



**IMS**

SHO ve výrobě

2021/2022

Výrobný proces dosiek plošných spojov

11.12.2021

Richard Hrmo (xhrmor00)  
Ladislav Dokoupil (xdokou14)

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	1
1.1 Autori a zdroje	1
1.2 Ověření validity modelu	1
<b>2. Rozbor témy a použitých metod/technologií</b>	1
2.1 Použité postupy	2
2.1 Popis pôvodu použitých metod/technológií	2
<b>3. Konceptcia modelu</b>	2
3.1 Popis konceptuálneho modelu	2
3.2 Forma konceptuálneho modelu	3
<b>4. Architektúra simulačného modelu</b>	3
4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného	3
4.2 Spustenie programu	4
<b>5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh</b>	4
5.1 Postup experimentovania	4
5.2 Dokumentácia experimentov	4
Experiment 1 - overeni validity modelu	4
Experiment 2 - odstraneni uzkeho hrdla	5
Experiment 3	5
Experiment 4	5
5.3 Závery experimentov	5
<b>6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver</b>	6

# 1. Úvod

Cieľom tejto práce bolo simulovať výrobnú linku dosiek plošných spojov, zistenie kde nastáva spomalenie výrobného procesu a optimalizovať tento proces. Simulačný model bol vytvorený a validovaný na základe informácií poskytnutých pracovníkom firmy.

## 1.1 Autori a zdroje

Autormi tejto práce sú Richard Hrmo (xhrmor00) a Ladislav Dokoupil (xdokou14). Zdroje faktov o výrobe v tejto dokumentácii boli poskytnuté Radimom Vitekom, zamestnancom firmy *Gatema s.r.o.* [1]

Technická časť tejto dokumentácie bola vytvorená na základe poznatkov získaných v predmete Modelování a simulace (IMS) [2] na FIT VUT v Brne.

## 1.2 Overenie validity modelu

Validita modelu [2, slide 37] bola overená pomocou simulačných experimentov a následného porovnania výsledkov týchto experimentov s reálnymi faktami dodanými firmou *Gatema s.r.o.*

# 2. Rozbor témy a použitých metód/technológií

Všetky použité fakty boli prebraté z uvedeného zdroja a spriemerované.

Jedna pracovná smena trvá 8 hodín, počas ktorej sa pracuje na všetkých linkách. Výroba jednej dosky plošného spoja sa skladá z 8 častí: spracovanie materiálu, prekovenie, galvanika, fotocesta, optické testovanie, elektrické testovanie, CNC a expedícia.

Firma má vlastný sklad, z ktorého sú vybrané základné suroviny a spracované v procese spracovania materiálu. Výstupom sú tu zvyčajne 3 dosky, pretože sa ich vždy spracováva niekoľko súčasne. Toto trvá 32 minút. Potom nastáva proces prekovenia ktorý trvá 7 minút. Po tomto procese idú 4 takéto dosky do procesu galvaniky, kde sa spracovávajú 120 minút. Prvý proces fotocesty berie 1 dosku zo 4 výsledných a spracováva ju 20 minút. Nasleduje optické testovanie ktoré trvá 7 minút, úspešne ním prejde 99% dosiek. Nasledujúci proces fotocesty trvá 25 minút. Potom prechádza doska elektronickým testovaním, ktoré trvá 10-30 minút. Úspešne sa dostane 96% dosiek do procesu CNC, ktorý trvá 15 minút. Posledná časť je expedícia, ktorá trvá 5 minút a kde je doska z CNC rozdelená na niekoľko menších kusov podľa požiadaviek zákazníka.

## 2.1 Použité postupy

Pre vytvorenie simulačného modelu bol využitý programovací jazyk C++ a simulačná knižnica SIMLIB. Tieto technológie sú pre daný projekt ideálne, pretože obsahujú všetky potrebné rozhrania pre implementáciu simulačného modelu. Jeho výhodou je aj to, že je to multi-platformový otvorený software s celkom jednoduchým použitím.

## 2.2 Popis pôvodu použitých metód/technológií

Použité boli štandardné funkcie jazyka C++[\[3\]](#) a knižnica SIMLIB[\[4\]](#) vo verzii 3.08. Na preklad bol použitý prekladač g++[\[5\]](#).

## 3. Konceptcia modelu

V tejto sekcii sa spracováva návrh konceptuálneho modelu[\[2, slide 48\]](#) nad systémom, ktorý je braný ako SHO (systém hromadnej obsluhy) [\[2, slide 136\]](#). Zo všetkých možných produktov sme sa zamerali konkrétne na dvojstranné dosky plošných spojov, pretože sú v danej firme vyrábané najviac, vďaka čomu sú k tomuto typu dosiek poskytnuté najlepšie štatistické údaje k validácii modelu a optimalizácia ich výroby bude mať najväčší rozsah.

Ľudský faktor, ktorý ovplyvňuje hlavne prenášanie dosiek z jednej stanice do druhej, je tu zahrnutý v rôznych odchýlkach časových rozložení v rámci daných fáz výroby.

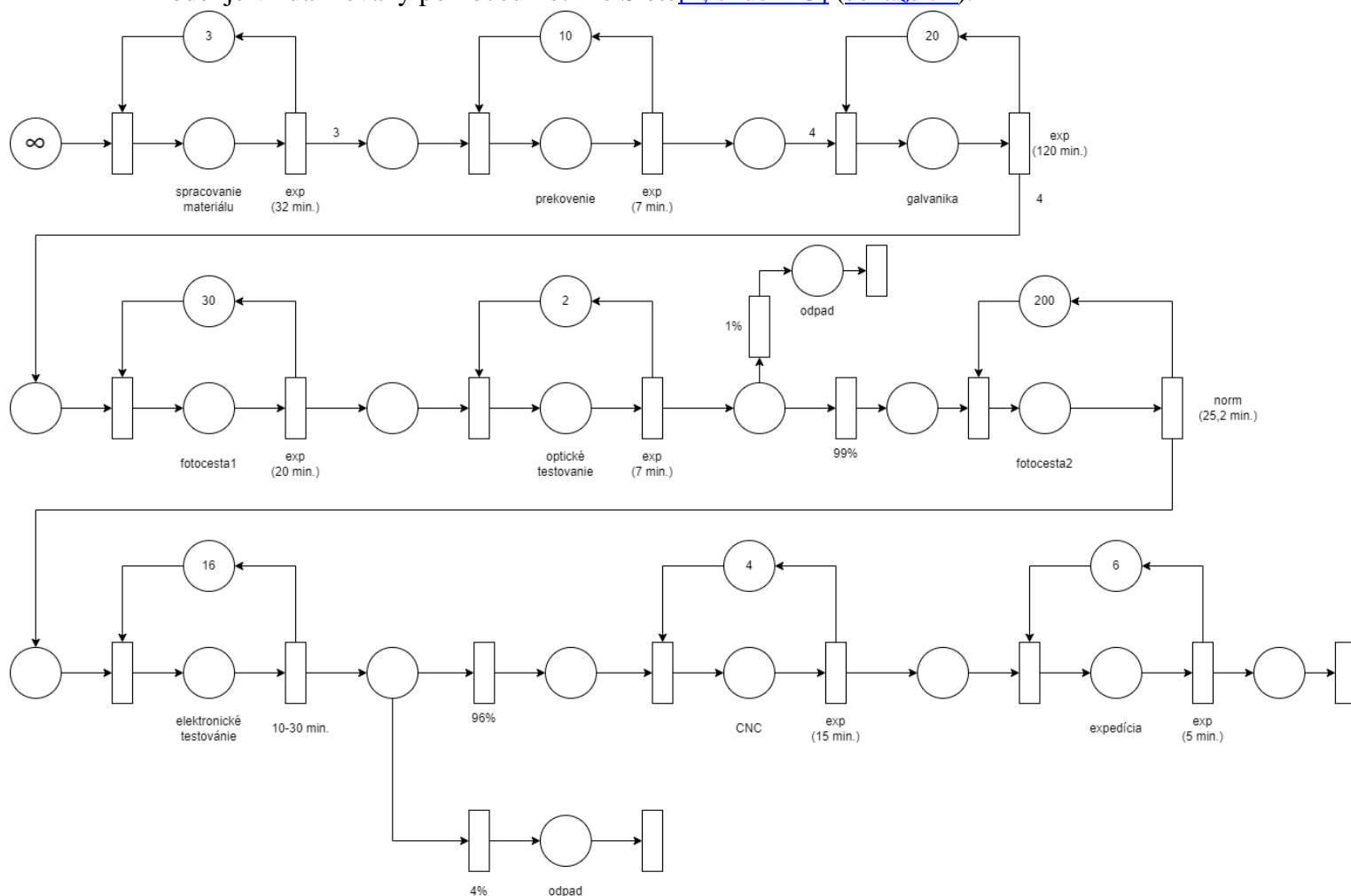
Ďalej je v tomto modeli počítané s vždy dostupnými surovinami pre počiatočnú linku spracovania materiálu a dostatočnou výstupnou kapacitou expedičnej linky, keďže tieto faktory nie sú pre samotný proces výroby podstatné.

### 3.1 Popis konceptuálneho modelu

Model [\[2, slide 7\]](#) predstavuje sériovú výrobnú linku dvojstranných dosky plošných spojov. Skladá sa z 9 obslužných liniek rôznych kapacít, ktorými postupne po dobu smeny prúdia rozpracované dosky, v testovacích fázach výroby je navyše pridaná pravdepodobnosť odhalenia chyby a následné vyradenie z výroby. Keď prejde transakcia celým systémom v poriadku, taktiež opúšťa systém.

## 3.2 Forma konceptuálneho modelu

Model je vizualizovaný pomocou Petriho Siete[2, slide 123] (*obrázok 1*).



Obrázok 1: Vizualizácia modelu pomocou Petriho siete

## 4. Architektúra simulačného modelu

Po spustení programu je najskôr spustený proces Initializer, ktorý naskladní suroviny na požadované linky. Tieto suroviny sú modelované ako meniace sa procesy, ktoré postupne prechádzajú výrobou a umiestňujú sa do frônt rôznych liniek v modelovaných častiach výroby.

### 4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného

Jednotlivé časti Petriho siete sú mapované na samostatné procesy, kde každý sa pokúsi zabrať jemu určenú linku výroby, počká určitý čas modelujúci trvanie danej časti výroby, a potom vytvorí nový proces symbolizujúci prechod do nasledujúcej časti výroby. Ako príklad proces elektronického testovania odpovedá v kóde Triele proces\_elektrického\_testovania.

```
príklad chovania procesu: proces_elektrického_testovania
    zaber linku elektricke_testovani
    práca na lince;
    opusti linku elektricke_testovanie;
    if Uniform(0,100) > 96 then
        vytvor proces nasledujúcej linky;
    else
        odpad;
    end
```

## 4.2 Spustenie programu

Simulácia je najskôr skompilovaná pomocou priloženého súboru Makefile príkazom `make` a následne spustená pomocou `./ims arg[i]`, kde argumenty určujú počet jednotlivých liniek výroby, teda ich je potreba zadať 9. Napríklad `./ims 3 1 1 1 2 1 4 2 6`.

## 5. Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentov bolo najskôr overiť validitu modelu a následné zistenie limitujúceho miesta vo výrobe a optimalizácia počtu liniek vo výrobe tak, aby tento problém bol minimalizovaný.

### 5.1 Postup experimentovania

Pri postupnom experimentovaní bol počet liniek menený podľa analýzy výstupného súboru `model.out` so štatistickými údajmi z celej smeny. Tu bolo prihliadnuté najmä k vysokej priemernej vyťažnosti linky a pre nasledujúci experiment bolo obvyklé zdvojnásobené množstvo týchto liniek.

### 5.2 Dokumentácia experimentov

#### Experiment 1 - overenie validity modelu

Podľa poskytnutých informácií od firmy je každú 8 hodinovú zmenu vyrobených priemerne 130 obojstranných dosiek. Podľa reálnej situácie firmy bola simulácia spustená príkazom:

```
./ims 3 1 1 1 2 1 4 2 6
```

Tu za smenu bolo vytvorených 126 dosiek, čo je vzhľadom k prirodzenej odchýlke zanedbateľný rozdiel, od reálnych 130, teda bola overená validita.

## Experiment 2 - odstránenie úzkeho hrdla

Z výsledkov predchádzaného experimentu bolo zistené, že výrobu najviac spomaľuje počítačová príprava materiálov, optické testovanie a finálne CNC úpravy.

./ims 6 1 1 1 4 1 4 4 6

Pri zdvojnásobení ich počtu došlo k rapídneho zvýšeniu výroby na 203 kusov.

## Experiment 3

Následne bolo testované ďalšie možné rozšírenie továrne. Ako v predchádzajúcom experimente bolo zase testované zdvojnásobenie tých istých prvkov, ale efekt bol minimálny (zvýšenie na 219). Výroba začala byť spomaľovaná zdĺhavým procesom galvaniky, teda bola aj tá rozšírená.

./ims 12 1 2 1 8 1 4 8 6

Po navýšení kapacít vzniklo za zmenu 294 výrobkov.

## Experiment 4

./ims 24 1 2 1 16 1 8 16 6

Po ďalšom zdvojnásobení prvkov z experimentu 2 zase vznikol nepozorovateľný nárast výroby (na 323). Po preskúmaní bolo zistené spomalenie procesom elektrického testovania. Po jeho zdvojnásobení narástla výroba až na 409 a systém začal byť pre zmenu spomaľovaný procesom prekovenia.

## 5.3 Závery experimentov

Dokopy boli prevedené 4 experimenty. V rámci experimentovania bola potvrdená validita modelu. Najväčší efekt na počet vyrobených kusov dosiek malo zvýšenie liniek spracovania materiálu, optické testovanie a CNC. Zvýšenie zvyšných liniek nemalo až také dopady na výsledný počet dosiek.

## 6. Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Prevedením simulačných experimentov nad vytvoreným modelom bola najskôr overená jeho validita so skutočnými parametrami z výroby, a následne bola skúmaná priepustnosť systému pri zmenách týchto parametrov.

Výsledky ukazujú, že systém je súčasne najviac limitovaný linkami CNC, optického testovanie a spracovaním materiálu. Ich kapacita musí byť niekoľkonásobne navýšená než začne byť systém limitovaný inými faktormi.

V rámci projektu vznikol nástroj, ktorý vychádza z reálneho modelu firmy Gatema s.r.o. a bol implementovaný v jazyku C++ s použitím knižnice SIMLIB. Tento nástroj je spúšťaný pomocou príkazovej riadky a je možné ho spúšťať s rôznymi argumentmi určujúcimi počet liniek v systéme. Ten po skončení vytvorí súbor model.out so štatistickými údajmi spoločne a vypíše niektoré údaje na štandardný výstup.

## Referencie

- [1] Firma Gatema s.r.o. <https://www.gatemapcb.cz/>
- [2] Peringer, P.; Hrubý, M: Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [online], 20. September 2021, [vid. 2020-12-07]. Dostupné na: <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [3] C++ <https://www.cplusplus.com/>
- [4] Peringer, P; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 4. Október 2021, [vid. 2021-12-07]. Dostupné na: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [5] g++ <https://gcc.gnu.org/>