

Časopis pro pěstování matematiky

Zbyněk Šidák

Zemřel profesor Jaroslav Hájek

Časopis pro pěstování matematiky, Vol. 100 (1975), No. 3, 303--305,307--313

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/117881>

Terms of use:

© Institute of Mathematics AS CR, 1975

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

ZEMŘEL PROFESOR JAROSLAV HÁJEK

ZBYNĚK ŠIDÁK, Praha

Čtenáři tohoto časopisu si vzpomenou, že nedávno zde byla uveřejněna (Čas. pěst. mat. 98 (1973), 436–438) zpráva o udělení státní ceny Klementa Gottwalda za rok 1973 prof. ing. dr. JAROSLAVU HÁJKOVI, DrSc., která končila přáním zlepšení jeho nepříznivého zdravotního stavu. Bohužel pravý opak našeho přání se stal skutečností: dne 10. června 1974 prof. Hájek zemřel ve věku pouhých 48 let. Jeho úmrtí znamená nenahraditelnou ztrátu pro matematickou statistiku ve světovém měřítku a zvláště pro nás v Československu, kde prof. Hájek byl zakladatelem a nejpřednějším představitelem moderní vědecké matematicko-statistické školy v poválečném období.

Jaroslav Hájek se narodil 4. února 1926 v Poděbradech v prosté rodině – otec byl holič, matka švadlena. Brzy však otce ztratil a hmotné poměry matky s malým chlapcem se staly dost stísněné. V těchto letech i později Jaroslavovi nahrazoval otce jeho strýček Karel Martínek, poděbradský lakýrník. Matka se sice asi za pět let vdala po druhé, ale v roce 1944 znovu ovdověla. Přece však navzdory nedostatečným finančním prostředkům umožnila svému synovi studovat, protože již od mládí projevoval velké matematické nadání.

Po absolvování gymnasia Jaroslav Hájek v letech 1945–49 studoval na Vysoké škole speciálních nauk při ČVUT obor statistického inženýrství, kde také v r. 1950 byl promován na doktora technických věd (v tehdejší smyslu). Po základní vojenské službě byl v letech 1951–54 aspirantem v Matematickém ústavu ČSAV a zde v r. 1955 obhájil kandidátskou disertační práci. Od r. 1954 pracoval jako vědecký pracovník tohoto ústavu až do r. 1966. V r. 1963 se stal doktorem fyzikálně-matematických věd na základě disertace o statistických problémech ve stochastických procesech.

Svou pedagogickou činnost zahájil již v r. 1948–49 jako asistent na Vysoké škole speciálních nauk. Dále přednášel na Vysoké škole ekonomické v Praze. V r. 1963 se habilitoval na matematicko-fyzikální fakultě University Karlovy a začal zde přednášet. V r. 1964 se stává externím vedoucím katedry matematické statistiky na této fakultě a tuto katedru vede pak dlouhou řadu let. Konečně v r. 1966 je jmenován profesorem na této fakultě a přechází sem natrvalo. V r. 1973 se mu dostává jednoho z nejvyšších uznání za jeho vědeckou práci – je mu udělena státní cena Klementa Gottwalda za vybudování asymptotické teorie statistických pořadových testů.

Prof. Hájek vykonával též s výrazným zaujetím pro vědecký pokrok řadu funkcí v organizaci vědeckého života československého i mezinárodního. Byl členem vědecké rady matematicko-fyzikální fakulty University Karlovy a předsedou komisí pro obhajoby kandidátských i doktorských disertačních prací v oboru teorie pravděpodobnosti a matematické statistiky, dříve též členem vědeckého kolegia matematiky a členem komise pro využití matematických metod v ekonomii při Ekonomickém ústavu ČSAV. Působil v redakčních radách těchto mezinárodních časopisů: *Annals of Mathematical Statistics* (po rozdělení časopisu v *Annals of Statistics*), *Advances in Applied Probability*, *Zeitschrift für Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete*, *Mathematische Operationsforschung und Statistik*, *Czechoslovak Mathematical Journal*, dříve též *Aplikace matematiky*. Z mezinárodních vědeckých organizací byl čestným členem (Fellow) společnosti *Institute of Mathematical Statistics*, členem *International Statistical Institute* a *Econometric Society*.

Díky svému vědeckému věhlasu byl prof. Hájek mnohokrát zván do ciziny k pracovním pobytům a k přednáškám na konference; často míval pozvání tolik, že ani nebylo v jeho možnostech všem vyhovět. Za všechny se zmíníme pouze o jeho čtyřech delších pobytech v USA, kam byl pozván do Berkeley na *University of California* (tříkrát), do East Lansingu na *Michigan State University* a do Tallahassee na *Florida State University*; pro dokreslení uvedme, že např. během svého posledního pobytu v USA dostal pozvání k přednášce od 45 universit na americkém kontinentě.

Ve své vědecké práci se prof. Jaroslav Hájek zabýval nejvíce těmito oblastmi matematické statistiky: teorií výběrových šetření, teorií pořadových testů a statistickými problémy ve stochastických procesech. Typickým rysem jeho práce bylo to, že nikdy nezapřel své původní inženýrské školení (v nejlepším slova smyslu) a dovedl vidět do reálné podstaty problémů. Takovýto „inženýrský přístup“ a porozumění pro potřeby praxe kombinovány s hlubokými, důmyslnými a moderními matematickými metodami pak byly zdrojem mnoha jeho významných a podnětných výsledků a idejí. Jeho publikace v době svého vzniku vždy posunuly o značný kus dopředu rozvoj příslušné oblasti a bylo na ně nesčetněkrát navazováno zahraničními i našimi autory. Několik fundamentálních výsledků bývá citováno pod Hájkovým jménem. Řada jeho článků a knih byla přeložena a znovu publikována v USA v jazyce anglickém nebo v SSSR v jazyce ruském (v seznamu publikací na konci článku uvádíme jen překlady knih, nikoliv překlady článků). V následujícím si všimneme některých jeho nejvýznamnějších prací.

Z Hájkových oblíbených oblastí byla teorie výběrových šetření časově první (viz [2], [46]); zůstal jí však věrný až do konce svého života (viz [45], [57]). V článku [8] se J. Hájek zabývá odhady v oblastním (stratifikovaném) výběru a optimálním, resp. náhodným rozvržením výběru do oblastí. Článek [15] přispívá k asymptotické teorii poměrových odhadů využitím regresní metody a metody založené na normálním rozložení. V [17] se nalézají výběrové plány a odhadové metody, které optimálním způsobem při bayesovském přístupu řeší konflikt mezi náklady na experiment a přesností odhadů; tato práce se dotýká třetího Hájkova zájmu – stochastických procesů,



Profesor JAROSLAV HÁJEK

neboť řešení je podáno nejen pro nekorelované náhodné veličiny, ale i pro stacionární náhodné posloupnosti s konvexní korelační funkcí. Jiný problém optimalisace je řešen v [28], a to při odhadování více parametrů. V [20] se udává nutná a postačující podmínka pro asymptotickou normalitu (resp. také pro asymptoticky Poissonovo rozložení) odhadů při jednoduchém náhodném výběru bez vracení; metoda důkazu je založena na aproximaci jednoduchého náhodného výběru Poissonovým (binomickým) výběrem, který je definován jako nezávislé vybírání prvků s určitými pravděpodobnostmi, takže je snadněji teoreticky zvládnutelný. Na tuto myšlenku navazuje článek [29] o zamítacím výběru, tj. o výběru takovém, při němž se nezávisle vybírá n prvků s obecně různými pravděpodobnostmi a s vracením, ale nejsou-li všechny vybrané prvky od sebe odlišné, celý výběr se zamítne a pořídí se nový výběr; zde opět se využívá aproximace Poissonovým (binomickým) výběrem k získání výsledků o asymptotické normalitě. Zcela odlišné problematice, důležité např. v geologických výzkumech – výběrům bodů v rovině – jsou věnovány články [21] a [24].

Prof. J. Hájek publikoval o teorii výběrových šetření knihu [47], jejíž první část je v podstatě základní učebnicí, druhá část monografií, shrnující i některé jeho původní výsledky; dále nedlouho před svou smrtí dokončil rukopis nové monografie [57], který však zamýšlel ještě znovu přepracovat.

Druhou oblastí Hájkova intenzivního zájmu byla teorie pořadových testů, zejména jejich asymptotická teorie. Jeho práce zde znamenaly doslova mezníky v rozvoji této teorie a prof. Hájek byl považován za jednoho z nejpřednějších odborníků – či snad vůbec za prvního odborníka – v této oblasti v celém světě. Již v době, kdy se teprve začínaly nesměle objevovat první články o pořadových testech, J. Hájek vytyčil jejich budoucí důležitost a zabýval se jimi ve své disertaci podané r. 1949; v její části, později publikované v [3], odvodil vytvářející funkce a dokázal asymptotickou normalitu rozložení statistik, které jsou nyní známy pod názvy Wilcoxonova dvouvýběrová a jednovýběrová statistika a Kendallův pořadový korelační koeficient.

Pro zpřesnění výkladu nyní předpokládáme; že je dán náhodný výběr X_1, \dots, X_N , kde X_i má spojitou distribuční funkci F_i . Prof. Hájek především vyšetřoval asymptotické rozložení jednoduchých lineárních pořadových statistik, tj. statistik tvaru

$$S_N = \sum_{i=1}^N c_i a(R_i),$$

kde c_i jsou známé regresní konstanty, $a(i)$ skóry, a R_i je pořadí X_i

v uspořádaném výběru (přičemž všechny veličiny obecně závisí též na N). V článku [22] Hájek našel nutné a postačující podmínky Lindebergova typu pro asymptotickou normalitu S_N při nulové hypotéze $F_1 = \dots = F_N$; originální metoda článku spočívá v důkazu, že S_N je asymptoticky ekvivalentní vhodně zvolenému součtu T_N nezávislých veličin (ve smyslu $\lim_{N \rightarrow \infty} E(S_N - T_N)^2 / \text{var } T_N = 0$). Příslušná věta bývá

nyní citována pod Hájkovým jménem, popř. pod jmény Wald-Wolfowitz-Noether-Hájek. V dalším článku [27] je pak dokázána asymptotická normalita statistik S_N pro testování regresního koeficientu β v modelu $X_i = \alpha + \beta c_i + \sigma Y_i$, a to nyní při kontiguitních alternativách (tj. alternativách v určitém smyslu se blížících k nulové

hypotéze), je vyšetřována asymptotická eficeence příslušných testů, nalezen tvar asymptoticky nejmohutnějšího pořadového testu a sestroyen universální asymptoticky nejmohutnější pořadový test, jehož existence byla tehdy překvapením pro odborné kruhy; významným přínosem článku je využití pojmu kontiguitu v teorii pořadových testů, který byl původně zaveden LeCamem pro jiné účely. Výzkumy v této linii později pokračovaly pracemi [35] a [36], kde je dokázána asymptotická normalita S_N při velmi obecných nekontiguitních regresních alternativách, a podobnými ještě silnějšími výsledky pro Wilcoxonovu statistiku v [37]; jde tu o dalekosáhlá zobecnění známé Chernoff-Savageovy věty a důmyslná metoda důkazů je založena na nové pozoruhodné nerovnosti pro rozptyly S_N a na aproximaci S_N pomocí jejích projekcí na součty nezávislých veličin.

Prof. Hájek se zabýval ještě řadou dalších problémů z teorie pořadových testů. Jednou z jeho originálních myšlenek byla např. reprezentace známé Kolmogorovovy-Smirnovovy statistiky v jiné ekvivalentní formě pomocí tzv. antipořadí D_1, \dots, D_N (tj. D_1, \dots, D_N je permutace inverzní k permutaci R_1, \dots, R_N), což mu pak umožnilo v článku [30] přirozeným způsobem zobecnit tuto statistiku pro regresní alternativy a dokázat její konvergenci v distribuci k Brownovu můstku. V příspěvku [33] našel lokálně nejmohutnější pořadový test nezávislosti (X_i, Y_i) v modelu $X_i = X_i^* + \Delta Z_i, Y_i = Y_i^* + \Delta Z_i, X_i^*, Y_i^*, Z_i$ nezávislé. V [39] kromě několika dalších problémů se zabýval zejména odhadováním hustoty pro účely volby vhodných skóreů v pořadových statistikách. V článku [43] vyšetřoval eficeenci v Bahadurově smyslu a dokázal, že při testování náhodnosti proti alternativě dvou výběrů pořadové testy dosahují nejlepší možné přesné směrnice.

Výsledky prof. Hájka o pořadových testech asi do r. 1965 byly pak shrnuty, systematizovány a doplněny řadou dalších výsledků v třisetstránkové monografii [53]; kromě zmíněných statistik S_N pro testování dvou výběrů a regrese jsou zde též obdobně vyšetřovány pořadové statistiky pro testování symetrie v jednom výběru, statistiky typu χ^2 pro k výběrů a pro náhodné bloky, statistiky pro testování nezávislosti a statistiky typu Kolmogorovova-Smirnovova a Cramérova-von Misesova. Po tomto důkladném vědeckém díle další knihu [54] z této oblasti prof. Hájek zamýšlel jako učebnici pro vysokoškolské studenty a napsal ji proto na dostupnější úrovni.

Třetí širší oblastí vědecké práce prof. Hájka byly statistické problémy ve stochastických procesech. Nejprve zde věnoval pozornost stacionárním procesům s konvexní korelační funkcí: v článku [7] našel dolní mez pro rozptyl lineárních odhadů střední hodnoty takových procesů a ukázal, že rozptyl obvyklého odhadu pomocí průměru právě dosahuje této dolní meze; obdobně v [11] našel dolní mez pro residuální rozptyl lineární predikce v těchto procesech. Velmi významný výsledek ve zcela jiném směru bádání byl publikován v [13]: na základě limitních vlastností J -divergencí z [12] bylo dokázáno v [13], že pravděpodobnostní míry libovolných dvou Gaussovských procesů jsou buď ekvivalentní nebo vzájemně singulární; stejný výsledek publikoval v tomtéž roce J. Feldman a proto bývá nyní citován jako Feld-

manova-Hájková věta o dichotomii, ale Hájková důkazová metoda je konstruktivnější a tedy užitečnější pro vyšetřování speciálních případů.

Další skupina [19], [23], [25] je charakterizována využitím metod Hilbertova prostoru pro řešení statistických problémů. V [19] je vyšetřován Gaussovský proces x_t , pro nějž platí $\int x_t dP_\alpha = \alpha \varphi_t$, kde φ_t je známá funkce, α je neznámý parametr; je tu dokázána existence postačující statistiky pro tento model a tato statistika nalezena v regulárním případě. V článku [23] se předchozí model zobecňuje, tj. vyšetřuje se libovolný stochastický proces x_t , pro nějž platí $\int x_t dP_\alpha = \sum_{i=1}^m \alpha_i \varphi_{it}$, kde φ_{it} jsou známé funkce, α_i neznámé parametry; ukazuje se zde, že pro odhadování lineárních funkcionalů $\Theta = \sum_{i=1}^m c_i \alpha_i$ v podstatě zůstávají v platnosti klasické věty o metodě nejmenších čtverců a o Markovových odhadech. Dlouhý článek [25] má opět fundamentální význam, jelikož se v něm rozvíjí jednotný teoretický přístup k řešení řady problémů jako je predikce, filtrace, odhady regresních parametrů atd. ve stochastických procesech, a to na základě korespondence lineárních podprostorů vytvořených na jedné straně náhodnými veličinami x_t , na druhé straně jejich kovariancemi R_{ts} . (Přibližně v téže době či o něco později jiní autoři, např. E. Parzen, vypracovali obdobný přístup k těmto problémům na základě tzv. Hilbertových prostorů reprodukcujících jádru.) Dále se v článku [25] analyzují podmínky, při nichž řešení těchto problémů lze interpretovat pomocí jednotlivých trajektorií (tj. nejen jako limity podle středu), definuje se silná ekvivalence rozložení Gaussovských procesů a studuje se hustota takového rozložení vzhledem k jinému; různé obecné výsledky článku jsou explicitně propracovány pro stacionární procesy s racionální spektrální hustotou. Konečně v posledním článku [44] z oblasti procesů jsou nalezeny experimentální plány (tj. systémy bodů), které jsou asymptoticky optimální pro odhadování parametru β v modelu $Y(t) = \beta f(t) + X(t)$, kde $f(t)$ je známá a $X(t)$ je autoregresivní proces.

Kromě probraných tří oblastí dlouhodobého a intenzivního zájmu prof. Hájek přispěl též k některým jiným oblastem. I když tu jde spíše jen o jednotlivé články, mnohé z nich rovněž obsahují velmi významné výsledky; zmíníme se už jen krátce o některých. Tak např. v [4] je dokázána zajímavá nerovnost (zobecňující Kolmogorovovu nerovnost) pro pravděpodobnosti součtů nezávislých veličin, která byla mnohokrát využívána, zobecňována a citována i v učebnicích a která je nyní obecně známa jako Hájková-Rényiova nerovnost. Dále uvedeme dva příspěvky k parametrické teorii odhadu: v [40] dokázal Hájek pozoruhodný výsledek, že v široké třídě případů asymptotické rozložení odhadů je konvolucí určitého normálního rozložení, které závisí jen na základní distribuci, a dalšího rozložení, které závisí jen na volbě odhadu; za obdobných předpokladů pak v [42] našel dolní mez pro lokální asymptotické minimaxové riziko odhadů při velmi obecné ztrátové funkci.

Jak jsme řekli již dříve, prof. J. Hájek měl obdivuhodný dar jakéhosi „inženýrského vhledu“ do podstaty statistických problémů. Proto také se živě zajímal o různé

základní otázky statistické indukce. Často se zaujetím o těchto problémech diskutoval, v některých jeho publikacích lze o nich najít zmínky, ale bohužel jim věnoval pouze tři články [5], [31] a [32]. Poslední z nich, přednáška [32] na berkeleyském symposiu, je nejvýznamnější a analyzuje se v ní pojmy postačitelnosti, invariance, podobnosti, podmíněnosti a věrohodnosti.

Hájkova celá vědecká činnost byla úzce spojena s aplikacemi matematické statistiky. Jeho výsledky mají značný význam v tomto směru a skutečně se jich prakticky využívá (výběrová šetření, aplikace pořadových testů, stacionárních procesů atd.). Prof. Hájek však i sám přímo spolupracoval na mnoha úkolech praxe v různých oborech. Můžeme uvést např. jeho rozsáhlé spolupráce při výběrových šetřeních o stavu chrupu obyvatelstva, o výživě, několik antropometrických šetření atd. Dnes již lze stěží podat přehled o této rovněž intenzivní Hájkově činnosti, poněvadž jeho jméno zpravidla zůstávalo skryto v pozadí kromě jediné výjimky – publikace [18].

Prof. J. Hájek byl zaníceným vyznavačem matematicko-statistických metod, protože „statistika zvyšuje kulturu a produktivnost lidského myšlení, neboť umí rozlišit opodstatněné soudy od ukvapených, posoudit hranice, za nimiž jednodušší modely mají být nahrazeny složitějšími, a určit rozsah dat nutný k solidnímu rozhodnutí“ (citace z vlastního hodnocení vedoucího katedry prof. Hájka z r. 1970). Proto také v zájmu dalšího růstu a rozšiřování tohoto oboru se věnoval s velkým zaujetím a obětavostí činnosti pedagogické. Ve své funkci vedoucího katedry matematické statistiky na matematicko-fyzikální fakultě UK vychovával aspiranty a mladší vědecké pracovníky, přednášel pro posluchače a připravoval pro ně skripta (viz [52], [55], [56]). Při této své učitelské činnosti býval dosti náročný a přísný, ale zato ti, kdo prošli Hájkovým školením, mají opravdu solidní vědecké základy. Rovněž je nutno vyzdvihnout, že těm, u nichž prof. Hájek našel talent a pílí, pak všemožně pomáhal svými radami a podněty a leckdy jim nezištně dával k dispozici pro zpracování své závažné originální myšlenky. Tak vznikla řada dalších zajímavých prací jeho žáků a mnoho z nich dosáhlo pod jeho vedením kandidátské hodnosti (např. J. Anděl, M. Hušková, J. Jurečková, J. Štěpán, D. Vorlíčková, vietnamský aspirant Nguyen-van Ho). Svým působením prof. Hájek takto pozvedl na vysokou úroveň veškerou práci na katedře a založil zde vlastní vědeckou školu v oblasti asymptotických problémů matematické statistiky.

V duchu hořejšího citátu však prof. Hájek věnoval pozornost výuce matematické statistiky a počtu pravděpodobnosti i na nižším stupni, neboť byl přesvědčen, že statistické myšlení čím dál tím více patří k všeobecnému vzdělání. Proto se s chutí podílel na sepsání učebnic [48] a [51] pro tehdejší střední všeobecně-vzdělávací školy (viz též metodický článek [38]) a populární knížky [49].

Z předchozích stran snad vystoupil jasně obraz profesora J. Hájka jako vynikajícího vědce, oddaně a plně sloužícího svému oboru. To však nikterak neznamená, že by šlo o člověka suchopárného a nudného – přesně naopak: Hájek byl veselý a společenská povahy, měl velký smysl pro humor a zvláště měl v oblíbené a sám vymýšlel vtipy založené na slovních hříčkách; vzpomínám také například, že kdysi psával humo-

ristické scénky pro společenské večírky Matematického ústavu ČSAV. Měl všestranný zájem o kulturu, o moderní malířství, o hudbu, zejména miloval koncertní kytaru a sám na ni dobře hrál. Projel na svých cestách velký kus světa, ale pro uklidnění a osvěžení se rád stále vracel do rodných Poděbrad, kde buď rybařil nebo pracoval na své malé zahrádce.

Jeho vědecké úspěchy a kladný poměr k životu byly však tvrdě vybojovány proti osudu: velkou část svého života trpěl vážnou ledvinovou chorobou. Zvláště v posledních letech a měsících bylo obdivuhodné, jak statečně a s mimořádnou silou vůle zápasil se svou nemocí. Navzdory jejímu zhoršování stále pracoval vědecky i organizačně a zachoval si životní elán a porozumění pro potřeby druhých. Ještě v posledních týdnech svého života měl mnoho plámrů pro další vědeckou práci, které bohužel již zůstanou nenaplněny.

V osobě prof. J. Hájka odešel náš nejvýznamnější a světově nejproslulejší odborník v matematické statistice. Slova o nenahraditelnosti této ztráty zde vskutku nejsou jen frází, protože opravdu zřejmě dlouho nebude u nás nikoho, kdo by byl schopen v plném slova smyslu zaujmout ve vědeckém životě místo tak vynikající osobnosti.

SEZNAM PUBLIKACÍ JAROSLAVA HÁJKA

I. Články

- [1] Užití komplexní metody a intervalu spolehlivosti při vážení. *Statistický obzor* 29 (1949), 258—273.
- [2] Reprezentativní výběr skupin methodou dvou fází. a) *Statistický obzor* 29 (1949), 384—394. b) (Výtah) *Čas. pěst. mat. fys.* 74 (1949), 282—283.
- [3] Některá pořadová rozdělení a jejich použití. *Čas. pěst. mat.* 80 (1955), 17—31.
- [4] Generalization of an inequality of Kolmogorov. *Acta Math. Acad. Sci. Hung.* 6 (1955), 281—283. (Společně s A. Rényi.)
- [5] K některým základním otázkám matematické statistiky. *Čas. pěst. mat.* 80 (1955), 387—399. (Společně s F. Fabianem.)
- [6] Асимптотическая эффективность одной последовательности тестов. *Чехослов. мат. ж.* 6 (81) (1956), 26—30.
- [7] Линейная оценка средней стационарного случайного процесса с выпуклой корреляционной функцией. *Чехослов. мат. ж.* 6 (81) (1956), 94—117.
- [8] Oblastní výběr. *Aplikace matematiky* 1 (1956), 149—161.
- [9] Poznámka k článku „O jistých posloupnostech skupin bodů na kružnici“. *Čas. pěst. mat.* 81 (1956), 77—78.
- [10] Nerovnosti pro zobecněné Studentovo rozdělení a jejich použití. *Čas. pěst. mat.* 82 (1957), 182—194.
- [11] Predicting a stationary process when the correlation function is convex. *Czechoslovak Math. J.* 8 (83) (1958), 150—154.
- [12] A property of J-divergences of marginal probability distributions. *Czechoslovak Math. J.* 8 (83) (1958), 460—463.
- [13] Об одном свойстве нормальных распределений произвольного стохастического процесса. *Czechoslovak Math. J.* 8 (83) (1958), 610—618.

- [14] O rozdělení některých statistik za přítomnosti vnitřní korelace. Čas. pěst. mat. 83 (1958), 327—329.
- [15] On the theory of ratio estimates. a) Aplikace matematiky 3 (1958), 384—398.
b) (Výtah) Bull. Inst. Internat. Statist. 37 (1960), Part 2, 3—10.
- [16] Some contributions to the theory of probability sampling. Bull. Inst. Internat. Statist. 36 (1958), Part 3, 127—134.
- [17] Optimum strategy and other problems in probability sampling. Čas. pěst. mat. 84 (1959), 387—423.
- [18] Věk při prořezávání 2. dentice u dětí ČSSR. Československá stomatologie 59 — 2 (1959), 104—113. (Společně s V. Poncovou.)
- [19] On a simple linear model in Gaussian processes. Trans. 2nd Prague Conf. Inf. Theory, Stat. Dec. Functions, Random Proc. 1959, Publ. House Czech. Acad. Sci., Praha 1960, 185—197.
- [20] Limiting distributions in simple random sampling from a finite population. Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci. 5 (1960), 361—374.
- [21] On plane sampling and related geometrical problems. Proc. 4th Berkeley Symp. Math. Statist. Prob. 1960, Univ. of Calif. Press 1961, vol. I, 125—150. (Společně s T. Daleniusem a S. Zubrzyckim.)
- [22] Some extensions of the Wald-Wolfowitz-Noether theorem. Ann. Math. Statist. 32 (1961), 506—523.
- [23] On linear estimation theory for an infinite number of observations. Теория вероятностей и применения 6 (1961), 182—193.
- [24] Concerning relative accuracy of stratified and systematic sampling in a plane. Colloquium math. 8 (1961), 133—134.
- [25] On linear statistical problems in stochastic processes. Czechoslovak Math. J. 12 (87) (1962), 404—444.
- [26] An inequality concerning random linear functionals on a linear space with a random norm and its statistical application. Czechoslovak Math. J. 12 (87) (1962), 486—491.
- [27] Asymptotically most powerful rank-order tests. Ann. Math. Statist. 33 (1962), 1124—1147.
- [28] Minimalisace nákladů při dosažení předepsané přesnosti současně u několika odhadů. Aplikace matematiky 7 (1962), 405—425.
- [29] Asymptotic theory of rejective sampling with varying probabilities from a finite population. Ann. Math. Statist. 35 (1964), 1491—1523.
- [30] Extension of the Kolmogorov-Smirnov test to regression alternatives. Bernoulli-Bayes-Laplace Anniversary Volume, Springer Verlag, Berlin 1965, 45—60.
- [31] On the foundations of statistics. Conf. on Math. Methods in Economic Research, Smolenice 1965. Vydala Ekonomicko-matematická laboratoř při Ekonomickém ústavu ČSAV, Praha 1966, 1—17.
- [32] On basic concepts of statistics. Proc. 5th Berkeley Symp. Math. Statist. Prob. 1965—1966, Univ. of Calif. Press 1967, vol. I, 139—162.
- [33] Locally most powerful rank tests of independence. Studies in Math. Statistics, edited by K. Sarkadi and I. Vincze, Akadémiai Kiadó, Publ. House Hung. Acad. Sci., Budapest 1968, 45—51.
- [34] Some new results in the theory of rank tests. Studies in Math. Statistics, edited by K. Sarkadi and I. Vincze, Akadémiai Kiadó, Publ. House Hung. Acad. Sci., Budapest 1968, 53—55.
- [35] Asymptotic normality of simple linear rank statistics under alternatives. a) Ann. Math. Statist. 39 (1968), 325—346.
b) (Předběžné sdělení) Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 57 (1967), 19—20.
- [36] Asymptotic normality of simple linear rank statistics under alternatives II. Ann. Math. Statist. 40 (1969), 1992—2017. (Společně s V. Dupačem.)

- [37] Asymptotic normality of the Wilcoxon statistic under divergent alternatives. *Zastosowania matematyki* 10 (1969), 171—178. (Společně s *V. Dupačem.*)
- [38] K počtu pravděpodobnosti. *Matematika ve škole* 19 (1969), 449—462.
- [39] Miscellaneous problems of rank test theory. *Nonparametric Techniques in Statistical Inference*, edited by M. L. Puri, Cambridge Univ. Press 1970, 3—17.
- [40] A characterization of limiting distributions of regular estimates. *Z. Wahrscheinlichkeitstheorie verw. Geb.* 14 (1970), 323—330.
- [41] Limiting properties of likelihood and inference. *Foundations of Statistical Inference*, edited by V. P. Godambe and D. A. Sprott; Holt, Rinehart and Winston, Toronto 1971.
- [42] Local asymptotic minimax and admissibility in estimation. *Proc. 6th Berkeley Symp. Math. Statist. Prob.* 1970, Univ. of Calif. Press 1972, vol. I, 175—194.
- [43] Asymptotic sufficiency of the vector of ranks in the Bahadur sense. *Ann. Statist.* 2 (1974), 75—83.
- [44] Regression designs in autoregressive stochastic processes. *Ann. Statist.* 2 (1974), 520—527. (Společně s *G. Kimeldorfem.*)
- [45] Asymptotic designs of sampling with varying probabilities without replacement. *Proc. Prague Symp. on Asymptotic Statistics*, September 1973, Universita Karlova, Praha 1974, vol. I, 127—138.

II. Knihy a skripta

- [46] *Teorie výběrových šetření.* SPN, Praha 1955. (Skripta VŠE.)
- [47] *Teorie pravděpodobnostního výběru s aplikacemi na výběrová šetření.* NČSAV, Praha 1960.
- [48] *Algebra pro 3. roč. SVVŠ.* SPN, Praha 1961; více vydání. (Autor kapitol o pravděpodobnosti a statistice, další spoluautoři knihy *A. Hyška, A. Robek, A. Hustá.*)
- [49] *Pravděpodobnost ve vědě a technice.* NČSAV, Praha 1962. (Společně s *V. Dupačem.*)
Anglický překlad: *Probability in Science and Engineering.* Academia, Publ. House Czech. Acad. Sci., Praha, and Academic Press, New York, 1967.
- [50] *Přehled užití matematiky.* SNTL, Praha 1963; 2. vydání 1968; 3. vydání 1973. (Autor kapitol o pravděpodobnosti a statistice, spoluautorství knihy v 18členném kolektivu vedeném *K. Rektorysem.*)
Anglický překlad: *Survey of Applicable Mathematics.* Iliffe Book Ltd., London 1969.
- [51] *Matematika pro 3. roč. SVVŠ, větev přírodovědná.* SPN, Praha 1966; více vydání. (Autor kapitol o pravděpodobnosti a statistice, další spoluautoři knihy *E. Kraemer, F. Veselý, J. Voříšek, M. Zöldy.*)
- [52] *Neparametrické metody.* SPN, Praha 1966. (Skripta MFF UK, společně s *D. Vorlíčkovou.*)
- [53] *Theory of Rank Tests.* Academia, Publ. House Czech. Acad. Sci., Praha, and Academic Press, New York, 1967. (Společně se *Z. Šidákem.*)
Ruský překlad: *Теория ранговых критериев.* Издательство Наука, Москва 1971.
- [54] *A Course in Nonparametric Statistics.* Holden-Day, San Francisco 1969. (Chystá se ruský překlad.)
- [55] *Stacionární procesy.* SPN, Praha 1969. (Skripta MFF UK, společně s *J. Andělem.*)
- [56] *dokončený rukopis: Matematická statistika.* (Skripta MFF UK, společně s *D. Vorlíčkovou.*)
- [57] *téměř dokončený rukopis monografie: Theory of Probability Sampling.*