



Simulační studie

Ekonomika v době lockdownu a zotavení ekonomiky

Tomáš Milostný *xmilos02*
Michal Rivola *xrivo01*

Obsah

Ekonomika v době lockdownu a zotavení ekonomiky	1
Obsah	2
Úvod	3
Autoři a zdroje	3
Fakta	4
Výrobci	4
Nové továrny	4
Spotřebitelé	4
Automobily	4
Koncepce	5
Hypotézy	5
Výrobci	5
Spotřebitelé	5
Továrny	5
Zanedbání	5
Algoritmy	5
Výroba (přidání čipů na sklad)	5
Objednávky (odebrání ze skladu)	6
Otevření továrny (aktualizace hodinové výroby)	6
Měsíční aktualizace stavu	6
Matematické vzorce	6
Testování a experimenty	7
Spuštění programu	8
Závěr	9
Zdroje faktů	10

1. Úvod

Cílem tohoto projektu je na základě dostupných údajů o výrobě a spotřebě čipů vytvořit model [prezentace strana 7], a počítačovou simulací [prezentace strana 33] odpovědět na otázku globálního nedostatku čipů a zda plány předložené vybranými výrobci mohou situaci zlepšit.

1.1. Autoři a zdroje

Projekt vypracovali studenti *Fakulty Informačních technologií VUT v Brně* Tomáš Milostný a Michal Rivola. Použitým zdrojem faktů jsou veřejně dostupné internetové zdroje a poznatky z předmětu *Modelování a simulace*.

2. Fakta

2.1. Výrobci

Vybrání 3 největší výrobci za rok 2020:

- TSMC vlastní 32 továren [9] a v roce 2020 vyrobeno 12-13 milionů 300 mm waferů [1], kde při přibližném počtu 7000 čipů/wafer [2] bylo s tímto předpokladem vyrobeno přibližně 87 500 000 000 čipů ročně.
- UMC – vlastní 12 továren a vyrábí 800 tisíc 200 mm waferů za měsíc [11], kde při přibližném přepočtu 3500 čipů/wafer [15] vyrábí 33 600 000 000 čipů za rok.
- SMIC – vyrábí 120 tisíc 300 mm waferů za měsíc [13], kde při přibližném přepočtu 7000 čipů/wafer vyrábí 10 080 000 000 čipů za rok.
- Samsung vlastní 13 továren [9] a v prosinci 2020 průměrná výroba za měsíc činila 3,06 milionů 200 mm waferů [4], kde při přibližném počtu 3500 čipů/wafer bylo s tímto předpokladem vyrobeno přibližně 128 520 000 000 čipů za rok. Samsung vydělal na prodeji čipů 52,2 miliard dolarů. [20]
- Intel vydělal na prodeji čipů 77,87 miliard dolarů. [20]

2.1.1. Nové továrny

- TSMC otevře novou továrnu v Japonsku ke konci roku 2021.[7]
- TSMC začne stavět novou továrnu na Taiwanu v roce 2022 a bude dokončena v roce 2024.[8]
- Samsung plánuje postavit továrnu v Texasu, která by měla fungovat od druhé poloviny roku 2024.[10]
- UMC plánuje otevřít továrnu v 2. čtvrtletí roku 2023. [12]
- SMIC plánuje otevřít továrnu v Pekingu v roce 2024. [14] Také plánuje otevřít továrnu v Šanghaji s neznámým datem, ale předpokládaným na rok 2022.
- Intel koncem roku 2021 zvýší výrobu továrnou v Novém Mexiku [17][18] a dvěma továrnami v Arizoně v druhé polovině roku 2024
- V dubnu 2021 Intel plánoval otevřít továrnu v Irsku do 6—9 měsíců.[19]

2.2. Spotřebitelé

2.2.1. Automobily

Průměrné elektrické auto spotřebuje 2000 čipů. Průměrné neelektrické auto spotřebuje 1000 čipů [3]. Vyrobeno elektrických aut za rok 2020 bylo 10,1 milionů [5]. Za rok 2020 bylo celkově vyrobeno 77.9 milionů aut [6]. Tudíž neelektrických aut bylo vyrobeno 67,8 milionů kusů.

Celkovou spotřebu zjistíme vyčíslením výrazu $2\,000 * 10\,100\,000 + 1\,000 * 67\,800\,000$. Celková spotřeba je tedy 88 miliard čipů.

3. Koncepce

3.1. Hypotézy

3.1.1. Výrobci

Jestliže Samsung vyrobí 128 520 000 000 čipů za rok a vydělá 52,2 miliard dolarů tak průměrná cena jednoho čipu bude 0.4 dolary. Zanedbáme fluktuace ceny a předpokládáme, že čipy budou pro všechny výrobce stejné. S tímto předpokladem lze odvodit, že společnost Intel s výdělkem 77,87 dolarů vyrobí ~194 675 000 000 čipů za rok.

Za předpokladu, že naši 4 hlavní vybraní výrobci (TSMC, Samsung, UMC a SMIC, kteří vyrobí ~259 700 000 000 čipů za rok) mají dohromady 62% podíl na trhu, zbývajících 38 % trhu nahradíme průměrným výrobcem, který vyrobí ~159 170 967 742 čipů za rok.

3.1.2. Spotřebitelé

Na základě zjištění o počtu spotřebovaných čipů v automobilovém průmyslu lze pomocí jejich podílu na trhu 11,4 % [16] odhadnout ostatní spotřební sektory:

- Komunikační technologie: 31,2 %: ~240 842 105 263 čipů
- Počítače: 32,3 %: ~249 333 333 333 čipů
- Spotřební elektronika: 12 %: ~92 631 578 947 čipů
- Průmyslové stroje: 12 %: ~92 631 578 947 čipů
- Vládní zakázky: 1 %: ~7 719 298 246 čipů

Meziroční nárůst odběru spotřebiteli se zvyšuje o přibližně 11 %.

3.1.3. Továrny

Jelikož předpokládáme přibližně 11% nárůst spotřeby čipů za rok, nově otevřené továrny násobí hodinovou výrobu faktorem ~1,45. Na základě dostupných údajů o plánech výrobců nelze přesně odhadnout příspěvek jednotlivých nových továren.

3.2. Zanedbání

Byl zanedbán převoz čipů od výrobce ke spotřebitelům, proměnlivé ceny a velikosti čipů na wafer u jednotlivých výrobců.

3.3. Algoritmy

3.3.1. Výroba (přidání čipů na sklad)

```
if nedostatek > 0 then
    if nově_vyrobené_čipy > nedostatek then
        stav_skladu = nově_vyrobené_čipy - nedostatek;
        nedostatek = 0;
    else
        nedostatek -= nově_vyrobené_čipy;
else
    stav_skladu += nově_vyrobené_čipy;
```

3.3.2. Objednávky (odebrání ze skladu)

```
if stav_skladu < čipy_k_odebrání then
    nedostatek += čipy_k_odebrání - stav_skladu;
    stav_skladu = 0;
else
    stav_skladu -= čipy_k_odebrání;
```

3.3.3. Otevření továrny (aktualizace hodinové výroby)

```
for i = 0 : počet_nových_tovaren_vyrobcu do
    if nové_továrny_měsíce[i] == aktuální_měsíc
    and nové_továrny_roky[i] == aktuální_rok then
        hodinová_produkce *= Normal(FAKTOR_ZLEPŠENÍ, 0.01);
```

3.3.4. Měsíční aktualizace stavu

```
aktuální_měsíc += 1;
if aktuální_měsíc > 12 then
    aktuální_měsíc = 1;
    aktuální_rok += 1;

    for spotřebitel : spotřebitelé do
        //upravit roční sazbu objednávek
        AddOrderRate(spotřebitel, Normal(0.11, 0.01));

for výrobce : výrobci do
    //otevření nové továrny?
    UpdateProduction(výrobce, aktuální_měsíc, aktuální_rok);
```

3.4. Matematické vzorce

- $denní_spotřeba_čipů = roční_spotřeba_čipů / DNŮ_V_ROCE$
- $hodinová_výroba_čipů = roční_výroba_waferů * čipů_na_wafer / HODIN_V_ROCE$
- $hodinová_výroba_čipů = roční_výroba_čipů / HODIN_V_ROCE$

4. Testování a experimenty

Výsledný simulační program využívá knihovnu SIMLIB. Sledovanou třídou pro výslednou statistiku je **Storage**, která pro zjednodušení reprezentuje globální zásobu čipů, do které všichni výrobci přispívají a spotřebitelé odebírají. Při každém přístupu k tomuto úložišti je zaznamenána statistika pro vykreslení pomocí programu *gnuplot* aktuálních čipů na skladě a čipů, které byly objednány, ale na skladě nebyla dostatečná kapacita.

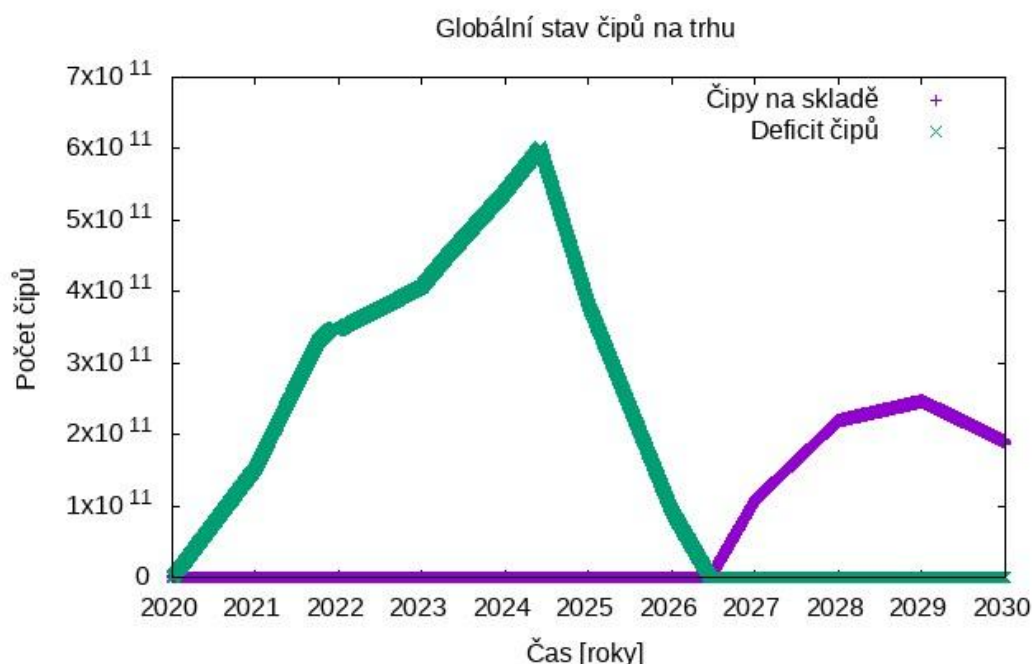
Dále obsahuje třídy odvozující od базové třídy *Event*. Třída **Producer** představuje událost hodinové výroby jednoho výrobce. Při konstrukci objektu inicializuje svou hodinovou produkci dle zadané roční výroby ve waferech a počtem čipů na wafer, nebo přímo pomocí roční vyrobených čipů. Má také definované měsíce a roky, kdy má případný výrobce otevřít novou továrnu, a metodu volanou měsíčně událostí *MonthYearTracker*.

Třída **Consumer** představuje událost denní objednávky jednoho spotřebitele. Při konstrukci objektu inicializuje svou denní spotřebu dle zadané roční spotřeby čipů. Dále krom svého chování má definovanou metodu pro přičtení k aktuální sazby objednávek, kterou volá *MonthYearTracker* při změně roku. Toto modeluje meziroční nárůst poptávky po čipech.

MonthYearTracker představuje změnu měsíce a roku v průběhu času. Používá se pro dynamickou aktualizaci poptávky spotřebitelů čipů a případné uvádění nových továren do provozu.

Ve funkci main je otevřen soubor pro zápis výsledků, jsou definovány data otevření továren pro vybrané výrobce, kolekci výrobců a spotřebitelů (s daty dle získaných informací výše). Všem je přiřazeno jedno globální úložiště a s *MonthYearTracker* inicializovaným na startovací rok 2020 je simulace spuštěna voláním Run(). Po dokončení je soubor s výsledky uzavřen a simulace končí.

Na obrázku níže je vidět výsledek simulace. Ze začátku je patrný nedostatek čipů s rostoucí mírou čekajících objednávek. Po roce 2024, kdy je otevřena většina nových továren je patrná postupná stabilizace a navrácení kapacity do skladů v roce 2026. Další vývoj do roku 2030 začíná postupně opět klesat z důvodu, že spotřeba čipů stále roste, ale v tomto období již nemáme dostupná data o dalších plánovaných nových továrnách.



4.1. Spuštění programu

Program pro přeložení vyžaduje *GNU Make*, *gnuplot* a nainstalovanou knihovnu *SIMLIB*, kterou očekává v adresáři **/usr/local/lib**.

Příložený Makefile poskytuje následující příkazy:

- *make* (*make chipshortage*): přeložení programu do spustitelného souboru **chipshortage** (výstupem programu je soubor *chipshortage.txt* s výsledky).
- *make run*: překlad a spuštění programu *chipshortage* + spuštění *gnuplot* a uložení výsledného grafu do souboru *chipshortage.png*.
- *make clean*: smazání přeložených a generovaných souborů.
- *make zip*: zabalení projektu k odevzdání do archivu *02_xmilos02_xrivol01.zip*.

5. Závěr

Na základě získaných dat i proběhlého experimentu je patrné, že globální nedostatek čipů bude pokračovat, ale vylepšení výroby, která mají vybraní výrobci v plánu mohou s časem fungovat a situaci zlepšit.

6. Zdroje faktů

- [1]-https://www.tsmc.com/english/dedicatedFoundry/manufacturing/fab_capacity
- [2]-<https://www.quora.com/How-many-microchips-take-a-chip-type-as-an-example-can-be-made-from-a-300mm-wafer>
- [3]-<https://www.scientificamerican.com/article/chip-shortage-threatens-bidens-electric-vehicle-plans-commerce-secretary-says/>
- [4]-<https://www.tomshardware.com/news/samsung-foundry-to-triple-production-capacity-by-2026>
- [5]-<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-by-region-and-model-2010-2020>
- [6]-<https://www.acea.auto/figure/world-motor-vehicle-production/>
- [7]-<https://www.theverge.com/2021/10/14/22726066/tsmc-new-chip-factory-fab-japan-shortage-supply-issues-2022>
- [8]-<https://www.reuters.com/technology/tsmc-build-new-chip-factory-taiwans-southern-city-amid-shortage-2021-11-09/>
- [9]-https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_semiconductor_fabrication_plants
- [10]-<https://www.npr.org/2021/11/24/1058770506/samsung-says-it-will-build-17b-chip-factory-in-texas?t=1639240660380>
- [11]-https://www.umc.com/en/StaticPage/about_overview
- [12]-<https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/auto-components/taiwan-chipmaker-umc-to-spend-3-6-bln-to-expand-capacity/82292689>
- [13]-<https://www.tomshardware.com/news/smhc-to-triple-300mm-capacity>
- [14]-<https://www.yicai.com/news/smhc-to-build-usd24-billion-chip-plant-with-shenzhen-govt->
- [15]-<http://smithsonianchips.si.edu/ice/cd/CEICM/SECTION7.pdf>
- [16]-<https://www.statista.com/statistics/894267/semiconductor-market-share-worldwide-by-end-use/>
- [17]-<https://www.cnet.com/tech/mobile/intel-investing-3-5b-in-new-mexico-fab-upgrade-boosting-us-chipmaking/>
- [18]-<https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/new-mexico-manufacturing.html#gs.j77us3>
- [19]-<https://www.reuters.com/business/autos-transportation/intel-says-it-will-reserve-ireland-chip-factory-capacity-automakers-2021-09-07/>
- [20]-<https://www.zippia.com/advice/largest-semiconductor-companies-world/>
- [21]-Prezentace-<https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS-2021-09-20.pdf>