



**Posudek doktorandské disertační práce**

*Marka Dvořáka*

## Stability in Autoregressive Time Series Models

Předložená práce se zabývá oblastí detekce změn ve slabě stacionárních vektorových autoregresních modelech, především pak návrhy testů pro retrospektivní detekci změny v různých situacích. Hlavní důraz je kladem na odvození asymptotického rozdělení testových statistik za nulové hypotézy.

Práce je zaměřena, jak již bylo řečeno, do problematiky detekce změn, což jistě patří mezi důležitá témata, která matematická statistika v současnosti řeší. Zájem o tuto problematiku podtrhuje, že teoretické výsledky jsou dobře aplikovatelné v řadě oblastí a oborů. Disertace se opírá a navazuje na řadu výsledků, které byly publikovány teprve nedávno. Patří sem jednak výsledky publikované "domácími" autorkami prof. M. Huškovou a doc. Práškovou, které patří v oblasti "change point" problematiky mezi významné autorky s velkou mezinárodní reputací. Okruh prací a článků, z kterých M. Dvořák vychází, je však mnohem širší. Mezi jejich autory patří jména jako A. Aue, J. Bai, L. Horváth apod., kteří jistě patří ke špičce v oboru. Domnívám se proto, že práce řeší skutečně aktuální téma s mezinárodním dosahem a ohlasem.

Práce se skládá ze šesti kapitol a appendixu. První dvě kapitoly uvádí čtenáře do problematiky a seznamuje ho se základními pojmy a označením. Nové výsledky disertace přináší v následujících třech kapitolách. Ve třetí kapitole autor uvažuje testy pro detekci změny ve vektorových autoregresních modelech, ve kterých se rozptýl chybových členů nemění s časem. Je také navrženo zobecnění Darlingova-Erdősova testu pro vícerozměrný případ. Čtvrtá kapitola je věnována testům Darlingova-Erdősova typu v modelu s chybovým členem měnícím se v čase. V tomto případě nešlo přímo zobecnit jednorozměrný přístup. Domnívám se, že autor vhodně popisuje problémy tohoto zobecnění a zdařile se s problematikou vypořádá. V páté kapitole M. Dvořák studuje skórové testy založené na parciálních derivacích kvazi-věrohodnostního poměru. Odvozuje asymptotické výsledky za slabších předpokladů než je možné nalézt v literatuře.

Z výše uvedeného vyplývá, že autorovi se podařilo úspěšně zobecnit řadu výsledků v oblasti detekce změn z obvyklých autoregresních modelů na vícerozměrný případ, tj. do vektorových autoregresních modelů. Toto zobecnění však nebylo vždy přímočaré, ale naopak přinášelo s sebou řadu minimálně technických komplikací. Bylo proto nutné úspěšně zvládnout obtížné partie nejen z oblasti "change point", ale mnoho další vysoce specializované problematiky z oblasti náhodných procesů, martingalů apod. a prostudovat tak velké množství literatury.

Z práce bezpochyby vyplývá, že M. Dvořák dané problematice velmi dobře porozuměl a byl tak schopen existující výsledky využít a tvůrčím způsobem rozšířit na další případy.

Získané teoretické výsledky mají většinou předpokládaný tvar, nicméně jejich důkazy jsou technicky velmi náročné a jsou založeny často na několika dílčích tvrzeních. Kladně hodnotím, že některé věty, pomocná lemmata a pojmy, která byly využité v důkazech, jsou uvedené pro pohodlí čtenáře v appendixu. Konstatuji, že v důkazech jednotlivých tvrzení jsem nenalezl žádná zásadně problematická místa a domnívám se, že jsou provedeny korektně. Moje úloha byla v tomto směru snažší, protože podstatné části třetí a čtvrté kapitoly byly již publikovány, respektive prošly recenzním řízením v kvalitních časopisech a byly tak již dostatečně prověřeny. Našel jsem pouze několik velmi drobných opomenutí (není např. deklarováno, že použitý symbol je určitá konstanta, je uveden špatný odkaz, nepřesné označení vektoru nul jako skalár . . .), které však nemají žádný podstatnější význam v logice výkladu. V rámci obhajoby proto není třeba se jimi zabývat.

Za cenné v práci považuji to, že studované metody byly dovedeny ve většině případů až do numerického řešení, které se domnívám není v dané problematice jednoduché implementovat. Ocenil bych však, kdyby alespoň některé připravené procedury tvořily přílohu předložené práce, aby bylo možné provedené výpočty "zkontrolovat". V každém případě, ale musím hodnotit, že část práce věnovaná simulacím je zpracována také velmi pečlivě a přehledně. Při studiu výsledků simulací mne zaujaly ty prezentované na str. 66 na obr. 4.1, kde pro případ " $P_2$  with errors [E2]" se mi zdá největší kolísání hodnot studovaného odhadu je pro  $T = 1000$  a nikoliv pro  $T = 100$  jako v ostatních třech ilustrovaných případech. Rád bych se proto autora v rámci obhajoby zeptal, jestli má tato záležitost nějaké vysvětlení.

M. Dvořák věnoval zpracování disertace velkou pozornost, práce se velmi dobře čte, je zde minimum překlepů. Pozitivně hodnotím i to, že je v práci nejen dokazováno, ale i vysvětlováno, tj. zdařilým způsobem je komentována motivace a filozofie jednotlivých kroků a pojmů. Kladně hodnotím i jasné shrnutí dosažených výsledků na konci každé kapitoly. Práce je psána v dobré angličtině, která podle mého mínění zcela odpovídá odborné angličtině v časopisech s tématicky blízkými články. I po formální a grafické stránce působí velmi dobře.

Závěrem konstatuji, že autor touto prací prokázal hlubokou znalost tématu a schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Domnívám se, že předložená práce splňuje všechny požadavky kladené na práci disertační, a proto ji doporučuji přijmout k obhajobě.

Liberec, 1. prosince 2015

prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.