správy a recyklace elektronického odpadu (e-odpadu), který obsahuje cenné materiály, včetně drahých kovů jako zlato, stříbro, platina a měď. Tyto materiály jsou klíčové pro funkčnost a výkonnost moderních elektronických zařízení, včetně počítačů, chytrých telefonů a zvukových systémů. Zlato, vzhledem ke svým nekorozičním vlastnostem a vynikající vodivosti, představuje zvláště významnou složku v integrovaných obvodech a mikročipech, kde slouží jako spolehlivý vodič elektrického proudu (Zhan, 2020).

Recyklace drahých kovů z e-odpadu je proces, který má dvojitý přínos: snižuje potřebu těžby nových surovin a zároveň přispívá k ochraně životního prostředí tím, že snižuje množství odpadu určeného k likvidaci. Nicméně proces recyklace s sebou přináší výzvy spojené s použitím silných chemikálií a potenciálně toxických látek, které mohou mít negativní dopad na zdraví lidí a na životní prostředí (Elektro, 2005).

Navzdory ekonomickému a environmentálnímu přínosu recyklace drahých kovů z e-odpadu čelí praktická realizace těchto procesů technickým, ekonomickým a regulačním bariérám. Náklady na shromažďování, přepravu a zpracování e-odpadu mohou být vysoké, a často převyšují přímé finanční výnosy získané z recyklovaných materiálů. Kromě toho, nebezpečí spojená s manipulací s toxickými chemikáliemi vyžadují přísná bezpečnostní opatření a specializované zařízení, což dále zvyšuje náklady a komplikuje procesy recyklace (Barron, 2021).

V této souvislosti se zvyšuje důležitost inovací a výzkumu v oblasti za účelem ekologičtějších a účinnějších metod recyklace e-odpadu. Vývoj nových technologií, které minimalizují použití nebezpečných chemikálií a zvyšují výtěžnost cenných materiálů je klíčem k zajištění udržitelného a ekonomicky efektivního modelu recyklace e-odpadu. Dále je zásadní zlepšit systémy sběru a třídění e-odpadu, aby bylo možné efektivně oddělit materiály vhodné k recyklaci (Forti, 2020).

Zprávy, jako například zpráva OSN, upozorňují na obrovský ekonomický a environmentální potenciál recyklace drahých kovů z e-odpadu. Zároveň však poukazují na potřebu globálních opatření pro zlepšení správy e-odpadu a zvýšení míry recyklace (Crace, 2020). Je zřejmé, že výzvy spojené s recyklací e-odpadu vyžadují koordinovanou reakci, která zahrnuje vlády, průmysl, vědeckou komunitu i veřejnost, aby se zvýšilo povědomí, podporovaly inovace a implementovaly udržitelné postupy v oblasti recyklace e-odpadu (Zhan, 2020).

Recyklace drahých kovů z elektronického odpadu představuje významnou příležitost pro snížení environmentálního dopadu moderních technologií, zajištění udržitelného zdroje cenných materiálů a podporu cirkulární ekonomiky. Ačkoliv proces recyklace přináší řadu výzev, pokračující výzkum a inovace v oblasti technologií recyklace a zpracování materiálů mohou přinést řešení, která umožní efektivnější a bezpečnější způsoby získávání a využívání těchto cenných zdrojů (Forti, 2020).

1.7 Další vývoj a inovace v odvětví

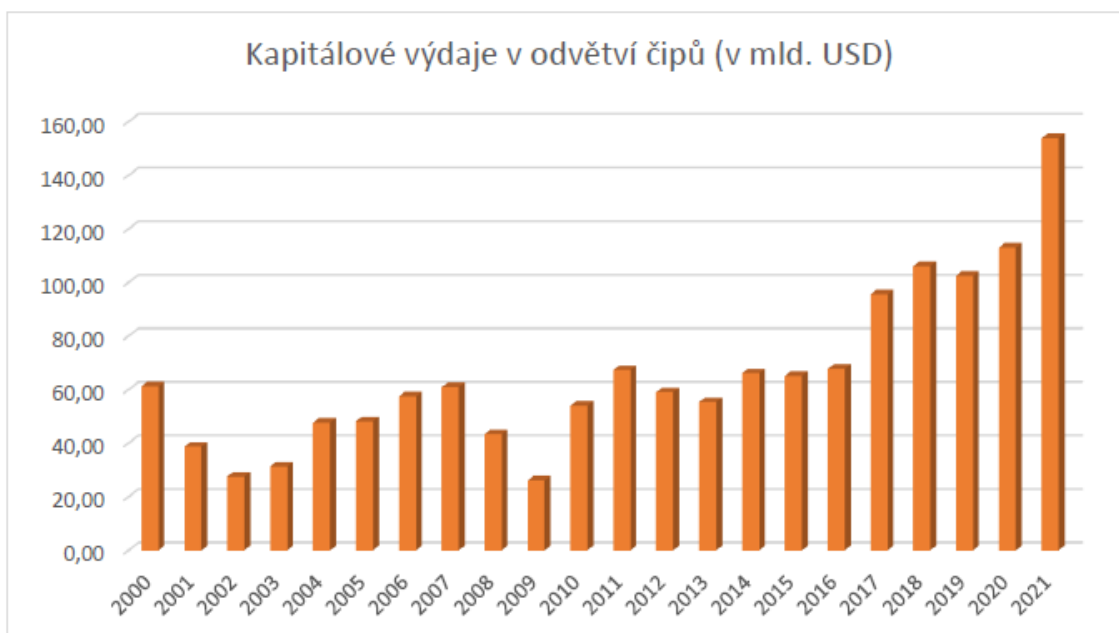
V oblasti výroby polovodičů se jako měřítko úspěchu často uvádí takzvaný Mooreův zákon, pojmenovaný po Gordonu Moorovi, spoluzakladateli společnosti Intel, který v 60. letech minulého století předpověděl, že kapacita polovodičových čipů se zhruba každých 24 měsíců zdvojnásobí, přičemž se současně se také zároveň snižují i náklady na jejich výrobu. Tento princip umožnil exponenciální růst v oblasti počítačové technologie během druhé poloviny 20. století a na začátku 21. století a vyžaduje od čipových firem neustálé investice do vývoje nových, pokročilejších technologií (Shipp, 2012).

Zmenšování technologických cyklů a zvyšování náročnosti na design čipů vedou k prodloužení časového horizontu mezi uvedením jednotlivých generací čipové technologie. Přestože se tyto výzvy zdají být stále obtížnější, přední výrobci polovodičů, jako je Intel, se nevzdávají a stále se drží zásad Moorova zákona, což vede k intenzivní konkurenci v tomto odvětví. Jakékoli zpomalení inovačního tempa by mohlo znamenat ztrátu vedoucí pozice na trhu (Intel, 2024).

Průmysl polovodičů patří mezi odvětví s nejvyššími náklady na výzkum a vývoj. Již v roce 1993 byly v USA výdaje na výzkum a vývoj v polovodičovém průmyslu, vyjádřené jako procento z tržeb, vyšší než ve farmaceutickém průmyslu, IT sektoru, automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu nebo chemickém průmyslu. S rostoucí složitostí technologií stoupají i náklady na výzkum a vývoj, které dosahují miliard dolarů ročně. Podle dat Americké asociace výrobců polovodičů (SIA) činily průměrné roční výdaje čipových společností na výzkum a vývoj celosvětově 13,7 % z jejich celkových tržeb, přičemž v USA dosahuje tento podíl 18,6 %, což je dáno vyšším počtem společností, které se specializují na design čipů, a ne na jejich výrobu (Semiconductor industry association, 2021).

Studie (Shipp, 2012) poukazuje na strmý nárůst nákladů na výzkum a vývoj v odvětví polovodičů s každou novou generací technologie. Mezi lety 1985 a 2010 se tyto náklady zvýšily z 100 milionů USD na 5 miliard USD ročně.

GRAF 4: OBJEM INVESTIC DO SEKTORU POLOVODIČŮ



Zdroj: zpracováno dle dat (IC Insights, 2022)

Grafické znázornění vyobrazené výše ukazuje, že celkové kapitálové výdaje v polovodičovém odvětví na celosvětové úrovni vzrostly mezi lety 2000 a 2020 z 61,3 miliardy USD na 113,1 miliardy USD. V roce 2021 dosáhly tyto náklady výše 153,9 miliardy USD. Z grafu je zřejmé, že největší nárůst kapitálových výdajů přišel po roce 2016, což odráží rostoucí technologický pokrok a zvýšenou poptávku po polovodičových produktech. Vyskytly se i období poklesů kapitálových výdajů, které odpovídají obecným globálním ekonomickým recesím.

2 Globální nedostatek čipů

V první kapitole této práce byly polovodiče charakterizováni jako klíčový materiál pro 21. století. Druhá polovina teoretické části se zaměřuje na představení důsledků, které vedly k nedostatku čipů ovlivňujícího světovou ekonomiku od roku 2020. Obsahem kapitoly je nejprve představení specifik odvětví polovodičů, následuje dynamika poptávky v čipovém průmyslu, význam automobilového sektoru a především vliv geopolitických aspektů přispívající k současné krizi v oblasti čipů.

2.1 Definice a specifika polovodičového průmyslu jako celku

Polovodičové technologie jsou klíčovým pilířem pro napájení široké škály pokročilých digitálních aplikací, které se staly nedílnou součástí každodenního života. Očekává se, že růst globálního polovodičového sektoru bude i nadále dynamický, podpořený zejména rozvojem a implementací nových technologií jako jsou autonomní vozidla, umělá inteligence (AI), 5G technologie či Internetem věcí (IoT). Tento růst bude také stimulován stálými investicemi do výzkumu a vývoje a soutěží mezi předními společnostmi v oboru (Chen, 2019).

Region Východní Asie, zahrnující Čínu, Japonsko, Jižní Koreu a Tchaj-wan, je domovem některých z největších světových výrobců polovodičů. Tento region se vyprofiloval jako centrum polovodičového průmyslu díky své rychle se rozvíjející ekonomice, expanzi mobilních technologií a nárůstu využívání cloudových služeb. Čína se zvláště vymezuje téměř polovičním podílem na celkové tržní hodnotě tohoto sektoru, přičemž poptávka je rozdělena mezi domácí trh a mezinárodní zákazníky, včetně předních světových ODM (Original Design Manufacturers) a výrobců jako je TSMC z Tchaj-wanu. Současně Čína usiluje o vytvoření nezávislého a dominantního polovodičového průmyslu. Japonsko se naopak specializuje na dodávky materiálů pro polovodiče, sofistikované výrobní technologie a specializované polovodiče, zatímco Jižní Korea má vedoucí postavení na trhu s DRAM paměťmi s vysokou propustností (HBM) (Wigan, 2023).

V poslední době dosáhly aktivity spojené s fúzeми a akvizicemi v polovodičovém průmyslu svého vrcholu, přičemž zvláště při zaměření na specializované segmenty trhu se poukazuje na změnu strategie společností podnikajících v tomto odvětví. Japonsko a Jižní Korea hledají revitalizaci svého průmyslu prostřednictvím strategických akvizic, zatímco probíhající obchodní napětí a spory o duševní vlastnictví omezují čínské ambice v globální expanzi. Přestože růstová trajektorie polovodičového sektoru začíná vykazovat známky zpomalení v důsledku nasycení trhu spotřební elektronikou, nové segmenty, jako je automobilový průmysl a aplikace umělé inteligence, nabízí četné příležitosti pro rozvoj (Chen, 2019).

V oblasti umělé inteligence dochází k intenzivnímu soutěžení nejen na úrovni aplikací, ale i na úrovni vývoje čipů, kde se různé architektury snaží o dominanci. Cloud computing představuje největší trh pro AI čipy, kde jejich implementace v datacentrech neustále roste, což umožňuje zvyšování efektivity a snižování nákladů na provoz (tamtéž).

Pro mezinárodní polovodičové společnosti se stala Čína klíčovým zdrojem příjmů, přičemž mnohé z nich získávají více než polovinu svých příjmů právě z tohoto trhu. Při vstupu na čínský trh by měly nadnárodní společnosti zvážit řadu faktorů včetně místních politik, technologických trendů, marketingových strategií, logistiky a celkové globální strategie, aby si zajistily úspěšnou a efektivní penetraci na tento rozsáhlý trh (Chen, 2019).

Wigan (2023) definuje polovodičový sektor jako soubor korporací zaměřených na návrh a produkci polovodičových komponent, jako jsou integrované obvody, které jsou základem moderní elektroniky. Hlavní aktéři v tomto globálním průmyslu pocházejí především ze Spojených států amerických, Tchaj-wanu, Jižní Koreje, Japonska a Nizozemska. Jednou z charakteristik tohoto odvětví je jeho stálý, avšak cyklický růst s přítomnou vysokou mírou tržní volatility. Průměrný roční růst polovodičového průmyslu za posledních dvacet let dosahuje přibližně 13 %, což je spojeno s výraznou tržní nestabilitou, vedoucí k obdobím intenzivních cyklických oscilací. Tento fenomén vyžaduje od firem vysokou úroveň adaptability a inovační schopnosti, aby mohly úspěšně reagovat na rychlé změny tržních podmínek, zejména vzhledem k faktu, že životní cyklus mnoha polovodičových produktů bývá velmi krátký (tamtéž).

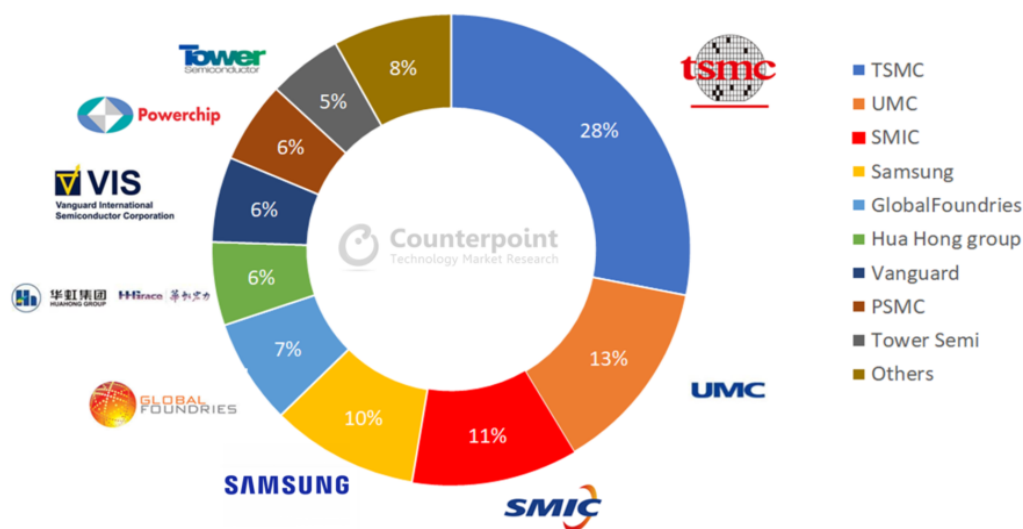
V období před pandemií COVID-19 si málokdo uvědomoval zásadní význam pevného dodavatelského řetězce polovodičů pro naši digitalizovanou společnost. S nástupem pandemie a následným zvýšením poptávky po digitálních technologiích a produktech, stejně jako s oživením ekonomiky, se však polovodiče staly středem pozornosti. Komplexní procesy, které stojí za globálním dodavatelským řetězcem polovodičů, jsou základním pilířem fungování současného světa.

Díky polovodičům mohou miliony digitálních zařízení, od smartphonů přes elektrická vozidla, počítače až po robotické systémy, vykonávat své funkce. Odhady uvádějí, že globální digitální ekonomika představuje až 22,5 % celosvětového hrubého domácího produktu (HDP), což podtrhuje klíčovou roli polovodičových technologií ve světové ekonomice (Wigan, 2023).

2.2 Monopolizace odvětví

Od 90. let minulého století se v sektoru výroby polovodičových čipů odehrává zásadní proměna, která je reakcí na narůstající provozní náklady. Tento proces lze charakterizovat dvěma hlavními vývojovými směry. Prvním z nich je proces koncentrace tržní moci v rámci odvětví. Analýza tržních podílů ukazuje, že zatímco v roce 2010 bylo dvacet největších společností odpovědných za zhruba 70 % celosvětových tržeb v tomto segmentu, do roku 2021 se tento podíl soustředil mezi pouhých pět společností, což dokládá grafické znázornění vyobrazené na grafu 5 přiloženém níže.

GRAF 5: NEJVĚTŠÍ SPOLEČNOSTI DLE PODÍLU NA TRHU



Zdroj: (Gai, 2021)

Druhý vývojový směr představuje oddělení procesu návrhu čipů od jejich vlastní výroby. V druhé polovině 80. let 20. století začali američtí výrobci čipů delegovat výrobní činnosti do zemí jihovýchodní Asie, kde v spolupráci s místními vládami podpořili zřízení specializovaných výrobních závodů, tzv. foundries. Tyto výrobní závody následně postupně přebíraly rostoucí podíl výrobních kapacit, což je trend, který pokračoval i v uplynulém desetiletí. Tento jev však není omezen pouze na outsourcing, neboť i americké firmy se částí své produkce nacházejí mimo území Spojených států. V roce 2020 bylo 43 % polovodičových disků, používaných v procesu výroby čipů, vyrobeno v USA, zatímco v roce 2013 tento podíl dosahoval 57 % (IC Insights, 2022).

Ve sféře polovodičového průmyslu lze pozorovat stále zvyšující se tendence k monopolizaci či oligopolizaci. Tržní podíly jsou stále více koncentrovány v rukou omezeného počtu společností, což je výsledkem dlouhodobého vývoje. Klíčovými faktory této situace jsou narůstající náklady a požadavky nezbytné pro udržení konkurenceschopnosti v tomto odvětví. Tento fenomén je nejvýraznější v segmentu výroby polovodičových čipů, kde dominuje právě tchajwanský výrobce TSMC.

Monopolní postavení čipových firem se negativně projevuje i na flexibilitě odvětví, jelikož dodavatelé čipů mohou díky svému dominantnímu postavení na trhu jednat více ve vlastním zájmu (tedy upřednostňovat nejlukrativnější nabídky a omezovat vlastní rizika) a méně dle požadavků tržní poptávky (Miller, 2023).

2.3 Rozdělení v hodnotovém řetězci

Odvětví polovodičů lze charakterizovat rozdělením na tři základní kategorie podniků, které se liší svým umístěním v hodnotovém řetězci. První jsou tzv. fabless společnosti, jejichž specializací je vývoj, design a distribuce polovodičových čipů, přičemž produkční procesy jsou přenechány externím subjektům. Tyto společnosti také externalizují další činnosti spojené s hodnotovým řetězcem, jako jsou montáž, balení a testování čipů. Na druhém místě stojí foundries, které představují výrobní závody specializující se výhradně na produkci čipů a třetí skupinu tvoří tzv. IDM společnosti, neboli výrobci integrovaných zařízení, kteří se zabývají celým procesem od návrhu přes výrobu až po prodej čipů (SIA, 2021).

Pro hlubší pochopení struktury a geografického rozložení polovodičového průmyslu je možné analyzovat hodnotový řetězec tohoto sektoru, po rozdělení do několika etap. Toto rozdělení odpovídá struktuře popsané v předchozí části práce věnované výrobě polovodičů (kapitola 1.5), kde je hodnotový řetězec rozčleněn do tří hlavních fází.

2.3.1 Design

První fáze hodnotového řetězce je zaměřena na design čipů, což zahrnuje definici fyzické struktury čipu a výběr nezbytných elektronických komponent pro jeho výrobu. Tato etapa vyžaduje rozsáhlé znalosti, odborné dovednosti a expertizu. Z geopolitické perspektivy v této fázi dominují Spojené státy, kde místní firmy v roce 2019 držely více než 60% podíl na trhu v oblasti designu čipů. Přispívá k tomu i fakt, že design čipů je závislý na specializovaném softwaru vyvíjeném třemi předními společnostmi (Cadence, Synopsy a Mentor), které mají své sídlo v USA. Podobně významné tržní podíly v designu čipů mají Čína a Tchaj-wan, zatímco evropské společnosti a Jižní Korea drží podíl v řádu jednotek procent (Wolff, 2021).

Z hlediska podílu na trhu je zřejmé, že se fáze designu čipů týká jak fabless, tak IDM společností. Od 90. let 20. století roste podíl fabless společností v polovodičovém sektoru, přičemž

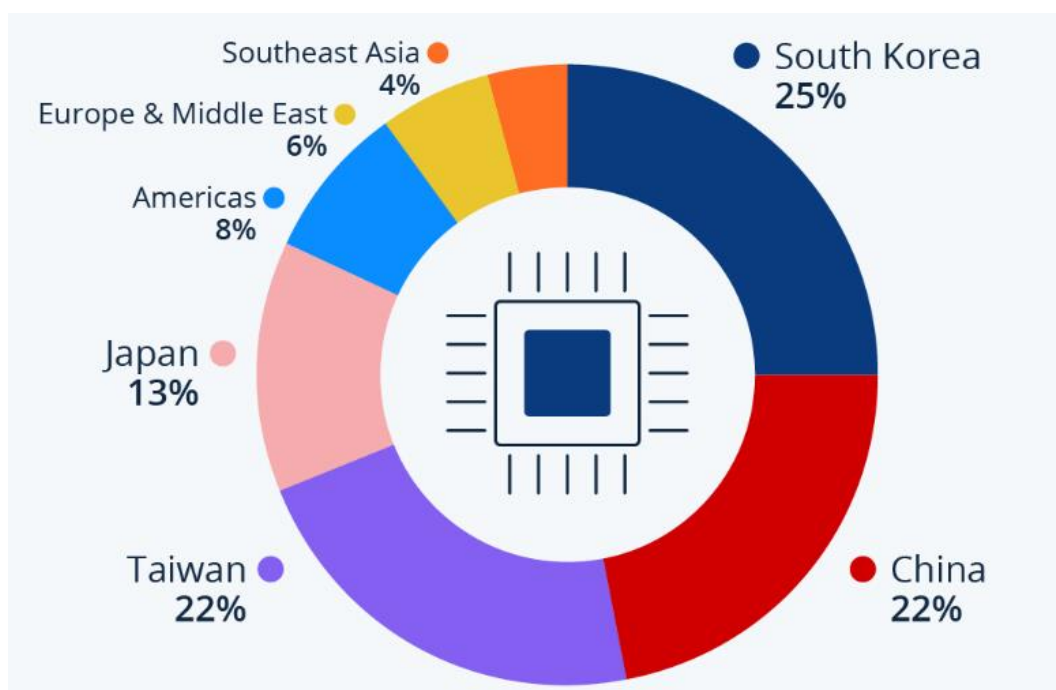
asi 60 % z nich je umístěno v USA. Na druhé straně, tržní podíl IDM společností postupně klesá v důsledku vysokých nároků tohoto obchodního modelu (tamtéž).

2.3.2 Výroba

Druhá fáze v hodnotovém řetězci v sektoru polovodičů je zaměřena na výrobu čipů. Tento proces je podrobně rozebraný v podkapitole 1.5. Zapojení do této fáze vyžaduje značné kapitálové investice, schopnost získat vysoce kvalifikované pracovníky a zároveň zajištění zakázek od firem, které se věnují designu čipů. Pro ilustraci, investice do výstavby jedné továrny na polovodiče mohou dosahovat až 20 miliard dolarů, přičemž cena zařízení nezbytných pro výrobu nejpokročilejších čipů může přesáhnout 100 milionů dolarů za jednotku (Šulc, 2015).

V současné době je výrobní proces čipů nejvíce centralizovaným segmentem hodnotového řetězce. V důsledku přesunutí výroby čipů amerických společností do zahraničí od 90. let minulého století bylo v roce 2021 vyprodukováno 75 % světových čipů v jihovýchodní Asii, zejména na Tchaj-wanu a v Jižní Koreji, zatímco menší část produkce méně sofistikovaných čipů pochází z Číny. V USA, kde se v roce 1990 vyrábělo 37 % světových čipů, klesl tento podíl do roku 2023 na pouhých 8 % (Zandt, 2023).

GRAF 6: GEOGRAFICKÉ ROZLOŽENÍ SVĚTOVÉ VÝROBNÍ KAPACITY POLOVODIČŮ



Zdroj: (Zandt, 2023)

Západní evropské země drží menší podíl výroby čipů, a to především prostřednictvím IDM společností, jako jsou německý výrobce čipů pro automobilový průmysl Infineon Technologies nebo nizozemský NXP Semiconductors. Tyto firmy rovněž umisťují část svých výrobních kapacit mimo Evropu (Wolff, 2021).

V prvním čtvrtletí roku 2021 tvořily tchajwanské společnosti přibližně 63 % světových příjmů z externí výroby čipů, přičemž TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company), tchajwanský lídr v tomto oboru, generoval 54 % těchto příjmů, to dokládá dominantní postavení Tchaj-wanu, který se podílí na celkových příjmech 63 %. Dalším významným hráčem je

jihokorejský Samsung s přibližně 17 % světových tržeb za výrobní zakázky čipů. Nejnovější generace čipů s velikostí menší než 10 nanometrů se vyrábí převážně v jihovýchodní Asii, kde TSMC produkuje 92 % těchto pokročilých čipů a zbytek vyrábí Samsung. TSMC také zajišťuje výrobu až 60 % méně sofistikovaných čipů, které jsou nezbytné pro výrobce automobilů (Yang, 2021).

Z geografického hlediska a z pohledu hodnotového řetězce je většina výroby čipů koncentrována v asijských zemích. To je to důsledkem vyšších příjmů z prodeje pokročilých generací čipů, které se v současné době vyrábějí převážně v Asii a také skutečnosti, že i evropští a američtí výrobci čipů mají část svých továren umístěnou v tomto regionu. Pohled na rozdělení výroby čipů se mění, když se zaměříme na objem vyrobených čipů (a ne na tržby ani na přidanou hodnotu), kde 80 % celosvětové produkce připadá na IDM společnosti, jejichž sídla jsou umístěna převážně v Evropě a USA. Tyto společnosti produkují velké množství levných čipů masové výroby, které však nejsou hlavním přínosem hodnotového řetězce. Právě tyto čipy však byly při nedávné krizi nedostatkovým zbožím (Zandt, 2023).

2.3.3 Montáž

Třetí fáze v procesu hodnotového řetězce polovodičů je montáž čipů, která je považována za technologicky méně náročnou část s relativně nízkými ziskovými maržemi ale zároveň s vysokou závislostí na lidských zdrojích. Z geografického hlediska největší část montážních operací připadá opět na státy jižní a jihovýchodní Asie, zejména na Tchaj-wan, Čínu, ale třeba i na Japonsko, Jižní Koreu a Malajsi, což mělo v roce 2021 vliv na dodávky čipů (viz následující podkapitoly). V menší míře se tato fáze vyskytuje také v USA (Wolff, 2021).

Pokud se zaměříme na rozdělení tržeb v polovodičovém sektoru, americké firmy historicky i v současnosti dominují s podílem 47 % na celosvětových tržbách v roce 2020. Významný podíl na tržbách drží také jižně korejské společnosti s 20 %, zatímco regiony Evropy a Japonska se podílejí každý deseti procenty. Tchajwanské firmy, v čele s TSMC, zauímají 7 % trhu a Čína 5 % (SIA, 2021).

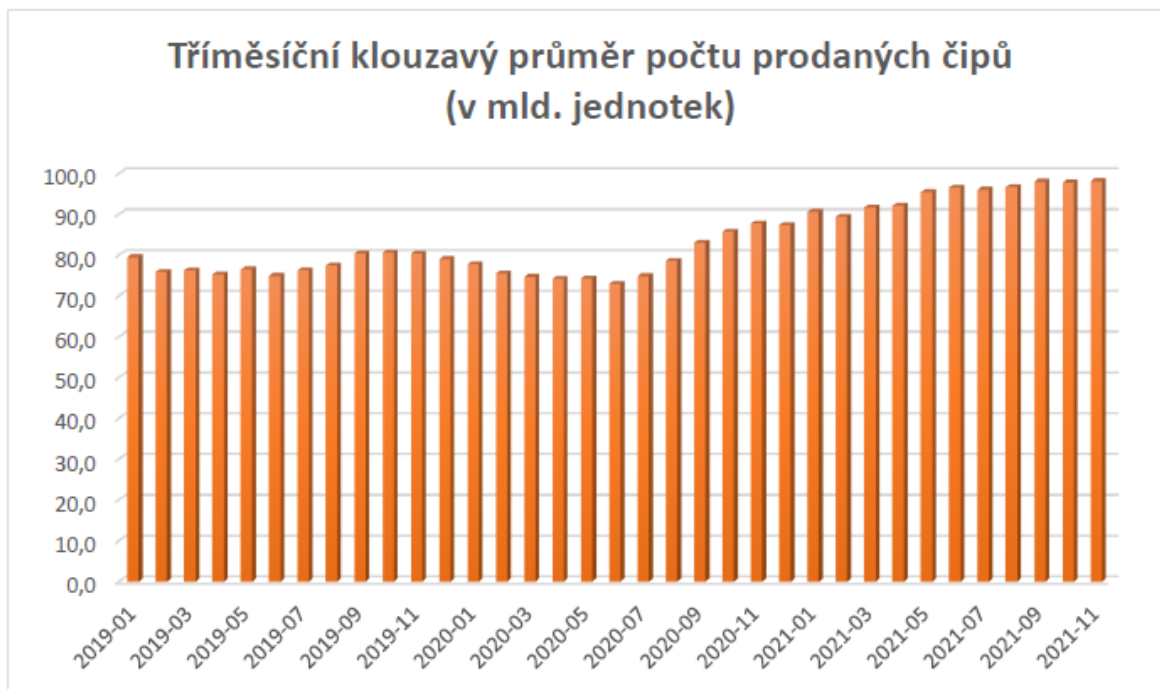
Dominance USA v tržbách se udržuje díky jejich přední pozici v oblasti výzkumu a vývoje polovodičů. Asijské společnosti, ačkoliv mají též značný podíl na tržbách, jsou více zaměřeny na méně ziskové výrobní procesy, včetně finální montáže a balení čipů. Evropské IDM společnosti, které se podílejí na návrhu i výrobě čipů, v porovnání s americkými firmami nejsou na špici technologického vývoje a obvykle se spíše soustředí na výrobu technologicky méně komplexních čipů (Wolff, 2021).

2.4 Vývoj poptávky po polovodičích

Cílem této podkapitoly je analyzovat poptávku v sektoru polovodičů a posoudit, jak její vývoj a trendové výkyvy ovlivňují stávající disproporce na trhu. Věnuje se jak krátkodobým, tak i dlouhodobým pohybům v poptávce po polovodičových komponentech. Klíčovým bodem je rovněž průzkum složení zákazníků v tomto odvětví a vývoj jejich poptávky po výrobcích, přičemž zvláštní pozornost je věnována období, které následovalo po vypuknutí pandemie.

Analýza celosvětové poptávky o polovodiče může být provedena skrze pozorování trendů v prodeji těchto komponent v určitých časových intervalech. Přiložený graf 7 na další stránce ilustruje vývoj tohoto ukazatele v letech 2019 až 2021. Jedná se tak o období, které předcházelo a také zasáhlo do éry globálního nedostatku čipů.

GRAF 7: TŘÍMĚSÍČNÍ KLOUZAVÝ PRŮMĚR PRODANÝCH POLOVODIČŮ



Zdroj: (SIA, 2022)

Z grafu lze vyčíst, že v reakci na počáteční fázi pandemie Covid-19 v roce 2020 došlo k poklesu poptávky po čipových výrobcích. Nicméně, od tohoto bodu poptávka vykazuje tendenci k postupnému a relativně konstantnímu nárůstu. Tento vzestupný trend se stal zřetelnějším na konci roku 2020 a udržel se i během roku 2021. Růst v prodeji čipových jednotek mezi listopadem 2019 a 2020 dosáhl 9 % a mezi listopadem 2020 a 2021 se růstové tempo zvýšilo na 12 %. K listopadu 2021 prodej polovodičů překročil hodnotu 1,05 miliardy USD, čímž přepsal historický roční rekord.

John Neuffer, generální ředitel a prezident Sdružení polovodičového průmyslu (SIA), ve své zprávě uvedl: „Globální příjmy z polovodičů v listopadu zůstávají vysoké, s významným ročním nárůstem napříč všemi regiony a kategoriemi polovodičových produktů.“ Doplnil, že s blížícím se koncem roku a očekáváním úplných dat za rok 2021 polovodičový sektor již stanovil nový roční rekord v celkových tržbách a objemu prodeje, díky značnému zvýšení výrobních kapacit v reakci na silnou tržní poptávku (SemiMedia, 2024).

2.4.1 Vývoj tržeb v odvětví

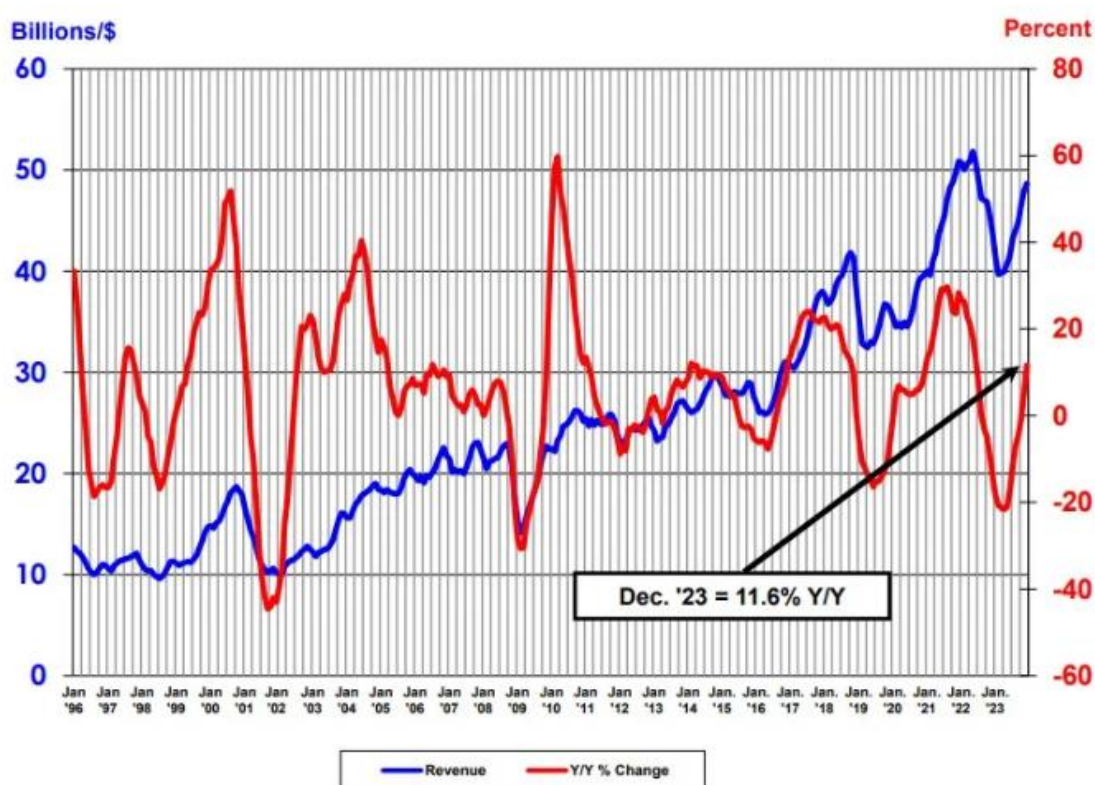
Pro pochopení velikosti poptávky v sektoru polovodičů je možné se také zaměřit na celosvětové tržby tohoto průmyslu. Od roku 2000, kdy celkové tržby činily přibližně 150 miliard USD, došlo k jejich více než trojnásobnému nárůstu, přičemž v roce 2022 dosáhly hodnoty přes 500 miliard USD. V průběhu tohoto období však průmysl polovodičů zažil několik výkyvů, kdy v roce 2018 dosáhly tržby vrcholu přes 420 miliard USD, což bylo více než v roce 2020. Růstové tempo v roce 2018 bylo dokonce dvojnásobné ve srovnání s rokem 2020, kdy činilo téměř 14 % oproti 7 % (WSTS, 2024).

Je důležité si uvědomit, že rostoucí poptávka v tomto odvětví nevede nutně k nedostatku čipů, i když na současnou situaci má značný dopad. V roce 2020 byla poptávka stále ve fázi růstu,

kteřý byl v roce 2021 ještě výraznější. Podle odhadů Světové organizace pro polovodiče (WSTS) měly tržby v roce 2021 dosáhnout až 553 miliard USD s ročním růstem na úrovni 25,5 %. Tyto čísla pak potvrzují nejaktuálnější data z databáze WSTS vyobrazená na grafu 8 přiloženém níže.

Je však nutné zdůraznit, že tržby v tomto odvětví poskytují jen náhled na dynamiku poptávky. Například pokud firmy vykazují zvýšenou poptávku po méně pokročilých čípech s nižšími maržemi, nemusí se to okamžitě výrazně odrazit na celkových tržbách, dokud výrobci čipů nereagují na rostoucí poptávku zvýšením cen těchto méně pokročilých čipů. Příkladem může být automobilový průmysl, který vyžaduje velké množství těchto méně pokročilých čipů. U těchto čipů v roce 2021 došlo u některých klíčových výrobců, jako je TSMC, ke zvýšení cen až o 20 % (Yang, 2021).

GRAF 8: VÝVOJ CELOSVĚTOVÝCH TRŽEB V POLOVODIČOVÉM ODVĚTVÍ



Zdroj: (WSTS, 2024)

Z grafu přiloženého výše je také patrné, že odvětví polovodičů je výrazně ovlivněno značnými cyklickými výkyvy. To poté reflektuje fluktuaci v nabídce a poptávce po daných produktech. V obdobích ekonomického růstu čelí výrobci čipů situaci, kdy poptávka převyšuje dostupné zásoby, což vede k růstu cen a motivuje výrobce k zvýšení produkce. Naopak, recese v tomto sektoru jsou spojeny s přebytkem zásob u odběratelů čipů, kteří mají v tomto období zajištěno dostatečné množství produktů na střednědobé období (Regions, 2019).

Dynamiku v odvětví polovodičů ovlivňuje nejen poptávka a nabídka, ale také globální ekonomické podmínky. To lze ilustrovat na příkladech poklesu tržeb v letech, kdy globální ekonomika procházela recesí. V roce 2008, během globální finanční krize, odvětví zaznamenalo pokles tržeb téměř o 35 % v následujícím roce. Podobně, během tzv. dotcom krize spojené s propadem na trhu technologického sektoru, došlo k výraznému nárůstu tržeb v polovodičovém

odvětví před krizí, který byl následně vystřídán poklesem o více než 80 %. Další významný pokles tržeb v roce 2019 může být přičítán obchodnímu napětí mezi USA a Čínou, což mělo negativní dopad prakticky na celý technologický sektor (tamtéž).

Nicméně, situace během pandemie Covid-19 ukázala, že vztah mezi vývojem světové ekonomiky a polovodičovém odvětvím nemusí být vždy přímočarý. I když světové HDP v roce 2020 zaznamenalo pokles o 3,36 %, tržby v odvětví polovodičů vzrostly o více než 7 %. To lze vysvětlit unikátními okolnostmi pandemické krize, které vedly k významnému převisu poptávky nad nabídkou již v průběhu roku 2020 (WorldBank, 2024).

2.5 Nedostatek součástek potřebných pro výrobu polovodičů

S narůstající poptávkou se potýkají nejen firmy zabývající se výrobou polovodičů, ale rovněž některé společnosti poskytující příslušné komponenty pro tento sektor. Zvláštní pozornost si v poslední době vysloužili výrobci takzvaných substrátů. Jedná se o speciální destičky, které propojují polovodiče s obvodovými deskami. Tato část výrobního procesu se vyznačuje relativně nízkou marží, pohybující se kolem 15 %, ve srovnání s průměrnou hrubou marží nad 50 %, kterou dosahují koncoví výrobci polovodičů. Z důvodu nízké profitability jsou výrobci polovodičů často nuceni outsourcovat výrobu substrátů, avšak jejich dodavatelé nejsou ochotni rychle rozšiřovat výrobní kapacity. Místo toho využívají současného nárůstu poptávky ke zvýšení cen, které byly dlouhodobě udržovány na nízké úrovni (Fitch, 2021).

V průběhu času se technologické požadavky na výrobu substrátů zvýšily, neboť musí vyhovovat i nejmodernějším polovodičům. Tato zvýšená technologická náročnost ve spojení s uměle nízkými cenami vedla k nedostatečnému rozšíření produkce substrátů v nedávných letech. Generální ředitel společnosti Intel při prezentaci hospodářských výsledů uvedl, že zřízení nové vlastní továrny na substráty může trvat od jednoho do dvou let. Většina společností produkcujících substráty se aktuálně nachází v Asii (Graham, 2023).

Výrobci substrátů se navíc obávají zvýšení výrobních kapacit kvůli možnému poklesu poptávky, což by mohlo vést k vysokým nákladům bez zajištění návratnosti investic. Tyto obavy jsou založeny na předchozích zkušenostech, kdy výrobci substrátů rozšiřovali kapacity v očekávání růstu trhu s osobními počítači, jenž však následně klesal, což pro ně znamenalo finanční ztráty. Je tedy zásadní, aby výrobci polovodičů poskytovali svým dodavatelům substrátů dostatečné záruky odběru, a tak aby tak byli motivováni k investicím do rozšiřování výrobních kapacit. Jako alternativa se nabízí možnost, že by samotné čipové firmy investovaly do vlastní výroby substrátů (Fitch, 2021).

2.6 Nedostatek polovodičů zapříčiněný zásahy vyšší moci

Podkapitola se zaměřuje na hlavní příčiny krize spojené s nedostatkem polovodičů a na to, proč v současné době zaznamenáváme výrazný nedostatek těchto komponent a neustále se zvyšující poptávku po nich. Text se dotýká témat jako jsou nové trendy v oblasti technologií, incident uzavření Suezského průplavu, nárůst cen letecké a námořní dopravy, dlouhodobé obchodní napětí mezi Čínou a Spojenými státy, které sahá až do 70. let, restrikce proti prodeji produktů firmy Huawei v USA, a také na dopad různých přírodních katastrof, které postihly svět v nedávné době. Tyto faktory jsou klíčové pro pochopení současné situace.

Zvýšená poptávka, poháněná elektrifikací dopravních prostředků, pokroky v automatizaci a expanzí trhu s tzv. smart zařízeními, má bezpochyby významný dopad na spotřebu

polovodičových součástek. Na internetu existuje řada článků a diskuzí, které se věnují různým příčinám této krize a událostem, které k ní přispěly. Souhrn těchto problémů sám o sobě není přímou příčinou krize, ale výrazně přispěly k jejímu urychlení. V dalších podkapitolách jsou proto představeny pouze ty nejvýznamnější problémy.

2.6.1 Bouře v USA

V roce 2021 se obzvláště v automobilovém průmyslu projevil akutní nedostatek čipů, který byl zesílen řadou nepředvídatelných událostí, jež zasáhly výrobní a logistické procesy v celém hodnotovém řetězci polovodičů (od výroby čipů po jejich sestavení, balení i distribuci). Tyto incidenty měly za následek prodloužení dodacích lhůt polovodičů.

V únoru 2021 byla produkce čipů negativně ovlivněna dvěma přírodními katastrofami. Jednou z nich byla extrémní bouře v Texasu, která přinutila několik předních výrobců čipů pozastavit činnost svých místních závodů. Obětí jiné bouře se pak stal závod společnosti Samsung v Jižní Koreji, kde byla produkce přerušena na celý měsíc kvůli výpadkům elektrické energie, plynu a vody. Ocenění ztrát bylo stanoveno na více než 350 milionů dolarů (Lee, 2021).

Zmíněná bouře v USA také zasáhla společnost NXP Semiconductors původem z Nizozemska, jež musela ve dvou svých texaských závodech zastavit výrobu na přibližně dva týdny. Vzniklé ztráty firma odhadovala na přibližně 100 milionů dolarů (NXP Semiconductors, 2021). V menší míře byla ovlivněna i výroba v závodě společnosti Infineon Technologies, kde byla výroba pozastavena na téměř týden. Přesto společnost hlásila značné nenahraditelné ztráty a očekávala návrat k původní výrobní kapacitě až v červnu 2021, s odhadovanými ztrátami v řádu desítek milionů eur (Infineon, 2021).

2.6.2 Zemětřesení v Japonsku

V témže období, co postihla Spojené státy zmíněná zimní bouře, došlo v Japonsku k zemětřesení, které vyvolalo výpadky elektrického proudu a vedlo k dočasnému přerušení výrobních operací ve významném závodě Naka, patřícím k přednímu dodavateli čipů pro automobilový průmysl, firmě Renesas. Krátce po tomto incidentu, na počátku března, zasáhlo oblast další zemětřesení, které způsobilo poškození závodu Naka a nepříznivě ovlivnilo provoz dalších šesti ze dvaceti dvou čipových továren této společnosti. Požár, který vypukl v továrně Naka přibližně týden po druhém zemětřesení, situaci následně ještě zhoršil. Obnovení plné výrobní kapacity v poškozeném závodě Naka, které bylo narušeno kvůli zemětřesením a požáru, bylo dokončeno až v červnu, což znamenalo přibližně tříměsíční omezení produkce. Generální ředitel společnosti, Hidetoshi Shibata, vyčíslil finanční ztráty z přerušení výroby na přibližně 118 milionů dolarů (Tsuneoka, 2021).

2.6.3 Sucho na Tchaj-wanu

V roce 2021 čelil Tchaj-wan významnému problému spojenému s výrobou polovodičů, kterým byl akutní nedostatek vody. Pro ilustraci, proces výroby polovodičů vyžaduje velké objemy vody, kdy pro očištění jediného křemíkového waferu o průměru 30 centimetrů je nutné použít více než osm tisíc litrů vody (Li, 2023). I přes snahu o recyklaci vody a vytváření vlastních zásob se nedostatek vody stal pro výrobce významným rizikem. Tchaj-wan, jako hlavní světový dodavatel polovodičů, čelil největšímu suchu za posledních sto let, kdy poprvé od roku 1964 nezasáhl ostrov žádný tajfun, což vedlo k nedostatku pitné vody v některých oblastech (Farky, 2021).

Největší tchajwanský výrobce čipů TSMC se sice potýkal s extrémním suchem, ale byl přesvědčen, že má připravená opatření pro různé scénáře v případě vodního nedostatku. Ve městě, kde se nachází jedna z jejich továren, plánovala firma vrtat stovku nových studní. Navíc společnost pracovala na stavbě zařízení pro opětovné využití očištěné vody, které by mělo pokrýt až polovinu denní spotřeby vody potřebné pro výrobu polovodičů. Situace však byla kritická, neboť mnoho vodních nádrží bylo naplněno méně než z 20 % jejich kapacity a hlavní nádrž v Sin-ču, zásobující průmysl, hlásila nejnižší stav vody ve své historii, pouhých 7 % (Zenkner, 2021).

Přestože TSMC a také další společnost UMC čelily těmto výzvám, podařilo se jim udržet výrobní kapacity a minimalizovat dopad na produkci. Obě firmy uzavřely smlouvy s dodavateli vody, aby zabezpečily dostatečné zásoby pro své operace. Nicméně s narůstající produkcí polovodičů se zdá, že splnění celkové poptávky bude stále náročnější. Výrobci čipů na Tchaj-wanu čelí rostoucím požadavkům, soutěží o omezené kapacity s automobilovým průmyslem a musí se vyrovnávat s politickými omezeními. Proto se nedostatek vody na Tchaj-wanu stává dalším komplikujícím faktorem v produkci polovodičů s přesahem do celkové nabídky a velikosti kapacit (Vítek, 2021).

2.6.4 Pandemie Covid-19

Pandemie COVID-19 nepochybně sehrála též zásadní roli ve zhoršení krize nedostatku polovodičů. Tento globální zdravotní stav se stal kritickým bodem, který odhalil a zintenzivnil existující problémy ve výrobě polovodičů. Jako důsledek pandemie bylo zaznamenáno postupné omezení výrobních kapacit v tomto odvětví, což představovalo klíčový problém způsobený právě virovou nákazou. Na rozdíl od opotřebených zařízení, jak je tomu například při těžbě kryptoměn (popisované v podkapitole 2.7), zde došlo k přímému omezení produkce čipů v důsledku pandemických opatření. Překvapivé a náhlé vypuknutí pandemie neumožnilo včasnou identifikaci a předcházení tomuto problému (Mitchell, 2023).

Pandemie shodou okolností vypukla ve východní Asii, která je zároveň hlavním centrem produkce polovodičů. To vedlo ke krátkodobému uzavření několika výrobních linek. Avšak větší problém představovala nesprávná predikce budoucího vývoje ekonomiky ze strany firem, které očekávaly výraznou recesi a pokles cen akcií, což je vedlo ke snížení produkce polovodičů. Tento krok se ukázal jako chybný, jelikož pandemie posunula vzdělávání a mnohé profese do online prostředí, což způsobilo nečekaný nárůst poptávky po elektronice. Recese se v očekávané míře nekonala, a tak poptávka po počítačích, telefonech a dalším elektronickém vybavení výrazně vzrostla, zatímco nabídka čipů nedokázala tuto poptávku uspokojit (Wu, 2022).

V Malajsii, která hraje klíčovou roli ve finální fázi výrobního řetězce čipů, byla situace ztížena přísnými pandemickými opatřeními. Pokud byli zaměstnanci továrny pozitivně testováni na COVID-19, musela být provozovna uzavřena na dva týdny, což způsobilo významné ekonomické škody. Pravidla byla následně upravena tak, aby výroba mohla pokračovat s 60 % zaměstnanců, avšak plné obnovení výrobních kapacit bylo možné jen v případě, že bylo očkováno minimálně 80 % pracovníků. Tato situace ztížila dodávky čipů na globálním trhu. I přesto že Malajsie není největším výrobcem čipů jako Tchaj-wan, je nezbytnou součástí celého výrobního cyklu díky své roli v testování čipů. Elektronika tvoří 39 % celkového vývozu z Malajsie, což zdůrazňuje význam této země pro odvětví (Solomon, 2021).

Pandemie dále způsobila značné narušení globálních dodavatelských řetězců a zvýšila zranitelnost ekonomického systému, což má negativní dopad na ekonomické oživení. Zpočátku nejvíce postiženými byly společnosti v automobilovém odvětví, které čelily výpadkům

a omezením ve výrobě. Současně problémy s pandemií způsobily globální logistické výzvy, jako jsou ucpané přístavy, což dále komplikovalo situaci v dodavatelských řetězcích čipů a dalších produktů (Mitchell, 2023).

2.7 Těžba kryptoměn

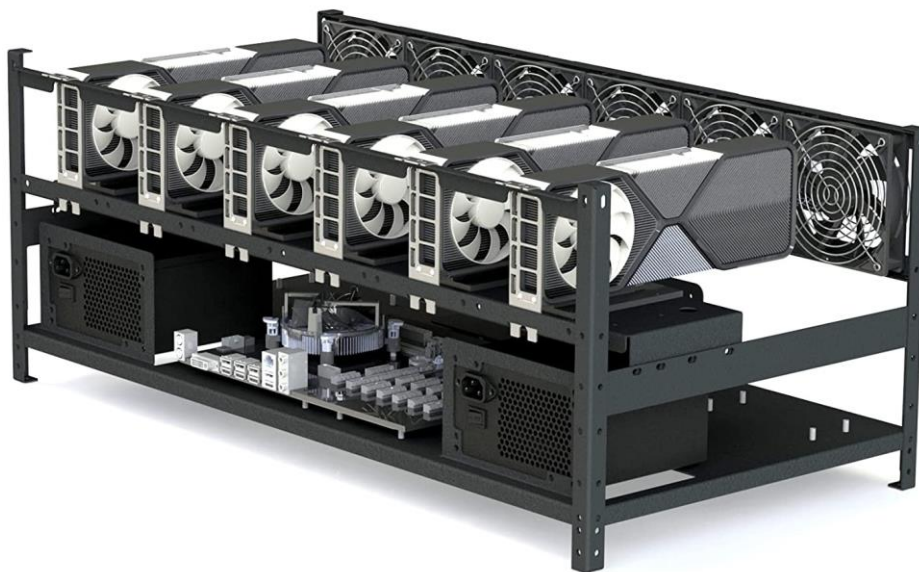
Jedním z klíčových faktorů, který přispěl k současnému nedostatku polovodičů, je rozvoj těžby kryptoměn. Zajímavostí je, že původ a vznik kryptoměn zůstává pro mnohé stále nejasný. Již v roce 1999 předpověděl americký ekonom a laureát Nobelovy ceny Milton Friedman významnou roli internetu ve snižování vlivu státu a avizoval blízký příchod tzv. „spolehlivých digitálních peněz“ (Gobry, 2014). O deset let později se tato předpověď stala skutečností s uvedením Bitcoinu na trh, čímž začala éra digitálních měn, které se vyznačují decentralizací, globální dostupností, anonymitou a relativně bezpečnou transakcí. Základem Bitcoinu, a s ním i dalších kryptoměn, je technologie blockchain, jehož koncept byl zveřejněn pod pseudonymem Satoshi Nakamoto v roce 2009. Kryptoměny se odlišují od tradičních měn svou nezávislostí na centrálních autoritách, což umožňuje přeshraniční a okamžité transakce (Hong, 2023).

Význam kryptoměn spočívá nejen v jejich funkci digitálního platidla, ale také jako prostředku uchování hodnoty, což vede k jejich vnímání jako investiční příležitosti. Tento nový finanční sektor přináší mnoho nevyužitých možností, ale zároveň vyvolává debaty o jeho dopadu na tradiční finanční systémy a technologickou infrastrukturu (Hong, 2023).

Klíčovým aspektem těžby kryptoměn, který má přímý dopad na nedostatek polovodičů, je náročnost těžebních algoritmů, které vyžadují vysoký výpočetní výkon. Těžba, zejména Bitcoinu, Dogecoinu a Litecoinu, se stala vysoce konkurenčním odvětvím, kde těžaři soutěží o blokové odměny řešením složitých matematických problémů. Tento proces vyžaduje specializovaný hardware, jako jsou ASIC čipy, které jsou optimalizovány pro kryptografické výpočty (Shinobi, 2021).

Zpočátku byly pro těžbu kryptoměn primárně využívány grafické karty, kvůli jejich dostupnosti a výpočetní síle, což vedlo k jejich masovému vykupování těžaři. Tento fenomén způsobil značné narušení trhu s grafickými kartami, kdy výrobci, jako je NVIDIA, byli kritizováni za podceňování vlivu těžařů na trh a následné narušení dodávek pro hráče a jiné uživatele (tamtéž).

OBRÁZEK 7: MINING RIG URČENÝ K TĚŽBĚ KRYPTOMĚŇ



Zdroj: (GamerEda, 2023)

V důsledku rostoucího zájmu o těžbu a s tím spojeného zvýšení poptávky po výkonném hardwaru došlo k vyčerpání zásob polovodičů, což v kombinaci s pandemií COVID-19 vedlo k globálnímu nedostatku těchto kritických komponent. Tento nedostatek zasáhl mnoho odvětví, od výroby automobilů po spotřební elektroniku, a poukázal na zranitelnost globálních dodavatelských řetězců (Earls, 2022).

S poklesem ziskovosti těžby a zvyšujícím se opotřebením hardwaru začala část těžařů prodávat své vybavení na sekundárním trhu. Nicméně, kvůli předchozímu intenzivnímu využívání těchto zařízení, je kvalita a životnost nabízených komponent často problematická, což představuje riziko pro kupující. Tento vývoj také naznačuje potenciální ústup z éry masové těžby kryptoměn, avšak zároveň zdůrazňuje trvalý dopad na trhy s polovodiči a potřebu hledání udržitelnějších řešení v technologickém sektoru (tamtéž).

2.8 Nedostatek v důsledku geopolitických vlivů

V posledních letech se význam polovodičů pro globální ekonomiku značně zvýšil. Tyto komponenty, ještě před samotným vypuknutím pandemie Covid-19 a souvisejících problémů v dodavatelských řetězcích, se staly klíčovým prvkem pro řadu vyspělých i rozvíjejících se ekonomik. Polovodiče jsou nezbytné pro rozvoj a udržení konkurenceschopnosti technologických sektorů a procesů digitalizace. Jejich význam se projevuje ve většině průmyslových odvětví, a závislost na jejich importu představuje pro národní ekonomiky potenciální riziko. Také v oblasti obrany jsou polovodiče stále důležitější, s ohledem na stoupající technologické požadavky vojenského hardwaru, což zdůrazňuje jejich strategickou roli z hlediska bezpečnosti a politiky (Wolff, 2021).

Z hlediska globálního hodnotového řetězce je průmysl polovodičů charakterizován jeho roztržitostí, přičemž žádný stát či ekonomický blok nemá kompletní kontrolu nad všemi aspekty tohoto řetězce. Spojené státy americké hrají v tomto odvětví významnou roli, zejména

díky své dominanci v oblasti designu technologicky nejsofistikovanějších polovodičů, což představuje segment s největší přidanou hodnotou (tamtéž).

Důležitost Asie celkově v tomto odvětví vzrostla. Hlavně díky klíčovým hráčům jako jsou Tchaj-wan, Jižní Korea, Japonsko, Malajsie a Čína, kde se soustředí výroba, sestavování a následné balení polovodičů. Evropská unie hraje v globálním kontextu výroby čipů rovněž významnou roli, přestože není předním hráčem v designu nebo pokročilé výrobě. Významným úspěchem pro Evropu je nizozemská společnost ASML, která má monopol na výrobu nejmodernějších zařízení pro výrobu čipů (Dieter, 2021).

Rostoucí důležitost polovodičů a rozdrobenost hodnotového řetězce představují pro státy ekonomická i politická rizika, to státy vede k zesíleným snahám o zajištění větší nezávislosti v tomto odvětví. Tyto snahy se projeví zejména během globálního nedostatku čipů, ačkoli jejich počátky lze vysledovat již před pandemií. Například Čína usilovala o posílení své pozice v odvětví polovodičů v posledních desetiletích, ale čelila překážkám v podobě nedostatku kapitálu a sankcí ze strany Spojených států (tamtéž).

V průběhu prezidentského mandátu Donalda Trumpa se Spojené státy dostaly do obchodního konfliktu s Čínou, což mělo značný dopad na mezinárodní vztahy a ekonomiku obou zemí. Toto napětí se rozšířilo i do sféry technologií, kde Spojené státy zavedly restriktce proti čínskému technologickému průmyslu, oficiálně z důvodů obav o kybernetickou bezpečnost. V úvodu roku 2020 USA implementovaly sankce proti čínským výrobcům čipů, které jim zakázaly využívat výrobní kapacity na Tchaj-wanu kvůli americkému původu zařízení používaných v těchto továrnách. Tyto sankce rovněž omezily přístup k softwaru pro návrh čipů (EDA), kde americké společnosti drží přibližně 85% podíl na globálním trhu s tímto intelektuálním vlastnictvím (Horwitz, 2020).

Cílem sankcí byla mimo jiné společnost Huawei a její divize HiSilicon, která se zabývá návrhem čipů a dokázala konkurovat i komponentům používaným v amerických smartphonech. Ztráta možnosti outsourcovat výrobu na Tchaj-wan a přístupu k americkému softwaru pro návrh čipů znamenala pro HiSilicon potenciální ztrátu konkurenční výhody. Avšak díky strategickému předzásobení čipy před zavedením sankcí se Huawei pokusil minimalizovat dopad těchto omezení na svou produkci, což ovšem vedlo k omezení výrobních kapacit TSMC v roce 2020 (tamtéž).

Dalším významným cílem sankcí byla Semiconductor Manufacturing International Corporation (SMIC), hlavní čínský výrobce čipů. Zákaz dovozu americké technologie SMIC znemožnil pokračovat ve vývoji a výrobě technologicky pokročilejších čipů. Spojené státy pokračovaly v tlaku na čínský čipový sektor i v roce 2021, kdy se jim podařilo zabránit prodeji zařízení pro výrobu pokročilých čipů od nizozemské společnosti ASML čínským firmám. Tato zařízení, jejichž hodnota dosahovala 150 milionů USD, by umožnila Číně vyrábět nejmodernější generace čipů a posílit tak svůj domácí průmysl (Jie, 2021).

Bez přístupu k těmto klíčovým technologiím čelí Čína výzvě dosáhnout technologické soběstačnosti v oblasti výroby čipů, což podle odhadů analytiků může trvat až deset let. Investice, které by mohly být efektivně využity pro expanzi čínskému čipového průmyslu v podmínkách volného obchodu jsou nyní nutné pro dosažení této soběstačnosti (tamtéž).

Americké sankce i nadále komplikují rozvoj čínskému čipového odvětví, což má dopad i na globální trh s čipy, kde byly omezeny produkční možnosti čínských výrobců. Čínské společnosti, včetně fabless divize HiSilicon, reagovaly zvýšením objednávek u TSMC, což mělo za následek

přednostní zpracování těchto objednávek na úkor například automobilového průmyslu. To přispělo ke globálnímu nedostatku čipů a zvýšilo tlak na čínský výzkum a vývoj v oblasti polovodičů, zatímco méně prostředků bylo k dispozici pro samotnou výrobu čipů. Regulace čínské vlády, které nařizují čipovým společnostem v Číně, aby dávaly přednost domácím odběratelům, dále prohlubují krizi tím, že zvyšují závislost na výrobcích mimo Čínu, například na Tchaj-wanu (Pavlíček, 2024).

Tyto události ukazují na zranitelnost globálního čipového dodavatelského řetězce a zdůrazňují geopolitické riziko spojené s vysokým stupněm integrace a globalizace v strategických odvětvích, jako je výroba polovodičů. Reakce vyspělých ekonomik na tyto výzvy se projevuje zvýšením investic do čipového průmyslu, což je trend, který se zintenzivnil v reakci na čipovou krizi a snaží se řešit výzvy spojené s globální závislostí a zajištěním technologické suverenity.

2.9 Souhrn faktorů vedoucích k celosvětovému nedostatku polovodičů

Na základě poznatků z první kapitoly, zaměřené na proces výroby polovodičů, lze identifikovat základní interní faktory, které přispěly k celosvětovému nedostatku čipů po roce 2020. Analogicky, představení dat a trendů prezentovaných ve druhé kapitole umožňuje rozpoznat klíčové externí faktory, které mají vliv na krizi v oblasti čipů.

Jako první a zřejmě nejmarkantnější externí faktor lze označit rychlý nárůst poptávky po čipových produktech, který nastal s vypuknutím pandemie Covid-19 v roce 2020. Rozšíření přísných opatření proti šíření pandemie ve většině rozvinutých i rozvojových zemí vedlo k rozsáhlému přesunu pracovních procesů do domácího prostředí, čímž došlo k urychlení digitalizace společnosti. Ačkoliv se zájem o čipové komponenty zvyšuje napříč všemi segmenty, akutní nedostatek se týká zejména těch technologicky méně pokročilých a starších typů čipů. Naopak, nejmodernější grafické karty, paměťové moduly a procesory, které jsou vyhrazeny pro technologicky náročná zařízení, jako jsou počítače, chytré telefony a datová centra zaznamenaly pouze relativně krátkodobý nedostatek. Jednodušší čipové komponenty, jako jsou mikrokontrolery, regulátory napětí, senzory a další, se ale nacházejí ve všech typech elektronických zařízení.

Vzhledem k nižší technologické složitosti, a tudíž nižším výrobním nákladům, jsou tyto jednodušší čipy pro výrobce méně výnosné. To má za následek, že výrobci čipů váhají s rozšířením výrobních kapacit pro tyto komponenty. S rostoucí poptávkou, která převyšuje nabídku, se potýkají nejen samotní výrobci čipů, ale i jejich dodavatelé. Zvláště výrobci substrátů pro čipy, kteří jsou zmíněni jako klíčoví dodavatelé, jsou v rozšiřování produkce opatrní kvůli nízkým maržím svých produktů a nejistotám spojeným s budoucím vývojem trhu.

Tento vzestup poptávky po čipových produktech a následný nedostatek jsou doprovázeny dalšími faktory, jako jsou logistické výzvy, omezení v dodavatelských řetězcích a geopolitické napětí, které dále komplikují situaci. Tyto aspekty přispívají k celkovému ztížení situace v čipovém průmyslu, zvyšují tlak na výrobce a vedou k prodlouženým dodacím lhůtám a zvýšení cen elektronických zařízení pro konečného spotřebitele. Vzhledem k těmto výzvám je zřejmé, že řešení čipové krize vyžaduje komplexní přístup, který zahrnuje nejen zvýšení výrobních kapacit, ale i strategické plánování na úrovni dodavatelských řetězců a mezinárodní spolupráci.

Dalším významným externím faktorem, který přispěl k celosvětovému nedostatku čipů, byla rychlá a často neadekvátní reakce výrobců automobilů na počátek pandemie Covid-19 a jejich chybné predikce budoucí poptávky po vozidlech. Tento nedostatek čipů se nejprve projevil a nejsilněji ovlivnil právě automobilový sektor. V reakci na pandemickou situaci a s ní spojený pokles poptávky po automobilech, mnoho výrobců automobilů zrušilo své objednávky čipů, očekávající nejistý vývoj trhu. Když se poptávka po vozidlech opět zvýšila, automobilky se pokoušely obnovit své objednávky, avšak čelily skutečnosti, že výrobci čipů mezitím našli nové zákazníky a svůj výrobní záměr přeorientovali na produkty s vyšší marží.

Problémy s nedostatkem čipů v automobilovém průmyslu jsou dále zhoršovány krátkodobě orientovaným logistickým systémem výrobců automobilů, který je obtížně koordinovatelný s dlouhodobým plánováním produkce čipů. Výrobci polovodičů přijímají objednávky s výrazným předstihem, někdy i více než rokem předem, což je v rozporu s flexibilním a reaktivním přístupem automobilových firem. Zároveň, poptávka po čipech určených pro automobilový sektor vzrůstá v důsledku přechodu na elektromobilitu, zvyšující se míry automatizace a obecně rostoucích technologických požadavků nových vozidel. Tento trend je ještě více zesílen požadavky na bezpečnost a ekologičnost vozidel, což je odráženo nejen ve změnách spotřebitelského chování, ale také v přísnějších regulačních požadavcích.

Vývoj v automobilovém průmyslu, včetně rychlého přechodu na elektromobilitu a vyšší technologické standardy vozidel, vyžaduje stále více sofistikovaných čipů. Tyto výzvy jsou pro automobilky dvojsměrné. Na jednu stranu přinášejí inovace a zlepšení produktů, na stranu druhou však zvyšují závislost na čipových komponentech a ztěžují řízení dodavatelských řetězců. V této souvislosti je zřejmé, že účinné řešení problému nedostatku čipů v automobilovém průmyslu vyžaduje nejen zlepšení plánovacích a logistických procesů, ale také posílení partnerství a spolupráce mezi automobilkami a výrobci čipů, aby se zajistila vyšší flexibilita a odolnost dodavatelského řetězce vůči budoucím výzvám.

Je třeba dále zmínit, že z klíčových externích faktorů, které přispěly k celosvětovému nedostatku čipů, přispěly také neočekávané a těžko předvídatelné události. To se týká včetně těch, které jsou důsledkem vyšší moci, jako jsou extrémní povětrnostní jevy, požáry a přírodní katastrofy. Zvláštní pozornost si zaslouží pandemie Covid-19, jejíž vliv se promítá do mnoha aspektů této krize a byl již zmíněn výše v tomto textu. Kromě přímého dopadu na zdraví a lidské životy má pandemie výrazný vliv na ekonomiku, a to zejména skrze restriktivní opatření, která způsobila rozsáhlé narušení dodavatelských řetězců, včetně odvětví polovodičů.

Dalším faktorem, který si zasluhuje pozornost, jsou geopolitické tendence a zásahy vlád či nadnárodních ekonomických bloků do trhu s polovodiči. Ačkoli tento aspekt může být vnímán jako méně kritický v porovnání s ostatními, jeho dopad na produkci a distribuci čipů je značný. Zvláště napjaté vztahy mezi Spojenými státy a Čínou a s nimi spojené obchodní a technologické spory mají zásadní dopad na čipový průmysl. Zejména pak prostřednictvím amerických sankcí vůči čínským technologickým firmám. Tyto sankce přímo ovlivňují čínský sektor výroby čipů a mají širokospektrální dopady na celosvětovou dostupnost polovodičových komponent.

V tomto kontextu je důležité zdůraznit dva hlavní důvody proč geopolitické faktory nemohou být opomíjeny. Prvním je pokračující eskalace globálního geopolitického napětí, která může mít dlouhodobý negativní vliv na výrobu a distribuci čipů. Druhým důvodem je možnost pozitivního vlivu vládních a nadnárodních investic do čipového průmyslu. Vzhledem k vysokým finančním nákladům na rozvoj a rozšiřování výrobních kapacit, které představují významnou bariéru pro vstup nových hráčů na trh a současně omezují ochotu stávajících výrobců investovat

do nových zařízení, mohou státní investice hrát klíčovou roli ve vymanění se z čipové krize. Tyto kroky by mohly nejen zmírnit nedostatek čipů, ale také podpořit inovace a zvýšit odolnost dodavatelských řetězců proti budoucím výkyvům a výzvám.

PRAKTICKÁ ČÁST

3 Polovodičový sektor v ČR

První kapitola praktické části práce představuje nejdříve historii vývoje polovodičového odvětví na českém území. Následně je probírán R&D na území ČR a poslední podkapitola v krátkosti identifikuje společnosti působící v soukromém sektoru.

3.1 Popis a historie

Ve střední Evropě, vyjma Ruské federace a Ukrajiny, pravděpodobně nenajdeme stát s významnější historií v sektoru polovodičů, než je právě Česká republika. Iniciativa v této oblasti v ČR sahá až do 50. let minulého století, kdy se profesor Jan Tauc stal průkopníkem vývoje germaniového tranzistoru mimo Spojené státy americké a zároveň zřídil ústav polovodičů pod záštitou Ústavu technické fyziky Československé akademie věd (ČSAV), jenž byl v dané éře považován za jedno z předních světových center věnovaných polovodičům. Až do roku 2002 byl navíc prof. Tauc řazen mezi nejvíce citované české vědce, ačkoli většinu svého výzkumu prováděl z exilu v USA.

ČR se může dále chlubit rozsáhlou znalostní infrastrukturou a vybavením pro pokročilý výzkum a vývoj v oblasti mikro-/nanoelektroniky a fotoniky, což jí umožňuje dosahovat významných aplikačních výsledků. Spojení talentované pracovní síly s vysokoškolským technickým vzděláním a dynamicky se vyvíjejícím výzkumným prostředím tvoří pevný základ pro rozvoj kapacit jak ve vývoji, tak ve výrobě polovodičových technologií. Navíc země vyniká vysokou mírou zaměstnanosti v oblasti výzkumu a vývoje ve srovnání s celkovou populací v produktivním věku. V regionálním měřítku se ČR navíc umísťuje na předních pozicích co se týče investic do výzkumu a vývoje. Dle nejnovějšího vydání IMD World Digital Competitiveness Ranking za rok 2023 Česká republika obsadila 24. místo v poměru počtu zaměstnanců ve výzkumu a vývoji k celkové populaci a 13. místo v procentuální výši výdajů na výzkum a vývoj na globální úrovni (IMD, 2023).

V oblasti výzkumu a vývoje (VaV) si Česká republika udržuje prestižní postavení díky historii úspěšných projektů s globálním významem. Specificky v sektoru optických technologií, kde se věnuje zejména laserovým systémům, disponuje ČR špičkovými výzkumnými zařízeními a mezinárodními týmy, což představuje významnou vědeckou infrastrukturu na světové úrovni.

V rámci polovodičového průmyslu mají české podniky potenciál nabídnout i jedinečnou přidanou hodnotu. Především ve výrobě technologií pro produkci polovodičových prvků. Důležité jsou zde zejména specializované nástroje pro řízení výrobních procesů, montáž a balení, kde tuzemské společnosti a výzkumné organizace čerpají z bohatých zkušeností.

V oblasti mikroskopie je Česká republika uznávanou velmocí, což má přímý dopad na vývoj a výrobu polovodičů. Přibližně třetina všech mikroskopů na světě pochází z Brna, kde mají své sídlo firmy jako Tescan, Thermo Fischer Scientific a Delong Instruments. Toto město je známé dlouholetou tradicí v oblasti vědeckých přístrojů a je považováno za globální centrum elektronové mikroskopie. Pokrok v mikroskopii je zásadní pro inovace v polovodičovém průmyslu, přičemž oba sektory vykazují významné synergie, ať už v oblasti talentů nebo investic do rozvoje.

Geografická poloha ČR, která se nachází uprostřed Evropy jí dává další výhodu v polovodičovém sektoru. Z Prahy je blízko do saských Drážďan, které jsou považovány za německé "Silicon Valley" a klíčové evropské centrum pro produkci polovodičů. Nedávné otevření

nové továrny společností Bosch v této oblasti navíc signalizuje očekávání dalších investic, což nabízí příležitosti pro český polovodičový průmysl z hlediska případné spolupráce a dalšího rozvoje.

3.2 Výzkum a vývoj na území ČR

V oboru fotoniky a mikro-/nanoelektroniky je Česká republika zemí s dlouholetou historií výzkumu a vývoje, což ji v rámci technologických disciplín staví na přední místo. Tato pozice je výsledkem rozsáhlé akademické a výzkumné základny ve fyzice, materiálové vědě i inženýrství, s významným příspěvkem zejména z univerzitního sektoru a státních výzkumných institucí.

Mezinárodní spolupráce v rámci výzkumných a vývojových projektů v České republice dosahuje úrovně srovnatelné se státy EU-15. Zejména díky výrazné podpoře z akademických kruhů. Přestože je zapojení soukromého sektoru do výzkumu stále na poměrně nízké úrovni, české instituce i přes to aktivně přispívají do programů, jako je například úspěšný evropský projekt Horizont Evropa.

V oblasti patentování v sektoru fotoniky a mikro-/nanoelektroniky vykazuje Česká republika také nadprůměrné výsledky ve srovnání s globálními trendy. Růst počtu patentových přihlášek v této oblasti překonává světový průměr a podíl těchto přihlášek na celkovém počtu rovněž stoupá. V mezinárodním kontextu mají na vzniku nových patentů výrazný podíl veřejné instituce, především pak české technické univerzity.

Výzkumné a vývojové aktivity v České republice v oblasti mikro-/nanoelektroniky a fotoniky se primárně zaměřují na několik klíčových oblastí, kterými jsou:

- vývoj a charakterizace materiálů určených pro fotonické a nanoelektronické aplikace (včetně monokrystalů, nanomateriálů, tenkých filmů, kvantových bodů, materiálů využívaných v solární energetice atd.)
- vývoj a implementace optických a optoelektronických komponent a systémů (jakými jsou zdroje světla/kvantové zdroje, zařízení pro generování energie, fotovoltaické články, detektory apod.)
- vývoj optických a elektronických instrumentů (včetně zařízení pro elektronovou mikroskopii, procesory pro analýzu signálu a další)
- techniky měření (jako jsou magnetooptické metody, spektrometrie hmotnosti a podobně)
- rozvoj v oblasti komunikace a vývoj komunikačních technologií (optická vlákna, technologie kvantové komunikace atd.)
- aplikace numerických a simulačních metod (pro účely modelování, simulace procesů a další)

V kontextu patentových aktivit se české inovace pak zaměřují na následující oblasti:

- zdroje světla a optická zařízení (včetně světlovodů, lamp a systémů osvětlení)
- optické detektory a senzory
- elektronické komponenty a obvody (tištěné spoje, kondenzátory a další elektronické prvky)

- materiály používané v elektronice a optoelektronice (vodivé polymery, elektrolyty, monokrystaly, tenké vrstvy a další)

Česká republika se může pyšnit přítomností vynikajících vědeckých institucí, které poskytují základ pro pokračující výzkum a inovace v sektoru polovodičů.

Jedním z takových je centrum HiLASE, zaměřené na inovace v laserových technologiích a studium nových generací laserů, včetně elementární částicové fyziky, systémů s kondenzovanou hmotou a optiky, které začalo s operacemi v roce 2015. Dalším významným projektem je ELI Beamlines, který je nyní částí evropského konsorcia ELI ERIC a představuje nejrozsáhlejší výzkumné zařízení v zemi. Tento projekt je integrován do evropské výzkumné sítě Extreme Light Infrastructure a vlastní jeden z nejsilnějších laserů na světě, který dosáhl v roce 2019 výkonu 10 PW.

V září 2021 Fyzikální ústav Akademie věd ČR otevřel pod názvem SOLID 21 nové centrum excelence zaměřené na výzkum pevných látek. Centrum disponuje 55 laboratořemi včetně čistých prostor pro špičkové technologie a biofyzikální laboratoře, což umožňuje týmu více než 200 vědců zabývat se výzkumem v oblastech nanoelektroniky, fotoniky, magnetismu, funkčních a bioaktivních materiálů či plazmových technologií. Ve Fyzikálním ústavu Akademie věd ČR existují také další oddělení specializující se na základní i aplikovaný výzkum materiálů klíčových pro polovodičové čipy a integrované obvody, zahrnující polovodiče, dielektrika nebo magnetické materiály.

Jiným dalším specializovaným ústavem Akademie věd ČR je centrum TOPTEC, zaměřující se na jedinečnou optiku a optoelektronické systémy pod křídly Ústavu fyziky a plazmatu. Instituce nabízí vysoce kvalitní zařízení pro výzkum a vývoj v oblasti optických komponent, aplikace tenkých filmů a precizních měření. Vědecký tým TOPTEC se věnuje širokému spektru výzkumných aktivit v oblasti optiky a optoelektroniky a participuje na řešení mezinárodních projektů zaměřených na metrologii a vývoj optických systémů pro kosmický výzkum nebo vývoj vysoce výkonných laserů.

Další výzkumný ústav CEITEC (akronym z Central European Institute of Technology) představuje unikátní model vědeckého centra v České republice, které sjednocuje výzkum a vývoj v oblastech biologických věd a pokročilých materiálů. Centrum se skládá z 53 výzkumných týmů, které jsou podle tematické příbuznosti rozděleny do sedmi kooperativních výzkumných programů:

- pokročilé nanotechnologie a mikrotechnologie
- pokročilé materiály
- strukturní biologie
- genomika a proteomika rostlinných systémů
- molekulární medicína
- výzkum mozku a lidské mysli
- molekulární veterinární medicína.

Na Fakultě elektrotechnické Českého vysokého učení technického v Praze je zřízeno centrum Semiconductor Electronics, specializované především na průzkum nových polovodičových struktur, jejich design, charakteristiku a praktické využití. Hlavní pozornost je

nyní věnována polovodičovým nanostrukturám, kvantově vázaným systémům, rozvoji technologií pro výkonovou elektroniku a nasazení specifických polovodičových komponent.

Chemicko-technologická fakulta se prostřednictvím své laboratoře teoretické fotodynamiky věnuje studiu chemických transformací materiálů ovlivněných fotonovým zářením vysoké energie. Její výzkum se specializuje na fotorezistentní materiály pro novou generaci EUV litografie, které nacházejí uplatnění v produkci samotných polovodičových čipů.

3.3 Privátní sektor v ČR

V rámci České republiky se průmysl související s polovodiči koncentruje převážně ve čtyřech hlavních lokalitách: v Praze, v Brně, ve severočeských regionech a v oblasti kolem Rožnova pod Radhoštěm, jak je ilustrováno na přiloženém následujícím obrázku 8 níže.

OBRÁZEK 8: HLAVNÍ SPOLEČNOSTI PODNIKAJÍCÍ V ODVĚTVĚ POLOVODIČŮ NA ČESKÉM ÚZEMÍ



Zdroj: autor

Zatímco v Rožnově pod Radhoštěm se podniky specializují primárně na výrobu polovodičových čipů (společnost Onsemi), další české společnosti se zaměřují na oblasti produkce specifického vybavení potřebného pro výrobu polovodičových součástek. To zahrnuje zejména přístroje pro kontrolu výrobních procesů, zařízení pro montáž a balení součástek, a také nástroje určené pro leptání a čištění.

Mezi klíčové aktéry v sektoru výroby polovodičů v České republice patří společnosti uvedené na mapě v předchozím obrázku 8, jmenovitě dle zaměření pak následující:

Optika:

- Meopta se profiluje jako významný vývojář a výrobce v oblasti optiky, optomechaniky a optoelektroniky. Společnost vyrábí a dodává optické systémy určené pro inspekci waferů v rámci jejich výrobního procesu.
- TESCAN Brno a.s. a Thermo Fischer Scientific Brno jsou společnosti nadnárodní úrovně zaměřené na oblast specifické elektronové mikroskopie.
- Delong Instruments exportuje nízkonapěťové elektronové mikroskopy a elektronové trysky typu Schottky po celém světě.
- Společnost Foton je specializována na vývoj přístrojů v oblastech jako jsou vysokonapěťové zdroje, speciální elektronické systémy, optoelektronika, automatizace mikropolohování, diagnostika plazmatu a technologie pro kontrolu vakuových systémů.
- NenoVision se zabývá výrobou jedinečných mikroskopů atomárních sil, které jsou na světové úrovni unikátní.
- Firma CRYTUR se specializuje na zpracování syntetických krystalů a poskytuje optoelektronická řešení a scintilační detektory určené pro elektronovou mikroskopii.

Výroba:

- Nejvýznamnější soukromá společnost na území ČR je v Rožnově pod Radhoštěm působící ON SEMICONDUCTOR CZECH REPUBLIC, která nabízí ucelené portfolio polovodičových součástek.
- Firma STMicro disponuje v Praze vývojovým centrem zaměstnávajícím bezmála 200 specialistů, jehož velikost se kvůli nedostatku čipů neustále zvyšuje.
- V továrně ABB Polovodiče v Praze se produkují polovodičové komponenty s vysokým výkonem, které se používají například ve svařovacích robotech pro automobilový průmysl.

Další:

- Firma SVCS Process Innovation z Brna se specializuje na návrh a výrobu pecí určených pro sektor polovodičového průmyslu.
- Argotech a.s. z Trutnova podniká v komplexní montáži a zařizuje balící řešení pro polovodičovou fotoniku a mikroelektroniku. Společnost ve své výrobě dokáže provádět montáže na úrovni destiček až po vysílače a hermetické systémy pro letectví a kosmonautiku.
- Firma Unites vytvořila řadu předních testerů určených pro zkoušení polovodičových komponent.

4 Tržní výhled polovodičů v ČR

Sektor polovodičů obnáší společnosti zaměřené na návrh, produkci, sestavování, testování a distribuci polovodičů určených pro různé aplikace. Segment polovodičů reprezentuje objem trhu s polovodiči implementovanými v širokém spektru všech elektronických aplikací.

Celý trh s polovodiči se kategorizuje do čtyř různých trhů na základě funkčnosti polovodičů:

- Trh diskretních polovodičů zahrnuje polovodiče s elementární funkcí, které jsou obvykle konstruovány s využitím jediného polovodičového komponentu. Tyto komponenty se následně aplikují ve spojení s dalšími, obvykle též jednoduchými, polovodičovými prvky.
- Trh integrovaných obvodů, jakožto nejrozsáhlejší trh, obsahuje polovodiče určené pro specifické funkce. Tyto jsou typicky sestaveny z množství základních polovodičových komponent. Dále je tento segment rozčleněn na analogové integrované obvody, logické integrované obvody, paměťové integrované obvody a mikroprocesorové integrované obvody.
- Trh optoelektroniky se zaměřuje na polovodiče, jejichž funkčnost je spojena se světlem.
- Poslední trh senzorů pokrývá polovodiče, které detekují faktory reálného světa a ty, jež aktivují jiná zařízení.

Trh polovodičů je charakterizován základními ukazateli výkonnosti jako jsou tržby, dynamika tržních příjmů a tržními podíly předních korporací. Do těchto metrik jsou zahrnuty pouze příjmy získané primárními prodejci na základě cen výrobců a to buď přímo nebo skrze distribuční kanály (bez zahrnutí DPH), přičemž příjmy získané prostřednictvím prodejců jsou vyloučeny. Příjmy pocházejí jak z online, tak z off-line prodejních kanálů a zahrnují výdaje ze strany spotřebitelů (B2C), podniků (B2B) a vládních institucí (B2G). Mezi klíčové subjekty na trhu patří společnosti jako Samsung, Intel, SK Hynix, Qualcomm, Micron a další.

TABULKA 1: TRŽBY DLE SEGMENTŮ V MIL. €

segment/rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Diskretní polovodiče	61,38	70,57	79,90	85,09	80,99	98,63	135,50	140,60	148,40	160,10	174,50	189,40
Integrované obvody	832,00	1096,00	1307,00	1134,00	1170,00	1397,00	1618,00	1287,00	1516,00	1584,00	1639,00	1684,00
Optoelektronika	37,59	38,10	40,91	48,16	44,70	45,71	56,85	58,29	57,80	59,24	60,99	63,23
Senzory a aktuátory	29,97	35,90	39,17	42,64	45,30	55,41	77,47	71,52	75,03	86,11	94,20	102,40
Celkem	961,00	1240,00	1467,00	1310,00	1341,00	1597,00	1888,00	1557,00	1797,00	1890,00	1969,00	2039,00

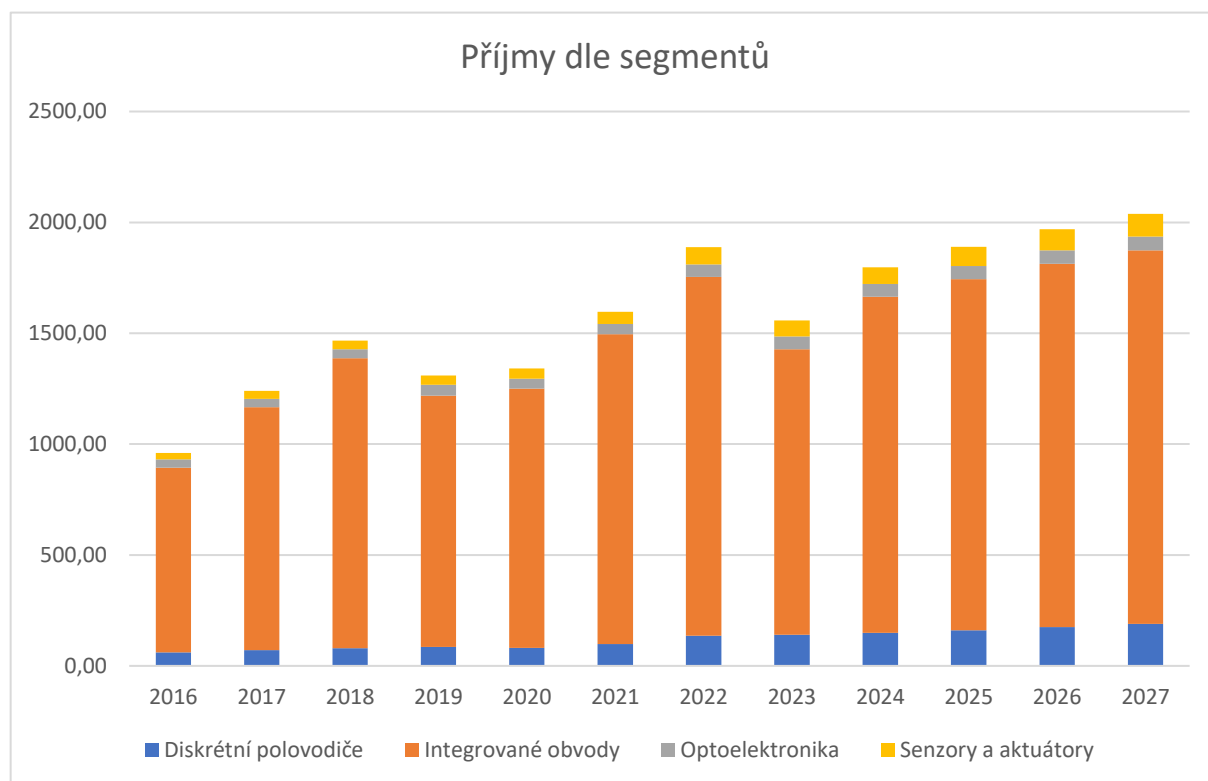
Zdroj: vlastní úprava dle (Statista, 2024)

Tabulka 1 přiložená výše poskytuje přehled českých tržních příjmů v polovodičovém odvětví v milionech euro dle segmentů v období 2016 až 2027, přičemž projekce pro roky 2024 až 2027 byly stanoveny s využitím metodologie top-down s následným ověřením bottom-up, založeném na detailních analýzách pro každý jednotlivý trh. Pro základní hodnocení tržních segmentů byly použity výroční finanční zprávy předních firem na trhu. Dalšími doplňujícími zdroji informací pro odhad velikosti trhu v jsou relevantní klíčové ukazatele trhu a statistiky zveřejněné relevantními asociacemi. Tato data poskytují základ pro konstrukci tržních prognóz.

Prognostický proces využívá různé soubory prediktivních technik, jejichž aplikace je přizpůsobena specifickým charakteristikám a dynamice zkoumaného trhu. Mezi klíčové determinanty, které jsou brány v úvahu při tvorbě predikcí, patří hrubý domácí produkt (HDP) a míra digitalizace v daných zemích.

Pro lepší vizualizaci vývoje jednotlivých segmentů je tabulka 1 interpretována v podobě skládaného sloupcového grafu níže.

GRAF 9: PŘÍJMY DLE SEGMENTŮ V MIL. €

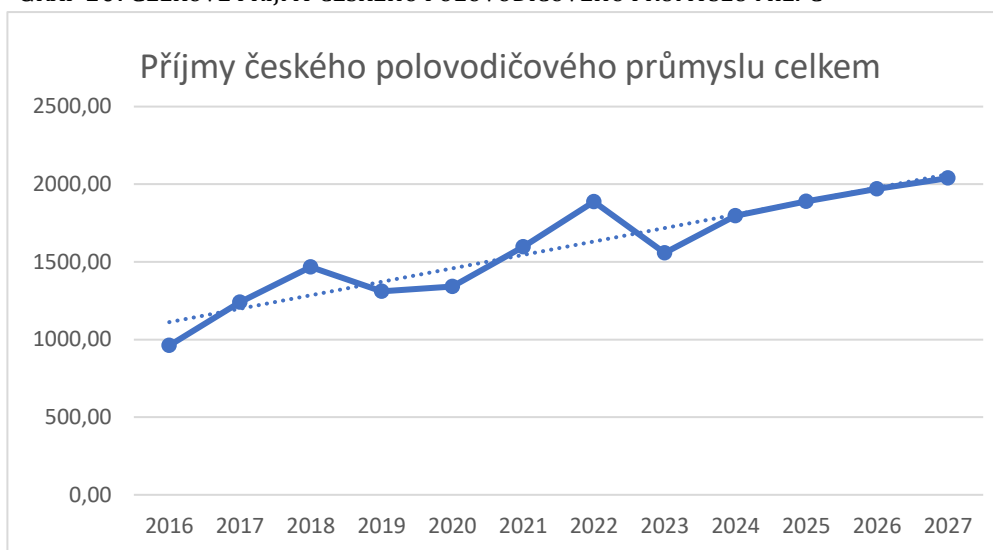


Zdroj: vlastní zpracování dle tabulky 1

Jak je uvedeno v úvodní části této kapitoly a je patrné z vizualizace v grafu č. 9, segment integrovaných obvodů je dominantní složkou trhu polovodičů, přičemž na celkových tržních příjmech se podílí průměrně až z 83 % ročně. Tento fenomén lze přičíst především kvůli poptávce v oblastech spotřební a automobilové elektroniky, které pohánějí expanzi segmentu integrovaných obvodů. Navíc s přihlédnutím k nedávným inovacím společnosti TSMC v oblasti výrobních procesů pro technologické čipy menší než 5 nm, lze předpokládat, že trh s integrovanými obvody bude i přes obvyklé periodické výkyvy v nadcházejícím desetiletí nadále kontinuálně růst v objemu svých tržeb.

Z celosvětového hlediska pak lze konstatovat, že pozici největšího spotřebitele integrovaných obvodů si udrží Čína, a to zásluhou své rozsáhlé výroby v oblasti spotřební elektroniky a částí průmyslové a automobilové elektroniky, která se v zemi momentálně uskutečňuje. Aktuální iniciativy Spojených států amerických a evropských zemí zaměřené na revitalizaci domácího výrobního sektoru v těchto průmyslových odvětvích nicméně mohou mít signifikantní dopad na distribuci tržních podílů.

GRAF 10: CELKOVÉ PŘÍJMY ČESKÉHO POLOVODIČOVÉHO PRŮMYSLU MIL. €



Zdroj: vlastní zpracování dle tabulky 1

Graf 10 ilustruje trajektorii celkových příjmů českého polovodičového průmyslu v období let 2016 až 2027 a umožňuje identifikaci klíčových trendů. První pokles lze pozorovat v letech 2019 a 2020, který lze s jistotou přiřadit dopadům globální covidové pandemie a související polovodičové krize. Tato kombinovaná událost narušila dodavatelské řetězce a omezila výrobní kapacity, což vedlo k dočasnému snížení příjmů a narušení celkového růstu trhu.

V roce 2023 je na grafu zřejmý výrazný pokles celkových příjmů, který reflektuje cykličnost polovodičového trhu. Tento specifický pokles lze ale mimo jiné přisuzovat prudkému poklesu poptávky po grafických kartách, které byly v předchozích letech hojně využívány pro těžbu kryptoměn. Náhlý pokles zájmu o těžbu kryptoměn, způsobený mimo jiné tržními výkyvy, regulativními zásahy a nárůstem cen energií vedl k přesycení trhu a poklesu cen i poptávky těchto komponent, což mělo bezprostřední dopad na tržby odvětví.

Jak je dále na grafu vidět, kontinuita růstu v polovodičovém průmyslu ukazuje dlouhodobou vzestupnou tendenci celkových příjmů. V období od roku 2016 do roku 2027 se očekává, že příjmy českého polovodičového průmyslu vzrostou o více než 100 %. Tento růst je nejen odrazem zvyšující se poptávky v důsledku technologického pokroku a širšího přijetí digitálních technologií ve všech sektorech ekonomiky, ale také odrazem inovací a efektivity, které firmy v tomto odvětví prokázaly. Dlouhodobý růstový trend také podporuje předpoklad, že i přes krátkodobé turbulence zůstává polovodičový průmysl zdravým a segmentem globálního ekonomického ekosystému.

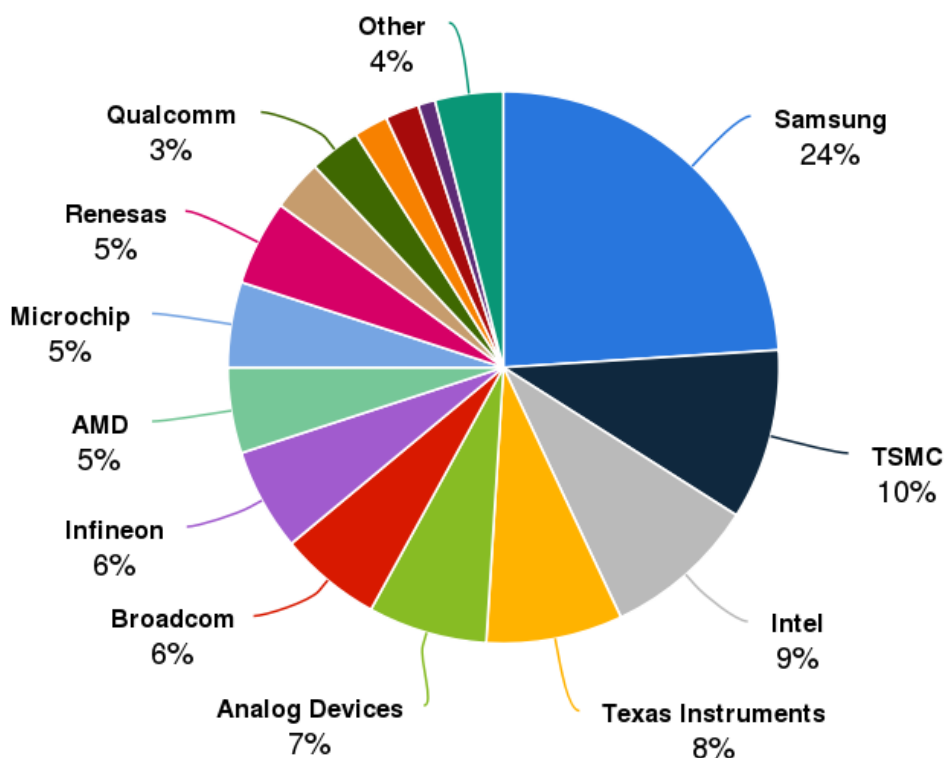
TABULKA 2: RELATIVNÍ ZMĚNA PŘÍJMŮ V POLOVODIČOVÉM PRŮMYSLU DLE JEDNOTLIVÝCH LET

segment/rok	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Diskrétní polovodiče	14,98	13,22	6,50	-4,82	21,78	37,34	3,82	5,55	7,88	8,96	8,53
Integrované obvody	31,67	19,33	-13,22	3,11	19,43	15,84	-20,48	17,82	4,48	3,46	2,74
Optoelektronika	1,37	7,37	17,73	-7,18	2,24	24,37	2,54	-0,84	2,48	2,96	3,68
Senzory a aktuátory	19,79	9,10	8,84	6,25	22,31	39,81	-7,68	4,90	14,77	9,39	8,68
Celkem	29,05	18,32	-10,70	2,32	19,10	18,24	-17,52	15,42	5,13	4,18	3,56

Zdroj: vlastní úprava dle (Statista, 2024)

Tabulka 2 představuje relativní změny tržních příjmů v rámci jednotlivých segmentů polovodičového průmyslu v průběhu zkoumaného časového období. Z těchto dat je zřejmé, že segment integrovaných obvodů vykazuje nejvýraznější fluktuace, se signifikantními poklesy v letech 2019 a 2023. Jak již bylo popsáno výše, tyto poklesy mohou být přisouzeny důsledkům covidové pandemie a následně poklesu poptávky po grafických kartách využívaných pro těžbu kryptoměn.

GRAF 11: PODÍL SPOLEČNOSTÍ PŮSOBÍCÍCH NA ČESKÉM TRHU



Zdroj: (Statista, 2024)

Graf 11 přiložený výše poskytuje přehled v rozdělení tržních podílů mezi společnostmi působícími na českém polovodičovém trhu. Z grafu je patrné, že společnost Samsung má významnou převahu s 24% podílem na celkových tržbách. Dalšími hlavními aktéry jsou TSMC s 10% a Intel s 9% podílem na trhu. Společnosti Texas Instruments a Analog Devices zastupují značné segmenty s 8%, resp. 7% podílem. Tento graf ilustruje diverzifikovanou strukturu českého polovodičového trhu a zároveň podtrhuje dominanci několika klíčových globálních výrobců.

TABULKA 3: SROVNÁNÍ VÝVOJE PŘÍJMŮ V RÁMCI EVROPSKÉHO REGIONU (MLD. €)

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Rakousko	0,66	0,74	0,81	0,78	0,78	0,93	1,24	1,13	1,20	1,31	1,42	1,50
Česká republika	0,96	1,24	1,47	1,31	1,34	1,60	1,89	1,56	1,80	1,89	1,97	2,04
Francie	2,11	2,43	2,66	2,46	2,48	2,99	3,91	3,45	3,69	3,91	4,13	4,35
Německo	7,14	8,16	8,86	8,38	8,60	10,19	13,42	12,04	12,81	13,64	14,47	15,34
Maďarsko	1,21	1,50	1,72	1,62	1,62	2,03	2,61	2,35	2,63	2,84	3,05	3,27
Nizozemsko	5,95	7,03	7,88	7,29	7,60	8,97	11,40	9,91	10,81	11,42	12,02	12,62
Polsko	1,35	1,66	1,89	1,80	1,86	2,17	2,70	2,23	2,46	2,63	2,77	3,01
Rusko	0,61	0,79	0,84	0,83	0,76	0,92	1,22	0,95	0,94	0,96	0,99	1,04
Slovensko	0,24	0,30	0,35	0,30	0,32	0,38	0,46	0,39	0,45	0,48	0,50	0,53
Španělsko	0,90	0,97	1,04	1,07	1,00	1,16	1,54	1,48	1,53	1,63	1,73	1,80
Spojené království	1,29	1,45	1,60	1,46	1,46	1,81	2,32	2,02	2,22	2,37	2,51	2,65

Zdroj: vlastní úprava dle (Statista, 2024)

Poslední tabulka v rámci kapitoly, tabulka 3, poskytuje komparativní srovnání vývoje příjmů v polovodičovém odvětví mezi vybranými státy v rámci Evropského regionu. Přední pozici v tomto přehledu drží Německo, které konzistentně eviduje nejvyšší příjmy, což je v důsledku rozsáhlého německého trhu a masivních investic. Tyto investice nepocházejí pouze od německé vlády, ale i od asijských investorů, kteří hlavně ve spolkové zemi Sasko, těsně na hranicích s Českou republikou, realizují výstavbu nových výrobních zařízení. Německo tak prokazuje svou roli průmyslového lídra v oblasti polovodičů v Evropě.

Nizozemsko se umísťuje na druhou příčku v příjmech v rámci Evropy, přičemž již nyní díky působení společnosti ASML představuje jednoho z nejvýznamnějších globálních hráčů v polovodičovém sektoru. ASML je významná pro svou technologii litografie, která je zásadní pro výrobu moderních polovodičových součástek.

Naopak, Rusko, Španělsko, Velká Británie a Polsko, přestože jsou relativně velké evropské ekonomiky, v oblasti polovodičů generují poměrně nízké příjmy. To poukazuje na to, že velikost ekonomiky není jediným determinantem úspěchu v polovodičovém průmyslu a zohledňuje se také specializace a strategické investice do tohoto vysoce technologického odvětví.

4.1 Shrnutí kapitoly

Segment polovodičů je výrazně ovlivněn řadou klíčových trhů včetně automobilového průmyslu, spotřební elektroniky, telekomunikací a průmyslových zařízení. Historická data ukazují, že trh s polovodiči se vyznačuje periodickými fázemi vysokého a nízkého růstu tržeb, což je primárně důsledkem fluktuací v poptávce. V roce 2021 bylo pozorováno, že dynamika růstu trhu je pozitivně korelována s intenzitou poptávky po polovodičích, zatímco řada ekonomických a tržně specifických faktorů, včetně výrobních a dodavatelských obtíží, může zapříčinit pokles růstu.

Během posledních dvou dekad došlo k výraznému posunu v distribuci tržního podílu v polovodičovém sektoru z USA a evropských zemí směrem k asijským státům. Tento trend je důsledkem expanze výroby elektronických zařízení v těchto regionech. Aktuálně Čína dominuje jako největší spotřebitel polovodičů mezi všemi zeměmi. Lze konstatovat, že segment integrovaných obvodů představuje přes 80 % celkových tržeb na polovodičovém trhu, přičemž logické integrované obvody tvoří zásadní část těchto příjmů.

Tržní prognózy naznačují, že cyklická povaha trhu s polovodiči bude i nadále charakterizována signifikantními výkyvy v dynamice poptávky a nabídky a bude ovlivněna globálními událostmi, včetně probíhajících konfliktů, případných energetických krizí a inflace. Lze předpokládat, že v roce 2024 trh zůstane vyvážený, avšak v následujících letech nastane výrazný růst celého sektoru v důsledku plánovaných investic.

5 Polovodiče v českém automobilovém průmyslu

Automobilový průmysl tvoří základní pilíř ekonomiky České republiky, přičemž hraje klíčovou roli ve struktuře celkového národního průmyslu. Z dat, a vytvořené tabulky číslo 1, vyňatých z databáze ČSÚ vyplývá, že segment reprezentovaný kódem NACE 29 stabilně přispívá přibližně deseti procentním podílem k celkovému HDP země.

TABULKA 4: AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL V POROVNÁNÍ S HDP (MLD KČ)

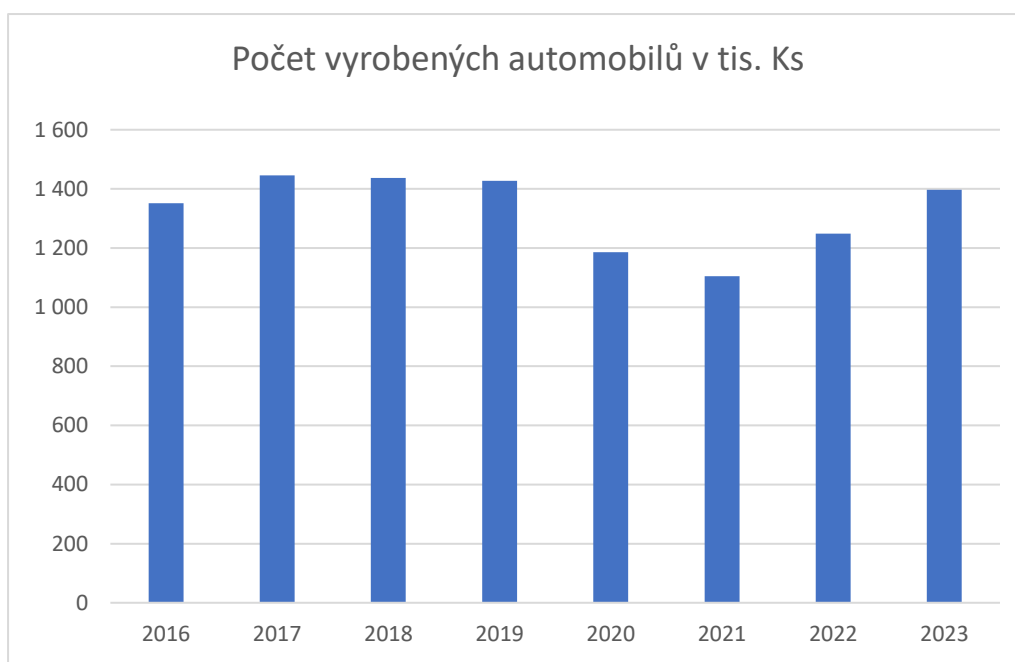
Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Výše HDP ČR	10 742	11 485	12 328	12 912	11 988	13 421	15 633	16 872
Tržby z výroby automobilů	1 182	1 296	1 311	1 387	1 096	1 175	1 496	1 689
Podíl na HDP	11,0%	11,3%	10,6%	10,7%	9,1%	8,8%	9,6%	10,0%

Zdroj: vlastní zpracování dle ČSÚ

V kontextu mezinárodního obchodu se automobilový sektor jeví jako hlavní motor exportní činnosti ČR. Informace z databáze Světové banky uvádí, že export vozidel a souvisejících dílů dominuje vývoznímu portfoliu České republiky, kde zaujímá až čtvrtinový podíl z celkového exportu. Zvláště Německo se profiluje jako klíčový odběratel, přijímající téměř třetinu všech automobilových výrobků vyexportovaných z ČR. Sektor navíc zastává významnou pozici jako zaměstnavatel na domácím trhu, poskytující práci 180 000 lidem, s odhadem na dalších půl milionu v ostatních přidružených průmyslových odvětvích.

Za zmínku také stojí postavení České republiky na globálním poli, kde se řadí jako druhý největší výrobce automobilů na světě v poměru vůči počtu obyvatel. Automobilová výroba se tak stává nejvýznamnějším segmentem národní průmyslové produkce, představující asi 26 % z celku. Dynamika tohoto odvětví v posledních osmi letech, jak ukazují dostupná data a graf níže, odráží jeho klíčový význam pro českou ekonomiku.

GRAF 12: PRODUKCE AUTOMOBILŮ V ČR



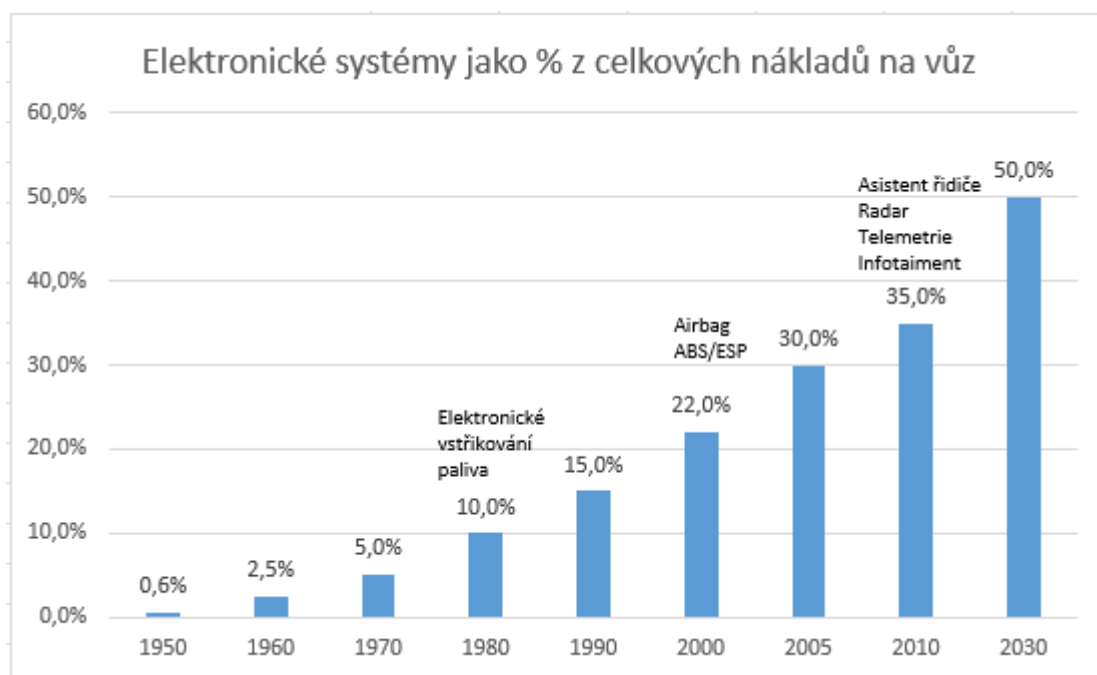
Zdroj: vlastní zpracování dle Auto SAP

V období let 2018 až 2019 dosáhl automobilový sektor v České republice rekordní úrovně produkce, když každý rok překročil hranici 1,4 milionu vyrobených vozidel. Toto období vynikajících výsledků však bylo náhle ukončeno v prvních měsících roku 2020, což bylo přímo spojeno s vypuknutím pandemie COVID-19. Navíc se v letech 2021 a 2022 odvíjela série dalších komplikací, které již byly představeny v teoretické části této práce.

5.1 Elektronika v automobilech

Sektor automobilové výroby zaznamenal značný vývoj v oblasti integrace pokročilé elektroniky zaměřené na zvýšení bezpečnosti a komfortu řidičů i pasažérů. Na počátku tisíciletí, specificky v roce 2004, bylo pouhých 25 % vozidel vybaveno airbagy a méně než polovina disponovala elektronicky nastavitelnými sedadly přímo z výroby. Nicméně, díky kombinaci regulací ze strany vlád a rostoucí poptávce ze strany konzumentů, došlo k rapidnímu rozvoji a implementaci bezpečnostní elektroniky v automobilovém průmyslu. Dnes je vidět, že inovační aktivita v automobilovém sektoru se přesouvá od tradiční mechaniky k elektronickým systémům. Tento posun se odráží i ve finančních nákladech na elektroniku ve vozidlech, které se z 20 % celkových nákladů v roce 2007 zvýšily na 40 % v roce 2017, což poukazuje na zásadní změnu ve struktuře výrobních a vývojových priorit automobilového průmyslu. V blízké budoucnosti se očekává, že vlivem rozvoje elektromobility a propojenosti vozidel dosáhnou výdaje na elektronické součástky více než poloviny celkových přímých materiálových nákladů spojených s výrobou automobilů.

GRAF 13: NÁKLADY NA ELEKTRONIKU V AUTOMOBILECH



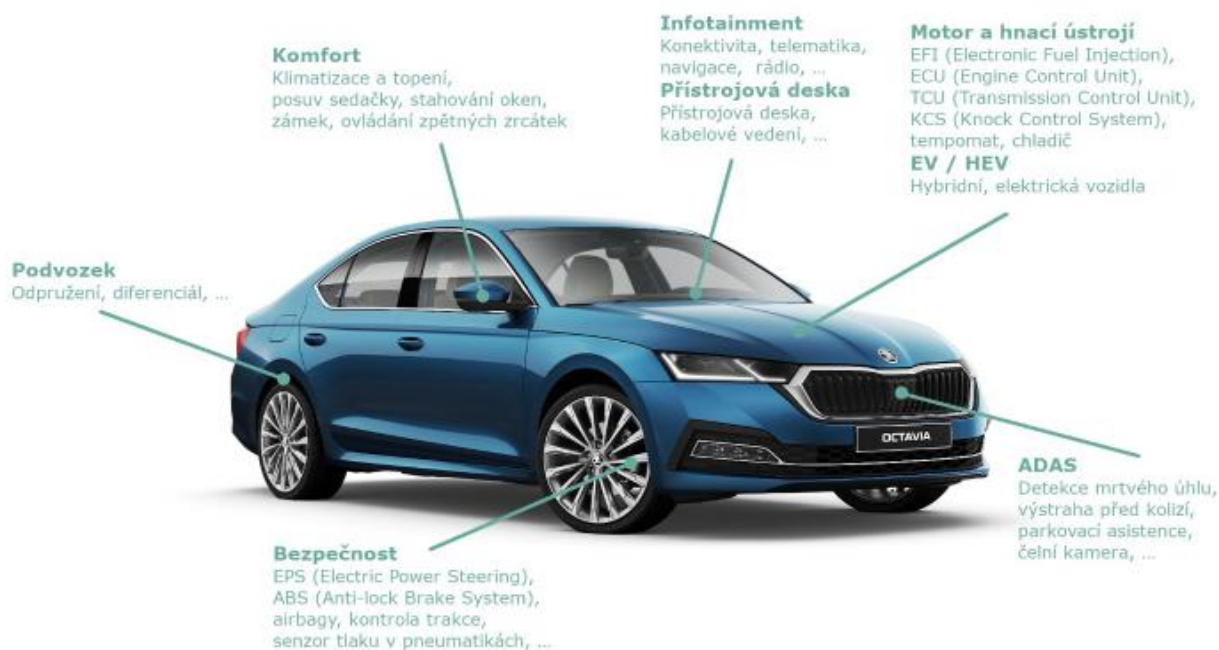
Zdroj: vlastní zpracování dle IC Insights

Polovodičové součástky používané v automobilovém průmyslu se dají klasifikovat do několika hlavních kategorií na základě typu, jsou jimi:

- procesory
- paměti
- integrované obvody
- senzory
- výkonové čipy
- LED.

Obrázek číslo 9 ilustruje základní využití polovodičů v automobilovém průmyslu. Podle odborníků tento trend signalizuje klíčovou transformaci v oboru, vedoucí k rozvoji a implementaci nových elektronických aplikací. Mezi tyto nové aplikace patří systémy pro autonomní řízení, vozidla poháněná výhradně elektrickou energií, stejně jako pokročilé technologie pro rychlou a bezpečnou komunikaci a zábavní systémy v automobilech. Tato evoluce naznačuje, že automobilový sektor prochází zásadními inovacemi, které mění jak samotnou konstrukci vozidel, tak i způsob, jakým s nimi jako spotřebitelé interagujeme.

OBRÁZEK 9: POLOVODIČOVÉ KOMPONENTY V AUTOMOBILU



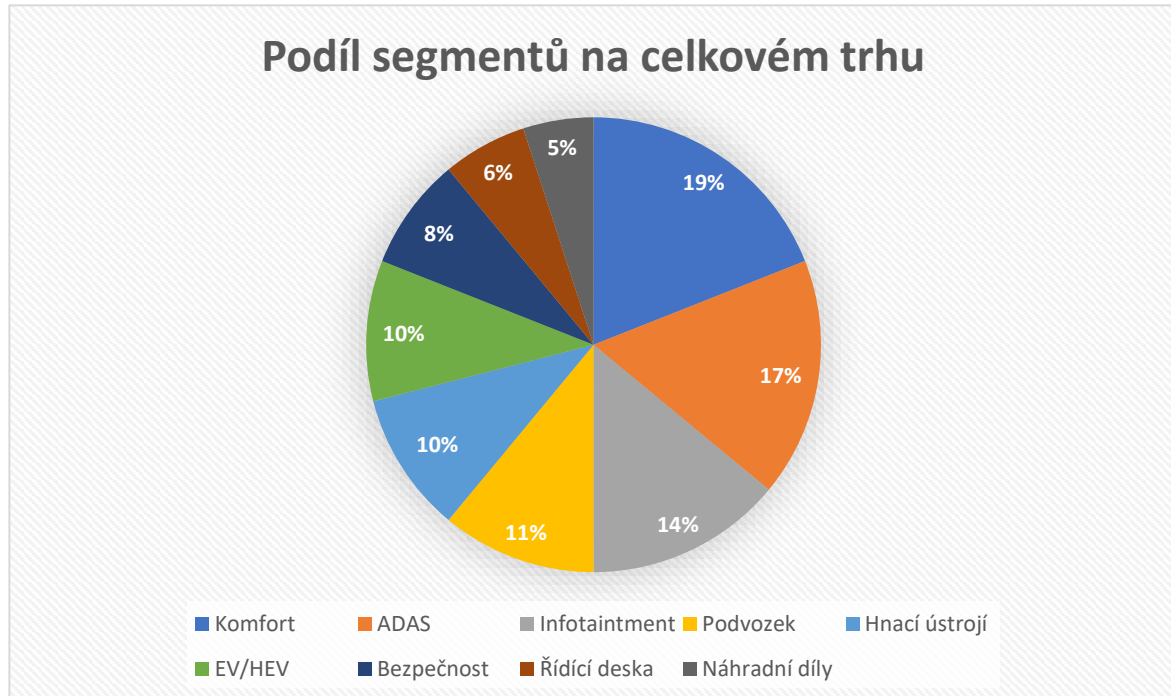
Zdroj: Škoda Auto a.s.

Elektronické součásti v automobilech můžeme dále dělit do několika specifických segmentů, kterými jsou:

- **ADAS** – Využívá instalované senzory k monitorování prostředí během jízdy, které jsou schopny sbírat informace, identifikovat a sledovat možná rizika.
- **Pohonné ústrojí** – Označuje soubor součástí a komponent, které produkují energii a přenášejí ji na vozovku.
- **Bezpečnost** – Obsahuje systémy aktivní i pasivní bezpečnosti, které přispívají k minimalizaci rizika dopravních nehod a zmírňují jejich případné důsledky.
- **EV/HEV** – Plně elektrické či hybridní vozidlo, jež spojuje tradiční spalovací motor (ICE) s elektrickým pohonným systémem.
- **Přístrojová deska** – Přístrojová deska, typicky situovaná před řidičem, zahrnuje ukazatele a ovládací prvky nezbytné pro řízení vozidla.
- **Podvozek** – Automatické řízení a přizpůsobení podvozku jízdním podmínkám, ovládání odpružení a diferenciálu.
- **Infotainment** – Nabízí soubor informací a zábavného obsahu prostřednictvím integrovaného informačního systému v vozidle.
- **Poprodejní trh** – Sektor náhradních dílů pokrývá výrobu, opravy, distribuci, maloobchod a instalaci všech automobilových elektronických komponent po jejich prodeji výrobcem originálního vybavení (OEM) koncovému zákazníkovi.

- **Komfort** – Elektronika související s komfortem řidiče a spolujezdců jako klimatizace a elektrické stahování oken.

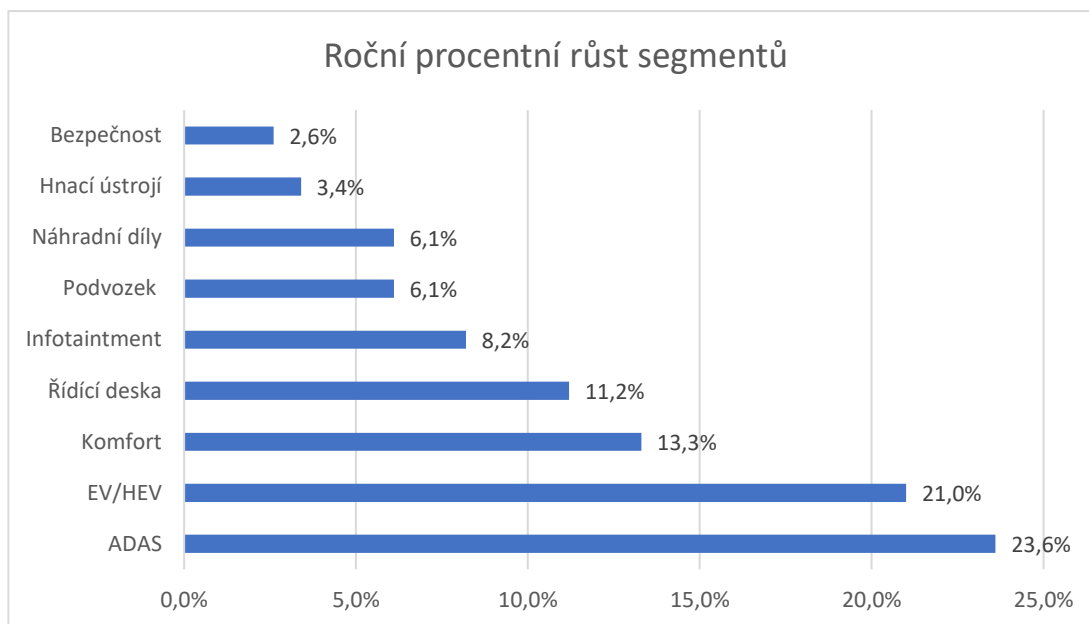
GRAF 14: PODÍL TRŽNÍCH SEGMENTŮ V RÁMCI CELKOVÉHO TRŽNÍHO PROSTORU



Zdroj: vlastní zpracování dle Deloitte Advisory

Podle studie provedené společností Deloitte, která analyzuje dynamiku růstu různých segmentů polovodičového trhu, se ukazuje, že na čele růstu stojí systémy pokročilé asistence řidiče (ADAS) s růstovým tempem 23,6 %. Tyto systémy se již nyní řadí mezi klíčové segmenty trhu. Na druhé příčce se nacházejí specifické komponenty určené pro hybridní a elektrická vozidla, které aktuálně představují 10 % celkového trhu. Třetí místo pak zaujímá největší segment trhu, spojený s komfortem vozidel. Tato analýza poukazuje na rychlou evoluci technologických prvků v automobilovém průmyslu a jejich vliv na tržní struktury.

GRAF 15: PROCENTNÍ ROČNÍ NÁRŮST RŮZNÝCH SEGMENTŮ



Zdroj: vlastní zpracování dle Deloitte Advisory

Růst trhu s polovodiči v automobilovém sektoru je úzce svázán s narůstajícím využíváním elektronických komponent a zvyšujícím se množstvím polovodičů implementovaných do vozidel. Data vyobrazená v grafech výše naznačují, že segment aplikací systémů pokročilé asistence řidiče (ADAS) zaznamená nejprudší růst, což je spojeno s postupným zvyšováním počtu polovodičů v důsledku rostoucího stupně automatizace vozidel. Od vozidel s částečnou automatizací se očekává, že zahrnou růst polovodičových komponentů v hodnotě okolo 100 USD každý rok, zatímco u vozidel s vyšší mírou automatizace se tato hodnota může vyšplhat až na 400 USD. U plně automatizovaných vozidel se předpokládá polovodičová hodnota přibližně 550 USD. Další klíčové segmenty, včetně hnacích systémů vozidel, vykazují značnou poptávku po mikrokontrolerech, senzorech a výkonových polovodičích. To je způsobeno především skutečností, že v kontextu hybridních a elektrických vozidel jsou polovodiče základem pro zvýšení efektivity elektrického pohonu.

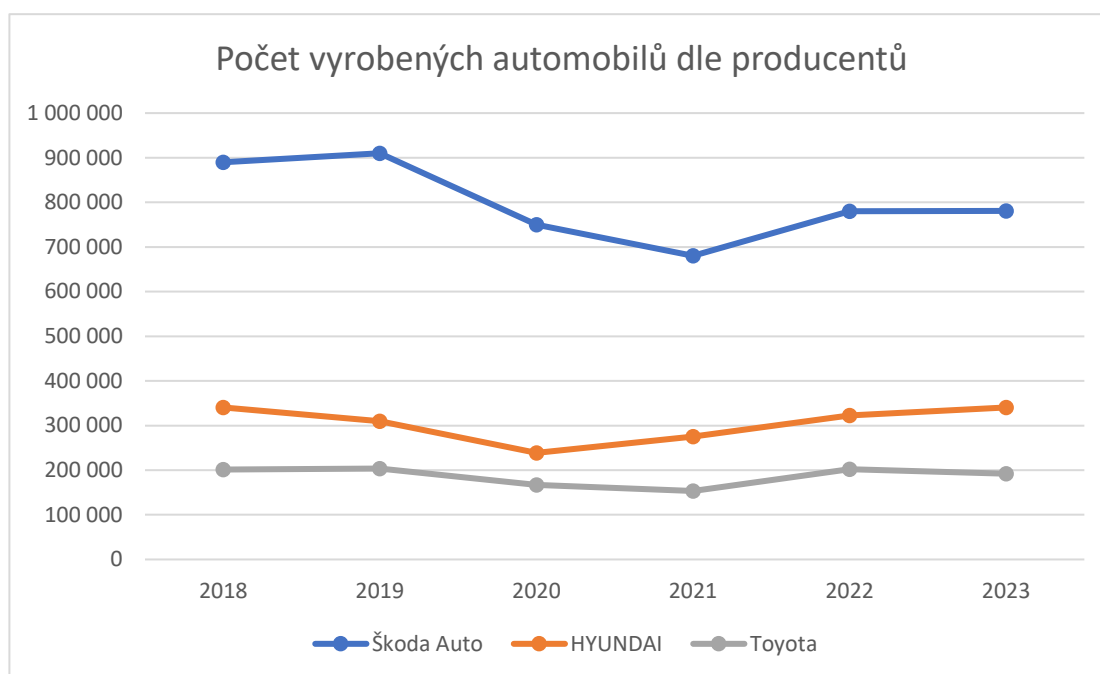
5.2 Dodavatelský řetězec polovodičů v automobilu

Jak již bylo popsáno v teoretické části této práce a dále empiricky podloženo v této kapitole výše, role polovodičů v automobilovém průmyslu se stává stále významnější a má výrazný dopad na celkovou tržní hodnotu automobilů. Tento trend zdůrazňuje významný vliv globální nedostatkové situace na trhu s polovodiči pro automobilový sektor.

V rámci ČR dominuje v produkci automobilů jednoznačně Škoda Auto, která před pandemií COVID-19 tvořila přibližně 64 % celkové výroby, což lze ilustrovat pomocí přiloženého grafu 16. Během roku 2020 však všechny tři hlavní automobilky zaznamenaly pokles výroby, což bylo způsobeno přerušením výrobních činností na jaře toho roku. Škoda Auto musela dočasně zastavit provoz svých továren na 26 a poté 30 pracovních dnů. Další byla automobilka TMMCZ, která pozastavila výrobu na více než šest týdnů, a HMMC, který zavřel své závody na neurčitou dobu. Pokles výroby byl dále zesílen globálním poklesem poptávky po nových vozidlech, což Škoda Auto uvedla jako jeden z důvodů snížení produkce. Na druhou stranu, HMMC čelil nejen

výrobním omezením, ale také zažil první problémy spojené s dodavatelským řetězcem, což vyžadovalo úpravu výrobních plánů. Přesto se společnosti podařilo aktualizovat portfolio svých modelů, což mělo pozitivní dopad na výrobní činnost v následujícím období.

GRAF 16: OBJEM VÝROBY AUTOMOBILŮ V JEDNOTLIVÝCH LETECH DLE PRODUCENTŮ



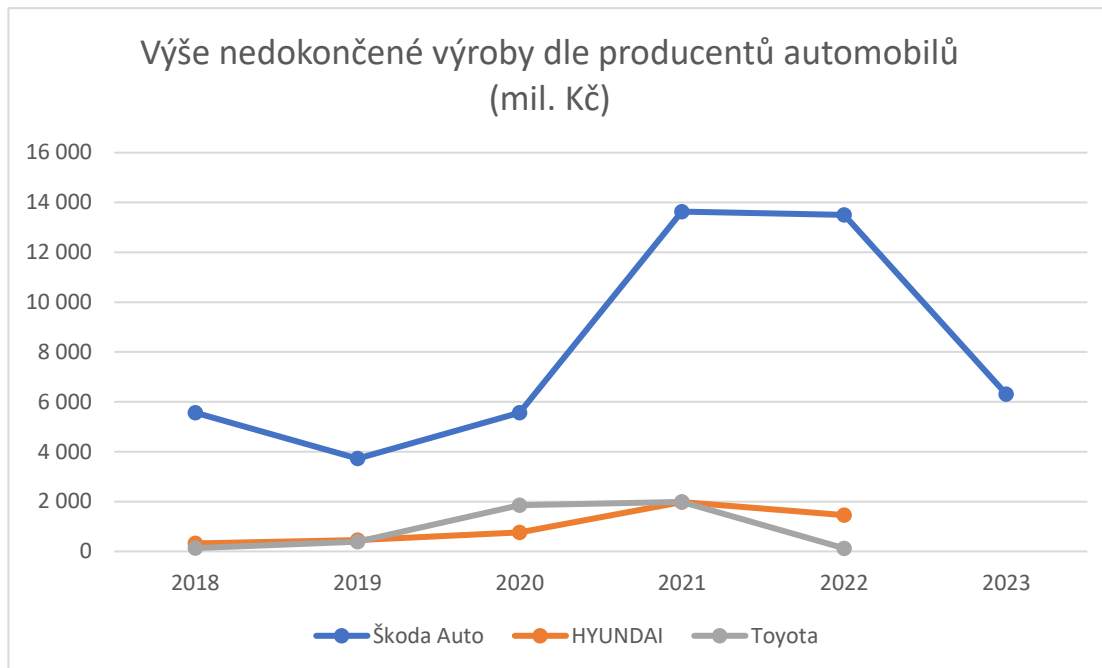
Zdroj: vlastní zpracování dle výročních zpráv automobilek

Optimismus výrobců automobilů, podpořené relativně příznivými výsledky ve druhé polovině roku 2020, se v následujícím roce 2021 bohužel neproměnil v realitu. Významně k tomu přispěla nejen přetrvávající pandemie, ale také začínající krize v oblasti polovodičů a s ní související problémy. Navzdory těmto obtížím se ale HMMC podařilo zaznamenat více než 13% nárůst produkce, což bylo možné díky zcela obnovenému výrobnímu portfoliu a efektivní spolupráci s dodavateli.

Během roku 2022 dokázaly HMMC a TMM CZ, i navzdory celkovým obtížím v odvětví, dosáhnout výrobních objemů překračujících úroveň z období před pandemií, přestože TMM CZ musela čelit přerušování výroby kvůli nedostatku součástek. HMMC, ve spolupráci s dodavateli, prokázala schopnost flexibilně reagovat na výzvy a udržet výrobní procesy aktivní i v době hluboké krize spojené s nedostatkem polovodičů. Naproti tomu produkce společnosti Škoda Auto v roce 2022 stagnovala na úrovni předchozího roku, zčásti i kvůli dalším nepříznivým dopadům vyvolaným konfliktem na Ukrajině. Podíl společnosti Škoda na celkové české produkci automobilů se tak snížil na 55 %. Mezi hlavní faktory patřily výpadky dodávek kabelových svazků právě z Ukrajiny, odchod koncernu VW z ruského trhu, a skokový nárůst cen energií a surovin.

Vliv krize s dostupností dílů a polovodičů je zřetelně viditelný na grafu číslo 14, který ukazuje objem nedokončené produkce na konci každého roku. Neschopnost dokončit výrobu automobilů se v roce 2021 projevila markantním nárůstem nedokončených vozidel u všech tří výrobců. Díky postupnému přísunu součástek a finalizaci vozidel došlo ke snížení objemu nedokončené výroby na konci roku 2022, i když v případě Škoda Auto se spíše v tomto ohledu jednalo o stagnaci.

GRAF 17: OBJEM NEDOKONČENÉ VÝROBY AUTOMOBILEK V MIL. KČ



Zdroj: vlastní zpracování dle výročních zpráv automobilek

Z informací prezentovaných v grafech 16 a 17 vyplývá, že společnost Škoda Auto nejhůře zvládla výzvy v souvislosti s řešením dopadů polovodičové a pandemické krize. Z celkem 470 podniků působících v sektoru polovodičů se pouhých 31 zaměřuje na jejich výrobu. Tyto výrobní jednotky, známé jako foudries, představují většinu, zatímco menší část tvoří firmy, které se specializují jak na návrh, tak i na výrobu. Zbylé podniky se primárně věnují pouze návrhu a testování polovodičů nebo produkci jejich obalů. Takové rozložení sektoru vyvíjí intenzivní tlak na výrobní společnosti a podněcuje vysokou míru konkurence. Do hlavního dodavatelského řetězce polovodičů pro automobilku Škoda Auto patří společnosti jako Infineon, TSCM, NXP, Renesas, Murata, Texas Instruments a OnSemi.

Analýza tržní situace potvrzuje zjištění provedené sekundární analýzou, že kombinace pandemie COVID-19 a souběžných přírodních katastrof vyvolala značnou krizi nejen v automobilovém průmyslu. Situaci dále zhoršilo snížení objednávek čipů automobilovým průmyslem a současně zvýšená poptávka po čipech pro modernější technologie, které se převážně využívají v komunikační elektronice. Když automobilové firmy začaly opětovně zvyšovat objednávky, výrobci polovodičů nebyli motivováni k produkci méně ziskových technologií využívaných v automobilech.

Výpadek v objednávkách ze strany automobilových výrobců využili spekulanti na trhu s čipy, kteří si čipy hromadně nakoupili do skladových zásob. Jakmile se poptávka po starších čipech obnovila, prodávali je následně za násobně vyšší ceny. Proto se například Škoda Auto rozhodla zřídit speciální tým zaměřený na získávání těžko dostupných čipů a hodnocení, zda se vyplatí dražší čipy pořizovat. Další řešení za účelem zmírnění krize, která Škoda Auto zavedla, patřila výroba nekompletních vozidel do zásoby, vytvoření specializovaných týmů zaměřených na řešení nedostatku polovodičů, zvýšený zájem o dodavatele první úrovně i přímo o výrobce polovodičů nebo uzavírání dlouhodobých kontraktů. Škoda Auto se také snažila o zakládání jiných

strategických partnerství, redesign součástek postrádajících čipy nebo vyhledání alternativních čipů, které mohou nahradit ty původní. Klíčovým opatřením bylo posílení komunikace mezi koncernem a jeho dodavateli.

Mezi nedostatky v dodavatelských řetězcích patří zcela zřejmě omezená schopnost rychlé adaptace a nedostatek informací. Výrobní cyklus polovodičů je dlouhodobý proces, což znamená, že je nerealistické očekávat dodání nové objednávky čipů do týdne, pokud nejsou již k dispozici na skladě. Proces vyhledávání alternativního čipu pro konkrétní součástku v případě výpadku původního je takřka nemožný, a navíc vyžaduje rozsáhlé testování. Je nezbytné najít čip s co nejpodobnějšími vlastnostmi a poté ověřit, zda splňuje specifické požadavky automobilového průmyslu, jako je odolnost proti vysokým teplotám. U kritických komponent, jako jsou kamery, senzory a radary, existuje tendence mít je od jediného dodavatele, což dále snižuje flexibilitu a možnosti reakce na vzniklé nedostatky.

Ve stávajících dodavatelských řetězcích je patrný nedostatek integrovaného informačního systému, který by usnadňoval komunikaci mezi Škoda Auto a jejími dodavateli. Tato situace vede k neefektivní výměně informací, což má za následek časté pozdní zjištění o nedostacích nebo zrušení již potvrzených objednávek krátce před termínem dodání.

Inovace v oblasti polovodičů jsou pro automobilový sektor zásadní, zejména ve vztahu k technologiím infotainmentu, autonomního řízení a bezpečnostních prvků. Jednou z výzev při implementaci nových polovodičů do automobilových součástek je jejich vysoká specifická a požadavky na jejich vlastnosti. Zavedení inovativních polovodičů schopných nahradit více stávajících typů by případně mohlo významně přispět k řešení krize v budoucnu. Tento přístup by měl dvě hlavní výhody: snížení potřebného množství polovodičů v každém vozidle a zvýšení atraktivity výroby těchto pokročilých polovodičů pro dodavatele. Podpora vlád v oblasti výroby polovodičů v USA a Evropě by měla pozitivní dopad na dodavatelské řetězce, potenciálně umožňující USA snížit svou závislost na Číně. Nicméně stále zůstává otázkou, jak rychle budou schopny nové továrny zahájit výrobu a na které technologie čipů se zaměří.

5.3 Různé strategie pro možné snížení rizik v budoucnu

Potíže spojené s nedostatkem polovodičů odhalily značnou míru závislosti automobilového průmyslu na kooperaci s producenty těchto klíčových součástek. V tomto procesu hrají roli také dodavatelé speciálního vybavení pro výrobní linky polovodičů a řada dalších aktérů. Pokud si zákazník dnes koupí nový automobil, může si být jistý, že na vývoji systému infotainmentu se mohly podílet až desítky společností. Vazby v globální ekonomice jsou nesmírně složité, což není charakteristické pouze pro automobilový sektor, ale v dnešní době obecně pro široké spektrum průmyslových odvětví.

Tato podkapitola se snaží popsat a navrhnout různé strategie a doporučení pro automobilové producenty, zejména pak pro Škoda Auto a.s., které by mohli v budoucnu snížit negativní dopady na výrobu v případě výpadku v globálním dodavatelském řetězci.

5.3.1 Strategické zásobování

Vzhledem k malým rozměrům a relativně nízkým nákladům na jednodušší polovodiče se jeví jako rozumná strategie zřídit pro dodavatele první úrovně větší rezervní zásoby klíčových čipů. Tyto zásoby by bylo možné efektivně spravovat například prostřednictvím outsourcingu skladovacích kapacit od specializovaných partnerů. Tento přístup by umožnil vyhnout se nutnosti

velkých investic do výstavby nových skladových zařízení a optimalizace stávajících skladových prostor. Hlavním benefitem této strategie je flexibilita v reakci na budoucí vývoj trhu s polovodiči, umožňující snížení nebo úplné ukončení udržování zásob, jakmile se situace na trhu více stabilizuje.

5.3.2 Inovativní přepravní trasy

V oblasti mezi Asií a Evropou dochází k rozvoji nových logistických tras, které nabízejí alternativní možnosti pro přepravu různého druhu zboží. Tyto trasy jsou primárně založeny na využití železniční dopravy s pouze částečným využitím dopravy námořní. Poslední úsek přepravy, často označovaný jako "last mile", je realizován prostřednictvím silniční dopravy. Přestože v průzkumu nebyly dopravní obtíže označeny za zásadní problém, tyto nově vzniklé železniční spojení by mohly významně přispět ke zvýšení pružnosti v rámci stávajících dodavatelských řetězců. Výhodou v porovnání s námořní dopravou je především výrazně kratší doba dodání. Navíc, vysoká míra elektrifikace železnic na těchto nových trasách přispívá ke zlepšení ekologické udržitelnosti podnikatelských operací.

5.3.3 Dodavatel se specializací výhradně na výrobu automobilových polovodičů

Sektor polovodičů, zejména ten využívaný v rámci automobilů, čelí významné strukturální změně. Výrobci polovodičových komponent se stále více odvracejí od produkce starších technologií s velikostí čipů okolo 50 nm, které jsou ekonomicky méně atraktivní ve srovnání s pokročilejšími 5 nm čipy. V důsledku toho vzniká na trhu mezera, jelikož po starších čipech stále přetrvává vysoká poptávka. Existuje proto příležitost pro strategickou spolupráci s výrobcem, který by se specializoval na výrobu těchto starších polovodičů. Taková specializace by mohla vést k tomu, že se stane hlavním dodavatelem na trhu pro tyto produkty, což by umožnilo ostatním výrobcům soustředit se výhradně na inovativnější technologie. Vzhledem k současným restrikcím v oblasti exportu nejnovějších technologií do Číny by mohlo být možné nalézt čínské partnery ochotné zapojit se do výroby těchto méně pokročilých polovodičů.

5.3.4 Agilní logistický řetězec

Logistické sítě v oblasti polovodičů se vyznačují značnou složitostí, což je činí obzvláště zranitelnými vůči vnějším vlivům, jako jsou přírodní katastrofy, pandemické události nebo geopolitické konflikty. Rovněž se obtížně přizpůsobují změnám v poptávce, zejména v důsledku dlouhého času potřebného k přizpůsobení výrobních kapacit. Z těchto důvodů je klíčové implementovat do dodavatelských řetězců agilní strategie a upřednostňovat odolnost proti rizikům. Jako účinná opatření se nabízí využití pokročilých IT systémů umožňujících sledování stavů skladových zásob a výměnu informací mezi jednotlivými úrovněmi dodavatelů. Dalším krokem by mělo být zavedení systému pro plánování scénářů, jenž by předcházel potenciálním rizikům a umožňoval jejich efektivní řešení.

5.3.5 Sdílení pomocí IT systému

Zavedení informačních systémů, které umožňují detailní sdílení údajů o produkci, stavu zásob, plnění objednávek, monitorování přepravy a identifikaci potenciálních komplikací by mohly významně přispět k zvýšení průhlednosti v rámci dodavatelských procesů. Tyto systémy nabízí podnikům možnost rychleji identifikovat a řešit problémy, což umožňuje efektivnější

prevenci možných obtíží. Je zásadní, aby měli k těmto informačním zdrojům přístup jak zástupci odpovědní za nákup klíčových součástí, tak vedoucí pracovníci. Tím by mohli adekvátně reagovat na veškeré vzniklé problémy. Tímto přístupem lze výrazně posílit stabilitu a efektivitu dodavatelských řetězců. Na druhou stranu, potenciálním rizikem těchto systémů je možnost jejich zneužití pro neoprávněný přístup k firemním datům, šíření škodlivého softwaru nebo provádění kybernetických útoků s cílem získat kontrolu nad informačním systémem.

5.3.6 Strategická partnerství

Strategická partnerství, která vznikla jako reakce na krizi způsobenou nedostatkem polovodičů, představují významný benefit vyplývající z této obtížné situace. Proaktivní udržení těchto vztahů do budoucna by mohlo bezpochyby efektivně předcházet opakování podobných krizových scénářů. Vytváření pevných aliancí s polovodičovými společnostmi a pokročilé plánování výrobních kapacit na základě co nejpreciznějších prognóz se jeví jako klíčové. S narůstajícím nedostatkem dodavatelů ochotných se věnovat produkci starších modelů polovodičů pro automobilový sektor a s obtížemi spojenými s akutním získáváním čipů bez předchozího zajištění skladových zásob se stává tato strategie nezbytná, zejména pak kvůli dlouhým dodacím lhůtám. Takováto partnerství navíc mohou přispět ke zvýšení odolnosti dodavatelského řetězce tím, že umožní lepší adaptaci na výzvy spojené s neohebností výrobních procesů polovodičů.

5.3.7 Akvizice dodavatele

Aby si podnik naprosto bezpečně zajistil kontinuitu v dodávkách polovodičů, může zvážit strategii vertikální integrace tím, že akvizicí přímo získá výrobce polovodičů. Tímto krokem by koncern nejen zabezpečil pravidelné dodávky pro svou produkci, ale také by mohl nabízet případně přebytky polovodičů na trhu dalším firmám. Realizace takovéto akvizice by však vyžadovala značné finanční prostředky. Alternativním řešením by mohlo být uzavření leasingové smlouvy na část podniku nebo výrobní kapacity dodavatele, což by redukovalo počáteční kapitálové náklady. Nicméně i tak je toto řešení spíše adresované velkým automobilovým koncernům, nežli jednotlivým samostatně stojícím automobilkám jako je Škoda Auto.

6 Případová studie společnosti EWM Hightec Welding

Předchozí kapitoly praktické části práce se zaměřovaly především na velké společnosti s mezinárodním přesahem nebo obecně polovodičovým sektorem v ČR. Následující případová studie, která vznikla na základě kvalitativního polostrukturovaného rozhovoru se zástupcem společnosti EWM Hightec Welding s.r.o., přináší pohled do středně velké české výrobní společnosti, jež se zpracováním polovodičových komponent zabývá.

6.1 Představení společnosti

EWM Hightec Welding s.r.o. je významnou firmou v oblasti výroby pokročilých digitálních svářecích zařízení. Na rozdíl od svých konkurentů, tato společnost provádí celý výrobní proces, včetně aktivit souvisejících s poprodejní podporou, přímo na území České republiky. Produkční infrastruktura společnosti je strukturována do dvou hlavních závodů s doplněním prodejní pobočky v Benešově u Prahy. Tímto způsobem zajišťuje firma komplexní pokrytí všech aspektů výrobního a distribučního procesu. Toto uspořádání nejenže podporuje efektivitu a kvalitu výrobních procesů, ale také umožňuje společnosti udržovat vysokou úroveň zákaznického servisu a poprodejní péče, což představuje hlavní faktor odlišující ji od konkurence.

Hlavní závod společnosti EWM je umístěn v severních Čechách v Jiříkově na hranicích s Německem. Tento areál je domovem dvou hlavních výrobních hal a jedné haly určené pro skladovací účely. Kromě toho zde má své sídlo i vedení společnosti. Výrobní prostory jsou členěny na množství specializovaných oddělení, která se vyvíjela postupně a v současné době zahrnují čtyři výrobní a několik montážních oddělení. Mezi klíčová výrobní oddělení v tomto závodě patří sekce zabývající se výrobou kabelových svazků, transformátorů, zátěžových kabelů a modulů, které představují hlavní zdroj komponent pro montážní oddělení. V těchto montážních odděleních dochází k sestavování svářecích přístrojů z jednotlivých dílů na základě předem definovaných montážních postupů. Celý výrobní proces je zakončen elektrickým testováním produktů, jež se provádí na zkušebně. V průběhu celého výrobního cyklu se provádějí mezi jednotlivými kroky elektrické a vizuální kontroly za účelem zajištění absolutní kvality, kterou společnost EWM zaručuje svým zákazníkům. Po úspěšném absolvování elektrického testu musí výrobky projít také finální kontrolou kvality, než jsou následně pečlivě zabaleny a expedovány k zákazníkům.

V rámci závodu v Jiříkově se navíc nachází oddělení přípravy výroby, sklad, expedice, logistika, nákup, prodej, personální a účetní oddělení a také vedení společnosti, což zajišťuje komplexní zázemí pro efektivní fungování výrobního procesu.

Druhý výrobní závod společnosti se nachází v Rumburku a představuje historicky první výrobní zařízení této firmy na českém území. V počáteční fázi své činnosti se zaměřoval především na výrobu komponent pro svářecí přístroje, zejména na tištěné obvody a transformátory. V současné době se tento závod specializuje na výrobu elektronických komponent pro veškeré svářecí přístroje společnosti, včetně automatického osazování za pomoci speciálních strojů, manuálního osazování, měření a aplikace povrchových úprav na desky plošných spojů.

V rámci výrobních procesů v Rumburku se automatické osazování dělí na THT (Through-Hole Technology) a SMD (Surface-Mounted Device) technologie. K dispozici jsou zde za tímto účelem zřízeny tři automatické výrobní linky. Každá deska plošných spojů podléhá optické

kontrole k zajištění kvality. Následuje ruční osazení komponent, které nelze aplikovat automaticky, po němž se desky opět podrobně kontrolují pomocí automatického optického systému. Další fází je měření elektronických parametrů, prováděné na automatických testovacích systémech i zařízeních vyvinutých interně samotnou společností.

Finálním krokem je aplikace povrchové úpravy. To se provádí pomocí typického zalakování, které chrání desky před vnějšími vlivy. Po dokončení všech nezbytných výrobních kroků jsou produkty podrobeny výstupní kontrole kvality a následně expedovány do dalších výrobních závodů skupiny EWM. Na celém tomto procesu se podílí tým zaměstnanců zahrnující přípravu výroby, kontrolu kvality a další podpůrné činnosti, který v současnosti čítá téměř osmdesát pracovníků v rumburském závodu.

OBRÁZEK 10: VÝROBA SMD DESKY V RUMBURSKÉM ZÁVODU



Zdroj: (EWM HIGHTEC WELDING, 2022)

6.1.1 Historie

Nejstarší mateřská společnost EWM byla založená v roce 1957 v Mündersbachu v Německu. Zakladatelem byl Edmund Szczesny, jehož vize položily základy pro vývoj a expanzi firmy, která se postupně stala jedním z předních hráčů na trhu svařovací techniky. Po více jak 30 letech na německém trhu se firma v roce 1994 rozhodla založit českou pobočku v Rumburku. Tento krok umožnil společnosti posílit svou pozici na evropském trhu a zároveň rozšířit své výrobní kapacity. Následující rok pak byla dokončena výstavba výrobní haly v Rumburku, čímž došlo k dalšímu rozšíření výrobních kapacit.

V roce 2007 společnost provedla další strategický krok s přestěhováním sídla české pobočky do Jiříkova, do nově zakoupeného a zrekonstruovaného areálu, což jí umožnilo dále rozvíjet své podnikání. V roce 2013 byla v Jiříkově vybudována vysokopodlažní skladová hala, která zlepšila logistické procesy a zvýšila efektivitu skladování. Dále v roce 2017 se pak společnost EWM HIGHTEC WELDING s.r.o. sloučila s prodejní společností EWM Hightec Welding Sales s.r.o. za účelem lepší integrace mezi výrobou a prodejem, což vedlo k větší synergií a efektivitě.

V roce 2018 pokračovala společnost ve své expanzi s výstavbou nové výrobní haly v Jiříkově, čímž dále posílila svou výrobní kapacitu a inovační schopnosti. Tento krok znovu potvrdil závazek společnosti k investicím do svých výrobních zařízení a k posilování své pozice na trhu. Do budoucna hodlá firma v investicích pokračovat v podobě rekonstrukce Jiříkovského areálu a výstavby zbrusu nové výrobní haly na elektroniku.

6.2 Strategie společnosti během nedostatku zdrojů

Jako mnohé jiné společnosti, také EWM byla výrazně ovlivněna covidovou krizí, jejíž dopady byly dále zesíleny následnou krizí v oblasti polovodičů. Během období největšího nedostatku vstupních materiálů v roce 2020, který byl způsoben zastavením výroby u klíčových dodavatelů v Číně, došlo k nárůstu cen vstupních materiálů i o stovky procent. Například součástka, která je nezbytná pro výrobu elektroniky ve svářecích zařízeních a která nemá adekvátní náhradu, byla před rokem 2019 nakupována za cenu přibližně 25 Kč za kus. Během pandemie, v důsledku výrobního nedostatku a současně zvýšené poptávky i z jiných odvětví, cena této komponenty vzrostla na více než 280 Kč za kus. V daném období nedostatku byla společnost EWM nucena hledat vstupní materiály výhradně na území Evropy, což bylo způsobeno i významným omezením dopravy z Asie.

Přestože elektronické komponenty tvoří pouze 10 až 15 % celkových nákladů na výrobu nové svářečky, signifikantní zvýšení cen vstupních materiálů pro výrobu elektroniky mělo zásadní vliv na cenovou strategii výrobce. Náklady na produkci nových svářecích zařízení se zvýšily, nicméně na rozdíl od některých konkurentů, se společnost EWM rozhodla toto navýšení nekompensovat prostřednictvím vyšších prodejních cen. Toto rozhodnutí bylo přijato především kvůli tomu, že nové digitální svářečky jsou na trhu považovány za prémiový produkt. Společnosti upřednostňují opravu stávajících, stále funkčních zařízení před nákupem nových, což je dáno také dlouhou životností podobných produktů. Dále, i když covidová krize snížila množství konkurence na trhu, ceny zůstaly výrazně stabilní. Tento fenomén lze vysvětlit stále silnou přetrvávající konkurencí a vysokými bariérami vstupu pro případné nové konkurenty.

Navzdory zvýšeným nákladům na vstupní materiály se společnost EWM rozhodla nezvyšovat ceny svých produktů, ale místo toho kompenzovala nárůst nákladů snížením vlastních marží. Tento strategický krok umožnil společnosti udržet si loajalitu stávajících zákazníků a zachovat stabilní úroveň tržeb. V důsledku toho společnost úspěšně prošla obdobím nedostatku bez nutnosti výrazného snížení objemu produkce nebo prováděním rozsáhlého propouštění zaměstnanců.

6.3 Nákup materiálů

Nákupní strategie společnosti EWM je centralizovaně řízena z německého ústředí firmy, avšak pro efektivní zajištění zdrojových materiálů využívá firma dceřinou společnost umístěnou v Číně. Tato dceřiná společnost hraje klíčovou roli v hledání komponent po celém východoasijském regionu, přičemž hlavní zaměření je na nákup materiálů právě z Číny, Taiwanu a Jižní Koreje.

V kontextu své obchodní strategie aktuálně plánuje EWM své nákupní činnosti s předstihem dvou až tří let, uzavírajíc na základě toho kontrakty na velkoobchodním trhu. Specifika odvětví, ve kterém společnost působí, ztěžují plánování na delší dobu, a to zejména kvůli obtížné předvídatelnosti poptávky po nových svářecích zařízeních ze strany zákazníků. Existuje však určitá sezónnost v odvětví. Tu lze sledovat zejména ke konci třetího čtvrtletí a během

čtvrtého čtvrtletí, kdy se firmy snaží naplnit své investiční plány a intenzivněji nakupují nová zařízení. V reakci na tento trend společnost provádí předzásobení během jarních měsíců. Naopak nejnižší prodejní aktivity registruje společnost v lednu a únoru.

Podobně jako v automobilovém průmyslu, tak i v celém sektoru elektrotechniky je patrné zmenšování velikosti čipů a dalších komponent. Jak bylo uvedeno v podkapitole o představení společnosti, všechny tyto komponenty jsou v závěrečné fázi výrobního procesu zality ochranným lakem. V případě závady je nutné pak celou SMD desku vyměnit, což zvyšuje náklady na servis. Elektronická architektura ve svářečkách je též charakteristická svým konzervativním přístupem, což motivuje společnost k udržování obchodních vztahů s osvědčenými dodavateli z Asie, spíše než hledat nová strategická partnerství v Evropě.

6.4 Možné strategie společnosti v budoucnu

Společnost EWM neplánuje žádné změny ve svých nákupních procedurách ani ve výběru dodavatelů do budoucna. Přes skutečnost, že materiálové náklady tvoří 75 % celkových nákladů a náklady na práci pouze 25 %, firma nepřijala žádná preventivní opatření pro řešení potenciálních výpadků v logistickém řetězci ze strany svých asijských dodavatelů. Důvěra společnosti je založena na dlouhodobých a stabilních partnerstvích, která v některých případech trvají i desítky let.

Díky tomu, že pracovní náklady nejsou pro společnost signifikantní, neexistují plány na přesun výroby do zemí s nižšími náklady na práci. Tato skutečnost má významný dopad na region šluknovského výběžku, kde je dlouhodobě vysoká poptávka po pracovních místech. Je rovněž pozoruhodné, že společnost nečelí, a ani v budoucnu neočekává, nedostatek specializovaných pracovníků potřebných pro výrobu v daném sektoru. Díky firemní kultuře, ve které často pracují členové jedné rodiny po generace, je společnost schopna pěstovat budoucí generace zaměstnanců. Tento úspěch je přičítán excelentnímu vedení společnosti už od jejího založení.

Nicméně, absence strategie pro řešení potenciálních delších či náhlých výpadků v dodávkách materiálů představuje zjevné riziko do budoucna. Zejména vzhledem k předchozím zkušenostem během covidové a polovodičové krize, kdy bylo zřejmé, že státní podpora v krizových situacích nemusí být spolehlivá. V tomto kontextu by bylo vhodné, aby společnost zvážila implementaci následujících doporučení:

- **Diverzifikace dodavatelů mimo asijský region:** Jelikož hledání dodavatelů v Evropě není možné kvůli jejich vysokým cenám, společnost by mohla zvážit rozšíření svého dodavatelského portfolia o dodavatele z jiných regionů, které nejsou tradičně považovány za hlavní zdroje polovodičů, ale mohou nabídnout konkurenceschopné ceny i kvalitu. To se může týkat zemí jako jsou Vietnam, Malajsie, nebo třeba země v Latinské Americe, které začínají rozvíjet svou výrobní kapacitu v oblasti elektroniky a polovodičů.
- **Strategické zásobování a předzásobení klíčových komponent:** EWM by měla pokračovat a dále optimalizovat svou strategii předzásobení, přičemž by se měla zaměřit na klíčové komponenty s dlouhými dodacími lhůtami nebo vysokým rizikem nedostupnosti. Tato strategie může zahrnovat využití prediktivní analýzy k identifikaci potenciálních rizik v dodavatelském řetězci a zajištění dostatečných zásob takých klíčových komponent, kterých se toto riziko týká. Tím se následně sníží závislost na nestabilních dodavatelských řetězcích.

- **Vývoj a implementace technologií substituce a adaptability:** Vzhledem k tomu, že některé komponenty nemají adekvátní náhrady a výpadky mohou mít významný dopad na výrobu, měla by se společnost EWM zabývat možnostmi v oblasti výzkumu a vývoje za účelem identifikace nebo vývoje alternativních technologií a komponent, které by mohly sloužit jako náhrada za ty tradiční. To by mohlo zahrnovat vývoj univerzálnějších designů, které mohou fungovat s širším spektrem komponent, čímž se sníží závislost na konkrétních polovodičích.
- **Zvýšení interní flexibility výroby:** Optimalizace výrobních procesů pro zvýšení jejich flexibility může být klíčem k rychlé reakci na změny ve složení a dostupnosti komponent. To může zahrnovat investice do modulárních výrobních technologií, které umožňují snadnou adaptaci na různé typy komponent bez nutnosti rozsáhlých přestaveb nebo zastavení výrobních linek.

Tato doporučení vycházejí z potřeby snížit riziko a závislost na konkrétních dodavatelích a regionech, zatímco se zároveň snaží zachovat konkurenceschopnost a inovativní schopnosti společnosti EWM v oblasti výroby pokročilých digitálních svářecích zařízení. Diverzifikace dodavatelského řetězce, strategické zásobování, a vývoj alternativních technologií jsou klíčové strategie, které mohou pomoci společnosti lépe se přizpůsobit budoucím výzvám v globálním dodavatelském řetězci.

7 Závěrečné zhodnocení

V posledních dekádách došlo k významným proměnám ve světovém polovodičovém průmyslu, přičemž dominantní role Evropy byla vystřídána asijskými zeměmi, zejména Tchajwanem a Jižní Koreou. Po světové krizi v důsledku pandemie COVID-19 si Evropa i zbytek západního světa uvědomil, jak významná je závislost moderního světa na čipech. Polovodičové čipy, základní stavební bloky pro širokou škálu zařízení od mobilních telefonů až po vozidla a zdravotnické vybavení, jsou nyní nezbytné pro fungování současné společnosti a pohánějí rovněž aktuální fenomén v podobě umělé inteligence.

Evropská unie, která spotřebovává přibližně 20 % globální produkce čipů, avšak sama vyprodukuje méně než desetinu, usiluje o zvýšení svého podílu na výrobě, aby si zajistila lepší postavení v globalizovaném a konkurenčním trhu. Tento cíl má jasný strategický význam v kontextu rostoucí geopolitické nejistoty a možnosti ekonomických bloků uvalit embargo na vývoz nejmodernějších čipů. Také Česká republika si uvědomuje tento trend v evropské náladě vůči polovodičům a stojí na prahu čipové revoluce, kdy má možnost stát se členem přispívajícím významným dílem do této iniciativy. Jak mimo jiné popisuje třetí kapitola této práce, již nyní je ČR především v oblasti výzkumu a vývoje na předních světových příčkách a má v této oblasti co nabídnout.

Do možné výroby čipů na území ČR může zasáhnout společnost On-semi v Rožnově pod Radhoštěm, která se zaměřuje na čipy založené na karbidu křemíku, jež jsou klíčové například v elektromobilitě či obnovitelných zdrojích energie, jako jsou fotovoltaické elektrárny. Oproti běžným křemíkovým čipům dokážou tyto uspořít významné množství elektrické energie, která přes ně prochází. Aktuálně firma vyrábí deset milionů čipů denně a zvažuje jejich výrobu podstatně rozšířit. Mateřská korporace chce investovat až dvě miliardy dolarů, tedy asi 46 miliard korun, a zvažuje tři své stávající lokace. Vedle Rožnova jsou ve hře i továrny v USA nebo Koreji. V souvislosti s touto investicí firma aktuálně zařizuje investiční pobídku. Vládní politici, i díky evropské iniciativě, jsou jí nakloněni a nyní se jedná o její výši. To zřejmě rozhodne i o osudu celé investice. Od ní se přitom bude odvíjet i budoucí podoba celého polovodičového průmyslu v Česku, jelikož rožnovské On-semi v něm patří mezi klíčové subjekty.

V ČR také operuje několik dalších zahraničních polovodičových společností i celá řada původních českých firem. Na návrh čipů jako produktu se zaměřují světové firmy jako francouzsko-italský STMicroelectronics, japonský Renesas či nizozemský NXP Semiconductors. Za zmínku stojí také třeba malý tým Tropic Square, který pracuje na open source bezpečnostním čipu určeném hlavně pro kryptopeněženky Trezor.

V Česku se nyní dokončují práce na podobě národní polovodičové strategie, která navazuje na Evropský akt o čipech (EUR-Lex, 2023). Jejím cílem je najít takové typy čipů, kde má český průmysl největší potenciál, a následně navrhnout podpůrná opatření, jak tento potenciál v nejvyšší možné míře rozvinout. Nicméně ani taková strategie nebude stačit, aby se z Česka stala velmoc ve výrobě čipů jako se třeba v následujících letech stane z Německa a Nizozemska.

V kontextu rozvoje evropského polovodičového průmyslu stojí Česká republika před příležitostí stát se klíčovým hráčem v oblasti nových subdodavatelských řetězců. Investice předních globálních firem, jako je On-semi, TSMC, Intel a Infineon v německých Drážďanech a dalších evropských městech signalizují významný rozvojový trend polovodičů v regionu. České firmy mohou těžit z této expanze zejména ve specializovaných segmentech, jako je výroba

automobilových čipů, která by vyřešila i problém se zabezpečením dodavatelských řetězců pro automobilky vyrábějící své vozy v ČR.

Dále české podniky mohou nalézt příležitosti v oblasti dodávek vysoce čistých prostor a vzduchotechniky, které jsou pro čipovou výrobu nezbytné. Toto technologické zaměření umožňuje Česku zapojit se do evropského dodavatelského řetězce na více úrovních od základní výroby až po finální testování a zapouzdření čipů. Testování čipů, zvláště v rámci Evropy, nabízí další prostor pro rozvoj, neboť se přímo dotýká jednotkových nákladů a efektivity výrobních procesů. To přináší potenciál pro zkrácení logistických cest a minimalizaci rizik v dodavatelských řetězcích. V rámci všech těchto aktivit může ČR hrát klíčovou roli nejen jako dodavatel, ale i jako inovátor a klíčový prvek celoevropské strategie v oblasti polovodičů, což zvyšuje její strategickou hodnotu a mohlo posilovat její pozici na mezinárodním trhu.

Z tržního hlediska sektor polovodičů v ČR prokázal mezi lety 2017 a 2019 významný rozvoj, který byl motivován zvýšenými investicemi do oblasti informačních a komunikačních technologií a expanzí důležitých aplikací, jako je data processing a spotřební elektronika. V tomto období bylo rovněž zaznamenáno rozšíření nových technologií, včetně internetu věcí (IoT) a technologií umělé inteligence (AI). Následně během roku 2020 byl však růst polovodičového trhu mírně zpomalen kvůli pandemii COVID-19, což vedlo k výpadkům a omezením mezinárodního obchodu. Jelikož je ČR silně závislá na importu klíčových surovin jako jsou křemík a germanium, byl domácí trh dočasně narušen. Po uvolnění restrikcí a regulačních omezení se v posledním čtvrtletí roku 2020 trh s polovodiči vrátil ke svému předpandemickému růstu.

Prognózy ukazují, že tržby v polovodičovém průmyslu v ČR by měly v následujících letech 2024 až 2028 stoupat tempem přibližně 7,4 % ročně. Rozvoj automatizačních technologií, jako jsou IoT a AI, které jsou podporovány iniciativami (Průmysl 4.0 a digitalizace) významně přispívají k tomuto růstu. V automobilovém průmyslu se také čím dál více využívají polovodičové komponenty pro klíčové funkce včetně senzorů, bezpečnostních systémů, řízení spotřeby energie, displejů a řízení vozidel. Dále rostoucí implementace technologie 5G v ČR by měla i nadále zvyšovat poptávku po polovodičích.

Podíváme-li se na konkrétní komponenty, paměťová zařízení dosáhla v roce 2021 na českém polovodičovém trhu 27,8 % z celkových tržeb. Tento segment trhu se těší oblibě díky pokračujícímu rozvoji technologií jako virtuální realita (VR) a cloudové výpočty. Tento trend je ještě posílen rostoucí důležitostí strojového učení, které bude v následujících letech trh nadále stimulovat. Navíc vysoká průměrná prodejní cena čipů NAND flash a DRAM přispívá k tržbám a s narůstajícím vývojem technologií umělé inteligence lze očekávat další zvýšení poptávky po paměťových zařízeních.

I jednodušší polovodiče jsou nadále důležitým zdrojovým artiklem v českém průmyslu. Tyto druhy polovodičů, které se využívají k výrobě sofistikovanějšího koncového produktu se však na evropském kontinentu vyrábí pouze v omezeném množství a navíc neexistuje a ani se neplánuje žádný plán či strategie budoucí výroby.

Závislost ČR a celého evropského regionu na dodávkách těchto komponent z Číny je značná i přesto, že se od výroby čipů v Evropě očekává prospěch jak pro automobilový sektor, Průmysl 4.0 a další pokročilé technologie. Vzhledem k této situaci by ČR a další evropské státy neměly opomíjet další rozvíjení vztahů s asijskými partnery a měly by se zaměřit také na optimalizaci efektivních dopravních tras pro polovodičové komponenty, jejichž výroba je z hlediska nákladů efektivní převážně ve východní Asii.

Alternativní řešení, jak diverzifikovat dodávky těchto komponent, by mohlo spočívat ve zřízení výrobních kapacit třeba na africkém kontinentu, který je bohatý na zdrojové suroviny nezbytné pro výrobu polovodičů. Takový krok by však vyžadoval značné investice do nových výrobních zařízení a také relokaci mnoha odborných pracovníků, kterých je nedostatek i v současném rozšiřování výroby v Evropě.

Závěr

Náplní této diplomové práce bylo komplexní zhodnocení vývoje, současného stavu a rozpoznání možných perspektiv polovodičového průmyslu v České republice s důrazem na jeho integraci do globálních dodavatelských řetězců a inovačních dynamik. Práce systematicky mapuje historický vývoj polovodičových technologií a jejich rostoucí významu pro aktuálně se modernizující český průmysl. Významnou část práce tvoří analýza problémů, kterým sektor čelí, včetně globálního nedostatku čipů nebo technologických a ekonomických výzev.

Diplomová práce jasně prokázala, že ČR má díky své strategické poloze ve středu Evropy a kvalifikované pracovní síle potenciál stát se významným hráčem v oblasti výzkumu a vývoje, jakožto i ve výrobě samotných polovodičů. Výzkum ukázal, že navzdory existujícím výzvám existuje řada příležitostí pro další rozvoj tohoto sektoru, zvláště ve spojení s rostoucími investicemi do autonomních systémů, umělé inteligence a internetu věcí.

Jedním z klíčových zjištění práce je fakt, že průmysl polovodičů je vysoce závislý na mezinárodních dodavatelských řetězcích a technologické spolupráci. ČR by proto měla podporovat politiky a strategie, které zlepšují mezinárodní spolupráci a současně posilují vnitrostátní kapacity pro výzkum a vývoj. Tímto způsobem by mohl stát efektivně reagovat na globální výzvy, jako je například nedávný nedostatek čipů a zároveň by se podpořil udržitelný růst tohoto průmyslového odvětví.

V kontextu praktických inovačních aplikací je nutné zdůraznit rostoucí potřebu inovativních řešení v oblasti designu polovodičů, jejich testování a integrace do hotových produktů. Práce identifikovala několik klíčových oblastí, kde může ČR získat konkurenční výhodu, včetně specializace na specifické typy polovodičových součástek nebo technologie, které jsou klíčové pro vznikající průmyslové aplikace.

Co se týká doporučení pro budoucí výzkum na území ČR, je zřejmé, že je potřeba dalšího rozvoje technologických a výrobních kapacit. Zvláště v oblastech jako jsou nanostruktury, měřicí technologie a biokompatibilní materiály, které umožňují vývoj polovodičů pro medicínské potřeby. Kromě toho by měl být věnován zvýšený zájem i výzkumu obnovitelných zdrojů energie, kde polovodiče hrají klíčovou roli třeba v efektivitě solárních panelů a dalších energetických technologií. V kontextu tohoto strategického rozvoje a plánování je také nezbytné, aby byla věnována pozornost legislativním a ekonomickým aspektům, které ovlivňují polovodičový průmysl. Závěry této práce naznačují, že je potřebné zintenzivnit dialog mezi vládními institucemi, výzkumnými organizacemi a průmyslovými subjekty. Efektivní regulace, která podporuje inovace a zároveň chrání průmyslové a intelektuální vlastnictví, může významně přispět k udržitelnému růstu.

V práci nicméně není dostatečně zdůrazněna důležitost vzdělávání a rozvoje lidských zdrojů v oblasti polovodičů. Je zřejmé, že ČR má velký potenciál v oblasti vzdělávání nových generací inženýrů a vědců specializovaných na polovodičové technologie. Investice do vzdělávacích programů a partnerských projektů s průmyslovými společnostmi by mohly zvýšit kvalitu a praktickou připravenost absolventů, čímž by se též posílila pozice ČR na mezinárodním poli.

Na závěr lze konstatovat, že polovodičový průmysl představuje pro Českou republiku strategickou oblast s vysokým potenciálem pro růst a inovace. Tato práce poskytuje komplexní pohled na současný stav, výzvy a možnosti, které tento sektor nabízí. Je jasné, že úspěch v této

oblasti bude vyžadovat koordinovaný postup zahrnující podporu výzkumu a vývoje, zlepšení legislativního prostředí, investice do vzdělávání a rozvoj mezinárodních partnerství. Takové kroky umožní ČR lépe čelit globálním výzvám a využít nové příležitosti, které trh s polovodiči nabízí.

Díky této práci má čtenář lepší porozumění o dynamice a specifikách polovodičového průmyslu, což je základní krok k dalšímu rozvoji v tomto oboru. Výsledky této studie mohou sloužit jako podklad pro strategické rozhodování v akademických, podnikatelských a především vládních kruzích na úrovni různých ministerstev a přispět k dalšímu posílení technologické nezávislosti a ekonomického růstu České republiky.

Seznam použité literatury

- Analog Integrated Circuits, 2024. In: *Computer History Museum* [online]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: <https://www.computerhistory.org/revolution/digital-logic/12/281>
- ASM, 2018. Message from CEO. In: *ASM International* [online]. [cit. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://asmi-corporatereporting.com/2017/annualreport/about/message-from-the-ceo>
- BARRON, Andrew, 2021. *Chemistry of Electronic Materials: from Raw Materials to Integrated Circuit*. First. MiDAS Green Innovations. ISBN 0471240206.
- CELLAN-JONES, Rory, 2021. Arm-Nvidia: Europe investigates chip-designer sale. In: *BBC* [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/technology-59069075>
- CRACE, John, 2020. \$10bn of precious metals dumped each year in electronic waste, says UN. In: *The Guardian* [online]. [cit. 2024-02-12]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/environment/2020/jul/02/10bn-precious-metals-dumped-each-year-electronic-waste-un-toxic-e-waste-polluting>
- DIETER, Ernest, 2021. Conflicting Perceptions of Asymmetric Supply Chain Interdependence. *Supply Chain Regulation in the Service of Geopolitics: What's Happening in Semiconductors?*. 2021(1), 3-14.
- DRÁPAL, Jaromír a Miroslav KURSA, 2012. *Elektrotechnické materiály: učební text*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-802-4825-700.
- EARLS, Alan R., 2022. The implications of blockchain in the chip shortage. In: *TechTarget* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/tip/The-implications-of-blockchain-in-the-chip-shortage>
- EUR-LEX, 2023. REGULATION (EU) 2023/1781 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. EUR-Lex [online]. [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.229.01.0001.01.ENG
- Elektro*, 2005. ISSN 1210-0889.
- EWM HIGHTEC WELDING, 2022. RUMBURK. In: *EWM* [online]. [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://ewm.cz/o-spolecnosti/zavody/rumburk>
- FARKY, 2021. Jak Se Vyrábí Čip? Od Písku až na obchodní pulty. In: *YouTube* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=HpnN2R1BC7k>
- FITCH, Asa, 2021. The Chip Shortage Has Made a Star of This Little-Known Component. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: https://www.wsj.com/articles/a-big-hurdle-to-fixing-the-chip-shortage-substrates-11630771200?mod=article_inline
- FORTI, Vanessa a Garam BEL, 2020. *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. First. United Nations University/United Nations Institute for Training and Research, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association. ISBN 9789280891140.

- GAI, Dale, 2021. A Mega Wave of Capex Cycle Starts in Logic Semiconductor Industry. In: *Couterpoint* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.couterpointresearch.com/insights/mega-wave-capex-cycle-logic-semiconductor-industry/>
- GALLAGHER, Dan, 2020. Intel's Fabs Aren't Going Anywhere. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.wsj.com/articles/intels-fabs-arent-going-anywhere-11595862957>
- GAMEREDA, 2023. Z kterých komponentů se skládá mining rig a jak je vybrat. In: *Gamer Eda* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.gamereda.cz/blog/z-kterych-komponentu-se-sklada-mining-rig-a-jak-je-vybrat>
- GOBRY, Pascal-Emmanuel, 2014. Milton Friedman Predicted The Rise Of Bitcoin In 1999. In: *Forbes* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/pascalemmanuelgobry/2014/01/20/milton-friedman-predicted-the-rise-of-bitcoin-in-1999/>
- GRAHAM, Scott, 2023. Why The Chips Are Down: Navigating the Global Chip Shortages and Beyond. In: *Jabil* [online]. [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://www.jabil.com/blog/global-chip-shortages.html>
- HITACHI HIGH-TECH, 2001. The semiconductor material. In: *Hitachi GLOBAL Website* [online]. [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <https://www.hitachi-hightech.com/global/en/knowledge/semiconductor/room/about/silicon.html>
- HONG, Euny, 2023. How Does Bitcoin Mining Work?. In: *Investopedia* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/tech/how-does-bitcoin-mining-work/>
- HORÁK, Jaroslav, 2007. *Hardware: učebnice pro pokročilé*. 4., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press. ISBN 978-802-5117-415.
- HORWITZ, Josh, 2020. U.S. strikes at a Huawei prize: chip juggernaut HiSilicon. In: *Reuters* [Online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-usa-huawei-tech-chips-analysis-idUSKBN22X2T3/>
- HUŽVÁR, Miroslav, 2014. *Informačné technológie v ekonomickej praxi*. 1. Bratislava: Wolters Kluwer. ISBN 8081680854.
- CHEN, Gordon, 2019. Semiconductors – the Next Wave. In: *Deloitte* [online]. [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/tw/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/semiconductor-next-wave.html>
- IC INSIGHTS, 2022. Report Contents and Summaries. In: *IC Insights* [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.icinsights.com/services/mcclean-report/report-contents/>
- IMD, 2023. World Digital Competitiveness Ranking. In: *IMD* [online]. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-digital-competitiveness-ranking/>
- INFINEON, 2021. Quartely update. In: *Infineon* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.infineon.com/dgdl/2021-05-04+Q2+FY21+Investor+Presentation.pdf?fileId=5546d46179122fec017933153a690008>

- INTEL, 2024. *Intel Manufacturing* [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/global-manufacturing.html>
- JIE, Yang, 2021. China Wants a Chip Machine From the Dutch. The U.S. Said No. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: https://www.wsj.com/articles/china-wants-a-chip-machine-from-the-dutch-the-u-s-said-no-11626514513?mod=article_inline
- KRULIŠ, Kryštof a Alice REZKOVÁ, 2022. Česká republika a polovodičové součástky: úvod do problematiky pro tvůrce politik. In: REZKOVÁ, Alice. *ASOCIACE PRO MEZINÁRODNÍ OTÁZKY* [online]. [cit. 2024-01-23]. Dostupné z: <https://www.amo.cz/ceska-republika-a-polovodicove-soucastky-uvod-do-problematiky-pro-tvurce-politik/>
- KUO, Ken a Ellie WANG, 2024. Consumer DRAM Datasheet. In: *TrendForce* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://www.trendforce.com/research/download/RP2001310D>
- KUSALA, Kusala, 2006. Solární energie. In: KUSALA, Kusala. *Solární energie* [online]. [cit. 2024-01-19]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k31.htm#z>
- LEE, Joyce, 2021. Samsung Electronics' Texas chip production returns to near-normal levels. In: *Reuters* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/business/media-telecom/samsung-electronics-says-texas-chip-production-close-normal-levels-2021-03-30/>
- LI, Lauly, 2023. Taiwan braced for further water shortages in its chipmaking hubs. In: *Financial Times* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.ft.com/content/397868d0-6051-4b22-ae9f-60fd67317861>
- LOJEK, Bo, 2007. *History of Semiconductor Engineering*. 1. Springer. ISBN 978-3-540-34257-1.
- ŁUKASIAK, Lidia a Andrzej JAKUBOWSKI, 2010. History of Semiconductors. *Journal of Telecommunications & Information Technology*. **2010**(1), 1-19. ISSN 1509-4553.
- LUTKEVICH, Ben, 2019. Microcontroller (MCU). In: *TechTarget - IoT Agenda* [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/microcontroller>
- MATAS, Brina, 2013. MCU Market on Migration Path to 32-bit and ARM-based Devices. In: *IC Insights* [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.icinsights.com/data/articles/documents/541.pdf>
- MCCLEAN, Bill, 2021. Annual Revenue Growth to Skyrocket Among. In: *IC Insights* [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.icinsights.com/news/bulletins/annual-revenue-growth-to-skyrocket-among-top-25/>
- Memory circuits, 2024. In: *Britannica* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/integrated-circuit/Microprocessor-circuits#ref236556>
- MERCURY RESEARCH, 2023. *PC Graphics Report* [online]. [cit. 2024-01-30]. Dostupné z: <https://www.mercuryresearch.com/news.shtml>
- MIKA, Josef, 2011. 40 let od prvního mikroprocesoru Intel. In: *Chip* [online]. [cit. 2024-01-23]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/40-let-od-prvniho-mikroprocesoru-intel#>
- MILLER, Chris, 2023. *Chip War*. 1. London: Simon + Schuster UK. ISBN 1398504122.

- MITCHELL, Lauren, 2023. *The Semiconductor Chip Shortage: Exploring the Effects of Globalization and the COVID-19 Pandemic on the Automobile Industry*. Philadelphia, PA 19104, Spojené státy. Thesis. Pennsylvania State University.
- MUDRUŇKOVÁ, Anna, 2016. *Elektrotechnické materiály* [online]. 1. [cit. 2024-01-19]. ISBN 9788088058908. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/Impresum.html>
- NXP SEMICONDUCTORS, 2021. NXP Resumes Operations at Austin, Texas Facilities Following Weather-Related Shutdown and Provides Revenue Update. In: *NXP* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/company/about-nxp/nxp-resumes-operations-at-austin-texas-facilities-following-weather-related-shutdown-and-provides-revenue-update:NW-NXP-RESUMES-OPERATIONS-AUSTIN>
- ONSEMI, 2024. Manufacturing Processes. In: *Onsemi* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/products/custom-assp/custom-foundry-services/manufacturing-processes>
- PÁNEK, Petr, Milan LÍBEZNÝ, Michal LORENC et al., 2021. *Základy technologie výroby polovodičů*. Vydání: druhé. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7623-060-6.
- PAVLÍČEK, Karel, 2024. Pokusy omezit rozvoj čínského průmyslu čipů vybuchují USA do tváře. In: *CRU* [online]. [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://czech.cri.cn/2024/01/15/ARTIivWY9sXP90bsTIYLcn5P240115.shtml>
- PEARSON, G. L. a W. H. BRATTAIN, 1955. History of Semiconductor Research. *Proceedings of the IRE*. 1955(43).
- REGIONS, 2019. The semiconductor cycle. In: *Regions* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.regions.com/-/media/pdfs/AssetManagement-The-Semiconductor-Cycle.pdf?revision=1da76437-de80-4ebd-96f3-dc8ab8257328&la=en&hash=414BE463A90E72789127F9AB4D334AAA>
- RODGERS, Evans, 2013. 23-year-old releases new chips that 'mine' Bitcoins 50 times faster. In: *Verge* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://www.theverge.com/2013/2/1/3941768/new-chips-mine-bitcoins-50-times-faster>
- ROUSE, Margaret, 2017. System on a Chip. In: *Technopedia* [online]. [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/702/system-on-a-chip-soc>
- ROUSE, Margaret, 2018. NAND Flash Memory. In: *Technopedia* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/1099/nand-flash-memory>
- SAINT, Christopher a Judy Lynne SAINT, 2023. Integrated circuit. In: *Britannica* [online]. [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/integrated-circuit>
- SAMSUNG, 2021. Samsung Develops Industry's First LPDDR5X DRAM. In: *HPC Wire* [online]. [cit. 2024-01-27]. Dostupné z: <https://www.hpcwire.com/off-the-wire/samsung-develops-industrys-first-lpddr5x-dram/>
- SCREEN, 2024. Semiconductor manufacturing processes. In: *Screen* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.screen.co.jp/spe/en/process>
- SEMICONDUCTOR INDUSTRY ASSOCIATION, 2021. 2021 Factbook. In: *Semiconductor industry association* [online]. [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.semiconductors.org/wp->

[content/uploads/2021/05/2021-SIA-Factbook-FINAL1.pdf](#)

SEMIMEDIA, 2024. SIA: Global semiconductor sales up 8.2% in 2023. In: *SemiMedia* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.semimedia.cc/16176.html>

SHINOBI, 2021. Bitcoin Mining And The Global Semiconductor Shortage Are On A Collision Course. In: *Nasdaq* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.nasdaq.com/articles/bitcoin-mining-and-the-global-semiconductor-shortage-are-on-a-collision-course-2021-10-31>

SHIPP, Stephanie, Nayanee GUPTA a Bhavya LAL, 2012. Appendix F.: Semiconductor Manufacturing. *Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing*. **2012**(1), -1--24.

SIA, 2021. Semiconductors are the Brains of Modern Electronics. In: *Semiconductor industry association* [online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: <https://www.semiconductors.org/semiconductors-101/what-is-a-semiconductor/>

SIA, 2022. SIA Global Semiconductor Unit Sales Dashboard. In: *Semiconductor industry association* [online]. [cit. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://www.semiconductors.org/sia-unit-sales-dashboard/>

SOLOMON, Feliz, 2021. Covid-19 Surge in Malaysia Threatens to Prolong Global Chip Shortage. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: <https://www.wsj.com/articles/covid-19-surge-in-malaysia-threatens-to-prolong-global-chip-shortage-11630234802?page=1>

STATISTA, 2024. Semiconductors. In: *Statista* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: <https://www.statista.com/>

SULIMAN, Adela, 2021. U.S. overtakes China to become world's largest bitcoin mining hub, report finds. In: *The Washington Post* [online]. [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://www.washingtonpost.com/world/2021/10/14/us-leads-china-bitcoin-mining-largest/>

ŠULC, Tomáš, 2012. Od písku k procesoru — výroba křemíkového waferu. In: *PC Tuning* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://pctuning.cz/article/od-pisku-k-procesoru-vyroba-kremikoveho-waferu?chapter=5#article-header>

ŠULC, Tomáš, 2015. Od písku k procesoru: tajemství technologií výroby čipů. In: *PC Tuning* [online]. [cit. 2024-02-11]. Dostupné z: <https://pctuning.cz/article/od-pisku-k-procesoru-tajemstvi-technologie-vyroby-cipu?chapter=9#article-header>

TSUNEOKA, Chieko, 2021. Auto-Chip Maker Needs Up to Four Months to Recover From Fire. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: https://www.wsj.com/articles/auto-chip-maker-needs-up-to-four-months-to-recover-from-fire-11617100247?mod=article_inline

UNIVERSITYWAFER, INC., 2024. Silicon Wafer Ingot Supplier. In: *University Wafer* [online]. [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://www.universitywafer.com/silicon-ingots.html>

VAN ZATH, Peter, 2014. *Microchip Fabrication*. 6th. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 9780071821018.

- VÍTEK, Jan, 2021. Tchaj-wan se potýká s nedostatkem vody, TSMC a jiní se připravují na nejhorší. In: *Svět Hardware* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/tchaj-wan-se-potyka-s-nedostatkem-vody-tsmc-a-jini-se-pripravuji-na-nejhorsj/54373>
- WAFERWORLD, 2018. Silicon Wafer Processing | How Are Silicon Wafers Made?. In: *WaferWorld* [online]. [cit. 2024-02-08]. Dostupné z: <https://www.waferworld.com/post/silicon-wafer-processing-process>
- WATTS, Stephen, 2018. *How application-specific integrated circuits are powering the future of IT today* [online]. In: . [cit. 2024-01-26]. Dostupné z: <https://www.cio.com/article/228545/how-application-specific-integrated-circuits-are-powering-the-future-of-it-today.html>
- WELLENIUS, Bjorn, Carl J. DAHLMAN a Arnold MILLER, 1993. *Developing the Electronics Industry*. 1. Washington, D.C: The World Bank. ISBN 0821325221.
- WIGAN, Randal, 2023. *Semiconductor Industry 101: A Comprehensive Guide for Investors*. First. HeartandWealth.
- WOLFF, Guntram, 2021. SOVEREIGNTY AND DIGITAL INTERDEPENDENCE. *EUROPEAN SOVEREIGNTY: Strategy and interdependence*. 2021(1), 16-22.
- WOLFF, Guntram, Niclas POITIERS a Pauline WEIL, 2021. SOVEREIGNTY AND DIGITAL INTERDEPENDENCE. *EUROPEAN SOVEREIGNTY: Strategy and interdependence*. 16-22.
- WORLDBANK, 2024. GDP growth (annual %). In: *The World Bank* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG>
- WSTS, 2024. Historical Billings Report. In: *World Semiconductor Trade Statistics* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.wsts.org/67/Historical-Billings-Report>
- WU, Xiling, 2022. An Analysis on the Crisis of "Chips shortage" in Automobile Industry — Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 3(1971), 86-93 [cit. 2024-03-01]. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/1971/1/012100
- YANG, Jie a Stephanie YANG, 2021. The World Relies on One Chip Maker in Taiwan, Leaving Everyone Vulnerable. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné z: https://www.wsj.com/articles/the-world-relies-on-one-chip-maker-in-taiwan-leaving-everyone-vulnerable-11624075400?mod=article_inline
- YANG, Jie a Stephanie YANG, 2021. World's Largest Chip Maker to Raise Prices. In: *The Wall Street Journal* [online]. [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.wsj.com/articles/worlds-largest-chip-maker-to-raise-prices-threatening-costlier-electronics-11629978308>
- ZANDT, Florian, 2023. Where Can the Most Chips Be Manufactured?. In: *Statista* [online]. [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: <https://www.statista.com/chart/31371/distribution-of-global-semiconductor-fabricating-capacity/>
- ZENKNER, Petr, 2021. Čipové sucho. Kvůli tomu, že na Tchaj-wanu neprší, nejsou polovodiče do aut, iPhoneů ani grafických karet. In: *Hospodářské noviny* [online]. [cit. 2024-02-29]. Dostupné z: <https://archiv.hn.cz/c1-66889000-sucho-na-tchaj-wanu-dopada-na-vyrobu-cipu-tesla-a-dalsi-automobilky-kvuli-tomu-omezuji-vyrobu>

ZHAN, Lu, 2020. Novel Recycle Technology for Recovering Gallium Arsenide from Scraped Integrated Circuits. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. **2020**(8), 2874–2882

Seznam obrázků

Obrázek 1: Krystalová mřížka polovodiče v různých stavech.....	14
Obrázek 2: Procesor Intel 4004 z roku 1971.....	15
Obrázek 3: Výroba monokrystalické hlavy a její pozdější zarovnání.....	23
Obrázek 4: Monokrystalický křemíkový ingot.....	24
Obrázek 5: Křemíkový wafer	25
Obrázek 6: Chronologické uspořádání fází výroby čipů.....	28
Obrázek 7: Mining rig určený k těžbě kryptoměn.....	42
Obrázek 8: Hlavní společnosti podnikající v odvětví polovodičů na českém území.....	51
Obrázek 9: Polovodičové komponenty v automobilu.....	62
Obrázek 10: Výroba SMD desky v Rumburském závodu	71

Seznam grafů

Graf 1: Přehled typů komponent z polovodičového materiálu	17
Graf 2: Světový trh výrobců dram IO dle tržního podílu	19
Graf 3: Trh s mikroprocesory založenými na x86 architektuře.....	20
Graf 4: Objem investic do sektoru polovodičů.....	30
Graf 5: Největší společnosti dle podílu na trhu.....	32
Graf 6: Geografické rozložení světové výrobní kapacity polovodičů	34
Graf 7: Tříměsíční klouzavý průměr prodaných polovodičů.....	36
Graf 8: Vývoj celosvětových tržeb v polovodičovém odvětví	37
Graf 9: Příjmy dle segmentů v mil. €.....	54
Graf 10: Celkové příjmy českého polovodičového průmyslu	55

Seznam tabulek

Tabulka 1: tržby dle segmentů v mil. €.....	53
Tabulka 2: Relativní změna příjmů v polovodičovém průmyslu dle jednotlivých let.....	55
Tabulka 3: Srovnání vývoje příjmů v rámci evropského regionu (mld. €).....	57
Tabulka 4: Automobilový průmysl v porovnání s HDP (mld Kč)	59

Evidence výpůjček

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčení této diplomové práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení: Bc. Vítězslav Kochman

V Praze dne: 25. 4. 2024

Podpis:

Jméno	Oddělení/Pracoviště	Datum	Podpis

