

# JAK ZLEPŠIT VÝUKU MATEMATICKÉ STATISTIKY A PRAVDĚPODOBNOSTI Z HLEDISKA POTŘEB TECHNICKÉ PRAXE

ING. VRATISLAV HORÁLEK, DRSC

Česká společnost pro jakost, Praha

Uvědomuji si, že ani po čtyřiceti letech soustavné práce na jednom výzkumném pracovišti (Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů, odbor aplikované matematiky, Praha - Běchovice) v oblasti technických aplikací matematiky a zvláště matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti, které byly zaměřeny především na strojírenství, metalurgii, chemii a technickou normalizaci, není pro mne jednoduché formulovat to, na co by měl být dán důraz při výuce uvedených disciplín a k čemu všemu by měli být studenti MFF UK vedeni. Proto se dále pokusím spíše o to, co k řešení desítek technických problémů, které mi byly předloženy, jsem využíval, jaké postupy se mi osvědčily a proč většina získaných závěrů byla v praxi uplatněna. Paralelně s tím si však dovoluji uvést to, co podle mého názoru, mladým absolventům MFF UK, když přicházeli na naše pracoviště, chybělo, a co se většině z nich ani po mnoha letech nepodařilo zvládnout. Na závěr připojuji stručně komentovaný přehled norem ČSN a ISO (vypracovaných v technické komisi ISO/TC 69 "Aplikace statistických metod"), které dnes tvoří metodický základ v oblasti řízení jakosti a jsou podpůrnými normami norem ISO řady 9000, věnovaných systémům zabezpečování jakosti v podnicích.

## 1. CO CHYBÍ ABSOLVENTŮM MFF UK PŘÍCHÁZEJÍCÍM DO TECHNICKÉ PRAXE

Absolvent každé vysoké školy, ať technického nebo universitního směru, vstupuje do praxe obvykle vybaven poměrně širokým spektrem teoretických vědomostí z daného základního směru a návazných disciplín. Co mu však většinou chybí, je:

- schopnost interpretace jednotlivých zákonů či teorémů při konkrétní aplikaci;
- znalost vnitřní provázanosti jednotlivých disciplín, často i jednotlivých zmíněných zákonů a teorémů.

Každý čerstvý absolvent vysoké školy při příchodu do průmyslové praxe se náhle ocitá v prostoru, kde jsou mu předkládány problémy ve stavu syrovém, zamlženém, nevykrytalizovaném a dokonce se požaduje na něm, aby, obrazně řečeno, tyto problémy byly vyřešeny "zítra", když ne již "včera". A nyní záleží na tom, jak se zkušený starší pracovník v ústavu ujme tohoto absolventa a jak je absolvent sám tvárný a schopný (i ochotný) naslouchat, získané informace ukládat do paměti, vyvolávat si je a ověřovat, prohlubovat je vlastním studiem příslušné technické disciplíny a teprve pak vyslovovat své názory a závěry a tak postupně získávat vlastní sebedůvěru i jen z malých, dílčích

úspěšných řešení. Zkušený starší pracovník obvykle navede svého mladého kolegu na řešení, ale vždy oba by měli být přístupni ke vzájemné diskusi a respektovat názor druhého, byť by se zdál někdy sebeabsurdnější, a čerpat nové zkušenosti i z neúspěšných výsledků, pokud byly získány za předem daných a známých podmínek. Cílem systematické výchovy čerstvého absolventa by mělo být především postupně v něm vytvořit schopnost

- technický problém samostatně matematicky formulovat,
- diskutovat fyzikální oprávněnost předpokladů a okrajových podmínek zamýšleného modelu,
- na výstupu dosáhnout takové formy řešení, která je pro praxi únosná a snadno zobrazitelná a získatelná (např. ve formě výpočetního programu; nomogramu; prostorových diagramů a grafů; tabulek) a která umožňuje i ověření, zda problém byl zcela vyřešen, či kvantifikaci těsnosti řešení a určité cílové hodnoty, cílového prostoru apod.

Mám-li být upřímný, pak se nám, starším vědeckým pracovníkům v odboru (většinou absolventů Vysoké školy speciálních nauk), dařilo právě zmíněné schopnosti u absolventů MFF UK dosahovat v řadě případů velmi obtížně. Závěry, které jsme po čase mohli považovat za obecně platné, je možno shrnout do těchto bodů:

- a) většina absolventů byla ochotna se se zaujetím věnovat řešení problémů, které byly již matematicky formulovány; dobře se uplatnily i jejich znalosti programování, numerické matematiky, simulace atd.;
- b) potřeba proniknout do technického problému před jeho matematickou formulací se téměř polovině absolventů jevila jako zbytečná ztráta času a často byla cítit nechuť studovat pro ně zcela novou technickou disciplínu; radost projeví jen např. z elegantního matematického řešení, ale ne již z konečného efektu celého technického řešení, ačkoliv ten byl na předcházejícím matematickém řešení či statistické analýze závislý;
- c) většinou čekali (a to i po několikaletém působení v odboru) na to, co mají nastudovat z nových pravděpodobnostních modelů; o články v odborných časopisech věnovaných aplikované matematické statistice a teorii pravděpodobnosti (např. *Technometrics*, *Applied Statistics*, *JASA*, *JRSS*, *Commun. Statist.*, *Aplikace matematiky*) nejevili sami velký zájem a vlastně si tak nevytvářeli svoji osobní databázi potenciálních modelů, kterou by měli pohotově k dispozici, neboť i v daných technických sférách existují opakující se základní problémy, ovšem často v různě modifikovaných formách.

Podle mého názoru se tak sami ochuzovali o úplné prožití radosti nad postupným odhalováním vnitřních fyzikálních zákonitostí, popisujících vlastní chování zkoumaného děje, a dosažením shody mezi experimentálními údaji a příslušným odvozeným pravděpodobnostním modelem. Důvodem tohoto stavu je zřejmě zcela nedostatečná pozornost, která je věnována na většině našich vysokých škol propojení teorie a aplikace. Tím fakticky dochází k popírání známé základní pravdy, na níž je založen rozvoj lidského poznání, totiž, že největší vědecký pokrok nastává právě na rozhraní dvou nebo více vědeckých disciplín. Přístup západoevropských vysokých škol k této otázce je výrazně odlišný. Důkazem toho:

- je v čase exponenciálně rostoucí počet článků v technických, ekonomických a biologických časopisech, v nichž autoři pracují s nejrůznějšími pravděpodobnostními modely,

- je preferování odborníků s dvojitou profesí, přičemž vedle technické disciplíny je to právě matematika, matematická statistika a teorie pravděpodobnosti, výpočetní technika atd.,
- jsou speciální kurzy, pokrývající vybrané disciplíny z matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti a aplikačně zaměřené na specifikované oblasti jako je chemie, biologie, metalurgie, zkušebnictví atd. Tyto kurzy jsou organizovány příslušnými vysokými školami a technologickými instituty a jsou z hlediska přednášejících obsazovány nejen teoretiky, ale i zkušenými odborníky z výzkumných ústavů, zkušeben, laboratoří atd., kde jsou prezentované metody aplikovány. V průběhu výuky jsou řešeny reálné problémy nebo modelové situace. Cílem je rozvíjet právě tvůrčí myšlení, získávat přehled o modelech a možnostech jejich aplikací, přehled o měřicí technice, která v řadě případů má připravené podprogramy pro zpracování dat již v sobě zabudovány a propojeny přímo se snímací jednotkou atd. Tak zvané „workshopy“ se staly dobrým obchodním a propagačním prostředím pro tuto techniku, ale současně i pro úzce zaměřenou aplikaci dané specializované teoretické disciplíny (příkladem mohou být „workshopy“ pořádané výrobcí analyzátorů obrazu – umožňujících automatické zpracování obrazové informace z materiálového, biologického či jiného vzorku – a doplněné odbornými přednáškami z oblasti stochastické geometrie, o kterou se stereologické modely, programově zpracované, opírají).

Argumenty sub a) až c) ve výše uvedeném odstavci plně korespondují se známou zkušeností pedagogů, že adaptace čerstvého absolventa MFF UK probíhá v technické praxi daleko lépe v týmu již existujícího odboru aplikované matematiky určitého výzkumného pracoviště než v prostředí, kde je tento absolvent zcela izolován a má se prosadit sám. V tomto druhém případě většinou po určité době odchází nebo přechází na programátorské práce. V současné době, kdy výzkumné ústavy zápasí o svoje přežití, je pozice čerstvého absolventa ještě horší, neboť odbory aplikované matematiky v této republice jsou výjimkou. A právě z tohoto důvodu by měla být věnována větší pozornost aplikacím, aby bariéra, kterou musí absolvent překonávat sám, byla pro něj zvládnutelná.

## 2. ŘEŠENÉ PROBLÉMY A POUŽITÉ NÁSTROJE

Spektrum řešených problémů bylo skutečně široké, v podstatě bylo odrazem těsného kontaktu s výrobními podniky, s jinými výzkumnými ústavami, zkušebnami, ústavem ČSAV, Úřadem pro normalizaci a měření atd.

Na začátku padesátých let byla hlavní náplní problematika statistického řízení jakosti v nejširším slova smyslu, tedy především analýza různých typů výrobních procesů, statistická regulace a statistické přejímky, používání matematicko – statistických metod v laboratořích a zkušebnách. Vedle aplikace známých modelů bylo však třeba se zabývat i dosud neřešenými problémy a odvodit pro ně zcela původní modely jako např.: a) stanovení výsledné účinnosti (OC křivky) přejímky srovnáváním při kontrole několika znaků jakosti na jednom výrobku; b) kvantifikaci vlivu chyby ve výsledcích analýz na účinnost přejímky měřením aplikované na hodnocení dávek surovin; (obě tyto práce po publikaci v Aplikacích matematiky byly v roce 1960 v angličtině vydány Komisí pro atomovou energii AEC v USA).

Tvrdé administrativní zásahy do řízení národního hospodářství v druhé polovině padesátých let znamenaly ukončení období úspěšného zavádění statistického řízení jakosti

a nutnost specializace každého pracovníka na určitou technickou problematiku a odvětví. Těžištěm mé práce se pak na dobu dalších třiceti let staly problémy především z oblasti výzkumu materiálu (jak železných, tak neželezných kovů), sušárenství, zkušebnictví a technická normalizace, zaměřená na otázky statistického řízení jakosti včetně vzorkování materiálů.

Ve sféře výzkumu kovových materiálů byly postupně připraveny původní pravděpodobnostní modely zaměřené především na: proces nukleace, tvorby tuhé fáze, růstu částic a dendritů, difuzní procesy a odmišení;

- d) hodnocení účinnosti základních metod (bodová, mřížková, přímková), používaných při kvantitativní metalografické analýze;
- e) hodnocení prostorové struktury na základě obrazové informace získané
  - v rovině výbrusu materiálového vzorku,
  - prozářením folie připravené z materiálového vzorku,
  - z extrakční repliky otiskem z materiálového vzorku;
- f) odhad parametrů prostorové struktury různých typů ocelí a slitin z neželezných kovů pro specifikované typy prostorového rozdělení částic;
- g) hodnocení homogenity struktury kontinuálně litých pásů;
- h) analýzu únavových mikrotrhlin;
- i) rozbor normy ASTM pro stanovení velikosti zrna;
- j) analýzu dihedrálních úhlů;
- k) studium vlivu legování a konstrukce na životnost hlav válců naftových motorů;
- l) zjištění vlivu konstrukce a materiálu kokily a ovládání odtahu na geometrii horizontálně plynule litých mosazných pásů;
- m) analýzu strukturních a mechanických vlastností drátů z červeného bronzu vertikálně litých ;
- n) hodnocení struktury materiálu pomocí analyzátoru obrazu a konstrukci křivky tvorby tuhé fáze ze záznamu z mikroanalyzátoru;
- o) studium vlivu Cu, Sn a Al na tvaritelnost za tepla ocelí pro výrobu bezešvých trub a vznik povrchových mikrotrhlin;

Pro potřebu dalších průmyslových odvětví byly odvozeny původní pravděpodobnostní modely orientované především na :

- p) řešení problémů brusného pochodu;
- q) hodnocení určitých typů impaktních metod;
- r) hodnocení fotografií zachycujících rozdělení kulových částic v transparentním prostoru (případ jak ortogonální, tak neortogonální projekce);
- s) transportní proces materiálu;
- t) studium rozdělení přesahů a překrytí na sebe navazujících ocelových trubek při jejich náhodném párování před svářením;
- u) analýzu základních stochastických dějů probíhajících na vibrofluidním žlabu a účinnosti procesu sušení;
- v) analýzu mraku kapiček vody v osově rovině rotačního atomizéru;
- w) závislosti mezi mechanickými vlastnostmi a chemickým složením vzorků trubek.

Teoretické modely sub c) až w) byly publikovány v časopisech Aplikace matematiky, Kybernetika, Advances of Applied Probability, Metrika, Acta Technica ČSAV, Acta Technica Hung., Journal of Microscopy, Mikroskopie, Materials Characterization, Acta Stereologica, Mathematical Research, Practical Metallography, Metal Treatment,

Kovové materiály ČSAV, Zvaranie, Giesserei atd. a předneseny na mezinárodních konferencích a kongresech a publikovány v příslušných Proceedings.

Aplikace zmíněných modelů vedly v řadě případů ke změnám v technologických procesech (viz body m) a u)), k vývoji nových technologií (např. u kontinuálního lití mosazných pásů – viz bod l)), k patentům (viz body l) a o)), k hlubšímu poznání procesu a zlepšení jeho ovládnutí (viz body r) a v)), ke zvýšení přesnosti odhadu technických parametrů (viz bod u)), k revizi norem a rozšíření výstupní informace o prostorových parametrech struktury materiálu (viz bod i)), k prověření dosavadních představ o interakcích souběžně probíhajících fyzikálních a chemických procesů (např. odmíšení a tvorba tuhé fáze – viz body c) a n)), k odstranění rozporů mezi výrobcem a odběratelem trub pro ropovody a plynovody (viz body t) a w)), atd.

Cílem metodických norem o statistických metodách bylo zpřístupnění těchto nástrojů co nejširšímu okruhu uživatelů v technické praxi a unifikace jejich používání a interpretace. Přehled našich ČSN z této oblasti (pokud již nebyly zrušeny a nahrazeny odpovídajícími normami ISO) je zahrnut v přehledu ČSN a ISO norem v následující kapitole. Byly vypracovány v rámci Technické normalizační komise č. 4 zřízené při bývalém ÚNM, které od jejího vzniku v r.1968 předsedám. V uvedeném přehledu zaujímají své zvláštní postavení

- z) norma ČSN 01 0256 a blok norem o vzorkování ČSN 01 5110 až 01 5113, které vnitřně spolu souvisí a jsou rozpracováním zmíněného modelu formulovaného sub b).

Vypracování těchto norem přispělo ke sjednocení názvosloví a metodik hodnocení jednotlivých typů vzorků a interpretace výsledků analýz.

A nyní stručně o nástrojích použitých ke konstrukci výše zmíněných pravděpodobnostních modelů. Budeme uvažovat následující kategorie :

- typy rozdělení : všechny běžně známé základní typy včetně centrálních a ne-centrálních, jednostranně či oboustranně useknutých (viz [1]); navíc Rosinovo-Ramlerovo rozdělení průměrů částic při prosevových zkouškách a Lifschitzovo-Sloyzovovo-Wagnerovo (LSW) rozdělení průměrů částic gama ve strukturách niklových slitin;
- teorie odhadu, testy statistických hypotéz, regresní analýza: v dnešním běžně přednášeném rozsahu;
- procesy : všechny základní typy a navíc nehomogenní procesy rození – imigrace – umírání; nehomogenní a filtrovaný nehomogenní Poissonův proces ; homogenní a nehomogenní Johnsonův – Mehlův proces;
- stochastická geometrie : různé typy bodových procesů; náhodné procesy geometrických objektů; 2d a 3d náhodné mosaiky; stereologie struktur s kulovými a specifikovanými nekulovými částicemi; stereologie dihedrálních úhlů; analýza obrazu; [2], [3], [4].

## LITERATURA

- [1] Christensen R., *Data Distributions*, Entropy Ltd., Lincoln, 1983.
- [2] Serra J., *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, 1982.
- [3] Stoyan D., Kendall W. S., Mecke J., *Stochastic Geometry and Its Applications*, Akademie Verlag, Berlin, 1987.
- [4] Mardia K. V., *Statistics of Directional Data*, Academic Press, New York, 1972.

### 3. PŘEHLED METODICKÝCH ČSN A ČSN ISO Z OBLASTI APLIKACÍ MATEMATICKÉ STATISTIKY A TEORIE PRAVDĚPODOBNOTI SE ZAMĚŘENÍM NA ŘÍZENÍ JAKOSTI

*Poznámka:* ČSN značí českou národní normu, \*ČSN návrh české národní normy a ČSN ISO českou verzi mezinárodní normy ISO daného kódu.

#### A. Názvoslovné normy.

*ČSN 01 0104:* Teorie pravděpodobnosti a aplikovaná statistika. Bude nahrazena normou *ČSN ISO 3534 - 1*.

*ČSN 01 0215:* Statistická kontrola jakosti. Termíny a definice. Bude nahrazena normou *ČSN ISO 3534 - 2*.

*ČSN ISO 3534 - 1:* Statistika. Slovník a značky. Část 1: Pravděpodobnost a obecné termíny ze statistiky. (Vyjde v polovině r. 1994).

*ČSN ISO 3534 - 2:* Statistika. Slovník a značky. Část 2: Statistické řízení jakosti. (Vyjde v polovině r. 1994).

*ČSN ISO 3534 - 3:* Statistika. Slovník a značky. Část 3: Navrhování experimentů.

#### B. Normy z oblasti aplikované statistiky.

*ČSN 01 0250:* Statistické metody v průmyslové praxi. Všeobecné základy.

*ČSN 01 0252:* Statistické metody v průmyslové praxi II. Závislost mezi náhodnými veličinami - korelace a regrese.

*ČSN 01 0253:* Statistické metody v průmyslové praxi III. Základní neparametrické metody.

*ČSN 01 0251:* Vzájemná shoda zkušebních metod. Stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované zkušební metody pomocí mezi laboratorních zkoušek. (Tato norma se opírá o *ISO 5725* shodného názvu, která je nyní v revizi a bude nahrazena šesti normami, které budou řešit dílčí problémy. První tři z nich vyjdou asi v polovině r. 1995).

*ČSN 01 0222:* Aplikovaná statistika. Testy odlehlosti výsledků pozorování.

*ČSN 01 0225:* Aplikovaná statistika. Testy shody empirického rozdělení s teoretickým.

*ČSN 01 0230:* Aplikovaná statistika. Analýza rozptylu.

*ČSN ISO 2602:* Statistická interpretace výsledků zkoušek. Odhad průměru. Konfidenční interval.

*ČSN ISO 3207:* Statistická interpretace údajů. Stanovení statistického tolerančního intervalu.

*ČSN ISO 3301:* Statistická interpretace údajů. Porovnání dvou průměrů v případě párových pozorování.

*ČSN ISO 8595:* Statistická interpretace údajů. Odhad mediánu.

V návrhu jsou dokumenty *ISO*:

*DIS 11453:* Statistická interpretace údajů. Testy a konfidenční intervaly vztahující se k podílům.

*CD 5479:* Test odchylky od normálního rozdělení.

**CD 7874:** Aplikace statistických metod v technické normalizaci a při stanovování specifikací. Úvod.

### **C. Normy o statistické regulaci.**

**ČSN 01 0265:** Statistická regulace.

**ČSN 01 0266:** Zvláštní typy statistické regulace. Metoda kumulovaných součtů.

**ČSN ISO 8258:** Shewhartovy regulační diagramy. (Vyjde asi v březnu 1994).

**ČSN ISO 7870:** Regulační diagramy. Obecný průvodce a úvod. (Vyjde v druhé polovině r. 1995).

**ČSN ISO 7873:** Regulační diagramy pro aritmetický průměr s varovnými mezemi. (Vyjde v druhé polovině r. 1995).

**ČSN ISO 7966:** Přejímací regulační diagramy. (Vyjde v druhé polovině r. 1995).

V návrhu je dokument *ISO*:

**CD 7871:** Úvod do regulačních diagramů založených na metodě kumulovaných součtů.

### **D. Normy o statistické přejímce.**

**ČSN 01 0254:** Statistická přejímka srovnáváním.

**ČSN ISO 2859-1:** Statistické přejímky srovnáváním. Část 1: Přejímací plány AQL pro kontrolu každé dávky v sérii.

**ČSN ISO 2859-2:** Statistické přejímky srovnáváním. Část 2: Přejímací plány LQ pro kontrolu izolovaných dávek.

**ČSN ISO 2859-3:** Statistické přejímky srovnáváním. Část 3: Občasná statistická přejímka.

**ČSN ISO 8422:** Přejímací plány postupným výběrem pro kontrolu srovnáváním.

**ČSN 01 0257:** Statistická přejímka pro plynulou výrobu. (Metoda je založena na kontrole srovnáváním a hodnotě AQL).

**ČSN 01 0260:** Statistická přejímka srovnáváním. Přejímací plány jedním výběrem s přípustným počtem vadných ve výběru rovným nule.

**ČSN ISO 9951:** Výběrové postupy a grafy při kontrole měřením pro procento neshodných jednotek. (Nahrazuje ČSN 01 0258).

**ČSN 01 0256:** Zvláštní typy statistických přejímek měřením.

**ČSN ISO 8423:** Přejímací plány postupným výběrem pro kontrolu měřením pro procento neshodných jednotek (známá směrodatná odchylka).

V návrhu jsou dokumenty *ISO*:

**DIS 2859-0:** Statistické přejímky srovnáváním. Část 0: Úvod do systému přejímacích plánů v *ISO* řady 2859.

**DTR 8550:** Průvodce pro volbu přejímacího plánu.

### **E. Normy o vzorkování.**

**ČSN 01 0256:** Zvláštní typy statistických přejímek měřením.

\***ČSN 01 5110:** Vzorkování materiálů. Základní ustanovení.

**\*ČSN 01 5111: Vzorkování sypkých a zrnitých materiálů.**

**\*ČSN 01 5112: Vzorkování kapalin a pastovitých látek.**

**\*ČSN 01 5113: Vzorkování plynů.**

V návrhu jsou dokumenty ISO:

**CD 10576: Přejímací plány pro materiály.**

**WD 11648: Statistická hlediska při vzorkování materiálů.**

#### 4. ZÁVĚR

Normy v kapitole 3 referátu se staly základními metodickými nástroji při prosazování a realizaci zásad uvedených v normách ISO řady 9000 a jsou lektory ČSJ využívány při výuce na podnicích a v kursech pro manažery, mistry, pracovníky útvarů řízení jakosti, technology, konstruktéry apod. Metody a nástroje popsané v kapitole 2 jsou náročnější a slouží k hlubšímu poznání dějů ovlivňujících určité procesy, k lepšímu ovládnutí výrobních procesů, k odhalování příčin nejakostní výroby a jejich odstraňování a vytváření bariér proti opětovnému nastání stejných příčin a tak nástroje v obou kapitolách je možno chápat jako podpůrné při uskutečňování zásad formulovaných v systému, který je označován jako "systém neustálého zlepšování jakosti". Je postaven na soustavném získávání informací (z výrobního procesu, ze vstupních kontrol, z průzkumu trhu polotovarů a materiálů atd.), na plynulém zpracovávání těchto informací, jejich analýze a zpětnovazebním přenášení získaných závěrů do výroby s cílem zlepšení její jakosti a předcházení nejakostní výrobě, dosažení a udržení stability výrobního procesu, zhospodárnění výroby a kontroly, splnění požadavků zákazníka, volby nejvhodnějšího dodavatele, lepšího prosazení se na trhu atd.

Pro realizaci těchto záměrů stále chybí vysoce kvalifikovaní pracovníci a ČSJ by ráda uvítala ve svých řadách nové mladé odborníky, kteří by byli schopni úspěšně naplňovat cíle ČSJ a byli ochotni se podílet na zajišťování odborného růstu pracovníků profesí uvedených na začátku předcházejícího odstavce. V této práci se uplatní tím víc absolventů MFF UK, čím jejich postoj k aplikacím, diskutovaný v kapitole 1, bude hlubší a opravdovější.