

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Ing. Tomáš Ranzenhofer

**MODELOVÁNÍ A SIMULACE NÁHODNÝCH JEVŮ
VE STROJÍRENSKÝCH PROCESECH**

MODELLING AND SIMULATION RANDOM EVENT
IN ENGINEERING PROCESSES

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Technická kybernetika

Školitel: Doc. Ing. Bronislav Lacko, CSc.

Oponenti: Prof. Ing. Zdeněk Kolibal, CSc.
Doc. RNDr. PhDr. Evžen Kindler, CSc.
Ing. Jan Schlitzenbauer

Datum obhajoby: 9. dubna 2004

KLÍČOVÁ SLOVA

Modelování systémů, simulační pokus, simulační model, simulační jazyky, plánování výroby, časová struktura výroby, náhodné jevy, časová rezerva

KEY WORDS

Systems modelling, simulation experiment, simulation model, simulation languages, planning of production, time structure of production, random event, time reserve

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Knihovna FSI VUT Brno

© 2004 Tomáš Ranzenhofer

ISBN 80-214-2657-8

ISSN 1213-4198

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 POUŽITÉ METODY	6
2.1 Metody zpracování experimentálních dat.....	6
2.2 Spolehlivost soustavy.....	6
3 ANALÝZA VÝROBNÍHO SYSTÉMU	9
3.1 Příčiny vzniku náhodných jevů.....	9
3.2 Analýza dat	11
3.3 Vyhodnocení z programu Statgraphics	13
3.4 Použití simulačního programu AIM	15
3.5 Reprezentace náhodných jevů v simulačním modelu	16
3.6 Výsledky simulace	17
4 VLIV INTENZITY NÁHODNÝCH JEVŮ NA ČASOVOU REZERVU PŘI PLÁNOVÁNÍ.....	23
5 ZÁVĚR.....	26
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	27
7 ABSTRACT	29
8 PUBLIKACE AUTORA.....	30
9 ŽIVOTOPIS.....	31

1 ÚVOD

Současné výrobní procesy ve strojírenství jsou velmi složité, mimo jiné v důsledku aplikací elektroniky a neustále se zvyšujících požadavků zákazníků na kvalitu strojírenských výrobků. Z těchto důvodů se může stát řízení současné strojírenské výroby velmi komplikovaným. Týká se to nejen vlastních výrobních procesů, ale i procesů vývoje strojírenských výrobků, projektů na zavádění nových technologií apod.

Ukazuje se, že modelování a simulační studie představují velmi vhodný prostředek, který pomáhá při řešení různých problémů spjatých nejen se strojírenskou výrobou.

Modelováním a simulační studií lze prověřovat a testovat procesy a výrobní systémy ve strojírenství, které by byly složitě řešeny jiným způsobem. Simulace systémů je důležitý prostředek navrhování automatizovaných výrobních systémů, při nichž jsou kladeny vysoké nároky na produktivitu, flexibilitu a snižování nákladů, jak výrobních, tak pořizovacích. Simulaci systémů je tedy možno považovat také za velmi efektivní metodu poznávání. Takto je možno zkoumat děje, které by bylo složité a pracné zkoumat na reálných objektech. Pro poznání lze také vyčlenit pouze části zkoumaného objektu, které jsou kritické [23, 32].

V poslední době se stále více využívá abstraktních modelů, založených např. na diferenciálních, logických rovnicích apod., nežli fyzikálních modelů. To znamená, že model nemusí znázorňovat miniaturu reálné soustavy (model stroje), dokonce může zachycovat i dosud nerealizovaný systém [16, 17].

Na rozdíl od deterministických modelů, které se hojně používaly v minulosti, se dnes stále častěji navrhuje modely, založené na stochastickém přístupu, kdy je již počítáno s výskytem náhodných jevů, vznikajících vysokými požadavky na výrobek, ev. složitostí vyráběných součástí, výrobních procesů apod.

Disertační práce předpokládá výskyt náhodných jevů, které existují v reálném světě. Tento pohled na dynamiku systému využívá všech matematických aparátů a vychází z pravděpodobnostního počtu a statistické analýzy.

2 POUŽITÉ METODY

2.1 METODY ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

Statistické zpracování experimentálních dat a jejich statistická analýza jsou stále důležitější vědní obory. V technické praxi mají úkoly vyhodnocení experimentálních dat společné vlastnosti, např.:

- Rozsah zpracovávaných dat není převážně velký.
- V datech jsou obsaženy výrazné nelinearity, neaditivita a vzájemné vazby, které je nutno rozpoznat a popsat.
- Rozdělení dat většinou neodpovídá normálnímu rozdělení, běžně předpokládanému ve standardní statistické analýze.
- Statistické modely jsou často tvořeny na základě předběžných informací.

Z toho vyplývá, že při použití statistických metod je dána možnost průzkumové analýzy, tj. zkoumání statistických zvláštností dat, ověřovat jejich základní předpoklady, hodnotit kvalitu výsledků (základní schéma data - model - statistická metoda). Současně je dána možnost využití alternativních postupů statistické analýzy.

Oblast zpracování experimentálních dat předpokládá zajištění obecně koncipovaných statistických programů.

Statistickému zpracování předchází průzkumová analýza jednorozměrných dat. Jejím účelem je odhalení zvláštností jednorozměrných dat a ověření předpokladů pro následné statistické zpracování.

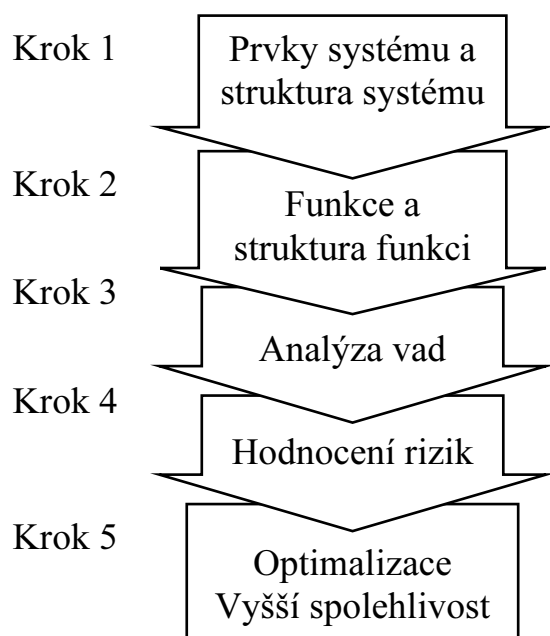
Pro průzkumovou analýzu se používají především grafické metody, kterými je umožněno celkové posouzení statistických zvláštností dat.

2.2 SPOLEHLIVOST SOUSTAVY

Spolehlivost - obecná vlastnost výrobku plnit po danou dobu svou funkci při určitých provozních podmínkách. Zahrnuje pojmy pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují, jako např. bezporuchovost, možnost údržby, spolehlivost funkce modelu a dalších postupů.

Spolehlivost složitých výrobních systémů závisí na jejich složitosti, tedy na počtu prvků, z nichž se systém skládá a jak dalece jsou tyto prvky spolehlivé. Při sériovém zapojení prvků složitého systému se jejich počáteční úroveň spolehlivosti zhoršuje s narůstajícím počtem prvků (vzájemná závislost na počtu prvků). Čím větší je složitost systémů, tím větší jsou nároky na růst spolehlivosti jednotlivých prvků.

Praxe ukazuje, že je velmi užitečné, aby v průběhu vytváření návrhu složitého systému byla provedena simulace spolehlivosti návrhu složitého systému technických opatření a změny faktorů, které výrazně ovlivňují spolehlivost prvků systému. Technicko-ekonomická optimalizace současně umožní výběr nasimulovaných spolehlivostních řešení navrhovaného složitého výrobního systému.



Pro optimalizaci spolehlivosti systémů je nutné posuzovat spolehlivost systémů v širších souvislostech a přihlížet k vazbě na ekonomickou efektivnost jejich provozu.

Existuje graficky znázorněný vývojový diagram (Obr.2.1), který obsahuje chronologický sled hlavních makročinností tvořících příslušné postupy pro zvýšení spolehlivosti systému.[5, 15]

Obr.2.1 Grafické znázornění sledu hlavních makročinností pro zvýšení spolehlivosti.

- **Soustava** - souhrn několika společně pracujících prvků.
- **Prvek** - např.: stroj, zásobník, dopravník, nástroj, pracovník, atd.
- **Pravděpodobnost bezporuchového provozu** je pravděpodobnost, že v časovém intervalu $\langle 0, t \rangle$ bude výrobek (stroj) vykonávat svou funkci, tedy nenastane porucha.
- **Distribuční funkce** $F(t) = P(T > t)$, kde T , která nabývá hodnot $t \in (0, \infty)$, značí dobu bezporuchového provozu.
- **Hustota pravděpodobnosti** náhodné veličiny T je taková nezáporná funkce $f(t)$, která $\int_0^t f(\tau) d\tau = F(t)$, pro každé $t \in \langle 0, \infty \rangle$.
- **Funkce spolehlivosti** vyjadřuje pravděpodobnost poruchy v časovém intervalu $\langle 0, t \rangle$ $R(t) = 1 - F(t)$, tzn. že doba bezporuchového provozu je aspoň t .

Tyto dvě pravděpodobnosti jsou funkcemi času.

V praxi se setkáváme se soustavami, které mají svoje prvky spojeny sériově, nebo paralelně a nebo kombinovaně.

- **Střední hodnota** náhodné veličiny T je $E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$, tedy střední doba bezporuchového stavu.
- **Rozptyl** náhodné veličiny T je nezáporné rozptýlení kolem střední hodnoty.

$$D(T) = E([T - E(T)]^2) = \int_0^{\infty} [t - E(T)]^2 dt = 2 \int_0^{\infty} t R(T) dt - [E(T)]^2$$
- **Směrodatná odchylka:** $\sigma(t) = \sqrt{D(T)}$

Celá kapitola byla zpracována na základě podkladů uvedených ve skriptech [9].

- **Variační koeficient:** $V(t) = \frac{\sigma(T)}{E(T)}$

Exponenciální a Weibullovo rozdělení

Často používané modely, popisující průběh pravděpodobnosti, že po určité době přijde k poruše, jsou modely:

- exponenciální
- Weibullův

Exponenciální rozdělení $E(\lambda)$, $\lambda > 0$, $t \in \langle 0; \infty \rangle$

Distribuční funkce $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ a hustota pravděpodobnosti $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ předpokládá, že nejvíce poruch bude při uvedení výrobku do provozu.

Weibullovo rozdělení $W(b, c, \delta)$, $b > 0$, c reálné, $\delta > 0$, $t \in \langle c; \infty \rangle$. V praxi se nejčastěji užívá dvouparametrické Weibullovo rozdělení $W(b, \delta) = W(b, 0, \delta)$, tedy pro prahovou hodnotu $c = 0$.

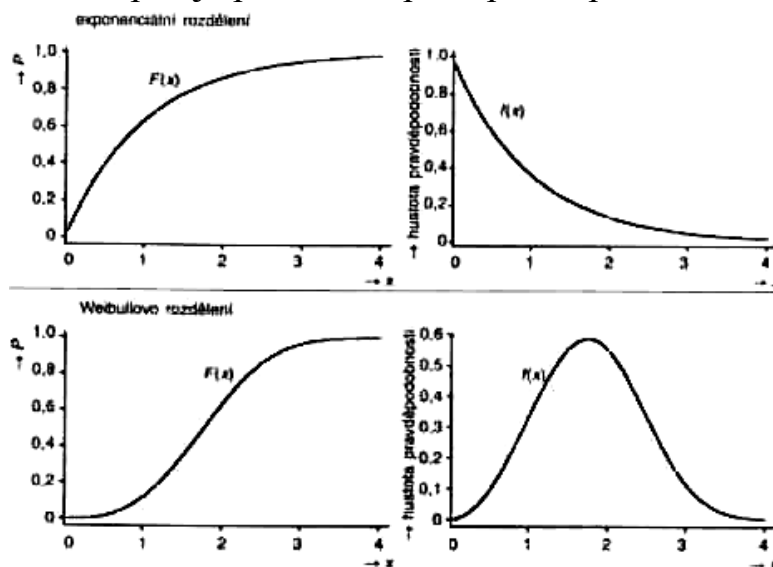
Je vhodné především pro výrobky, které jsou při uvedení do provozu bez závad. Ty se objevují až následkem opotřebení.

Distribuční funkce $F(x)$ a hustota pravděpodobnosti $f(x)$ se matematicky vyjadřují vztahy:

$$F(t) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{t-c}{\delta}\right)^b\right\}$$

$$f(x) = \frac{b}{\delta} \left(\frac{t-c}{\delta}\right)^{b-1} \exp\left\{-\left(\frac{t-c}{\delta}\right)^b\right\}.$$

Z toho vyplývá, že exponenciální rozdělení je speciální rozdělení pro Weibullovo rozdělení pro $b=1$. Výpočtem ze známých experimentálních dat lze tedy vypočítat dopady parametrů Weibullova rozdělení a pak je použít k dopadu pravděpodobností a rizik při všech operacích týkajících se jak ekonomického, tak výrobního a odbytového procesu (propočty rázu ekonomického, plány oprav, odstávek, apod.). V praxi se také používá odvozená funkce spolehlivosti $R(t) = 1 - F(t)$ a intenzita poruch $\lambda(t) = f(t)/R(t)$. V praxi používané lineární kombinace obou rozdělení podstatně lépe vystihují reálná data [9, 10, 15].

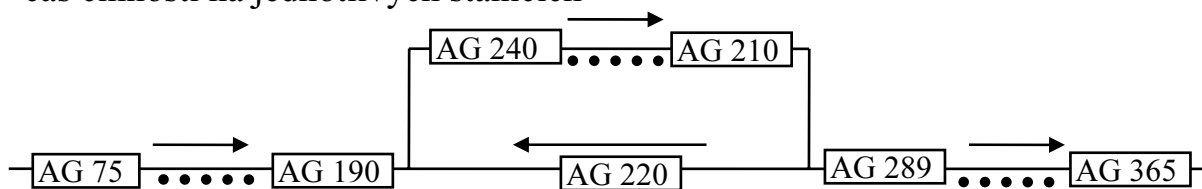


3 ANALÝZA VÝROBNÍHO SYSTÉMU

Firma Continental TEVES poskytla veškeré informace o jejich výrobní lince (systému), které jsou potřebné pro simulační pokusy a modelování náhodných jevů, spolu se souhlasem k použití v této disertační práci.

Jedná se o linku číslo 15, obsahující cca 20 stanic. Tato linka má sériově zapojené stanice a s jedním cyklem. (Obr.3.1) Každá stanice se skládá ze strojů označených AG XXX, kde XXX je číslo interního značení (např.: stroj AG 260). Uvedené informace obsahovaly

- rozpis směn
- čas do vzniku náhodného jevu (např. poruch, kontrola - kalibrace, změna nastavení atd.) na stanici
- číslo stroje, na kterém vznikl náhodný jev
- délku odstraňování důsledků náhodných jevů
- graficky zpracovaný přesný pracovní postup
- čas činnosti na jednotlivých stanicích



Obr.3.1 Schéma výrobního systému

3.1 PŘÍČINY VZNIKU NÁHODNÝCH JEVŮ

Ve standardně vybavených strojírenských podnicích nejsou instalovány stroje, které by světelným nebo zvukovým signálem oznámily blížící se poruchu, nebo jinou výrobu ovlivňující situaci. Tyto signály pouze oznamují, že došlo k pozastavení výroby a předem neupozorňují na toto nebezpečí.

Matematically, pomocí simulace apod., lze odvodit, kdy lze očekávat poruchu, nebo kdy dojde k náhodnému jevu. Lze také vypočítat křivku výkonnosti pracovníka a zjistit kritickou dobu, kdy lze od něho očekávat selhání v důsledku fyzického a psychického vyčerpání, které má za následek spoluúčast na vyskytnuvší se poruše. Nelze však matematicky žádným způsobem vypočítat vliv různých okolností a drobných událostí, v důsledku kterých může dojít k nečekaným jevům.

Tato kapitola disertační práce vyjadřuje snahu, popsat ty hlavní faktory ve výrobním procesu, které ovlivňují vznik náhodných jevů, poukázat na zdroje jejich vzniku a současně uvést možnosti, jak náhodným jevům když už ne předcházet, alespoň tyto částečně minimalizovat. V následující tabulce jsou uvedeny dvě úrovně možných zdrojů vzniku náhodných jevů.

Hlavní úrovně	Podúrovně
1 Lidé	1.1.vzdělání 1.2.zdravotní stav 1.3.charakterové vlastnosti 1.4.motivace 1.5.pracovní vytížení 1.6.loajalita k zaměstnavateli
2 Stroje	2.1.usazení a rozmístění 2.2.stáří a životnost 2.3.vytíženost stroje 2.4.výkresová dokumentace 2.5.nástroje a přípravky 2.6.údržba a opravy
3 Materiály	3.1.vhodnost 3.2.jakost 3.3.včasný přísun 3.4.přejímka a skladování materiálu
4 Metody výroby	4.1.správnost zvolené metody 4.2.seznámení pracovníků s metodou
5 Měření	5.1.způsob a prostředky 5.2.kdo měří 5.3.co měřit 5.4.kdy měřit
6 Prostředí	6.1.vlhkost, teplota atd. 6.2.hlučnost 6.3.osvětlení 6.4.celkový vzhled 6.5.přísun energií, plyn, voda, el. energie, pára, atd.

Ad 1 Významnou roli v práci s lidmi hraje personální útvar, jeho pracovníci musí mít dobrý přístup k zaměstnancům, musí disponovat schopností komunikace, mít včas vypracované plány dovolených, zpracovávat analýzy nemocnosti a úrazovosti, evidovat vstupní a preventivní prohlídky pracovníků, apod. Odborně a zdravotně zdatný pracovník představuje sám o sobě určitou záruku pro plynulou výrobu.

Ad 2 Stroje vyžadují soustavnou odbornou údržbu do níž patří preventivní výměna namáhaných součástí. Nedostatky objevující se při provozu strojů úzce souvisejí s volbou vhodně zvoleného obslužného personálu.

Ad 3 Použitím vhodného a kvalitního výrobního materiálu je dán základní předpoklad pro získání kvalitního výrobku.

Ad 4 Metody výroby určují druh a způsob výroby a tím vytvářejí jednak základ její úspěšnosti a současně tvoří podklad pro analýzy výrobních prostředků.

Ad 5 Správně zvolenou metodou měření dosáhneme vyšší přesnosti výrobků a tedy zvýšení jejich kvality a konkurenceschopnosti. Měření napomáhá již v zárodku odhalení nedostatků ve výrobě a tím snižuje výskyt vzniku zmetků.

Ad 6 Vhodné pracovní prostředí znamená dobré pracovní podmínky a ovlivňuje podstatně celý výrobní cyklus. Prostředí je vizitkou výrobního provozu i celé firmy. Vizualně předvádí vztah firmy k pracovníkovi a vztah pracovníka k jeho pracovnímu prostředí. Harmonické pracovní prostředí vyvolává představu motivované pracovní činnosti s dobrými pracovními výsledky.

Zhodnocení

Z předchozích informací vyplývá, že lidský faktor stojí na předním místě v ovlivňování příčin výskytu náhodných jevů i boji proti nim. Vyplývá z toho, že je úkolem a povinností každého pracovníka na jakémkoliv pracovní úrovni, aby pracoval pozorně a zodpovědně a tím preventivně vylučoval možnost vzniku těchto náhodných jevů, které může bezprostředně ovlivnit.

A je úkolem a povinností managementu podniku, věnovat tutéž pozornost a zodpovědnost volbě vhodných principů a správných podmínek pro výrobní systém a tím eliminovat množství výskytu náhodných jevů ve výrobním procesu.

Je nutné věnovat velkou pozornost překladům cizojazyčné dokumentace, montážním strojům a technologickým postupům, kde hrozí nebezpečí nepřesného přeložení resp. použití nevhodné technické terminologie.

3.2 ANALÝZA DAT

Na všech strojích instalovaných v lince se vyskytují náhodné jevy. Vyskytující se náhodné jevy mají různý charakter, z nichž pro účel této práce jsou důležitá tato hlediska:

- doba vzniku náhodného jevu
- délka trvání odstraňování důsledků náhodného jevu.

V této kapitole jsou uvedeny údaje o výrobní lince číslo 15, zjištěné z podkladů výše uvedené firmy. Výkresová dokumentace výrobní linky, která informuje o rozmístění strojů, se nachází v příloze č. 1. Tato dokumentace bude vložena do simulačního modelu jako pozadí a tím umožní přesné rozmístění objektů (simulačních prvků) v simulačním modelu.

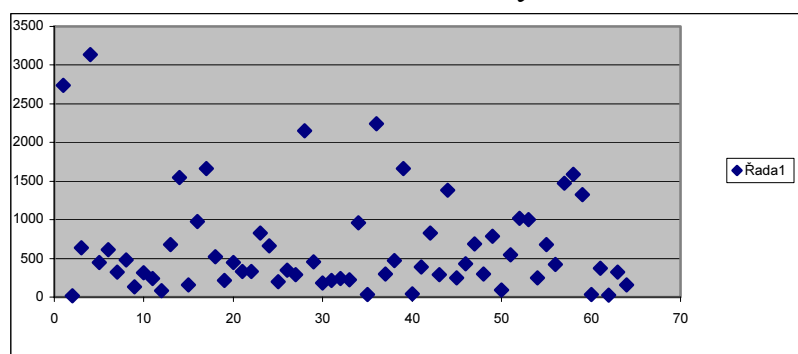
Příklad 1

V tabulce a v grafu jsou uvedeny časy do vzniku náhodného jevu, který vyvolají pozastavení stanice AG 260, na které se vyskytlo v průběhu dvou měsíců 64 výluk způsobených náhodnými jevy. K zobrazení zjištěných časů je použit tabulkový software firmy Microsoft Excel, který je součástí programového balíku Microsoft Office.

Tab. 1 Stanice AG 260 - časy do vzniků náhodných jevů.

i	t _i [min]	t _i [h]	i	t _i [min]	t _i [h]	i	t _i [min]	t _i [h]
1	2740	45,66667	23	825	13,75	45	250	4,166667
2	15	0,25	24	660	11	46	430	7,166667
3	640	10,66667	25	195	3,25	47	690	11,5
4	3140	52,33333	26	345	5,75	48	300	5
5	450	7,5	27	290	4,833333	49	790	13,16667
6	610	10,16667	28	2155	35,91667	50	95	1,583333
7	320	5,333333	29	455	7,583333	51	545	9,083333
8	480	8	30	180	3	52	1015	16,91667
9	135	2,25	31	215	3,583333	53	1000	16,66667
10	315	5,25	32	240	4	54	245	4,083333
11	240	4	33	220	3,666667	55	680	11,33333
12	85	1,416667	34	960	16	56	425	7,083333
13	680	11,33333	35	30	0,5	57	1470	24,5
14	1550	25,83333	36	2245	37,41667	58	1590	26,5
15	160	2,666667	37	295	4,916667	59	1325	22,08333
16	975	16,25	38	470	7,833333	60	35	0,583333
17	1660	27,66667	39	1660	27,66667	61	370	6,166667
18	520	8,666667	40	45	0,75	62	25	0,416667
19	215	3,583333	41	385	6,416667	63	325	5,416667
20	450	7,5	42	825	13,75	64	160	2,666667
21	330	5,5	43	290	4,833333			
22	335	5,583333	44	1380	23			

Graf 1 Stanice AG 260 - časy do vzniků náhodných jevů.



U dat, uvedených v tabulce a v grafu, se určí distribuční funkce. K tomu je použit profesionální matematický program Statgraphics, Jedná se o nejpreciznější dostupný program na našem trhu, který má k dispozici databázi distribučních funkcí a velké množství testů, ověřující správnost zvoleného rozdělení pravděpodobnosti. Např.: Bernoulli, Binomial, Cauchy, Discrete Uniform, Geometric, Hypergeometric, Negative Binomial, Poisson, Beta, Chí-Square, Erlang, Exponential, Extreme Value, F (Variance Ratio), Gamma, Laplace, Logistic, Lognormal, Normal, Pareto, Student's t, Triangular, Uniform, Weibull.

Z tohoto důvodu budou získané soubory dat analyzovány pomocí programu Statgraphics.

Analýza dat dalších strojů je uvedena v příloze č. 4. V tabulce jsou u jednotlivých strojů výrobního systému uvedeny časy do vzniků náhodných jevů v minutách.

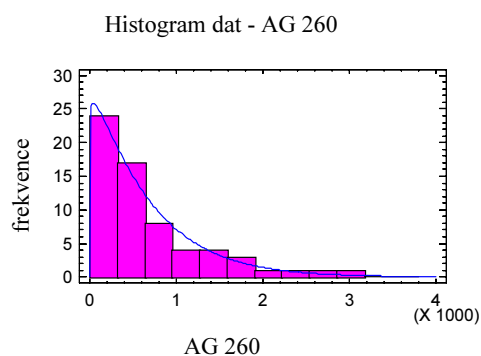
3.3 VYHODNOCENÍ Z PROGRAMU STATGRAPHICS

V tomto odstavci je uveden popis procesu, kterým byla určována distribuční funkce pomocí programu Statgraphics. Je to matematický program, který se je pro tuto operaci nejvhodnější.

Příklad 2

Distribuční funkce je pro soubor dat zjišťována z příkladu 1, u stanice AG 260, který obsahuje 64 vzniklých náhodných jevů. Tento soubor dat je použit jako vstupní hodnota k získání výstupních hodnot z programu Statgraphics:

Proměnná (zdroj dat): AG 260
 64 hodnot od 15,0 do 3140,0
 Nalezení Weibullova rozdělení:
 shape = 1,05341
 scale = 673,487



Chí-kvadrát test

Dolní mez	Horní mez	Pozorovaná četnost	Očekávaná četnost	Chí-kvadrát
pod	42,219	4	3,37	0,12
42,219	83,7326	1	3,37	1,67
83,7326	126,549	2	3,37	0,56
126,549	171,283	3	3,37	0,04
171,283	218,42	4	3,37	0,12
218,42	268,451	5	3,37	0,79
268,451	321,934	6	3,37	2,06
321,934	379,54	5	3,37	0,79
379,54	442,109	3	3,37	0,04
442,109	510,73	5	3,37	0,79
510,73	586,864	2	3,37	0,56
586,864	672,547	3	3,37	0,04
672,547	770,742	3	3,37	0,04
770,742	886,031	3	3,37	0,04
886,031	1026,06	4	3,37	0,12
1026,06	1205,1	0	3,37	3,37

1205,1	1455,1	2	3,37	0,56
1455,1	1877,38	5	3,37	0,79
nad 1877,38		4	3,37	0,12

Chí-kvadrát = 12,5937 s 16 stupňů volností P-hodnota = 0,702197

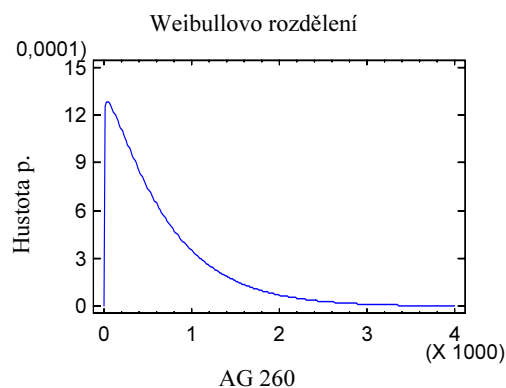
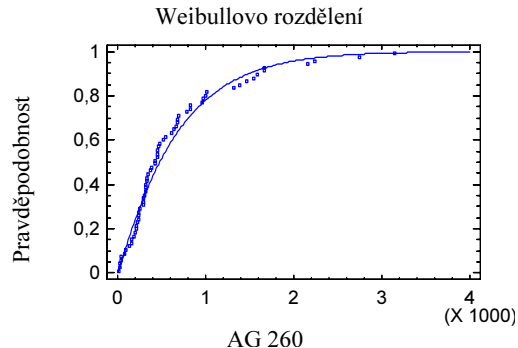
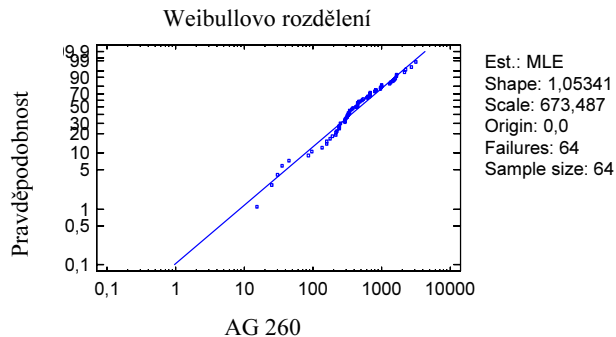
Odhadnutá Kolmogorovova statistika DPLUS = 0,0903692

Odhadnutá Kolmogorovova statistika DMINUS = 0,0724927

Odhadnutá maximální statistika DN = 0,0903692

Aproximovaná P-hodnota = 0,672763

Statistika	Hodnota	Modifik. forma	P-hodnota
Kolmogorovova-Smirnovova D	0,0903692	0,722953	$\geq 0.10^*$
Kuiperova V	0,162862	1,30289	$\geq 0.10^*$
Cramer-Von Misesova W^2	0,104416	0,107026	$< 0.10^*$
Watsonova U^2	0,100202	0,102707	$< 0.10^*$
Andersonova-Darlingova A^2	0,567913	0,582111	$\geq 0.10^*$



Kritické hodnoty pro AG 260

do hodnoty 8,54684 = 0,01

do hodnoty 79,5354 = 0,1

do hodnoty 475,582 = 0,5

do hodnoty 1486,55 = 0,9

do hodnoty 2870,43 = 0,99

Zhodnocení

Podle provedené analýzy a zjištěných faktů statistického souboru o rozsahu 64 necenzurovaného výběru hodnot, jako nejlepší rozdělení pravděpodobnosti doby provozu do vzniku náhodného jevu bylo nalezeno Weibullovo rozdělení. Byly

rovněž určeny parametry a kvantily rozdělení (Shape = b , Scale = δ). Správnost zvoleného rozdělení potvrzují provedené testy hypotéz, jako jsou např.: Chí-kvadrát test, kde je P-hodnota = 0,702197, což je $\geq 0,05$ a je tedy zřejmé, že zvolená funkce je funkcí daného modelu. Také podle, Kolmogorovovy-Smirnovovy D a Kuiperovy V statistiky se na hladině významnosti 0,05 tato hypotéza nezamítá.

Ve vyhodnocení z programu Statgraphics je uvedeno několik grafů. Tyto grafy poslouží k vytvoření představy o chování souboru dat. V grafech Weibullova rozdělení je uvedeno odchylení dat od distribuční funkce daného rozdělení a v posledním grafu je uvedena hustota pravděpodobnosti zvoleného rozdělení, která je totožná s funkcí v grafu histogramů datového souboru.

Provedené analýzy ostatních stanic jsou uvedeny v příloze č.5. Pro informaci je uvedena tabulka, která obsahuje nalezená rozdělení pro konkrétní stanice.

Tab. 2 Nalezené rozdělení a jejich parametry jednotlivých stanic

Stanice	Rozdělení	Parametry	
AG 75	Normální	střední hod. = 14058,3	směrodatná odch. = 21763,1
AG 100	Exponenciální	střední hod. = 6025,0	
AG 110	Weibullovo	shape = 0,447698	scale = 4630,68
AG 120	Lognormální	střední hod. = 6141,77	směrodatná odch. = 15426,9
AG 140	Weibullovo	shape = 4,34188	scale = 7771,67
AG 160	Weibullovo	shape = 0,570239	scale = 1072,68
AG 170	Weibullovo	shape = 0,81406	scale = 1274,93
AG 190	Lognormální	střední hod. = 2688,54	směrodatná odch. = 4458,17
AG 210	Weibullovo	shape = 0,651438	scale = 452,83
AG 240	Weibullovo	shape = 1,02148	scale = 802,822
AG 250	Weibullovo	shape = 0,585099	scale = 2097,58
AG 260	Weibullovo	shape = 1,05341	scale = 673,487
AG 270	Weibullovo	shape = 0,534228	scale = 1961,85
AG 289	Normální	střední hod. = 21087,5	směrodatná odch. = 5625,03
AG 290	Normální	střední hod. = 5271,88	směrodatná odch. = 3942,63
AG 300	Exponenciální	střední hod. = 6069,29	
AG 310	Exponenciální	střední hod. = 1917,05	
AG 350	Weibullovo	shape = 0,937227	scale = 5853,18
AG 365	Exponenciální	střední hod. = 7029,17	

3.4 POUŽITÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU AIM

Jak už bylo dříve uvedeno, pro vytvoření simulačního modelu bylo použito simulačního programu AIM, který slouží k simulaci výrobních systémů. Tyto systémy mají vlastnosti diskrétních soustav reálného světa. Jednou z předností je také vizualizace simulačního modelu.

Vytvoření vizualizace simulačního modelu zobrazuje přesné chování jednotlivých stanic výrobního systému. Pro přesnou polohu stanic je použita výkresová doku-

mentace výrobního systému (linky), která byla poskytnuta firmou Continental TEVES. Přesný popis jednotlivých stanic, včetně délky jedné operace.

V okně, které slouží k vizualizaci simulačního modelu, se setkáváme s různými symboly, které jsou podrobně popsány v nápovědi simulačního programu.

U simulačního modelu je zadán požadavek na výrobu 250 kusů. Tato hodnota je nejvhodnější pro tento druh simulace, ve vztahu množství kusů k rychlosti vizualizace.

Čas simulace vytvořeného modelu pro 250 kusů, s předepsanými přestávkami je 2:10:30 (h:m:s) tedy 2,174899 hodin. U této simulace nejsou uvedeny žádné náhodné jevy. Tyto budou řešeny v další kapitole.

3.5 REPREZENTACE NÁHODNÝCH JEVŮ V SIMULAČNÍM MODELU

AIM umožňuje také simulace náhodných jevů, které jsou charakterizovány distribučními funkcemi. Určení těchto distribučních funkcí je popsáno v předchozích kapitolách. Hodnoty jsou zapsány ve vlastnostech přerušení činností jednotlivých strojů.

Příklad 3

Pro vytvoření poruchy u jednotlivých strojů či prvků systémů se používá formulář Breakdown Editor. Každá vytvořená porucha je očíslována (např.: break23) a u prvků se může vyskytnout i více poruch s různými distribučními funkcemi (obr.3.2).

The image shows a screenshot of the 'Breakdown Editor' dialog box. The dialog has a title bar 'Breakdown Editor' and a close button. It contains several input fields: 'Name' with 'break23', 'Desc' (empty), 'Value Basis' with a dropdown set to 'Elapsed Time' and 'Expr' set to '1.0'. Below are 'First Breakdown Value' and 'Value Between Breakdowns', both with 'Expr' set to 'WEIBULL(1.05341,673.487/60,1)'. The 'Repair Time' field has 'Expr' set to '10/60'. The 'Applies To' section has radio buttons for 'Resource', 'MCR', 'Resource Group', 'Conveyor', 'AGV', and 'Transporter', with 'Resource' selected. A 'Name' dropdown is set to 'mach12'. The 'Appl. Basis' section has radio buttons for 'All' and 'Individual', with 'All' selected. There is a checked checkbox for 'Interrupt Operation'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Obr.3.2 Formulář Breakdown Editor (poruchový editor).

Ve formuláři „Breakdown Editor“ se vymezují vlastnosti jednotlivých poruch. V okně „Value Between Breakdowns“ se uvádí druh a parametry rozdělení, které jsou uvedeny v příkladě 2, kde jsou uvedeny veličiny v minutách. Proto je v tomto okně za hodnotou scale /60 (převedení na hodiny). V okně „First Breakdown Value“ jsou vedeny stejné parametry jako u „Value Between Breakdowns“ z důvodu náhodného stanovení první náhodné poruchy.

Vedle parametrů v závorkách u typu rozdělení je uvedeno číslo „1“, které představuje číslo náhodného generátoru. Možnosti jsou 1-100.

Takto charakterizované poruchy se vyskytují jen u strojů uvedených v okně u názvu „Name:“ např.: mach12. Z toho důvodu je vytvořena stejná porucha i pro dopravník, což způsobuje zabránění přepravy z jedné stanice do druhé, tím dochází k zastavení celého výrobního simulačního systému (modelu), stejně tak je to u reálné linky.

Parametry distribučních funkcí, podle kterých se chová vznik poruch všech strojů a které jsou obsaženy ve výrobním systému, jsou zapsány v tabulce 2.

3.6 VÝSLEDKY SIMULACE

Data, která nám generuje simulační model, by měla přispět k určení závěrů o optimálním řízení simulovaného systému. Jedná se o časové hodnoty představující dobu výroby určité výrobní dávky včetně časových prodlev vzniklých odstraňováním důsledků náhodně vytvořených jevů. Vznik těchto jevů určuje generátor náhodných jevů (určený posledním číslem v závorce u typu rozdělení náhodné veličiny, viz obr. 4.9), který má vlastnosti daného rozdělení.

Příklad 4

Provedením simulačního pokusu s vytvořeným modelem, popsaným v předchozích příkladech, se získá časová hodnota, která představuje dobu výroby 250 kusů. Pro provedení dalších pokusů se změní číslo generátoru náhodné jevu.

Z takto volených změn generátorů náhodných jevů u simulačního modelu je získána množina různých hodnot, která představuje časy pro výrobu 250 kusů.

Tab.2 Časy simulace.

i	t _i [h:m:s]	t _i [hod]	i	t _i [h:m:s]	t _i [hod]	i	t _i [h:mm:s]	t _i [hod]
1	5:21:26	5,357284	24	3:40:16	3,67124	48	4:30:16	4,50445
2	5:23:25	5,390208	25	3:42:47	3,71306	49	5:38:01	5,63349
3	6:17:58	6,2994	26	4:33:53	4,56486	50	5:15:59	5,26642
4	6:16:28	6,274528	27	3:42:21	3,70571	51	3:39:20	3,65549
5	4:17:36	4,293433	28	4:14:35	4,24309	52	4:15:34	4,25931
6	7:26:28	7,441206	29	5:17:23	5,28977	53	4:16:15	4,27077
7	4:14:37	4,243747	30	5:13:03	5,21754	54	3:40:42	3,67827
8	3:44:31	3,742068	31	4:38:50	4,64728	55	4:35:23	4,58969
9	4:23:47	4,396256	32	5:26:46	5,44623	56	5:27:50	5,47392
10	4:15:57	4,26588	33	5:15:00	5,24988	57	3:35:51	3,59753
11	4:16:06	4,268353	34	4:36:06	4,60175	58	3:34:51	3,58078
12	3:41:25	3,690305	35	5:28:50	5,48063	59	3:39:31	3,65871
13	4:25:06	4,41843	36	4:34:39	4,57763	60	4:16:41	4,27798
14	3:28:47	3,479712	37	5:41:32	5,69234	61	3:35:20	3,58882
15	3:36:20	3,60564	38	5:36:57	5,61588	62	7:19:04	7,31771
16	4:21:34	4,359393	39	4:34:16	4,57124	63	3:37:31	3,62526
17	4:42:42	4,711566	40	5:17:02	5,28388	64	3:37:49	3,63021
18	5:16:28	5,2744	41	5:14:19	5,23851	65	4:23:08	4,38544
19	4:13:00	4,2168	42	5:15:38	5,26064	66	5:16:42	5,2783
20	3:23:14	3,387245	43	4:35:10	4,58608	67	4:17:05	4,28476
21	3:22:50	3,380538	44	5:16:16	5,2711	68	3:38:56	3,64891
22	5:21:54	5,365034	45	5:14:23	5,23974	69	4:16:08	4,26896
23	2:44:49	2,746964	46	5:26:44	5,44566	70	4:21:32	4,35885
			47	3:40:01	3,66688	71	4:23:27	4,39078

Uvedená množina dat byla podrobena statistické analýze, pomocí programu Statgraphics a s uvedením výstupních hodnot:

Proměnná (zdroj dat): Časy

71 hodnot od 2,74696 do 7,44121

Průměr = 4,59315

Rozptyl = 0,822468

Směrodatná odchylka = 0,9069

Minimální hodnota = 2,74696

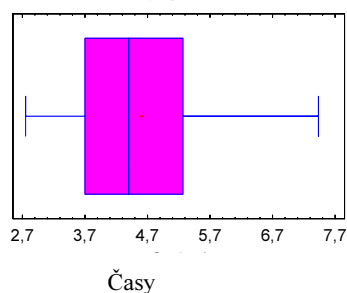
Maximální hodnota = 7,44121

Rozpětí = 4,69424

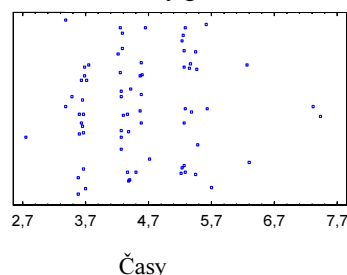
Standardizovaný koeficient šikmosti = 2,63492

Standardizovaný koeficient špičatosti = 1,61159

Krabicový graf



Rozmítnutý graf



Nalezené normální rozdělení:

Střední hodnota = 4,59315

Směrodatná odchylka = 0,9069

Testy normality pro proměnnou: Časy

Vypočtené statistiky Chí-kvadrát = 93,7465

P-hodnota = 3,04934E-12

Shapiroova-Wilksova statistika W = 0,932068

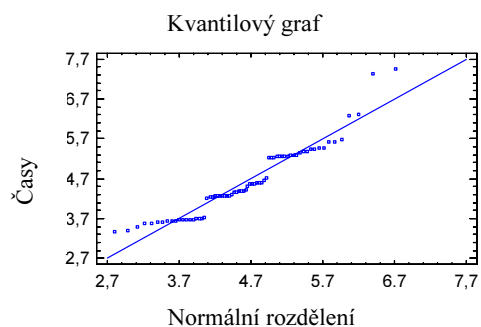
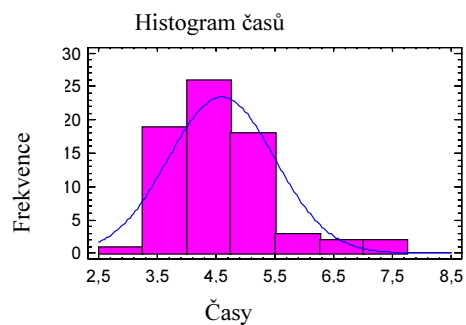
P-hodnota = 0,000943116

Z-hodnota pro šikmost = 1,81593

P-hodnota = 0,0693812

Z-hodnota pro špičatost = 1,52866

P-hodnota = 0,126349



Chí-kvadrát test

Dolní mez	Horní mez	Pozorovaná četnost	Očekávaná četnost	Chí-kvadrát
pod	3,5499	4	8,87	2,68
3,5499	3,98146	16	8,87	5,72
3,98146	4,30418	11	8,87	0,51
4,30418	4,59315	12	8,88	1,10
4,59315	4,88213	3	8,88	3,89
4,88213	5,20485	0	8,87	8,87
5,20485	5,63641	20	8,87	13,95
nad 5,63641		5	8,87	1,69

Chí-kvadrát = 38,4088 s 5 stupňů volnosti P-hodnota = 3,12302E-7

Odhadnutá Kolmogorovova statistika DPLUS = 0,115932

Odhadnutá Kolmogorovova statistika DMINUS = 0,106542

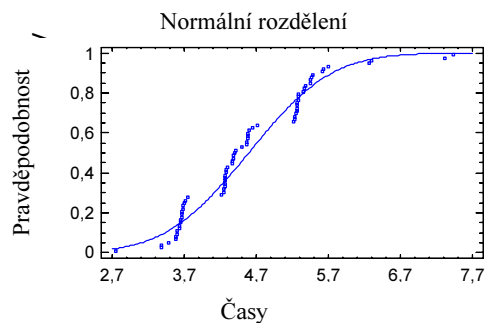
Odhadnutá maximální statistika DN = 0,115932

Aproximovaná P-hodnota = 0,297089

Statistika	Hodnota	Modifik. forma	P-hodnota
Kolmogorovova-Smirnovova D	0,115932	0,987392	<0.05*
Andersonova-Darlingova A^2	1,46475	1,48088	0,0008*

Kritické hodnoty pro časy

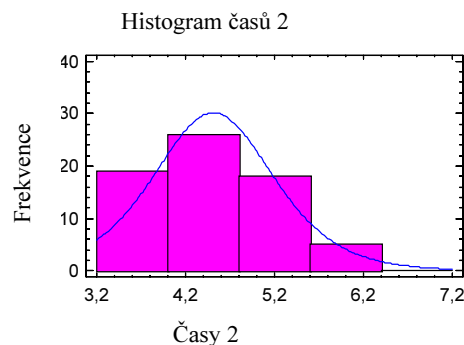
- pro hodnoty 2,48338 = 0,01
- pro hodnoty 3,43091 = 0,1
- pro hodnoty 4,59315 = 0,5
- pro hodnoty 5,75539 = 0,9
- pro hodnoty 6,70292 = 0,99



Z výsledků analýzy daného souboru necenzurovaných dat zjišťujeme, že nejlepší nalezené rozdělení je normální. Podle testu Chí-kvadrát je sice toto rozdělení zamítnuté, ale podle Kolmogorovovy statistiky Aproximovaná P-hodnota = 0,297089, která je větší než hladina významnosti 0,05, tuto hypotézu nezamítáme. Z krabicového a rozmítnutého grafu jsou patrné hodnoty, které se nacházejí mimo oblast ostatních dat. Pro zpřesnění datového souboru a tím i zpřesnění požadavků na hledané rozdělení provedeme určité úpravy dat. Úprava bude provedena tak, že bude vynechána minimální hodnota (2,746964) a maximální hodnoty (7,441206; 7,31771), které se extrémně odchyľují od ostatních dat.

Proměnná (zdroj dat): Časy 2

- 68 hodnot od 3,38054 do 6,2994
- Průměr = 4,53835
- Rozptyl = 0,573515
- Směrodatná odchylka = 0,757308
- Minimální hodnota = 3,38054
- Maximální hodnota = 6,2994
- Rozpětí = 2,91886
- Standardizovaný koeficient šikmosti = 0,972774
- Standardizovaný koeficient špičatosti = -1,48583

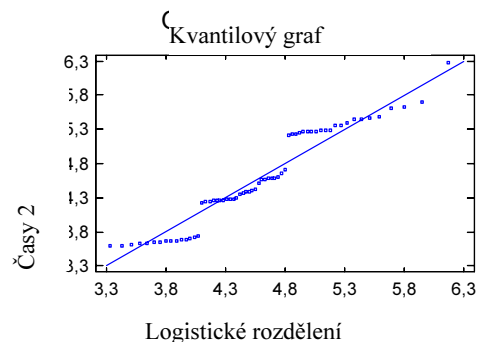


Nalezené logistické rozdělení:

- Střední hodnota = 4,51174
- Směrodatná odchylka = 0,818247

Testy normality pro proměnnou: Časy 2

- Vypočtené statistiky Chí-kvadrát = 116,676
- P-hodnota = 2,22045E-16
- Shapiro-Wilksova statistika W = 0,917357
- P-hodnota = 0,000130125
- Z-hodnota pro šikmost = 0,722329
- P-hodnota = 0,47009
- Z-hodnota pro špičatost = -2,30021
- P-hodnota = 0,0214361



Chí-kvadrát test

Dolní mez	Horní mez	Pozorovaná četnost	Očekávaná četnost	Chí-kvadrát
pod 3,63389	3,63389	9	8,50	0,03
3,63389	4,01613	10	8,50	0,26
4,01613	4,28129	9	8,50	0,03
4,28129	4,51174	9	8,50	0,03
4,51174	4,74219	8	8,50	0,03
4,74219	5,00735	0	8,50	8,50
5,00735	5,38959	13	8,50	2,38
nad 5,38959		10	8,50	0,26

Chí-kvadrát = 11,5294 s 5°stupni volnosti P-hodnota = 0,041837

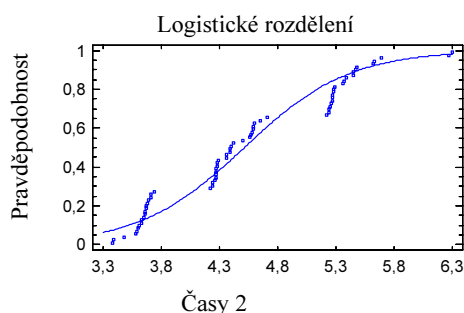
Odhadnutá Kolmogorovova statistika DPLUS = 0,125744

Odhadnutá Kolmogorovova statistika DMINUS = 0,16524

Odhadnutá maximální statistika DN = 0,16524

Aproximovaná P-hodnota = 0,0487897

Statistika	Hodnota	Modifik. forma	P-hodnota
Kolmogorovova-Smirnovova D	0,16524	1,36261	$\geq 0.10^*$
Anderson-Darlingova A^2	1,81262	1,81928	$< 0.01^*$



Kritické hodnoty pro časy 2

pro hodnoty 2,43877 = 0,01

pro hodnoty 3,52052 = 0,1

pro hodnoty 4,51174 = 0,5

pro hodnoty 5,50296 = 0,9

pro hodnoty 6,58471 = 0,99

Pomocí programu Statgraphics po provedených změnách v souboru dat jsou získány následující informace. Pro analyzovaný soubor dat je nalezeno logistické rozdělení. O vhodném zvolení rozdělení a vhodných úpravách datového souboru svědčí zvýšení P-hodnoty = 0,041837 oproti původnímu $3,12302E-7$, který je řadově menší. Z toho vyplývá, že zvolená logistické rozdělení je pro daný soubor vhodnější. Obvykle je zvykem zvolit to rozdělení, které má větší P-hodnotu u Chí-kvadrát testu, sice to není nejlepší řešení, ale v dané situaci lepší metoda neexistuje.

Z testů hypotéz Chí-kvadrát, na hladině významnosti 0,01 se hypotéza nezamítá, a také podle Kormogorovovy, statistiky na hladině významnosti 0,01 se hypotéza

nezamítá. Z těchto poznatků je zřejmé že zvolená logistické rozdělení je z možných rozdělení nejvhodnější pro daný datový soubor.

Zhodnocení

Z analýz simulačního modelu vyplývá, že tento se chová podle logistického rozdělení, i když u většiny strojů se náhodné jevy chovaly podle Weibullova rozdělení. Z uvedeného poznatku je zřejmé, že přestože většina prvků má určité rozdělení, musí se k simulačnímu modelu přistupovat jako k celku, který je svými prvky ovlivněn jen do určité míry.

4 VLIV INTENZITY NÁHODNÝCH JEVŮ NA ČASOVOU REZERVU PŘI PLÁNOVÁNÍ

Při tvorbě plánů výroby je důležité uvádět časové rezervy, které vytvoří v plánech časový prostor pro možný výskyt náhodných jevů ve výrobním procesu. V této kapitole bude názorně uveden příklad zjišťování časových rezerv podle počtu vzniklých náhodných jevů.

Náhodný jev může nastat v určitý časový okamžik a doba odstranění důsledků tohoto náhodného jevu může mít různé trvání. Čas na odstranění důsledků vzniklého náhodného jevu je závislý na jeho charakteru. Pokud nastane stejný jev jako v předchozích situacích, dochází k odstraňování stejných důsledků a to vede ke zkracování těchto časů. Avšak v mnoha případech se vyskytnou náhodné jevy různé, kde čas odstraňování je pokaždé rozdílný. Čas k jejich odstranění nevíme a nedokážeme jej s přesností předem odhadnout. V takovém případě můžeme použít znalostí odborníka, nebo se budeme snažit tento čas odhadnout na základě poznatků z dřívější praxe.

Jedna z nejjednodušších a nejpřesnějších metod určení časové rezervy je použití simulačního programu, ve kterém je vytvořen simulační model. V tomto simulačním modelu je možné uvést pravděpodobnostní funkci bezporuchového provozu a pravděpodobnostní funkci, podle které se chová čas potřebný k odstranění náhodného jevu. Tyto funkce jsou zjištěny z reálné výrobní soustavy. Výsledkem simulace je časová hodnota, která představuje čas výroby a čas odstranění vytvořeného náhodného jevu.

Příklad 5

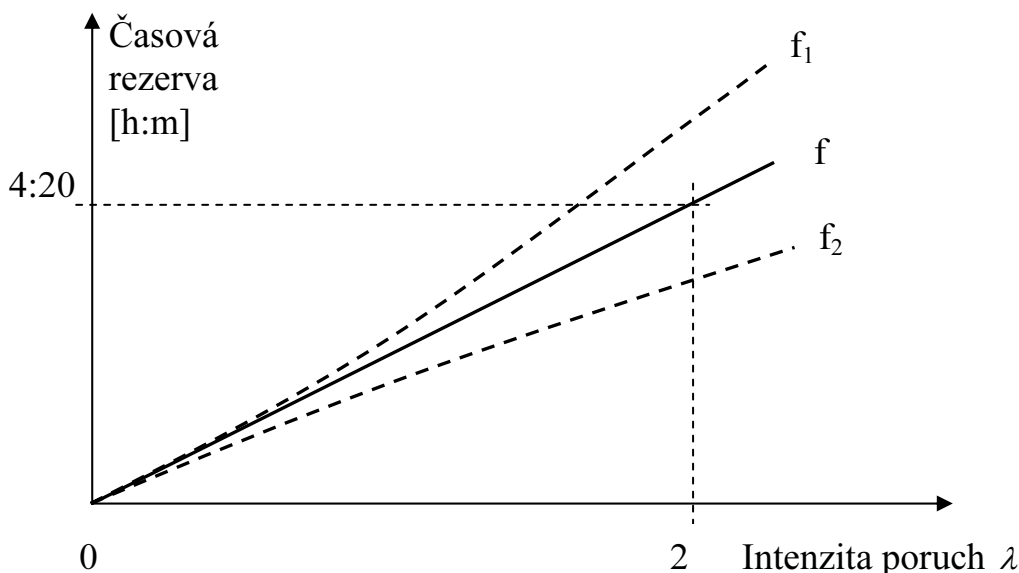
Mějme výrobní stroj AG 260, který je součástí výrobní linky výše popisované firmy. Simulační model je vytvořen jen s jedním strojem, na kterém trvá operace 16 s. Pro výrobu 5000 kusů je třeba 22:13:20 [h:m:s] nebo 22, 222222 hod. tj. $5000 \times 16 = 80000$ s. Tento čas je bez uvedení náhodných jevů.

Do simulačního modelu uvedeme funkci náhodného jevu, tedy funkci poruchy podle příkladu 4.5.2. Jsou to tyto parametry:

Weibullovo rozdělení:
shape = 1,05341
scale = 673,487

Po zavedení těchto parametrů do simulačního modelu se čas výroby 5000 kusů prodlouží na 26:33:20, tedy o 4:20:00 [h:m:s] delší než u modelu bez uvedení náhodných jevů. Doba odstranění důsledku náhodného jevu, je volena pro každý jev 10 min, tedy 10/60 hodin, je průměrná doba odstraňování u výrobního (simulovaného) systému. Na základě této hodnoty je zřejmé, že u simulačního modelu se vyskytlo 26 poruch (4:20:00 [h:m:s] = 260 [min.]).

Při zvyšování parametru shape se snižuje intenzita vzniku náhodného jevu a tím i časová rezerva.



Obr.4.9 Závislost časové rezervy

Podle uvedeného grafu má tato závislost lineární charakter funkce f , protože byla zvolena časová konstanta na dobu odstraňování důsledků 10 minut. Tato funkce se bude lišit, pokud se změní vlastnosti funkce doby odstraňování důsledků náhodného jevu.

Funkce f může mít různý průběh, např. f_1 , kde se zvyšujícím se počtem vzniklých náhodných jevů zvyšuje časová rezerva nelineárně. Tento stav může nastat v případě, že odstranění důsledků těchto vzniklých náhodných jevů se prodlužují. V případě funkce f_2 se časová rezerva mění také nelineárně v závislosti na intenzitě jejich vzniku. V tomto případě je časová rezerva menší než v předchozích případech a tento stav může nastat např. vlivem znalosti opakovaného odstranění vzniklého náhodného jevu.

Z uvedeného příkladu je zřejmé, že nelze zanedbat vliv intenzity náhodných jevů na časovou rezervu při tvorbě plánů výroby. Správné určení intenzity náhodných jevů a jejího vlivu na časovou rezervu se neobejde bez sledování vhodných informací o zkoumané části reálného systému. Výsledkem je závislost mezi intenzitou náhodných jevů a časovou rezervou, která slouží k vizuální představě o důsledcích snižování či zvyšování počtu náhodných jevů na plánování.

Tvrzení: Označíme relaci $F(\lambda, VR)$, která vyjadřuje vztah mezi intenzitou náhodného jevu λ a velikostí časové rezervy VR . Vzhledem k mechanismu plánování ovlivňuje intenzita vzniku náhodného jevu λ velikost časové rezervy VR , takže jde o relaci ve tvaru funkce $VR = f(\lambda)$. Tato funkce je rostoucí. VR je nejen funkcí λ , ale také funkcí času t a počtu prvků systému p .

Velikost časové rezervy je součet časů potřebných k odstranění vzniklých náhodných jevů, které mají vliv na časový harmonogram výrobního systému. Ve výrobním systému mohou nastat situace, kde odstraňování důsledků náhodného jevu neovlivní časový plán výrobního systému, tzn. probíhá paralelní odstraňování vzniklých náhodných jevů. Pak tedy platí:

$VR = \sum_{i=1}^n t_i$ kde i je číslo náhodného jevu, který má vliv na časový plán.

Při tvorbě plánů se uvádí plánovaná velikost časové rezervy, která vychází ze zjištěných informací o velikosti časové rezervy a musí platit následující vztah:

$$PVR \geq VR$$

Příklad 6

Máme náhodný jev x_1 , který nastal v čase t_1 a doba jeho odstranění má velikost d_1 . V čase t_2 došlo k náhodnému jevu x_2 , kde velikost odstranění je d_2 .

Platí-li $(t_1 + d_1 \geq t_2 + d_2) \wedge (t_1 \leq t_2) \Rightarrow (d_1 \geq d_2)$, potom náhodný jev x_2 neovlivňuje velikost časové rezervy. Tento náhodný jev je sice součástí analýzy, ale neovlivňuje časovou rezervu.

Při simulačních pokusech se správně sestaveným modelem je uvedená situace zohledněná, ale obtížně ji lze zpracovat analyticky.

Zhodnocení

V současnosti se při tvorbě plánů rozsáhlých projektů skoro nikdo nezamýšlí nad možnými časovými ztrátami vlivem náhodných jevů, které mimo jiné ovlivňují termín dokončení a předání projektů. To může mít za následek ekonomické sankce vůči dodavateli projektu, které mohou vést až k zániku této firmy.

Při řízení a plánování projektů nebo výroby metodou JIT se setkáváme s okamžitým rozhodováním při vzniklých situacích ovlivněných náhodnými jevy. V takových případech záleží na obsluhujícím personálu a jeho znalostech dané problematiky.

V reálném světě se setkáváme s náhodnými jevy, které negativně ovlivňují plynulý chod dění a které jsou pokládány za samozřejmost. Stejně tak je tomu ve strojírenské výrobě, kde se sice výskyt náhodných jevů předpokládá – a také vyskytuje – ale tato situace se nepromítá do tvorby plánů. Také dochází k podceňování dopadů způsobených náhodnými jevy, na kterémkoliv úseku plánování a řízení výroby. Lze pouze doporučit, aby pracovníci zabývající se plánováním měli řádné informace o výskytu a intenzitě náhodných jevů, které byly analyzovány, příčiny byly eliminovány a výsledky tak mohly pomoci upřesnit a zkvalitnit plánovací práce.

Z toho důvodu je důležité sledovat vznik a příčiny náhodných jevů, které mají nejen vliv na řízení výroby nebo rozsáhlých projektů, ale také na velikosti plánovaných rezerv při tvorbě plánů. Při výskytu náhodného jevu je nutné zjistit příčinu a jejím odstraněním vyloučit opakování jeho výskytu. Je nežádoucí, aby se náhodný jev opakoval ze stejných příčin. Odhalení může být velmi složité, zvláště u složitých výrobních systémů, kde příčina vzniku náhodného jevu nespočívá v selhání lidského faktoru, ale je závislá na více rozdílných faktorech.

5 ZÁVĚR

Disertační práce se zabývá náhodnými jevy ve strojírenství, které mohou mít jakoukoliv podobu. O tom, jaké tyto náhodné jevy mohou nastat a čím jsou způsobeny, je podrobně psáno v kapitole 3.1 Příčiny vzniku náhodných jevů. V této kapitole jsem provedl klasifikaci náhodných jevů, které tvoří hlavní hledisko pro určení důležitosti jejich výskytu. Při zpracování disertační práce jsem zjistil, že podobné a podrobné rozdělení náhodných jevů není u nás v dostupné literatuře k dispozici, proto tuto klasifikaci zde uvádím. Doporučuji, aby podobné klasifikace byly zpracovány pro další oblasti. Rozhodně je nutno je zpracovat alespoň pro konkrétně navrhované modely. Zpracování tohoto rozdělení není přínosné jen z hlediska správného metodického postupu, ale umožňuje zejména vytipovat ty faktory, na které je nutno se zaměřit, aby se snížil počet náhodných jevů. To považuji za hlavní přínos uveденé klasifikace.

Pro vytvoření simulačního modelu jsou použita data z provozu. Tato data jsou přepracována a upravena do tabulkové formy. Z těchto dat jsou zjištěny pro jednotlivé stanice výrobního systému druhy rozdělení, jejich distribuční funkce a hustoty pravděpodobností, včetně jejich charakteristických parametrů.

V práci je také popsán postup k vytvoření simulačního modelu výrobního systému, který využívá funkce pro generování náhodných jevů při simulačních pokusech. K tomu je použit simulační program AIM, který byl ve škole k dispozici. Tento postup lze použít i k tvorbě simulačního modelu v ostatních simulačních programech, protože struktura tvorby je stejná. K názornému použití jsou v práci uvedeny příklady, které upřesňují volený postup. Výsledky z této simulace jsou statisticky vyhodnoceny a u každého příkladu jsou uvedeny závěry, jak vyplynuly v průběhu jejich řešení.

V **kapitole 3.6** je uveden jeden z poznatků: Mají-li elementární prvky systému určité rozdělení náhodného jevu, tak tento druh rozdělení ovlivňuje jen částečně typ rozdělení náhodného jevu celkového systému. Se zvyšujícím se počtem prvků se tento vliv zmenšuje. Jak je názorně vidět, většina poruch u strojů se chová podle Weibullova rozdělení, výsledný systém se chová podle logistické funkce.

Z uvedených výsledných hodnot se stanoví určitá hodnota proveditelnosti, která je podmíněná managementem firmy. Tato hodnota znázorňuje časovou mezní hodnotu simulačních výsledků. Je ovlivněna ekonomickými náklady na odstranění poruch (zvýšením spolehlivosti) a ekonomickou ztrátou vyplývající ze vzniklých poruch. K stanovení této hodnoty poslouží parametry kritických hodnot, což představuje odhady výsledků při volbě výše pravděpodobnosti.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Adam, R.: Tvorba predikčních a optimalizačních modelů pomocí neuronových sítí, *Automatizace*, roč.43 (2000) č.3, str. 194 - 195.
- [2] Arlt, J.: *Moderní metody modelování ekonomických časových řad*, GRADA 1998, Praha.
- [3] Cenek, P. - Klíma, V. - Janáček, J.: *Optimalizace dopravních a spojových procesů*. Žilina, UŠDS 1994.
- [4] Duben, J.: *Objektové modely podniku*, Grada 1996, Praha.
- [5] Fabian, S.: *Spolehlivost složitých výrobních systémů*. Košice, Elfa 1998.
- [6] Havlena, V. - Prospěch, R.: *Prediktivní řízení s modelem - nová oblast využití matematických modelů v energetice*, *Automatizace*, roč.43 (2000) č.3, str.181-182.
- [7] Hušek, R. - Lauber, J.: *Simulační modely*. Praha, SNTL 1987.
- [8] Janíček, P. - Ondráček, E.: *Řešení problémů modelováním - téměř nic o téměř všem*, Skriptum FSI VUT Brno 1998.
- [9] Karpíšek, Z. - Šikulová, M.: *Matematika IV*, Skriptum FSI VUT Brno 1995.
- [10] Karpíšek, Z. - Jelínek, P.: *Stochastické metody analýzy spolehlivosti*. In: *Sborník konference Analýza dat '01/II - Moderní statistické metody*. Lázně Bohdaneč 30. 10. - 2. 11. 2001, s 109-127. ISBN 80-238-8293-7
- [11] Kindler, E.: *Simulace systémů, které simulují samy sebe* - *Automatizace*, roč. 43, (2000), č. 3, str. 158 - 162.
- [12] Kindler, E.: *Simulační programovací jazyky* - SNTL 1980 Praha.
- [13] Kindler, E.: *Modelování a simulace systémů – nedílná čas řešení otázek automatizace*. *Automatizace* roč.43, č. 3 , březen 2000.
- [14] Klír, J.: *Kybernetické modelování*. Státní nakladatelství technické literatury 1965, Praha.
- [15] Kupka, K.: *Spolehlivost, trvanlivost, poruchovost a jejich modelování*. *Automa*, 04/2002, str. 52 - 54.
- [16] Lacko, B.: *Modelování a simulace v oblasti projektového řízení – In: Modelování a simulace projektů 2001*, Brno, 20. - 21. března 2001, str. 5 - 20.
- [17] Lacko, B.: *Problémy s manažerským modelováním*. In.: *Sborník 34 mezinárodní konference MOSIS-MANAM 2000*. VŠB-TU Ostrava2000, str. 33-38.
- [18] *Matlab 6 - Technický týdeník Elektronika*, č. 2/2001, str. 12.
- [19] Milgram, P. - Roberts, J.: *Modely rozhodování v ekonomice a managementu*. Grada 1998, Praha.
- [20] Novotný, V. - Weinberger, J.: *Využití simulace při řízení neživotního pojištění*, *Pojistný obzor*, 2 a 3/2000.
- [21] Ondráček, E. - Janíček, P.: *Výpočtové modely v technické praxi*. Státní nakladatelství technické literatury 1990, Praha.
- [22] Rábová, Z. a kol.: *Modelování a simulace* - Skriptum VUT Brno 1992.
- [23] Zítek, P., Petrová, R.: *Matematické a simulační modely* - Skriptum ČVUT Praha 1996.

- [24] Ranzenhofer, T.: Komparativní analýza programových produktů pro počítačové simulace diskrétních procesů - In: MOSIS 2001, MANAM 2001, Rožnov pod Radhoštěm 2001, MARQ., str. 43 – 49.
- [25] Ranzenhofer, T.: Taxonomie modelů - In: Modelování a simulace projektů 2001, Brno, 20 – 21. března 2001, str. 21 – 26.
- [26] Ranzenhofer, T.: Specifikace a využití diskrétní simulace - In: Implementace projektů 2002, Brno, 27.února 2002, str. 45 - 47.
- [27] Schlitzenbauer, J.: Simulace lakovny kabin - Diplomová práce, VUT FSI, ÚVSSaR Brno, 2000.
- [28] Simeonov, S. - Simeonovová, J.: Application of Simulation Method in Logistics - Proceedings of the International Conference HMS '99, Genova, Italy, September 16-18, 1999, ISBN 1-56555-175-3
- [29] Simeonov, S. - Simeonovová, J.: FACTOR/AIM Optimization System - Proceedings of the International Advanced Simulation Technologies Conference ASTC 2000, Washington, D.C., USA, April 16-20, 2000.
- [30] Simeonov, S. - Simeonovová, J.: New approaches for Production Planning and Scheduling - Proceedings of the Conference Automatizace ve strojírenství AUTOS 2000, Plzeň, June 14 - 15, 2000.
- [31] Šťastný, J.: Počítačová simulace a inf. systémy. Brno, VUT 1992.
- [32] Štefan, J. - Suchý, K.: Modelování a simulace systémů – nedílná část řešení otázek automatizace. Automatizace, roč.43 (2000) č.3, str.155.
- [33] Turbo Pascal, Borland International, Scott Valley 1990.
- [34] Vašek, L.: Základy teorie výrobních systému, abstrakt přednášek, školní rok 1998/99, VUT FSI Brno.
- [35] Walter, J. - Lauber, J.: Simulační modely ekonomických procesů, Státní nakladatelství technické literatury 1975, Praha.
- [36] Weinberger, J. - Kopeček, S. - Kratochvil, T.: System Project Management Forecast. Papír a celulóza 1998.
- [37] Weinberger, J.: Objektově orientované programování a jeho aplikace v diskrétní simulaci. Sešity ASŘ, INORGA Praha 1990.
- [38] Weinberger, J.: Optimalizace simulačního modelu dealerské činnosti. IT SYSTEM, 3/2001.
- [39] Zelenka, A. - Král, M.: Projektování výrobních systémů. Praha, ČVUT 1995.
- [40] Košturiak, J. - Gregor, M.: Podnik v roce 2001 - Revoluce v podnikové kultuře, Grada 1993.
- [41] Tomek, G. - Vávrová, V.: Řízení výroby, Grada 1999.
- [42] Šťastný J.: Simulace systémů, pomocný učebnicový text, VUT v Brně, FSI

7 ABSTRACT

The thesis deals with random events in engineering. It lists the taxonomy of random events, the causes and the determination of the importance of their occurrences.

It covers comparative analysis of programmes for computer simulation of discrete processes and it details chosen products on our market which deal with computer simulation.

The thesis describes a process for creating the simulation model of a production system, which uses functions for generating random failures during simulation. It also describes the implementation of a production line model in simulation programme AIM. The results of this simulation are statistically evaluated and there are conclusions of experimenting with the model as well as suggestions for application in practice.

The gained results inform about the course of a large-scale production where the production system represents a system in-series. This system has in one point a ring connection for products, which do not reach required quality. At such connected-in-series system the analytical computation cannot be used. The designed simulation model allows a solution.

8 PUBLIKACE AUTORA

- [1] Ranzenhofer, T.: Výchova a vzdělávání pro automatizaci na MSV Brno 2000, Automa, 10/2000, str. 43.
- [2] Ranzenhofer, T.: Komparativní analýza programových produktů pro počítačovou simulaci diskrétních procesů - In: MOSIS 2001, MANAM 2001, Rožnov pod Radhoštěm 2001, MARQ., str. 43 – 49.
- [3] Ranzenhofer, T.: Taxonomie modelů - In: Modelování a simulace projektů 2001, Brno, 20 – 21. března 2001, str. 21 – 26.
- [4] Ranzenhofer, T.: Specifikace a využití diskrétní simulace - In: Implementace projektů 2002, Brno, 27.února 2002, str. 45 - 47.
- [5] Ranzenhofer, T.: Modelování a simulace náhodných jevů v procesech ve strojírenství - In: Konference mladých vědeckých pracovníků v oblasti automatizace, Brno, 20. listopadu 2002, str. 50 – 53.
- [6] Ranzenhofer, T.: Význam a schopnosti aplikací metod pravděpodobnosti v součástné strojírenské výrobě – In: Strojní inženýři pro XXI. století, Brno, 12.února 2003, str. 98 – 103.
- [7] Ranzenhofer, T.: Využití modelování a simulace při projektech výroby – In: Project management, Praha, 6. listopadu 2003, (v tisku).

9 ŽIVOTOPIS

Ing. Tomáš Ranzenhofer

Narozen: 23. května 1977 Valtice, Česká Republika
Bydliště: 1. května 134, 69201 Mikulov
Národnost: Česká
Státní občanství: České Republiky
Vzdělání: 1983 – 1991 Základní škola, Mikulov, ul. Valtická
1991 – 1995 SOUs Královopolská, Brno, ul. Křížikova
1995 – 2000 VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství
- Inženýrské studium - Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, obor Manažér výrobních strojů a systému
- Hlavní předměty zájmu: Informační systémy, simulace a modelování systémů, plánování a řízení výroby, řízení jakosti a kontrola, databáze, ekonomika výrobních systémů
1998 – 2001 VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství
- kurz celoživotního vzdělávání – Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Technické znalectví v oboru strojírenství a ekonomika
2000 – 2003 VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství
- Doktorské studium – Ústav automatizace a informatiky, obor Technická kybernetiky
- Hlavní předměty zájmu: automatizace, simulační systémy a programy, náhodné jevy a pravděpodobnost, plánování a řízení projektů, matematický software Statgraphics, simulační program AIM
2003 – Newport international university, Ostrava
- Doktorské studium – Doktor of Business Administration
Znalost cizích jazyků 1987 – 1991 ruština, pasivně (ZŠ)
1991 – 2002 němčina, dobře (SOUs, VUT)
2002 – 2003 angličtina, pasivně (jazyková škola – denní studium, záliba)
2001-2003 španělština, pasivně (samouk – záliba)
Osobní zájmy squash, sportovní posilování, cizí jazyky (španělština, angličtina), cestování