

# Kap. 4.1: Analýza výsledků v simulaci

Martin Dlouhý  
2019

# Data ze simulačních modelů

Výsledky simulačního modelu jsou ovlivněny:

1. Vlivem počátečních podmínek a typem simulace
2. Pravděpodobnostním charakterem modelu
3. Vlivem experimentálních zásahů (těm se budeme věnovat v kapitole srovnání systémů a optimalizace)

# Vliv počátečního stavu/typ simulace

- Simulační model typicky startuje **prázdný**, entity vstupují do modelu teprve po spuštění simulace, takže využití zdrojů je menší než ve skutečnosti.
- Řešením je, aby již **počáteční nastavení odpovídalo běžnému provozu**. Např. lůžka v nemocnici jsou obsazená, na výrobní lince jsou nedokončené výrobky, podnik má rozpracované zakázky apod. Jak však tento stav určit?
- Nebo spustit model jako prázdný a **vynechat počáteční pozorování** ze statistické analýzy výsledků. Stanovení tzv. **Warm-Up**.

# Vliv počátečního stavu/typ simulace

Rozlišujeme dva typy simulací:

- **Simulace s konečným horizontem** (známe výchozí stav, známe dobu ukončení simulace) – spustili jsme novou výrobní linku, odhadujeme kolik náhradních dílů máme objednat v první měsíc provozu.
- **Simulace dlouhodobého chování** (výchozí stav není důležitý, hledáme charakteristiku běžného provozu) – máme výrobní linku, odhadujeme měsíční potřebu náhradních dílů v běžném provozu. V tomto případě vynecháme zahřívací periodu (warm-up) a musíme určit dobu simulace.

# Charakter výsledků (vliv náhodnosti)

- Pokud jsou vstupní charakteristiky **náhodné veličiny**, jsou i výstupní charakteristiky simulačního modelu **náhodné veličiny**.
- Je třeba proto provést více experimentů, neboť jednotlivý výsledek není vypovídající.
- Simulace je tedy statistických experiment s modelem a výsledky mají formu bodových či intervalových odhadů.

**RIRO – Random In, Random Out**

# Charakter výsledků (vliv náhodnosti)

Data ze simulačních jsou obecně:

- **nestacionární** – typ rozdělení náhodné veličiny a jeho parametry se mohou měnit (v průběhu dne se mění příchod požadavků)
- **autokorelované** – po sobě následující procesy se vzájemně ovlivňují (jestliže stojím dlouho ve frontě, bude stát zhruba stejně dlouho ve frontě i zákazník za mnou, tudíž vzniká pozitivní autokorelace)

Porušením standardních předpokladů (stacionarita, nezávislost) selhávají tradiční statistické postupy. Intervalové odhady obvykle podhodnoceny.

# Replikační metoda

- Problém autokorelace řešíme opakováním (replikací) simulačního běhu ( $k$ -krát). Do analýzy vstupují výsledky za každou replikaci (např. průměrná hodnota), nikoliv původní data.
- Hodnoty z každé replikace jsou zcela nezávislé. Vypočteme bodové a intervalové odhady tradičním způsobem.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i ,$$

$$\bar{x} \pm t_{1-\alpha/2, k-1} \frac{s}{\sqrt{k}}, \quad s^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 .$$

# Metoda skupinových průměrů

- Neopakujeme několik simulačních běhů, ale spustíme pouze **jeden delší běh** (počáteční stav vynecháváme pouze jednou).
- Tento simulační běh pak rozdělíme na **stejně velké úseky**, ve kterých vypočteme průměry ze sledovaných charakteristik.
- Dále postupujeme jako u replikační metody, ze skupinových průměrů získáme bodový a intervalový odhad. Stejně vzorce, pouze index nyní označuje úsek místo pořadí replikace.
- Nevýhody: a) při dlouhé „paměti“ systému může autokorelace ovlivnit skupinové průměry, b) jak určit délku úseku.



# Regenerativní metoda

- Provedeme **jeden delší simulační běh** s vynecháním přechodového stavu.
- Na rozdíl od metody skupinových průměrů provedeme rozdělení na úseky **nestejně délky** podle výskytu tzv. regenerativního stavu.
- Regenerativní stav = prázdná fronta. V tomto případě mizí autokorelace mezi po sobě následujícími entitami.
- Vypočteme průměry z každého úseku (cyklu), celkový průměr však musí brát v úvahu nestejnou délku úseků, proto je výpočet složitější.
- Nevýhody: a) regenerativní stav nemusí nastat, b) nevíme předem počet úseků (regenerativních cyklů).