

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Modelování a simulace

2. Ekonomika v době lockdownu a zotavení ekonomiky

Obsah

1	Úvod	1
2	Fakta	2
2.1	Hypotézy	2
3	Koncepcie	3
3.1	Produkcia automobilových čipov	4
3.2	Priebeh Covidu	4
3.3	Generovanie poptávky	5
4	Experimenty	6
4.1	Experiment 1	6
4.2	Experiment 2	6
4.3	Experiment 3	7
5	Záver	8

1 Úvod

Tato práce je zaměřena na problematiku ekonomiky v době lockdownu a její zotavení, což je stále celosvětově aktuálním tématem. Konkrétně se práce věnuje celosvětovému nedostatku čipů pro automobilový průmysl. Celosvětový nedostatek čipů je stále trvající krize, kdy poptávka po integrovaných obvodech převyšuje nabídku. Tato situace vyústila v omezení výroby a prodeje ve více než 169 průmyslových odvětvích, včetně výroby chytrých telefonů, zdravotnických přístrojů a automobilů. To pak nevyhnutelně vede k výraznému zvyšování cen, nedostatku zboží a frontám spotřebitelů na tyto čipy vyžadující výrobky.[1]

Naším cílem je určit, zda je stávající produkce čipů pro automobilový průmysl dostatečná pro naplnění momentální poptávky v dohledné době. Odpověď na tuto otázku je usnášena na základě simulace podpořené modelem, odbornými články a statistikami.

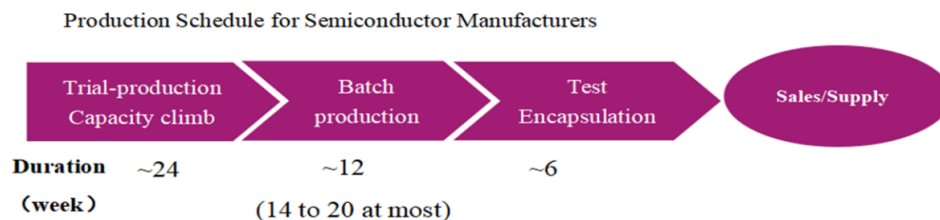
K seznámení s problematikou nám posloužil zejména odborný článek *An Analysis on the Crisis of “Chips shortage” in Automobile Industry—Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction*. viz [2].

Autory projektu jsou Daniel Marek (xmarek72) a Kateřina Neprašová (xnepa01). Zdroje informací potřebných k projektu byly čerpány ze studijních materiálů předmětu Modelování a simulace na Fakultě informačních technologií Vysokého učení technického v Brně a volně dostupných zdrojů.

2 Fakta

Na základě článku *Global Chip Shortage: The Reason, the Impact, and the Perspective* viz [3] víme, že aktuální nedostatek automobilů je 2~3 milionů. V článku *Everything you need to know about the chip shortage that's plaguing automakers* [4] jsme zjistili, že automobil má přibližně 500~1500 čipů. Z těchto faktů vychází naše základní poptávka, kterou jsme stanovili na 2 500 000 000.

Statistika *Semiconductor unit shipments worldwide from 2000 to 2021* [5] tvrdí, že aktuální celosvětová produkce polovodičových jednotek je 1,14 bilionu. Dle již zmíněného článku *An Analysis on the Crisis of "Chips shortage" in Automobile Industry—Based on the Double Influence of COVID-19 and Trade Friction* dostupného z [2] víme, že 12 % aktuální produkce čipů jsou čipy pro automobilový průmysl, též odsud čerpáme délky jednotlivých fází výroby čipů demonstrované v následujícím obrázku. V přepočtu pak víme, že produkční kapacita čipů pro automobilový průmysl je 31 482 739 726 za ca 84 dnů. Celkový cyklus produkce nám potvrzuje i graf ze článku *Coping with the auto-semiconductor shortage: Strategies for success* [6].



Obrázek 1: Fáze výroby čipů

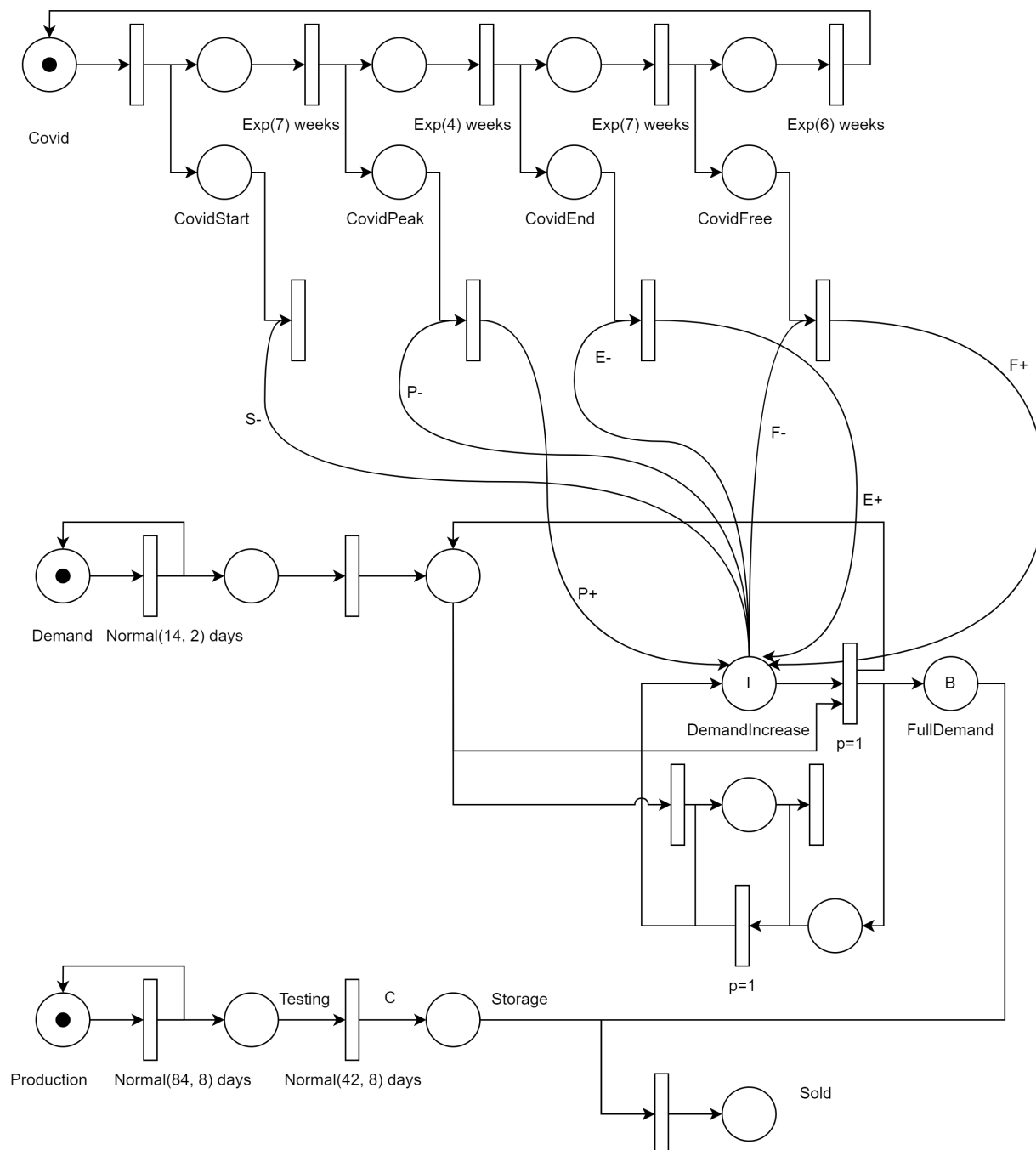
Z údajů statistiky shrnující celkový prodej vozidel [7] k únoru 2021 a potřebného počtu čipů k výrobě automobilu jsme odvodili základní čtrnáctidenní přírůstek poptávky $7\,933\,333\,333$ ((prodej vozidel v únoru 2021 * počet čipů k výrobě automobilu) / 30 * 14).

Dále jsme ze statistiky shrnující průběh covidu [8] spolu s již zmíněnou statistikou shrnující celkový prodej vozidel [7] jsme pak odvodili přibližný vliv jednotlivých fází covidu na poptávku čipů pro automobilový průmysl.

2.1 Hypotézy

Na základě námi nastudovaných statistik a článků viz 5 předpokládáme, že za stávající situace bude produkce čipů pro automobilový průmysl pro naplnění stávající poptávky v dohledné době nedostatečná. Předpokládáme, že k dostačujícím hodnotám by musela být zvýšena produkce čipů.

3 Konceptce



Obrázek 2: Petriho síť

Cielom našej štúdie je zistiť, či sa podarí produkcií automobilových čipov dohnat' poptávku v rozumnom čase, v našich experimentoch sme tento čas nastavili na 3 roky.

Pri tvorbe modelu sme sa rozhodli modelovať 3 samostatné procesy. Sú nimi priebeh covidu, generovanie poptávky a produkcia automobilových čipov.

3.1 Produkcia automobilových čipov

Zo zdrojov spomenutých v sekcii Fakta 2 vieme, že produkcia prechádza dvomi hlavnými fázami.

Prvou fázou je výroba automobilových čipov. Tento proces trvá okolo 12 týždňov, alebo okolo 84 dní. Keďže tento proces nemá konštantnú hodnotu toho koľko trvá, rozhodli sme sa použiť na určenie tohto času Normálne pravdepodobnostné rozloženie, ktoré generuje hodnoty okolo zadanej hodnoty s nejakou odchylkou. V našom prípade sme stanovili odchylku na 8 dní.

Na konci tohto procesu vzniknú až 2 procesy, jeden ktorý začne ďalšiu výrobu a druhý ktorý pokračuje s už vyprodukovanými čipmi.

Vyrobené čipy musia prejsť ešte 2. fázou, teda testovaním, to zaručuje práve tento druhý proces. Táto fáza trvá okolo 6 týždňov, teda okolo 42 dní. Opäť sme sa rozhodli reprezentovať tento čas hodnotou z Normálneho pravdepodobnostného rozloženia s odchylkou 8 dní.

Po ukončení 2. fázy sa vyrobené čipy dostanú do skladu a môžu byť predané. Do skladu sa dostane počet čipov, ktorý odpovedá 31 482 739 726 kusom. Jedná sa o číslo, ktoré odpovedá priemernej produkcii za 84 dní, teda za čas výroby. Toto číslo je v našom modeli reprezentované písmenom C, pretože môže byť nastavené, teda jedná sa o vstupný parameter simulácie.

3.2 Priebeh Covidu

Proces generujúci priebeh Covidu sa opiera o dáta získané z priebehu predošlých vln Covidu. Pri vlnách kde údaje poznáme, používame tieto údaje presne a pri ďalších vlnách sa opierame o trend, ktorý predošlé údaje vykazovali.

Zistením z tohto trendu sme zistili, že fáza kde vlna Covidu začína a prípady rastú trvá okolo 7 týždňov, alebo okolo 49 dní. Fáza, kde je Covid na vrchole vlny, trvá okolo 4 týždňov, alebo okolo 28 dní. Fáza kde Covid ustupuje a vlna Covidu končí trvá taktiež okolo 7 týždňov, alebo okolo 49 dní. Obdobie medzi vlnami trvá okolo 6 týždňov, alebo okolo 42 dní.

Keďže ale jednotlivé fázy vlny Covidu netrvajú vždy rovnako, rozhodli sme sa tieto časy reprezentovať hodnotou z Exponenciálneho rozloženia pravdepodobnosti so stredom v hodnote, ktorá odpovedá času, koľko väčšinou daná fáza trvá. Exponenciálne rozloženie sme vybrali z toho dôvodu, že čas trvania jednotlivých fáz Covidu zvykne mať vyššie odchylky, čo spôsobujú rôzne kritéria, ktoré nezahrnujeme v našom modeli.

Druhá časť, o ktorú sa stará priebeh covidu je upravovanie aktuálnej poptávky. Zo zdrojov sme zistili, že fáza Covidu priamo ovplyvňuje automobilovú poptávku a to je aj dôvod, prečo sme sa tento proces rozhodli modelovať.

Každá fáza okrem začiatku vlny môže spôsobiť ako zvýšenie, tak zníženie aktuálnej poptávky. To či pôjde o zvýšenie alebo zníženie určí výsledok Normálneho rozloženia pravdepodobnosti s nastavenou odchylkou. Údaje o strede rozloženia a danej odchylke sú vypočítané z reálnych dát spomenutých v sekcii Fakta 2. Pri získaní týchto údajov sa berie ohľad na to ako často bola táto zmena kladná a ako často záporná. Práve tento fakt nám spôsobí, že sa zmena nezasekne iba v jednom smere. Pri začiatku vlny sme z údajov zistili, že vždy spôsobí pokles, preto nemáme v modeli znázornené zvýšenie pri tejto fáze.

V našom modeli ovplyvní fáza Covidu poptávku hneď ako začne a nastaví ju na priemernú hodnotu, kde priemer berie z predošlej a novo vzniknutej hodnoty. Je to spravené preto, aby poptávka v každej fáze generovala hodnoty, ktoré viac odpovedajú reálnemu stavu a nie iba krajnej hodnote.

V našom modeli pokles znázorňujú šípky idúce z DemandIncrease, ktoré sú označené písmenkom s mínusom. Naopak nárast poptávky znázorňujú šípky idúce do DemandIncrease, ktoré sú označené písmenkom s plusom.

V prípade ak by napríklad vo fázi CovidEnd malo prísť k zvýšeniu o 5 %. Nastavila by sa hodnota E- na 1 a E+ na 5 % z DemandIncrease zaokruhlené nahor + 1.

V opačnom prípade, teda pri poklese o 5 % by sa nastavila zase hodnota E- na 5 % z DemandIncrease zaokruhlené nahor + 1 a hodnota E+ na 1.

Obdobne je to pre ostatné písmenká a fáze.

3.3 Generovanie poptávky

Tento proces má na starosť iba jednu funkciu, okolo každých 14 dní vygenerovať novú poptávku, ktorá sa rovná aktuálnej poptávke, ktorú mení priebeh Covidu, a túto hodnotu pridať do prony poptávky. Keďže čas vygenerovania poptávky nie je stanovený presne, rozhodli sme sa použiť Normálne pravdepodobnostné rozdelenie s odchylkou 2 dni.

Prvotná hodnota poptávky za 14 dní je vypočítaná ako mesačná hodnota poptávky, viac popísané v sekcii Fakta 2, získaná zo štatistík / $30 * 14$. Táto hodnota odpovedá číslu 7 933 333 333. V našom modeli je značená písmenom I, pretože je taktiež vstupným parametrom simulácie.

Ďalším vstupným parametrom simulácie je hodnota poptávky na začiatku, jedná sa teda o hodnotu, ktorá bude zaradená do fronty poptávok od začiatku a reprezentuje fakt, že produkcia je pozadu za poptávkou. V našom modeli je označená písmenom B a implicitne je nastavená na hodnotu 2 500 000 000. Dôvod tohoto čísla je uvedený v sekcii Fakta 2. Rozhodli sme sa generovať poptávku okolo každého 14 dňa, aby sa na poptávke viac ukázal vplyv Covidu. V prípade generovania okolo každého 30 dňa, alebo teda mesačne by hrozilo, že niektoré fázy Covidu poptávka jednoducho preskočí a spôsobí tak väčšiu odchylku od skutočnosti.

4 Experimenty

Cielom našich experimentov je odpovedať na počiatočnú otázku, teda zistiť, či produkcia čipov pre automobily dokáže v blízkej budúcnosti dohnať poptávku. Všetky experimenty spúšťajú simuláciu 100 000 krát.

4.1 Experiment 1

Ako prvý experiment sme sa rozhodli spustiť simuláciu s hodnotami získanými z článkov a štatistík, ktoré sú popísané v sekcii Fakta 2. Tieto hodnoty sú prednastavené v našom simulátore.

Spustenie: *make run* alebo *./simulation*

Výsledok:

14 denná poptávka	Úspech	Deň skončenia	Nepredané čipy	Neúspech	Nevyriadená poptávka
6.6619e+09	187	981.106	7.28553e+09	99 813	1.41554e+11

Tabulka 1: Experiment s výchozími hodnotami programu

V tomto experimente vidíme zaujímavú udalosť. Iba 0.187 % prípadov skončí úspechom, kde by dokonca nepredané čipy dokázali pokryť aj poptávku o ďalších 14 dní.

Zároveň vidíme, že deň v ktorom produkcia dobehne poptávku sa pohybuje pomerne blízko hraničného dňa, ktorý máme v simulácii nastavený na 1 096, tento čas odpovedá 3 rokom, teda začiatku roku 2023. Nami zistený deň by odpovedal dňu v mesiaci september roku 2022, avšak tento čas nemôžeme brať v úvahu, pretože vychádza z minimálneho počtu prípadov. Z týchto zistení sme si stanovili hypotézu, že posunutie hraničného dňa o rok neskôr výrazne zvýši úspešnosť prípadov.

4.2 Experiment 2

Na otestovanie tejto hypotézy sme sa rozhodli v 2. experimente posunúť hraničný deň o 365 dní.

Spustenie: *./simulation --days-count=1460* alebo *./simulation -t 1460*

Výsledok:

14 denná poptávka	Úspech	Deň skončenia	Nepredané čipy	Neúspech	Nevyriadená poptávka
6.41255e+09	2 063	1302.57	6.99435e+09	97 937	1.55493e+11

Tabulka 2: Experiment so zvýšenou počiatočnou poptávkou

Tento experiment nám vyvrátil našu hypotézu. Aj napriek tomu, že zvýšenie úspešnosti z 0.187 % v 1. experimente 4.1 na 2.063 % predstavuje výrazné zvýšenie, jedná sa stále o mizivé percento všetkých prípadov.

Zároveň vidíme, že deň, kedy produkcia dobehne poptávku sa spozdil okolo 10 mesiacov, čo by predstavovalo stred roku 2023. Z tohto faktu sme usúdili, že ďalšie posúvanie hraničného dňa nemá zmysel, pretože by sa jednalo o príliš veľké spoždenie, ktoré by pravdepodobne spôsobilo obrovské ekonomické škody v automobilovej výrobe, ktoré by pravdepodobne spôsobili ďalšie zmeny v poptávke a produkcii.

4.3 Experiment 3

Zo zistení z 1. 4.1 a 2. 4.2 experimentu usudzujeme, že s výnimkou niekoľko percent prípadov nedokáže produkcia pokrývať celkovú poptávku v rozumnom čase. Preto sme sa rozhodli zistiť ako by vyzerala situácia, ak by zostala od začiatku produkcia čipov vyššia.

Experimenty sme sa rozhodli vykonávať s pôvodným hraničným dňom, teda 1 096, aby sme zistili, s akým zvýšením by sa podarilo produkciou čipov konzistentne dohnať poptávku do začiatku roku 2023.

S 20 % navýšením

Spustenie: `./simulation --production-capacity=33056876700` alebo `./simulation -c 33056876700`

Výsledok:

14 denná poptávka	Úspech	Deň skončenia	Nepredané čipy	Neúspech	Nevyriadená poptávka
6.67919e+09	12 617	742.536	5.75166e+09	87 383	7.34319e+10

Tabulka 3: Experiment so zvýšenou produkciou automobilových čipov o 20 %

S 40 % navýšením

Spustenie: `./simulation --production-capacity=44075835600` alebo `./simulation -c 44075835600`

Výsledok:

14 denná poptávka	Úspech	Deň skončenia	Nepredané čipy	Neúspech	Nevyriadená poptávka
6.79703e+09	84 663	558.856	6.30146e+09	15 337	3.76084e+10

Tabulka 4: Experiment so zvýšenou produkciou automobilových čipov o 40 %

S 50 % navýšením

Spustenie: `./simulation --production-capacity=47224109600` alebo `./simulation -c 47224109600`

Výsledok:

14 denná poptávka	Úspech	Deň skončenia	Nepredané čipy	Neúspech	Nevyriadená poptávka
6.84483e+09	98 612	409.089	6.8063e+09	1 388	3.59676e+10

Tabulka 5: Experiment so zvýšenou produkciou automobilových čipov o 50 %

Z týchto variant 3. experimentu vidíme vplyv zvýšenej produkcie. Prekvapivo s 20 % navýšením produkcie automobilových čipov končí úspešne iba 12.617 % prípadov. Je to síce výrazné zvýšenie oproti 1. experimentu 4.1, avšak toto percento je príliš malé, aby sme mohli vyhlásiť, že by takéto navýšenie stačilo na dobehnutie poptávky do začiatku roku 2023.

Výrazne lepšie výsledky vykazuje navýšenie produkcie o 40 a 50 %. Pri 40 % navýšení dosahujeme úspešnosť 84.663 % a dobehnutie poptávky okolo dňa 559, čo by znamenalo, že poptávku dobehne okolo augusta roku 2021. Z toho vypláva, že v súčasnosti, by bola kríza s nedostatkom automobilových čipov už niekoľko mesiacov zažehnaná.

Ešte lepšie výsledky dosahuje navýšenie o 50 %, ktoré dosahuje úspechu až v 98.612 % prípadov. Pri tomto navýšení dobehne produkcia poptávku už za 409.089 dní, čo by znamenalo, že ju dobehne niekedy okolo konca mesiaca marec roku 2021.

5 Závěr

V rámci experimentů bylo zjištěno, že aktuální produkce nedosáhne na brzké zaplnění díry na trhu s automobilovými čipy. Z experimentů dále vyplývá, že pokud by od začátku byla produkční kapacita o 40 - 50 % vyšší, dokázala by produkce naplnit poptávku.

Provedenými experimenty jsme se pokusili předvídat situaci na trhu s čipy pro automobilový průmysl a získané výsledky korespondují s aktuálními odhady budoucího vývoje[1], a to, že k naplnění poptávky nedojde dříve jak v roce 2022.

Z vytvořené simulace by se též dal předpokládat budoucí průběh poptávky a produkce čipů či dopad pandemie covid-19 na poptávku čipů pro automobilový průmysl v budoucnosti.

Literatura

- [1] Mehray, S.: *Chip shortage explained: How we got here and why it persists*. <https://www.outlookindia.com/>, outlookindia.com, Dec 2021,
Dostupné z: <https://www.outlookindia.com/website/story/business-news-chip-shortage-explained-how-we-got-here-and-why-it-persists/404662> .
- [2] Wu, X.; Zhang, C.; Du, W.: 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*, ročník/vydání 1971, è. 1, 2021: str. 012100, doi:10.1088/1742-6596/1971/1/012100.
Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1971/1/012100>
- [3] Tienen, M. B.: *Global Chip Shortage: The Reason, the Impact, and the Perspective*. TECHDesign Blog, Oct 2021,
Dostupné z: <https://blog.techdesign.com/global-chip-shortage-reason-impact-perspective/> .
- [4] LaReau, J. L.: *Everything you need to know about the chip shortage that’s plaguing automakers*. Detroit Free Press, Detroit Free Press, Sep 2021.
Dostupné z: <https://eu.freep.com/story/money/cars/2021/06/15/car-chip-shortage-2021/7688773002/>
- [5] Alsop, T.: *Global semiconductor shipments 2021*. Statista, Nov 2021,
Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/802632/world-semiconductor-shipments/> .
- [6] Burkacky, O.; Lingemann, S.; Pototzky, K.: *Coping with the auto-semiconductor shortage: Strategies for success*. McKinsey Company, McKinsey & Company, Oct 2021.
Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/coping-with-the-auto-semiconductor-shortage-strategies-for-success>
- [7] *Total Vehicle Sales*. FRED, U.S. Bureau of Economic Analysis, Federal Reserve Bank of St. Louis, Dec 2021.
Dostupné z: <https://fred.stlouisfed.org/series/TOTALSA>
- [8] *Coronavirus Cases*. Worldometer.
Dostupné z: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>