

Simulace – výzkumná technika/metoda, jejíž podstatou je náhrada zkoumaného **dynamického** systému (**originálu**) jeho **simulátorem**, s nímž se experimentuje s cílem získat informace o původním zkoumaném dynamickém systému. Nutno zdůraznit, že aby šlo o simulaci, musí být cílem experimentů se simulátorem **získání informací o** simulovaném systému (**originálu**).

Modelování – Podstatou **modelování** ve smyslu výzkumné techniky/metody je **náhrada** zkoumaného systému (**originálu**) jeho modelujícím systémem (nebo stručněji jeho **modelem**), jejímž cílem je získat pomocí **pokusů** (experimentů) s modelem informaci o originálu.

Simulační model – struktura, která váže dva systémy, jejich prvky a jejich atributy, a v případě simulačních modelů i existence obou systémů. Modelovaný systém (originál) i jeho modelující systém jsou **dynamické systémy**. Pokud nějaký stav nastane v originálním systému, tak nastane i v modelovaném systému.

Replikace – v případě náhodných (stochastických) vstupů a výstupů do a ze systému je nutné provádět replikace, což je opakování pokusu pro získání přesnějších výsledků (min. 3-5 replikací)

Scéna – množina všech permanentních prvků systému s hodnotami jejich atributů

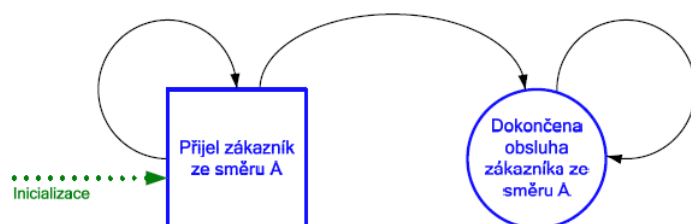
Scénář – scéna s jejími vlastnostmi; pravidla **vstupu**, **výstupu**, **generování** a **zánik** temporárních prvků a **rozhodovací** a **řídící algoritmy** popisující aktivity, resp. procesy, realizovanými simulátorem

Základní metody synchronizace

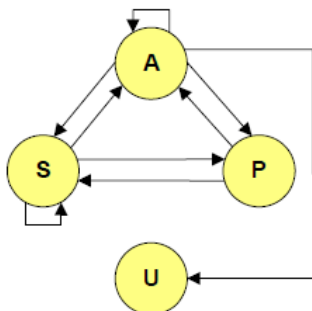
Metoda plánování událostí – je jednou z nejrozšířenějších metod uplatňovaných při realizaci diskrétní simulace, je založena na plánování výskytů událostí do budoucnosti. Událost je uchovávána v **kalendáři událostí**. Kalendář událostí je postaven na ADT Prioritní fronta. (**6 kroků**)

KROK	Činnost	Vykonána za podmínek
0	Inicializace simulačního času t_s ($t_s = 0$)	
1	Ukončení běhu simulačního programu	Kalendář neobsahuje žádné události nebo je vyčerpán čas vymezený pro běh simulačního programu
2	Odebrání události z „vrcholu“ kalendáře (s nejmenší hodnotou t_U / plánovaného času výskytu)	
3	Aktualizace simulačního času ($t_s = t_U$)	
4	Výkon akce spojené s výskytem události (akce provádí stavové změny a případné plánování dalších událostí)	
5	Návrat na KROK 1	

Diagram událostí



Metoda interakce procesů – představuje další metodu diskretní simulace, která je ovšem již částečně založena na metodě předešlé. Využívá se skutečnosti, že proces není prováděn celý najednou, nýbrž jsou postupně vykonávány jeho jednotlivé aktivity. 4 stavy procesů – **aktivní**, **ukončený**, **suspendovaný** a **pasivní**.



Metoda snímání aktivit – někdy též označovaná jako dvojfázová metoda, je použitelná jak pro realizaci diskretní, tak spojité simulace. Princip této metody je založen na principu snímání všech v simulátoru právě „běžících“ aktivit v daných přírůstcích simulačního času τ (**snímací perioda**). Při každém snímání aktivity dochází k jejímu vyhodnocování. Zkoumá se, zda v simulačním čase $t_s = n * \tau$ (hodnota n vyjadřuje, o kolikáté aktuální snímání od počátku simulace jde) došlo:

- ke splnění podmínky **výskytu její koncové události** (v případě diskretní simulace) nebo
- ke **změně hodnot** příslušných dynamických **atributů** (u spojité simulace) a případně ke **splnění aktivační podmínky**

Přesnost této metody je závislá na zvolené velikosti snímací periody.

KROK	Činnost	Vykonána za podmínek
0	Inicializace simulačního času ($t_s = 0$)	
1	Ukončení běhu simulačního programu	Je vyčerpán čas vymezený pro běh simulačního programu
2	1. fáze Vyhodnocování všech běžících aktivit vzhledem k času t_s a výkon příslušných akcí při splnění aktivačních podmínek	
3	2. fáze Aktualizace simulačního času ($t_s = t_s + \tau$)	
4	Návrat na KROK 1	

Pozn.: Přístup metody **snímání aktivit** se označuje jako **synchronní**, zatímco přístup metody **plánování událostí** jako **asynchronní**.

Algoritmizace simulačního modelu

- navržení datových struktur** pro reprezentaci stavů simulátoru, jakož i **operací**, které nad touto strukturou pracují - realizují změny stavu systému,
- realizace plynutí simulačního času** a
- zajištění synchronizace stavových změn** v simulátoru tak, aby tyto změny probíhaly v určitém pořadí a při určitých hodnotách simulačního času nebo v okamžicích, kdy je splněna určitá podmínka týkající se stavu či konfigurace modelu.

Diskretní aktivita – může měnit stav systému jen v okamžiku ukončení aktivity; v průběhu trvání aktivity se stav systému změnit nemůže

Spojité aktivita – může měnit stav systému během celé doby jejího trvání

Diskrétní simulace – simulovaný systém obsahuje pouze diskrétní aktivity

Spojité simulace – simulovaný systém obsahuje pouze spojité aktivity

Kombinovaná (diskrétně-spojité) simulace - simulovaný systém obsahuje spojité i diskrétní aktivity

Proces – posloupnost přirozeně na sebe navazujících aktivit, které spolu tvoří jistý logický celek

Run-time animace – umožní názorně sledovat obrazy procesů vymezeného zkoumaného systému, možnost interaktivního zásahu do simulace

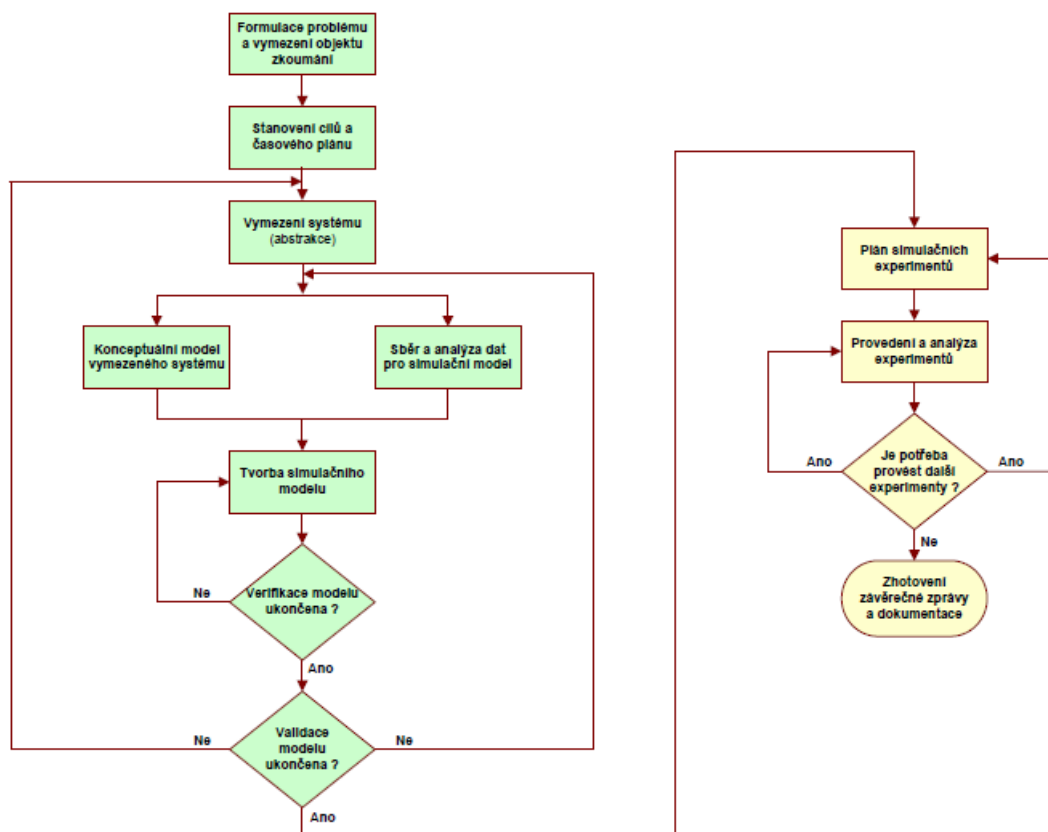
Základy životního cyklu projektu – 2 základní etapy -> návrh a tvorba simulačního modelu a experimentování

I. Etapa

1. Formulace základních problémů, Vymezení objektu zkoumání
2. Stanovení konkrétních cílů a časového plánu projektu
3. Vymezení zkoumaného/simulovaného systému
4. Koncepce pro tvorbu simulačního modelu, Konceptuální model
5. Sběr a analýza dat potřebných pro simulační model
6. Implementace simulačního modelu
7. Ověření správnosti, Verifikace
8. Otestování pravdivosti, Validace

II. Etapa

9. Plán simulačních experimentů
10. Vykonávání simulačních experimentů
11. Pokud je potřeba, provedou se další experimenty
12. Závěrečná zpráva, Statistické zpracování, Grafické časové protokoly



Validate – srovnávání s realitou, statistické metody, srovnání s jiným modelem, empirická metoda

Základní metodika analýzy vstupních a výstupních dat – standardní model – chápán jako standardní model, metamodel – chápán jako černá skříňka produkující požadovaný typ dat, náhodnost – deterministický přístup – např. soubor sesbíraných historických dat, stochastický přístup – generování vstupních dat generátorem (například na základě statistického zpracování reálných historických dat)

Typické problémy s analýzou vstupních dat – data nemusí být nezávislá ani s identickým rozdělením

Neplatí: nezávislost pozorování v rámci jedné replikace

Platí: nezávislost i-tých pozorování v replikacích

Hypotéza - Nejdůležitějším nástrojem při formulaci hypotézy o typu rozdělení pravděpodobnosti je histogram. Velmi důležitá je volba počtu tříd histogramu.

Test dobré shody – Nejčastěji používanými testy hypotéz o tvaru rozdělení jsou **X²-test** a **Kolmogorovův- Smirnovův test**. Testuje se nulová hypotéza **H₀**.

X²-test – vyžaduje velké množství naměřených hodnot

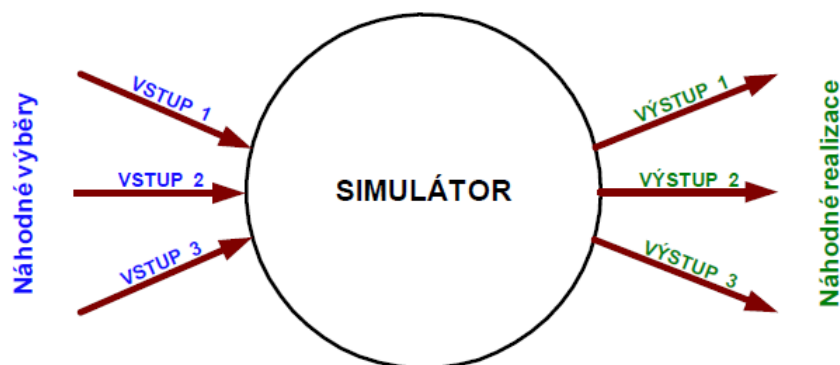
Kolmogorovův- Smirnovův test – se zpravidla používá v případech, kdy máme k dispozici pouze omezené množství dat.

Generátory pseudonáhodných čísel – rovnoměrně rozdělené na intervalu $<0,1>$, efektivní deterministický program, který generuje posloupnost čísel, statistickými testy pokud možno nerozlišitelnou od náhodné. Vstupními daty pro pseudonáhodné generátory jsou *skutečně* náhodné, leč krátké, posloupnosti.

Histogram – sloupcový graf, v němž každé třídě přiřadíme její četnost. Důležitá je volba počtu tříd histogramu.

Klouzavý průměr – prostředek k vyrovnaní datové řady. Posloupnost pozorování nahrazujeme řadou průměrů získaných z těchto pozorování tak, že nejprve spočítáme průměr z prvních k hodnot. Dále postupujeme vždy o jedno pozorování kupředu a poslední pozorování ze skupiny vypouštíme.

Výstupní stochastický proces – dovedeme další vývoj předvídat jen s určitou pravděpodobností. Ve skutečnosti jsou reálné procesy vždy do jisté míry stochastické, protože jejich podmínky se nahodile a nepředvídatelně mění, i když třeba jen v úzkých mezích.



Problém: Y_i nemusí být nezávislé, ani s identickým rozdělením

Pseudonáhodná čísla/vstupy	Náhodné realizace/výstupy			
$u_{11}, u_{12}, \dots$	$y_{11},$	$y_{12},$	$\dots,$	y_{1m}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$u_{n1}, u_{n2}, \dots$	$y_{n1},$	$y_{n2},$	$\dots,$	y_{nm}

Interval spolehlivosti – platí pro normální rozdělení X_j - pro ostatní rozdělení pouze přibližně, existují přesnější metody. Doporučení potřebného počtu replikací závislé od požadované přesnosti sledovaných typů výsledků - **nikdy ne méně než 3-5 replikací!** Upřesnění bodového odhadu a vymezení dolní a horní meze. Výsledek simulačního experimentu lze vyjádřit pomocí intervalu spolehlivosti, pokud se řídí normálním rozdělením pravděpodobnosti. Přesnost výsledku je pak dána hodnotou Δ – tzv. šířkou intervalu spolehlivosti.

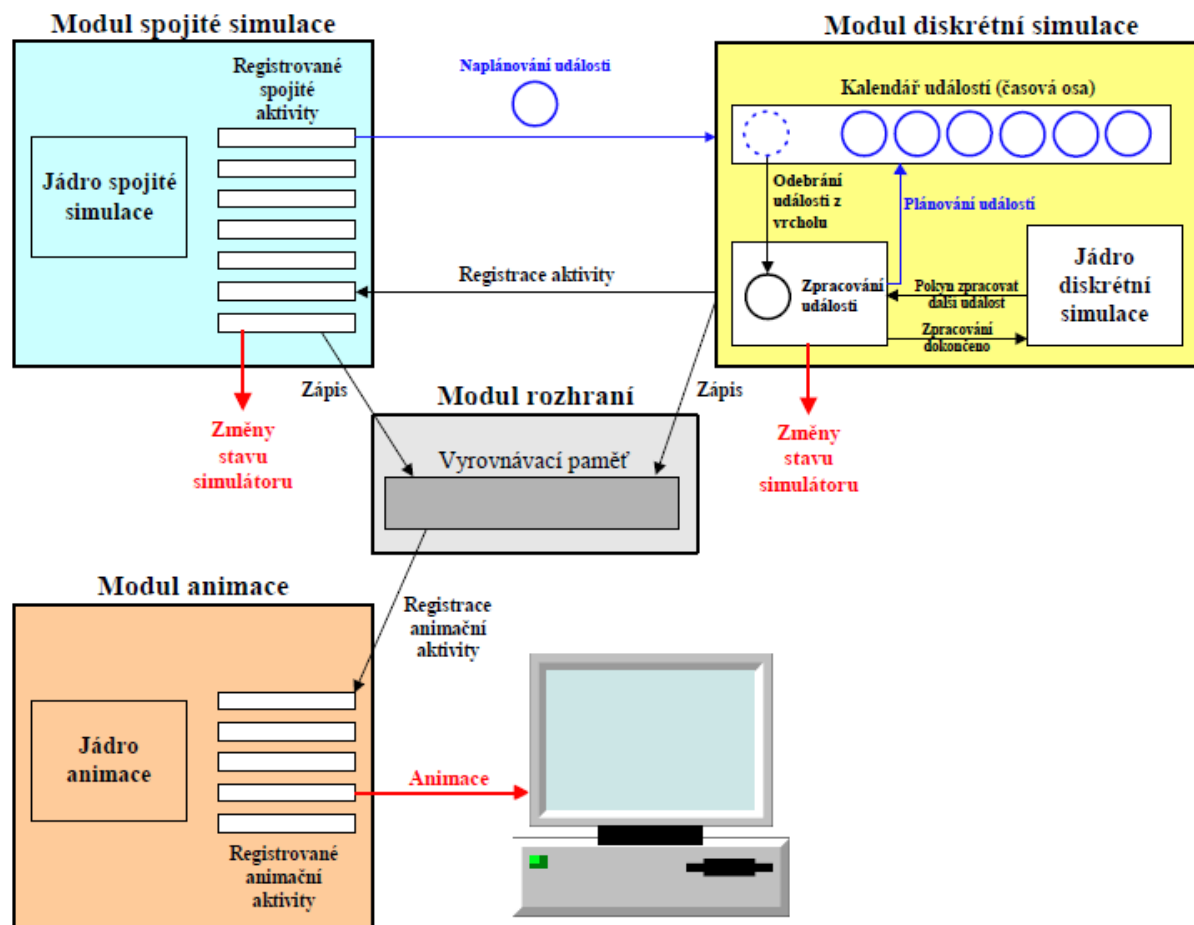
Simulace s ukončením – existuje „přirozená“ událost U , která ohraničuje délku každého běhu simulačního programu. Po výskytu U již nejsou informace produkované simulátorem potřebné/zajímavé, je simulující systém „prázdný“. Nutné použití replikací pro zkvalitnění výsledků simulace.

Simulace bez ukončení – neexistuje událost U určující konec běhu simulačního programu. Charakteristikou chování simulujícího systému jsou ustálená rozdělení a jejich parametry pro každý výstupní stochastický proces.

Problém: Charakteristiky originálu se často **mění** v čase ($\rightarrow$ neexistují ustálená rozdělení). Navzdory tomuto faktu často připouštíme, že charakteristiky simulujícího systému se **nemění**.

Ilustrační simulační model $\rightarrow$ principy a metodiky – ?

Kombinovaná spojitá-diskrétní simulace s animací – synchronizace a algoritmus průběhu, jednotlivých modulů a animace



KROK	Vykonává	Činnost	Vykonána za podmínek
0	Jádro diskrétní simulace	Inicializace simulačního času diskrétní simulace t_D ($t_D = 0$)	
1		Zjištění stavu kalendáře n_K ($=0$ - prázdný, >0 - neprázdný)	
2		Ukončení simulace	Platí ($n_K = 0$) nebo je vyčerpán čas pro běh simulačního programu.
3		Vydání pokynu k výběru události z vrcholu kalendáře a k jejímu okamžitému zpracování	
4	Jádro spojité simulace	Zjištění časového kvanta Δt_1	
5		Aplikace metody snímání aktivit se snímací periodou τ^C na všechny zaregistrované spojitě aktivity až do výskytu přerušení	$\Delta t_1 \neq 0$ a počet zaregistrovaných spojitých aktivit $n_C \neq 0$
6	Jádro diskrétní simulace	Zjištění časového kvanta Δt_2	
7	Jádro animace	Provedení registrace animačních aktivit na základě údajů z vyrovnávací paměti	$\Delta t_2 \neq 0$
8		Aplikace metody snímání animačních aktivit se snímací periodou τ^A až do vyčerpání svého časového kvanta Δt_2	$\Delta t_2 \neq 0$ a počet zaregistrovaných animačních aktivit $n_A \neq 0$
9	Jádro diskrétní simulace	Vydání pokynu k vyprázdnění vyrovnávací paměti	Vyrovnávací paměť je neprázdná
10		Aktualizuje simulačního času diskrétní simulace $t_D = t_r$, kde t_r je hodnota nejmenšího časového razítka ze všech událostí aktuálně obsažených v kalendáři	$n_K > 0$
11		Návrat na KROK 1	