

VOJENSKÉ ZDRAVOTNICKÉ LISTY

ROČNÍK XXXV

ŘÍJEN 1966

ČÍSLO 5

615.4.006:355.41].004.1.001.5:681.142-83

MOŽNOST LOGICKO-MATEMATICKÉHO MODELOVÁNÍ PŘI VÝZKUMU PROVOZU LÉKÁREN POLNÍCH ZDRAVOTNICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Pplk. PhMr. Miroslav VOSYKA, VLVDŮ JEvP - KOVZ

Lékárny polních zdravotnických zařízení (dále jen LPZZ) jsou výkonná zařízení vojenské farmacie. Plní tyto úkoly:

- výrobní (příprava léků a činidel),
- odborně kontrolní (předepsaná analýza došlých léčiv),
- zásobovací (příjem materiálu a jeho výdej oddělením, event. i útvarům).

K tomu se řadí práce spojené s účetně evidenční činností, dále plánování, vyžadování a udržování materiálu apod. Problém provozu LPZZ není problémem ryze informačním, má charakter hmotné výroby. Jeho zkoumání by tedy mohlo jít cestou propracovaných metod a značných zkušeností z oblasti organizace výroby, mohlo by využívat pracovního snímkování, pohybových studií, výzkumu pracovní hygieny atd. Skutečně se nabízí otázka, proč tomu tak není, proč tento proces a jiné obdobné procesy nejen ve vojenské farmácii, ale v celé vojenské zdravotnické službě nebyly dosud až na výjimky zkoumány exaktními metodami analýzy hmotných procesů. Rozklad společenských procesů na prvky a jejich oddělené zkoumání předpokládá existenci syntetické metody, která by po zobecnění poznatků integrovala diferencované prvky zpět v nový, kvalitativně vyšší systém. Tyto metody existovaly do nedávna pouze pro procesy hmotné, mající navíc pravidelný až monotonní průběh. Takovým procesem je např. tovární výroba. Zde vystačily jednoduché výpočetní postupy, spočívající na klasické matematice. V procesech složitějších, hlavně v takových, jejichž průběh závisí na mnoha předem neznámých a značně náhodných faktorech, tyto metody selhávaly a nemělo tedy smysl provádět v jejich prospěch neefektivně přesné analýzy. Kromě toho nebyly do nedávna exaktně zkoumány procesy informační, které jsou pro dynamiku hmotných procesů rozhodující. Celý průběh výzkumu takového soustav měl vždy úroveň nejslabšího článku. Tím byla zpravidla, jak jsme uvedli, syn-

téza poznatků, někdy i analýza (hlavně v informačních procesech). Specifika vojenské problematiky pak přináší další potíž. Empirické poznatky zkoumaného procesu zahrnují pouze soustavy a procesy vývojově překonané. Simulace in natura na současném stupni poznání má omezené možnosti. V celém komplexu je z ekonomických, personálních a časových omezení prakticky nemyslitelná. To klade na syntézu další náročný požadavek téměř finální optimalizace bez možnosti všestranného ověření v praxi. I to přispělo k tomu, že hluboké „laboratorní“ zkoumání diferencovaných prvků procesů a soustav nemělo adekvátní protějšek v syntetických prostředcích využití nabytých znalostí. Změna nastala zavedením řady metod, jejichž rejstřík a účinnost v současné době bouřlivě rostou. Tyto metody umožňují jak analýzu informačních procesů, tak i exaktní syntézu řešení dosud neřešitelných problémů. Značný počet těchto metod má typicky optimalizační charakter. Hodí se jak pro informační, tak i pro hmotné procesy. Souhrn těchto metod zpravidla nazýváme operačním výzkumem.

Pokusme se charakterizovat LPZZ a procesy v ní:

- Účelovým procesem v soustavě (LPZZ) je hmotný proces, jehož struktura je vcelku dobře známa a lze ji popsat a zkoumat běžnými metodami.
- Vstupní informaci, řídicí hmotný proces, lze snadno obecně sémanticky popsat. Její kvantifikace však obsahuje velmi široký stupeň volnosti.
- Struktura soustavy (počet a typy prvků) vytváří neznámé limitní hodnoty účinnosti vstupní informace.
- Na výstupu soustavy se objevuje hmotný produkt, jehož kvalita a kvantita jsou určovány vstupní informací a omezovány možnostmi intenzity hmotného procesu v soustavě.

Tento popis vede k závěrům pro výzkum:

- Pro analýzu prvků a hmotného procesu LPZZ existují exaktní metody, jež lze uskutečnit v dostatečném množství a v dostatečně kvalitě dostupnými prostředky.
- Je nutno podrobit pečlivému zkoumání vstupní informaci, především její kvantitativní stránku. Výsledek tohoto zkoumání zásadně ovlivní výsledek celého výzkumu.
- Je třeba formulovat kritéria optimálnosti z hlediska výstupu.
- Je nutno zvolit, modifikovat a efektivně využít vhodnou metodu, která by provoz LPZZ formálně popsala, byla schopna řešit chování soustavy (reakci výstupu na vstupní informaci) a umožnila dostatečnou aproximaci k optimálnímu chování soustavy včetně modifikace její struktury.

Tyto závěry samozřejmě nesnižují zásadní a prvotní důležitost dialekticko-logického přístupu k řešení výzkumné otázky ani konfrontace s praxí. Pouze je doplňují.

V článku se budu zabývat pouze čtvrtým závěrem. Zvolíme tento velmi obecný popis: LPZZ je soustava, ve které více pracovníků než jeden realizuje požadavky, které vznikají v průběhu času a které nelze realizovat jedním pracovníkem najednou. Tento popis je takřka shodný s obecným popisem soustav řešených teorií hromadné obsluhy (THO). Můžeme tedy vybrat THO jako metodu (nikoli jedinou a samospasitelnou) pro výzkum našeho problému v jeho syntetické fázi. Vhodnost výběru metody nám může ověřit teprve výzkum sám.

Přístupme nyní k definici parametrů LPZZ jako soustavy hromadné obsluhy. Musíme definovat tyto tři základní parametry:

- tok požadavků (někdy též proud požadavků, tok výzev),
- kanály obsluhy (někdy též stanice nebo stanoviště obsluhy),
- dobu trvání realizace požadavků.

Podrobný rozbor vlastností LPZZ z hlediska uvedených parametrů bude již obsahem vlastního výzkumu a tedy i konkrétní metodika využití THO může vzniknout až v průběhu výzkumu samotného. Pro předběžnou přípravu metodiky a jejího osvojení stačí vyjít ze základních rysů LPZZ, které jsou evidentní a které zde uvedu bez vysvětlování.

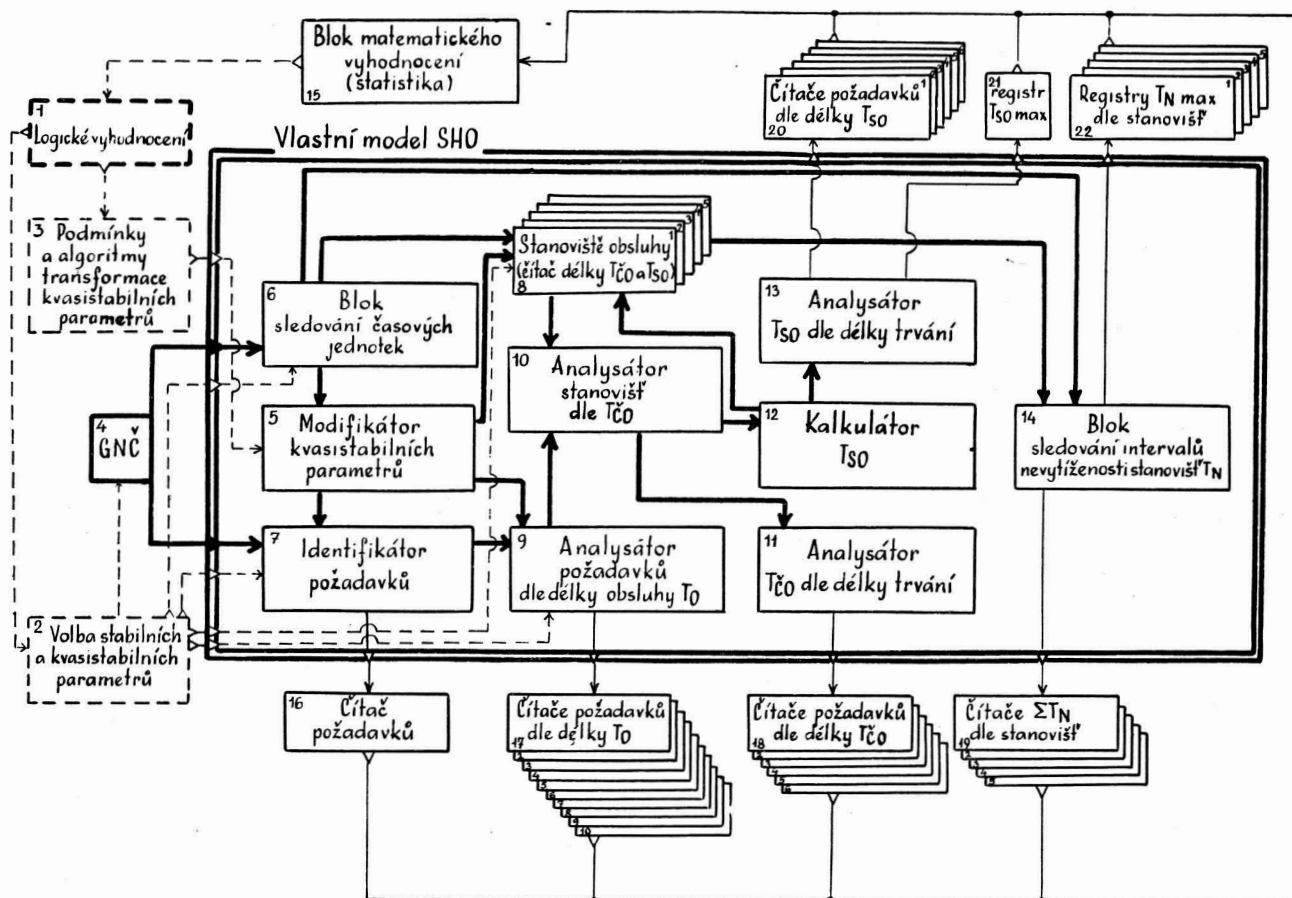
- Tok požadavků nebude zřejmě stacionární, tj. intenzita nebude rovnoměrná, nýbrž bude záviset na vnějších faktorech projevujících se v soustavě jako nelineární kolísající funkce času.
- Tok požadavků bude zřejmě ordinární, tj. v jednom okamžiku může vstoupit do soustavy pouze jeden požadavek. Toto tvrzení sice zdánlivě odporuje skutečnosti, lze však snadno přijmout potřebnou aproximaci.
- Tok požadavků bude mít charakter „bez následných účinků“, počet požadavků v jednom

časovém intervalu nebude kauzálně záviset na jejich počtu v intervalu předcházejícím.

- Intenzita toku požadavků nebude zřejmě dostatečně definována.
- Požadavky nezaniknou, nebudou-li okamžitě přijaty k realizaci, nýbrž zařadí se do fronty čekání na obsluhu. Půjde tedy o soustavu „beze ztrát“.
- V soustavě existuje několik typů kanálů obsluhy (farmaceuti, laboranti, skladníci, účtovatelé). Kanály stejného typu jsou uspořádány do paralelních systémů. Z hlediska optimalizace počtu kanálů je vhodné přistoupit k sestavení pořadí v každém systému.
- Některé požadavky budou realizovány zřejmě vícefázovou obsluhou.
- Realizace požadavků bude mít různé doby trvání. Doby trvání lze stanovit pro všechny typy požadavků běžnými metodami měření výrobních procesů v závislosti na kritériu kvality.
- Doba trvání realizace bude záviset i na dalších faktorech, např. na době od zahájení činnosti soustavy (únava pracovníků) nebo na pracovních podmínkách (osvětlení atd.). Tyto vlivy lze kvantifikovat měřením.
- Relativní četnosti různých typů požadavků (podle doby trvání obsluhy) bude pravděpodobně možno dosti dobře stanovit.

Tento kusý, neúplný a ve své zběžnosti i rozporný popis vlastností LPZZ zcela postačí k volbě konkrétních pracovních postupů. Neexistence stacionarity toku požadavků a možnost vícefázové obsluhy vede každé samo o sobě k nutnosti přímé simulace. Pro soustavy tohoto typu není totiž v současné době rozpracován potřebný matematicko-analytický aparát. To znamená, že nemusíme podrobně hledat další matematické vlastnosti procesu v LPZZ, zato se musíme více soustředit na logické postižení celého chodu činnosti LPZZ, všech souvislostí uvnitř soustavy i mimo ni. Dále je jasné, že logicko-matematické modelování lze uskutečnit z hlediska variability vstupní informace a z hlediska optimalizace variant výsledků (výstupu soustavy) pouze jako stochastický model, realizovaný v samočinném počítači. Potřebné pravděpodobnostní charakteristiky vstupní informace budeme pak simulovat pomocí generátoru náhodných čísel. Přesně řečeno, algoritmickým generátorem pseudonáhodných čísel s kvazirovnoměrným rozdělením, který nám lépe vyhovuje z celé řady důvodů. Jde tedy o logicko-matematické modelování provozu LPZZ pomocí teorie hromadné obsluhy metodou Monte Carlo na samočinném počítači.

Takový model ve studijní formě byl na našem pracovišti vypracován. Jeho blokové schéma je na obrázku. Má rysy obecné i zvláštní. Mezi zvláštní rysy patří počty různých čítačů (na obrázku mimo silný rámeček vlastního modelu soustavy hromadné obsluhy) a počet kanálů obsluhy (na schématu nazvaných stanoviště obsluhy). Tyto počty vycházejí ze zkušeností a z odhadu



možného rozpětí veličin v LPZZ a jejich statistického skupinování. Obecné rysy jsou uplatněny ostatními bloky schématu, zvláště pak tzv. modifikátorem parametrů, který do modelu zavádíme. Tento modifikátor umožňuje použití modelu pro soustavy s různými základními charakteristikami, které lze i v průběhu procesu eventuálně měnit.

Funkci jednotlivých bloků modelu velmi stručně a zběžně popíšeme bez vysvětlení jejich realizace v počítači s výjimkou identifikátoru požadavků, který probereme jako příklad poněkud podrobněji.

Prvé tři bloky (č. 1–3), které jsou i s příslušnými vazbami kresleny čárkovaně, jsou realizovány při modelování člověkem — výzkumným pracovníkem. Představují sběr, hodnocení a zavádění vstupních informací do modelu (v počítači ve formě „dat“ k programu). Dále představují hodnocení výsledků a vytváření variantních vstupních údajů pro další modelování a hlavně vytváření modifikujících transformací, ukládaných formou algoritmů do modifikátoru (blok č. 5). Ty parametry soustavy, které může modifikátor v průběhu modelování měnit, budeme nazývat kvazistabilní.

Blok č. 4, označený GNC, je algoritmický generátor pseudonáhodných čísel. Poznamenejme pouze, že generuje pomocí zvoleného rekurentního vzorce posloupnost čísel z intervalu $(0;1)$, z nichž každé má v určité délce posloupnosti

(periodě) přibližně stejnou skutečnou pravděpodobnost výskytu.

Blok č. 5 je již zmíněným modifikátorem parametrů. Je schopen prostřednictvím algoritmů, vložených předem zvenčí, měnit intenzitu toku požadavků, relativní četnost typů požadavků, počet kanálů obsluhy, „pracnost“ realizace požadavků (tj. dobu trvání realizace) atd., a to v závislosti na čase trvání procesu v modelu nebo na výstupních hodnotách. Jeho naplnění algoritmy bude závislé na reálném poznání soustavy jak přímým měřením, tak i při postupném modelování.

Blok č. 6 zaznamenává každý vznik náhodného čísla jako stabilní časovou jednotku (zpravidla to bude minuta) a přičítá či odečítá tuto jednotku v příslušných čítačích. Končí v příslušné době pokus a dává povel k jeho opakování či statistickému vyhodnocení série pokusů. Plní tedy funkci spřaženého chronometru.

Sedmým blokem je identifikátor požadavků, který jsme vybrali jako příklad poněkud podrobnějšího popisu logicko-matematického modelu. Jeho úkolem je vybrat z posloupnosti náhodných čísel taková, která nám představují vstup požadavku do obsluhující soustavy. Vycházíme z tohoto zcela oprávněného předpokladu: Počet požadavků vstupujících do soustavy se stacionárním tokem požadavků v určitých stálých intervalech (nebo vstupujících do soustavy s nesta-

cionárním tokem požadavků ve stálých intervalech, jejichž počátek je vzhledem ke křivce intenzity toku rovnoměrný) tvoří náhodnou veličinu s binomickým rozdělením. Půjde tedy o to transformovat kvazirovnoměrné rozdělení náhodných čísel na rozdělení binomické. Práci identifikátoru si nejlépe znázorníme příkladem. Tím se vyhneme matematickému odvození. Předpokládejme, že zjistíme výzkumem průměr požadavků na LPZZ 200 receptů za den, tj. za 1440 minut. (Dříve jsme uvedli, že tento průměr v našem případě zjistíme asi těžko, že budeme nuceni pracovat ve více variantách v určitých logických mezích.) Představuje-li vznik každého náhodného čísla 1 minutu, pak vidíme, že musíme ze 1440 náhodných čísel vybrat 200, tj. asi jednu sedminu. Počítáme-li např. čtyřmístných skupin z náhodných čísel, pak kterákoliv skupina od 0000 do 9999 má teoreticky stejnou pravděpodobnost výskytu $p = 0,0001$. Zvolíme-li takový interval čtyřmístných skupin náhodných čísel, aby výskyt skupiny patřící do tohoto intervalu měl pravděpodobnost přibližně jednu sedminu, a budeme-li tento výskyt považovat za příchod požadavku, pak počet těchto výskytů během vzniku 1440 náhodných čísel se bude pohybovat kolem 200 a bude náhodnou veličinou s binomickým rozdělením. Přesný výpočet délky intervalu, kde l se rovná délce intervalu čtyřmístných skupin na číselné ose za přijatých výchozích podkladů:

$$l = \frac{200 \cdot 10^4}{1440} \approx 1390.$$

Zasadíme-li tento interval od skupiny 0000 do 1389, pak stačí, abychom příslušnou čtyřmístnou skupinu každého vzniklého náhodného čísla porovnali, zda je menší nebo se rovná 1389, a tak zjistili, zda jde o požadavek, či nikoli, čili zda máme zahájit proces realizace požadavku, či se vrátit do generátoru náhodných čísel pro další číslo. To ovšem provádí počítač všechno sám. Určité potíže by nám mohly vzniknout, kdybychom hodlali považovat nejen průměr počtu požadavků, ale i jejich směrodatnou odchylku za náhodnou veličinu s určitým číselně vyjádřeným rozdělením. V našem případě však tuto okolnost, kterou lze ostatně řešit, nebudeme uvažovat.

Devátý blok nazýváme analyzátor požadavků podle doby trvání jejich obsluhy, kterou označíme T_0 . Třídí obdobným způsobem „prověřené požadavky“ do skupin, pro které je délka trvání obsluhy stejná, event. pro které je určen speciální kanál obsluhy (např. z hlediska erudice pracovníka).

Bloky č. 8 a č. 10 — 14 potom postupně simulují proces realizace požadavků a zaznamenávají žádané výsledky. Model uchovává a na výstupu vydává (počítač tiskne) za každý proces v předem zvolené délce trvání:

- celkový počet požadavků,
- počty požadavků ve skupinách podle T_0 (trvání jejich obsluhy),

- počty požadavků tříděných podle doby čekání ve frontě na obsluhu (T_{c0}) do zvolených skupin,
- počty požadavků tříděných podle doby od příchodu do skončení realizace (T_{s0}) do zvolených skupin,
- nejdelší dobu od příchodu do skončení realizace ($T_{s0 \max.}$),
- celkovou dobu, po kterou byly jednotlivé kanály nevyužity (T_n),
- nejdelší souvislý interval nevytíženosti jednotlivých kanálů ($T_n \max.$).

Blok matematického vyhodnocení v případě, že modelujeme sérii stejně zadaných procesů (a to musíme při použití metody Monte Carlo vždy dělat), vypočítává průměry a rozptyly výsledků všech pokusů, které byly souvisle v sérii modelovány.

K realizaci uvedeného modelu byl zpracován program pro EPOS 1. K jeho přezkoušení bylo zvoleno modelování soustavy se stacionárním tokem požadavků o střední hodnotě 200 požadavků za 1440 minut, s deseti typy požadavků podle T_0 s rel. četnostmi 0,1 v každé skupině. Byla zadána pracnost všech deseti typů požadavků a kritéria pro třídění. V soustavě byly určeny dva aktivní rovnoměrné kanály. Modifikátor byl použit k zvýšení pracnosti realizace po celou dobu pokusu. Modelování deseti jednodenních procesů včetně výpočtů průměru a rozptylu výsledků (je jich celkem 34 v každém pokuse) trvalo 1 minutu 50 vteřin.

Z dosavadních poznatků použití této metody vyplývají mimo jiné tyto závěry:

- Model nás nezbaví nutnosti určit základní parametry, jako je počet požadavků za den atd. Pokud nepůjdou vyvodit, bude nutno pracovat ve variantách.
- Možnost variantního modelování je díky rychlosti počítače dalekosáhlá.
- Před zavedením do konkrétního výzkumu bude nutno zjistit citlivost modelu na změny zadávaných dat, vypočítat potřebné délky sérií pokusů, a stanovit tak kritéria pro variantní údaje. Mimochodem zde jde o dost složitý statistický postup.
- Vhodným stanovením limitních výstupních údajů lze model využít i k optimalizaci struktury soustavy (LPZZ). Tuto část metodiky bude nutno ještě rozpracovat.
- Není vyloučeno, že rozbor provozu LPZZ přinese další požadavky, které bude nutno v modelu realizovat, a že tedy bude nutno model eventuálně i přepracovat, včetně programu pro počítače.

Úvod i další statě tohoto článku mají ukázat, že uvedená metoda je vhodná k velmi rychlé simulaci procesu v LPZZ. Může tedy vymodelovat velké množství variant, spočívajících na rozdílných dílčích faktorech a opravňuje tedy přesný a podrobný výzkum těchto faktorů. Výsledky variant lze pak optimalizovat, možná i přímým použitím této metody. Pro ověření v praxi, která

má omezené ekonomické, personální i časové možnosti, zbývá pak pouze ověřit s konečnou platností vybrané nejvhodnější varianty.

Při rozpracování optimalizačních možností uvedeného modelu by bylo zajímavé posoudit teoreticky i možnost jeho využití pro řízení, což ovšem není možno aplikovat na náš příklad LPZZ. Přesun funkcí z prvních tří bloků v závislosti na postupném poznávání procesů v soustavě na blok pátý, realizovaný již počítačem, znamená v podstatě postupné přenášení řídicí funkce člověka na umělou autoregulační soustavu. Tyto myšlenky nás však již přenášejí do sféry kybernetiky, již se na tomto místě nehodláme zabývat.

V článku jsem se pokusil naznačit možnost využití jedné z metod operačního výzkumu, teorie hromadné obsluhy a výpočetní metody Monte Carlo, pro řešení konkrétního výzkumného úkolu. Snaha vyhnout se matematickým formulacím vedla k řadě nepřesností a nejednoznačnému vyjadřování. Článek tedy nesnese z hlediska matematiky přísnější kritiku. Zásadně se může vyskytnout námitka, zda zkoumaná soustava (LPZZ) je natolik složitá, aby vůbec unesla z hlediska efektivnosti práce tuto metodu. Konečnou odpověď dá až výsledek výzkumu. I když tato námitka může mít dnes své oprávnění, zastávám názor, že k osvojení této metody nestačí tzv. „školní učebnicové“ příklady, nýbrž praktické použití. Při tom nelze napoprvé začít s apli-

kací na skutečně velmi složitý problém, kde není možno výsledky spolehlivě logicky vyhodnotit.

Souhrn

Článek popisuje možnost použití teorie hromadné obsluhy a metody Monte Carlo pro výzkum provozu lékáren polních zdravotnických zařízení. Ukazuje vhodnost této metody k simulaci mnoha variant zkoumaného procesu, které by nebylo možno simulovat in natura ani ve zlomku potřebného počtu. Vysvětluje výběr konkrétní numerické metody pro daný úkol a naznačuje potřeby dalšího rozpracování přijaté metodiky hlavně směrem k optimalizačním procesům. Zároveň uvádí stručnou zmínku o realizaci simulace na samočinném počítači a časových nákladech na tuto simulaci.

Literatura

- Buslenko, N. P., Šrejder, J. A., Metod statističeskich ispytanij (Monte-Karlo) i jevo realizacija na CBM. Fismatgiz, Moskva 1961, český překlad SNTL 1965.
 Dupač, V., Hájek, J., Pravděpodobnost ve vědě a technice. NCSAV 1962
 Golenko, D. I., Modelirovanije i statističeskij analiz psevdoslučajnych čisel na EBM. Nauka, Moskva 1965.
 Klír, J., Valach, M., Kybernetické modelování. SNTL 1965.
 Moshman, J., The generation of pseudo-random numbers on a decimal calculator. J. Assoc. Comp. Mach. 1/1954.
 Novák, B., Teorie hromadné obsluhy. MNO-VÚ 401, Učební pomůcka č. 9 1966.
 Píšek, M., Metoda Monte Carlo. MNO-VÚ 401, Učební pomůcka č. 9 1966.
 Rozenberg, V. J., Prochorov, A. I., Čto takoje teorija massovogo obsluživanja. Sovjetskoje radio, Moskva 1962, slovenský překlad SVTL 1965.
 Žurkovič, K. J., K voprosu ob ispolzovanii kibernetičeskich metodov v organizacii medicinskovo obespečeniija vojsk. Vojenno-medicinskij žurnál 1965, 9.

CELOSTÁTNÍ SJEZD CHIRURGICKÉ SEKCE SPOLEČNOSTI J. E. PURKYNĚ VE DNECH 22. A 23. ČERVNA 1967 V LUHAČOVICÍCH

P o ř a d :

1. Právní odpovědnost chirurga;
2. Pooperační žilní komplikace (klinické a paraklinické metody v diagnostice pooperačních žilních komplikací — I. Přerovský, Praha;
 Patologie a patofyziologie akutní trombózy — L. Donner, Praha, F. Procházka, Olomouc;
 Plazmolyzin — E. Matějčíček, Košice;
 Trombektomie u masivní trombózy končetinových žil — J. Fischer, M. Tomšů, Olomouc;
 Prevence a léčba pooperačních žilních komplikací — V. Čepelák, Plzeň;
 Embolie plicní — P. Lukl, V. Rapant, Olomouc).

Přihlášky k aktivní účasti s anotací přednášky nutno zaslat nejpozději do 31. března 1967 na adresu: as. MUDr. Miroslav Tomšů, CSc., I. chirurgická klinika LF PU, Olomouc.