

HLAVNÉ SMERY V MODELOVANÍ INTERREGIONÁLNYCH MIGRÁCIÍ

Anton Bezák

*Katedra regionálnej geografie, ochrany a plánovania krajiny, Prírodovedecká fakulta
Univerzity Komenského v Bratislave*

Abstract: The aim of this paper is to present a concise review of the most important models developed and used in the investigation of interregional migration. Three main approaches to the modelling of interregional migration are briefly reviewed and evaluated, namely spatial interaction models, regression models and Markov chain models. The advantages and shortcomings of each model class are explained and some problems associated with the application of the different models to migration data are also analysed.

Key words: modelling of interregional migration, spatial interaction models, regression models, Markov chain models

1. ÚVOD

Problematika migračných procesov sa v posledných dvoch desaťročiach stala predmetom osobitnej pozornosti bádateľov z humánnej geografie a príbuzných sociálnych vied. Nezvyčajne silný záujem o štúdium vnútorných i medzištátnych migrácií spôsobil, že sa v demografickej, geografickej, ekonomickej i sociologickej literatúre objavilo pozoruhodné množstvo teoretických príspevkov, nových modelových prístupov i významných empirických štúdií. Hoci v zahraničí existuje niekoľko výborných prehľadových prác (napr. Greenwood et al. 1991, Stillwell a Congdon 1991a, Greenwood 1997, Boyle et al. 1998, Cushing and Poot 2004), ktoré zhŕňajú a hodnotia výsledky tohto bádateľského úsilia, v slovenskej geografickej literatúre sa pokrokom vo sfére migračného výskumu dosiaľ venovala iba okrajová pozornosť. Cieľom tohto príspevku je poskytnúť stručný prehľad základných kategórií modelov, ktoré našli uplatnenie pri štúdiu interregionálnych migrácií, poukázať na ich prednosti a nedostatky a upozorniť na niektoré závažné problémy, ktoré sa vynárajú pri aplikácii jednotlivých modelov na migračné dáta.

Vo všeobecnosti sa dajú rozlíšiť dva základné motívy konštrukcie migračných modelov, ktoré zdanlivo súvisia s dvoma odlišnými spôsobmi ich využitia. Migračné modely sa spravidla formulujú ako nástroje na opis, analýzu a vysvetlenie súčasných (resp.

historických) procesov redistribúcie obyvateľstva. Druhým motívom konštrukcie migračných modelov je snaha vytvoriť formálny rámec na generovanie migračných projekcií, t.j. predpovedí o tom, aké budú alebo aké by mohli byť migrácie v budúcnosti za presne stanovených podmienok. V tejto súvislosti je však potrebné zdôrazniť, že obidva spôsoby využitia migračných modelov nevyžadujú osobitné modelové typy, pretože obidve úlohy sa často dajú vykonať pomocou toho istého modelu. Na druhej strane treba povedať, že niektoré migračné modely majú omnoho výraznejšiu explanačnú a iné zasa predikčnú funkciu. Migračné modely, ktoré sa využívajú na generovanie migračných predpovedí, majú spravidla jednoduchšiu štruktúru. Forma migračného modelu však často závisí nielen od účelu, ktorému má model slúžiť, ale aj od povahy dostupných dát, potrebných na jeho aplikáciu.

Migračné modely môžeme klasifikovať z formálneho alebo obsahového hľadiska. Pri formálnej klasifikácii si všimame štruktúrnú formu modelu, charakter premenných a závislostí medzi nimi, metódu odhadu parametrov modelu alebo spôsob, ako v modeli vystupuje čas. Pre klasifikáciu migračných modelov z obsahového hľadiska sú významné tri prístupy.

Prvý prístup vychádza z tradičného členenia migrácií na medzištátne, vnútroštátne a vnútrómestské (Clark 1986). Táto diferenciácia je založená na vzdialenosti a dôvodoch premiestnenia a v podstate odzrkadľuje priestorovú mierku migrácií. Je veľmi užitočnou typológiou, pretože člení celý migračný výskum do troch veľkých a relatívne samostatných bádateľských oblastí. Podľa nej môžeme rozlíšiť *modely medzištátnych, interregionálnych a intraurbánnych migrácií*. V poslednom prípade je niekedy vhodnejšie hovoriť o *modeloch intraurbánnej mobility*, pretože sťahovanie vo vnútri miest sa spravidla nepokladá za migráciu v pravom zmysle slova. Poznamenávame, že v anglicky písanej literatúre sa na označenie modelov tohto typu veľmi často používa termín *residential mobility models*.

Podľa modelového kontextu sa migračné modely členia na dve skupiny. Prvú skupinu tvoria *samostatné migračné modely*, v ktorých závisle premennými sú výlučne migračné charakteristiky. Do druhej skupiny môžeme zaradiť *parciálne migračné modely*, ktoré nevystupujú samostatne, ale len ako súčasť komplexnejších populačných alebo tzv. demo-ekonomických modelov. Za zmienku azda stojí, že v súčasnosti sa dajú rozlíšiť dva základné smery tvorby komplexných populačných modelov. Predstaviteľom prvého smeru je A. Rogers (1995) so svojimi multiregionálnymi populačnými modelmi, ktoré sa opierajú o generalizáciu klasickej demografickej kohortno-komponentnej metódy. Druhý smer reprezentujú bilančné modely P. H. Reesa a A. G. Wilsona (1977), vychádzajúce z koncepcie sociálnych bilancí R. Stoneho. V záujme úplnosti ešte uvedieme, že cieľom konštrukcie demo-ekonomických modelov je kvantitatívne vyjadriť vzájomné väzby medzi demografickými a ekonomickými premennými v regionálnom alebo multiregionálnom kontexte (cf. Isserman 1986).

Pravdepodobne najvýznamnejší prístup ku klasifikácii migračných modelov odzrkadľuje rôznu úroveň registrácie migračných udalostí (Stillwell a Congdon 1991b). Podľa tohto prístupu sa rozlišujú mikroúrovňové a makroúrovňové migračné modely. *Mikroúrovňové modely* (stručne *mikromodely*) sa zaoberajú individuálnymi migračnými jednotkami (t. j. osobami, rodinami alebo domácnosťami), ich migračným rozhodovaním a faktormi, ktoré determinujú alebo podmieňujú rozhodovací proces. Ústredným teoretickým problémom, ktorý je základom takmer všetkých migračných mikromodelov, je rozlíšenie medzi individuálnym rozhodnutím presťahovať sa, alebo zostať v mieste doterajšieho bydliska na jednej strane a povahou, smerom a cieľom vlastného premiestnenia na druhej strane, ak sa potenciálny migrant rozhodne presťahovať.

Makroúrovňové modely (alebo *makromodely*) sa naproti tomu zaoberajú veľkými skupinami migračných jednotiek, zoskupených dohromady podľa územných celkov, pričom sa snažia vystihnúť sumárne alebo priemerné charakteristiky migračných udalostí v danej populácii. Primárnym cieľom modelovania na makroúrovni je preskúmať vzťah medzi migráciou a objektívne určenými makropremennými, ako sú napríklad vzdialenosť, počet voľných pracovných miest, miera nezamestnanosti, priemerná mzda alebo rôzne indikátory kvality prostredia. Špeciálna pozornosť sa venuje úlohe migrácie na regionálnych trhoch práce alebo trhoch s bytmi a jej vplyvu na charakter východiskových a cieľových regiónov, najmä z hľadiska požiadaviek migrantov na prácu, bývanie a sociálne služby. Typickou doménou migračných makromodelov je práve opis a analýza interregionálnych migračných tokov.

Deliaca čiara medzi makro- a mikromodelmi je pomerne ostrá a netýka sa iba migračných modelov. Vo veľkej miere sa vzťahuje aj na empirické údaje, teoretické koncepcie a výsledky bádania. Jednoducho povedané, súvisí s celkovým prístupom k štúdiu migrácie a jej ignorovanie býva zdrojom veľmi nepríjemných konfúzií. Z tohto tvrdenia však vôbec nevyplýva, že medzi makro- a mikropriístupom existuje neprekonateľná bariéra. Migračné toky, ktoré sa vyskytujú v realite, sú agregáciou individuálnych migračných udalostí a teórie, ktoré sa usilujú vysvetliť individuálne migračné rozhodnutia, slúžia tiež na formuláciu a testovanie makromodelov. Žiadna z týchto dvoch úrovní bádania sama osebe neposkytuje úplný obraz migračného procesu. Makromodely nehovoria nič o individuálnych migračných rozhodnutiach a mikromodely nemôžu podať vyčerpávajúci rozbor vplyvu východiskových a cieľových regiónov na migráciu alebo súvislostí medzi migráciou a inými sociálnymi a ekonomickými fenoménmi. V tomto zmysle sú všetky migračné modely parciálnymi modelmi.

V rámci jednej štúdie s obmedzeným rozsahom nie je prakticky možné vyčerpávať a pritom stručne referovať o všetkých typoch migračných modelov. V ďalšej časti príspevku sa preto pokúsime o určitú selekciu. Predmetom podrobnejšieho rozboru budú iba tie *makroúrovňové* migračné modely, ktoré sa uplatňujú pri štúdiu *interregionálnych* migrácií a zároveň sú *samostatnými* migračnými modelmi. Ak takto definovaný filter aplikujeme na celú triedu migračných modelov, potom modely vyhovujúce uvedeným požiadavkám môžeme zoskupiť do troch veľkých kategórií (cf. Clark 1986, p. 56). Prvú z nich tvoria modely priestorovej interakcie, druhá pozostáva z regresných modelov a tretia obsahuje modely Markovovho typu. Každá z týchto kategórií sa vyznačuje zvláštnym modelovým štýlom a osobitným matematickým aparátom. Modely zaradené do jednotlivých kategórií majú charakteristické prednosti i nedostatky a ich aplikáciu na migračné dáta sprevádzajú špecifické problémy.

2. MODEL PRIESTOROVEJ INTERAKCIE

Spoločným predchodcom modelov priestorovej interakcie a regresných modelov je dobre známy *gravitačný model*, odvodený na princípe analógie so zákonmi klasickej mechaniky. V migračnom kontexte sa tento model formuluje v tvare

$$M_{ij} = A_i B_j O_i D_j c_{ij}^{-\beta}$$

kde M_{ij} je počet migrantov z východiskového regiónu i do cieľového regiónu j , O_i celkový počet emigrantov z regiónu i , D_j celkový počet imigrantov do regiónu j , c_{ij} vzdiale-

nosť z regiónu i do regiónu j a β je parameter, vyjadrujúci impedančný účinok vzdialenosti na migráciu. Čím väčšia je hodnota tohto parametra, tým výraznejší je brzdiaci alebo zoslabujúci efekt vzdialenosti na migráciu. Vyrovnávacie koeficienty A_i a B_j , definované vzťahmi

$$A_i = \left[\sum_{j=1}^n B_j D_j c_{ij}^{-\beta} \right]^{-1}$$

$$B_j = \left[\sum_{i=1}^n A_i O_i c_{ij}^{-\beta} \right]^{-1}$$

zabezpečujú, že celkové množstvo odhadnutých migračných tokov, ktoré vychádzajú z regiónu i , sa rovná pozorovanému počtu emigrantov z tohto regiónu a celkové množstvo odhadnutých tokov, ktoré prichádzajú do regiónu j , sa rovná pozorovanému počtu imigrantov do daného regiónu.

Z ďalších modelov priestorovej interakcie sa pri štúdiu interregionálnych migrácií uplatnil najmä *východiskovo ohraničený interakčný model*, v ktorom chýbajú ohraničenia celkového počtu imigrantov prichádzajúcich do jednotlivých regiónov. Je definovaný rovnicou

$$M_{ij} = A_i O_i W_j^\alpha c_{ij}^{-\beta}$$

v ktorej je chýbajúca veličina D_j nahradená mierou atraktivity W_j cieľového regiónu. Dodatočný parameter α odzrkadľuje citlivosť výberu cieľového regiónu migrantom. A_i je opäť vyrovnávací koeficient v tvare

$$A_i = \left[\sum_{j=1}^n W_j^\alpha c_{ij}^{-\beta} \right]^{-1}$$

zabezpečujúci, že celkové množstvo odhadnutých migračných tokov, ktoré vychádzajú z regiónu i , sa rovná pozorovanému počtu emigrantov z tohto regiónu.

Primárnou úlohou interakčných modelov v migračnom kontexte je preskúmať brzdiaci, resp. zoslabujúci účinok vzdialenosti na migráciu. V prípade východiskovo ohraničených interakčných modelov sa táto úloha môže rozšíriť aj na zhodnotenie vplyvu atraktivity cieľových regiónov a ich dostupnosti k ostatným, viac alebo menej „atraktívnym“ regiónom. Pri štúdiu interregionálnych migrácií sa interakčné modely aplikujú na migračné toky dezagregované podľa demografických, sociálnych a ekonomických charakteristík migrantov, čo umožňuje odhaliť, ako rýchlo s rastúcou vzdialenosťou klesá počet migrantov rôzneho veku, pohlavia alebo povolania. Na zhodnotenie regionálnych diferencií v pôsobení vzdialenosti na migráciu sa používajú *interakčné modely s regionálne špecifikovaným parametrom*, v ktorých sa hodnoty parametra vzdialenosti môžu meniť podľa východiskových alebo cieľových regiónov (Stillwell 1986, 1991).

Zásľuhou existencie ohraničení sú interakčné modely vnútorne konzistentné v tom zmysle, že celkový počet modelom predikovaných migrantov sa vždy rovná ich skutočnému počtu. Inou prednosťou interakčných modelov je, že na rozdiel od regresných migračných modelov môžu predikovať aj vnútroregionálne migrácie a ich predikcie sú stabilné aj vtedy, keď sa v migračnej matici vyskytujú nuly alebo hodnoty blízke nule. Stu-

peň zhody pozorovaných migračných tokov a tokov predikovaných interakčnými modelmi závisí od typu modelu, stupňa homogenity migračných tokov, úrovne priestorovej agregácie, počtu skúmaných regiónov a tiež od výskytu alebo absencie vnútroregionálnych tokov v migračnej matici. Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že schopnosť interakčných modelov reprodukovať pozorované migračné toky je relatívne dobrá. Na druhej strane treba priznať, že presnosť projekcií migračných tokov získaných interakčnými modelmi nie je veľmi vysoká (Stillwell 1986).

S využívaním interakčných modelov pri štúdiu interregionálnych migrácií sa spája niekoľko problematických otázok. Slabou stránkou všetkých modelov priestorovej interakcie je predovšetkým ich rigidná štruktúra. Začlenenie novej premennej do modelu je síce možné, ale dosť komplikované, pretože vedie k modifikácii jedného z troch komponentov modelu – východiskového, cieľového alebo separačného faktora. Ďalší problém súvisí s existenciou ohraničení. Pri štúdiu migračných procesov sa často vychádza z predpokladu, že migrácia je dvojstupňový rozhodovací proces, zahŕňajúci rozhodnutie presťahovať sa a následný výber cieľového regiónu. Tento predpoklad je prijateľný v prípade východiskových ohraničení, ale sporný v prípade cieľových ohraničení. Posledná poznámka sa týka empirickej evaluácie interakčných modelov. Interakčné modely predikujú vždy také rozloženie migračných tokov, ktoré sa pri daných ohraničeniach vyskytne s najväčšou pravdepodobnosťou. Otázkou je, do akej miery ich presnosť a účinnosť možno posúdiť štatistikami zhody prevzatými z regresnej analýzy.

Aplikácia modelov priestorovej interakcie na migračné dáta viedla k mnohým modifikáciám základnej triedy interakčných modelov. D. A. Plane (1984) napríklad odvodil *inverzný interakčný model* transformáciou východiskovo a cieľovo ohraničeného modelu. Výstupom z nového modelu je súbor kognitívnych vzdialeností, ktoré najlepšie korešpondujú s pozorovanými migračnými tokmi. I. Gordon (cf. Gordon 1991, Gordon a Molho 1998) sformuloval tzv. *viacprúdový interakčný model*, v ktorom sa agregované migračné toky rozkladajú na niekoľko homogénnych prúdov, korešpondujúcich s rôznymi typmi migrantov. Viacero bádateľov (napr. Fotheringham a O'Kelly 1989, pp. 46, 59; Shen 1999a; Fotheringham et al. 2000) sa pokúsilo odvodiť rôzne metódy na odhad *vnútornej atraktivity* cieľových regiónov na báze východiskovo ohraničených interakčných modelov. Veľmi sľubným nástrojom modelovania interregionálnych migrácií je *model konkurujúcich cieľov*, ktorý predložil A. S. Fotheringham (cf. Fotheringham 1991, Pellegrini a Fotheringham 2003, Yano et al. 2003). Model vychádza z predpokladu, že migranti pri výbere cieľového regiónu vykonávajú dvojstupňový hierarchický výber tak, že najprv vyberajú zhluky alternatív a potom iba jednotlivé alternatívy v rámci zvoleného zhluku.

3. REGRESNÉ MIGRAČNÉ MODELY

Celkom prirodzené rozšírenie gravitačného modelu spočíva v tom, že do korešpondujúcej regresnej rovnice sa vložia ďalšie nezávisle (vysvetľujúce) premenné, vyjadrujúce rozmanité atribúty východiskových a cieľových regiónov alebo nejaké charakteristiky intermediárnych prekážok migrácie. Tento, dnes bežne používaný postup použili ako prví I. S. Lowry a A. Rogers v druhej polovici 60. rokov minulého storočia (cf. Plane a Rogerson 1994, pp. 220-222). Výsledkom bol regresný model, vyjadrujúci závislosť

migračného toku medzi dvoma regiónmi od ich vzdialenosti a šiestich ekonomických premenných – veľkosti pracovnej sily, miery nezamestnanosti a priemernej mzdy vo východiskovom i cieľovom regióne. Hoci pôvodný Lowryho-Rogersov model priniesol iba mierne zlepšené výsledky v porovnaní s klasickým gravitačným modelom, od čias jeho vzniku sa v regionálne orientovanej literatúre objavilo veľké množstvo migračných modelov zacielených na odhalenie štatistických závislostí medzi migráciou a jej determinantami. Dobrý prehľad literatúry a podrobnejšie informácie o rôznych smeroch rozvoja regresného prístupu k modelovaniu interregionálnych migrácií poskytujú prehľadové štúdie M. J. Greenwooda (Greenwood 1985, 1997; Greenwood et al. 1991).

Z formálneho hľadiska pozostávajú *regresné migračné modely* z jednej alebo niekoľkých regresných rovníc, v ktorých postavenie závisle premenných majú rôzne migračné charakteristiky. Môže to byť hrubá emigrácia alebo imigrácia, čistá migrácia, migračný tok alebo ich miery definované rozmanitým spôsobom. Vysvetľujúcimi premennými sú okrem vzdialenosti rôzne ekonomické, sociálne alebo environmentálne charakteristiky východiskových a cieľových regiónov (napr. počet obyvateľov, priemerná mzda, miera nezamestnanosti, prírastok pracovných miest, prírastok bytov, priemerná cena bytu, miera kriminality a pod.). Výber vysvetľujúcich premenných sa opiera o empirické poznatky alebo o rôzne teoretické koncepcie rozvinuté na makro- alebo mikroúrovni. Sú to napríklad neoklasické ekonomické teórie migrácie, teória ľudského kapitálu, teória rodinnej migrácie, nová ekonomická teória migrácie alebo tzv. segmentačné teórie (Clark 1986, pp. 66-71; Boyle et al. 1998, pp. 61-76, 90-97).

Regresné migračné modely sa často formulujú ako jednorovnicové modely alebo ako rekurzívne systémy rovníc (cf. Smith et al. 2000, pp. 193-209). V oboch prípadoch sa predpokladá jednosmerný kauzálny vzťah medzi vysvetľujúcimi premennými a migráciou ako závisle premennou. Hoci tento predpoklad nie je úplne realistický, pretože migrácia má bezprostredný dopad na viaceré ekonomické i neekonomické charakteristiky východiskových a cieľových regiónov, *rekurzívne migračné modely* získali zásluhou svojej jednoduchosti, flexibility, bezproblémovej kalibrácie a ľahkej aplikácie dominujúce postavenie medzi regresnými migračnými modelmi. Ak však medzi migráciou a vysvetľujúcimi premennými existujú silné vzájomné závislosti, odhady parametrov rekurzívneho modelu sú zvyčajne vychýlené. Východisko z tejto situácie predstavujú *nerekurzívne systémy simultánnych rovníc*, v ktorých sa predpokladá existencia priamych i nepriamych spätných väzieb medzi migračnými a vysvetľujúcimi premennými. Regresné modely tohto typu majú komplikovanejšiu matematickú štruktúru, väčšie požiadavky na dáta a vyžadujú náročnejšie metódy odhadu parametrov modelu. Niekoľko príkladov nerekurzívnych migračných modelov uvádzajú S. K. Smith et al. (2000, pp. 209-213).

Dátovú bázu regresných migračných modelov tvoria buď *priestorové dáta*, t.j. súbory hodnôt uvažovaných premenných pozorovaných v rôznych miestach (regiónoch) približne v rovnakom časovom okamihu alebo období, alebo *časové rady* s hodnotami premenných pozorovaných v jednom mieste v rôznych intervaloch alebo okamihoch. Nedostatok vhodných dát, týkajúcich sa migrácie a niektorých relevantných vysvetľujúcich premenných, je pravdepodobne jediným vážnym dôvodom, že migračné modely zostrojené na báze časových radov sú pomerne vzácne (napr. Ishikawa a Fielding 1998).

Regresné modely migrácie sú v porovnaní s interakčnými modelmi mimoriadne flexibilné. Rozšírenie modelu o novú vysvetľujúcu premennú alebo ďalšiu rovnicu nevedie spravidla k osobitným problémom. Práve zásluhou tejto flexibility existuje v súčasnosti značné množstvo rozmanitých migračných modelov regresného typu. Pozitívnou vlastnosťou regresných migračných modelov je aj existencia rôznych štatistik zhody

medzi predikovanými a skutočnými hodnotami migračnej premennej, ktoré umožňujú korektné posúdiť účinnosť a presnosť regresného modelu. Z ostatných predností regresných modelov môžeme spomenúť relatívne jednoduchú manipuláciu s modelom, štandardný a v zásade bezproblémový odhad parametrov modelu a tiež široké možnosti využitia modelov pri projekciách migrácií (Smith et al. 2000, pp. 123-135, 185-214).

Závažným nedostatkom regresných migračných modelov je ich vnútorná inkonzistencia. Regresné modely nemajú ohraničenia celkového počtu emigrantov a imigrantov pre jednotlivé regióny, a preto spravidla silne podhodnocujú celkový počet migrantov v systéme. Okrem toho je ťažké špecifikovať regresný model tak, aby predikoval vnútroregionálne migrácie. Inou nevýhodou migračných modelov regresného typu je ich nestabilita, ak sa aplikujú na migračné matice obsahujúce nulové alebo veľmi malé toky (cf. Flowerdew 1991). Napokon treba upozorniť, že v regresných migračných modeloch sa môžeme stretnúť s celým radom problémov, ktoré sú typické pre regresné modely vo všeobecnosti. Najdôležitejšie z nich majú svoj pôvod v čiastočnom alebo úplnom nedodržaní predpokladov týkajúcich sa charakteru rozdelenia náhodných zložiek a vzájomnej nezávislosti pozorovaní jednotlivých vysvetľujúcich premenných (Haining 1990, pp. 330-350).

Na záver tohto odseku spomenieme ešte niekoľko špecifických prístupov k modelovaniu interregionálnych migrácií prostredníctvom regresných modelov. Ak je migračná premenná definovaná ako celočíselná diskretná veličina, potom odhad parametrov regresného modelu by nemal vychádzať z predpokladu normálneho rozdelenia náhodných zložiek. V tomto prípade je vhodné aplikovať *modely založené na Poissonovej regresii*. Ide o špeciálny typ tzv. zovšeobecnených lineárnych modelov (cf. O'Brien 1992), kde funkciou väzby je exponenciálna funkcia a náhodné zložky majú Poissonovo rozdelenie. V migračných modeloch Poissonovej regresie dochádza k šťastnému spojeniu viacerých predností regresných a interakčných modelov. Poissonova regresia zachováva flexibilitu modelu, dovoľuje zaviesť ohraničenia, odhady parametrov modelu nie sú zaťažené systematickou chybou, špeciálne miery zhody umožňujú porovnávanie rôznych modelov a pod. O rozšírenie modelov Poissonovej regresie v migračnom kontexte sa zaslúžili najmä britskí geografi (cf. Flowerdew 1991, Flowerdew a Boyle 1995, Millington 2000).

Z ďalších inovácií stojí za pozornosť formulácia migračného modelu pomocou expanznej metódy E. Casettiho, ktorá dovoľuje časovo-priestorovú variabilitu parametrov regresného modelu v extrémne jednoduchej forme (Fotheringham a Pitts 1995), ďalej návrh metódy na hľadanie vhodnej formy funkčnej závislosti medzi premennými modelu (Fik a Mulligan 1998) a napokon zaujímavý prístup k dekompozícii migračného modelu, ktorý umožňuje izolovať rôzne efekty priestorovej štruktúry na migráciu (Shen 1999b).

4. MARKOVOVE MODELY MIGRÁCIE

Markovove migračné modely sú stochastické modely sformulované na báze teórie konečných stacionárnych Markovových reťazcov, ktorá opisuje náhodné zmeny stavov nejakého systému pozorovaného v diskretných časových okamihoch (Walter 1970, pp. 19-64). Postupnosť náhodných zmien stavov systému tvorí *Markovov reťazec*, ak pravdepodobnosť toho, že systém v okamihu t bude v stave j , závisí výlučne od stavu systému v bezprostredne predchádzajúcom okamihu $t-1$, a nezávisí od toho, v akých sta-

voch sa systém nachádzal v okamihoch, ktoré predchádzali okamih $t-1$. Táto charakteristická vlastnosť Markovovho reťazca, vyjadrujúca ideu nezávislosti stavov v budúcnosti od stavov v minulosti, sa označuje ako *Markovova vlastnosť*. Podmielená pravdepodobnosť p_{ij} toho, že systém bude v okamihu t v stave j za podmienky, že v okamihu $t-1$ bol v stave i , sa nazýva pravdepodobnosť prechodu zo stavu i do stavu j . Ak žiadna z pravdepodobností prechodu nezávisí od času, Markovov reťazec sa nazýva stacionárny. Ak je počet stavov systému konečný, hovoríme o konečnom Markovovom reťazci.

Pravdepodobnosti prechodu p_{ij} pre všetky $i, j = 1, 2, \dots, s$, kde s označuje počet možných stavov, sa udávajú vo forme štvorcovej matice pravdepodobností prechodu \mathbf{P} stupňa s . Ak sa v čase $t-1$ systém nachádza v stave opísanom riadkovým vektorom pravdepodobností $\mathbf{x}(t-1)$, potom pre stav \mathbf{x} v čase t platí

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(t-1)\mathbf{P}$$

a všeobecnejšie

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}(0)\mathbf{P}^t,$$

kde $\mathbf{x}(0)$ je vektor pravdepodobností začiatočných stavov systému.

V jednoduchých aplikáciách Markovových reťazcov na migračné procesy sa vychádza z predpokladu, že množina stavov systému korešponduje s rozložením obyvateľstva podľa regiónov a zmenou stavu (resp. prechodom) sa rozumie migrácia z jedného regiónu do druhého. Potom i -ta zložka vektora $\mathbf{x}(t)$ je pravdepodobnosť, že migračná jednotka býva v regióne i v čase t a prvky matice \mathbf{P} sú pravdepodobnosti jej premiestnenia z regiónu i do regiónu j . Pritom sa predpokladá, že rozdelenie pravdepodobností toho, kde sa daná migračná jednotka bude nachádzať v nasledujúcom okamihu, závisí výlučne od miesta jej súčasného bývania a nezávisí od toho, kde bývala v predchádzajúcich okamihoch.

Ak vyjdeme z načrtnutej interpretácie, potom podľa R. D. MacKinnona (1975) môžeme rozlíšiť dva základné spôsoby využitia Markovových reťazcov pri modelovaní interregionálnych migrácií. Prvý z nich predstavuje konštrukcia jednoduchých projekčných modelov na odhad rozloženia obyvateľstva v budúcnosti v dôsledku migrácie. Druhým spôsobom je využitie teórie Markovových reťazcov na odvodenie niektorých stochastických charakteristík rozloženia obyvateľstva, ktoré sa týkajú jeho rovnovážneho stavu a podmienok, za ktorých sa tento stav dosiahne.

V prípade tzv. regulárnych Markovových reťazcov je rovnovážny stav určený vektorom stacionárnych pravdepodobností stavov systému dosiahnutých systémom za nekonečne dlhý čas. Podstatným znakom rovnovážneho rozdelenia je, že stacionárne pravdepodobnosti nezávisia od začiatočného stavu, ale iba od matice pravdepodobností prechodu. V migračnom kontexte sa takéto rozdelenie pravdepodobností dá interpretovať ako hypotetické rozloženie obyvateľstva, ktoré by sa dosiahlo vtedy, keby sa nekonečne dlho realizoval daný vzorec interregionálnej migrácie bez akéhokoľvek vplyvu prirodzenej reprodukcie. Dôležité je, že toto rozloženie nezávisí od začiatočného rozloženia obyvateľstva, ale iba od pravdepodobností premiestnenia medzi regiónmi. Hoci rovnovážne rozloženie je čisto hypotetickou konštrukciou, jeho význam spočíva v tom, že vyjadruje dlhodobé implikácie existujúcich trendov priestorovej mobility obyvateľstva (Rogers 1975).

V tejto súvislosti je potrebné upozorniť, že obidva prístupy k modelovaniu migračných procesov sa opierajú o nasledujúce štyri predpoklady:

1. pravdepodobnosti p_{ij} premiestnenia z regiónu i do regiónu j sa v čase nemenia,
2. modelovaná populácia je homogénna v tom zmysle, že každý jednotlivец sa riadi rovnakými pravdepodobnosťami,
3. prechody sa uskutočňujú v jednotkových časových intervaloch,
4. v migračnom systéme platí Markovova vlastnosť (Plane a Rogerson 1994, p. 171).

Nie je ťažké zistiť, že ani jeden z týchto predpokladov nie je úplne realistický. V prvom rade je zrejmé, že pravdepodobnosti premiestňovania medzi regiónmi nie sú konštantné v čase. Veľmi problematický je predpoklad homogenity modelovanej populácie. Rôzne skupiny osôb bývajúc v danom regióne môžu mať veľmi rozdielny sklon k migrácii do rôznych regiónov v závislosti od veku, pohlavia, vzdelania, povolania, rodinného alebo sociálneho statusu. Diskutabilná je aj Markovova vlastnosť o „strate pamäti“ migračného systému. Rozhodovanie migrantov je totiž veľmi často motivované ich migračnou históriou a sklon k migrácii závisí okrem iného aj od toho, či daná osoba už predtým migrovala alebo nie.

Z tejto zložitej situácie sa črtajú dve možné východiská. Prvým z nich je tendencia ignorovať predpoklady Markovových modelov. Podľa názoru mnohých bádateľov (napr. Stillwell 1986; Rogers a Woodward 1991; Plane a Rogerson 1994, p. 171; Boyle et al. 1998, p. 51) Markovove modely produkujú akceptovateľné *krátkodobé* predpovede migrácie (prinajmenšom v porovnaní s inými modelmi) aj vtedy, keď predpoklady evidentne neplatia. Buď sú odchýlky od požadovaných predpokladov relatívne malé, alebo ich účinkov na presnosť predpovede nie je dost' silný, aby spôsobil výraznú chybu predpovede. Markovove modely môžu preto slúžiť ako určitý etalón pri porovnávaní kvality projekcií získaných rôznymi typmi migračných modelov.

Druhým, podstatne zložitejším riešením je akceptovať predpoklady a usilovať sa o modifikáciu Markovových modelov. Najjednoduchším spôsobom, ako vyhovieť požiadavke homogenity populácie, je zostrojenie separátnych matíc pravdepodobností prechodu pre rôzne subpopulácie (Rogers 1968, pp. 82-104). Ak nie sú žiadne dôvody očakávať zmenu v rozložení migračných tokov, alebo existuje značný stupeň neurčitosti týkajúci sa smeru zmeny, potom predpoklad stacionárnosti možno zoslabiť tak, že na určenie pravdepodobností premiestnenia použijeme migračné dáta z posledného pozorovaného obdobia. Ak sa však dajú očakávať výrazné zmeny v rozložení interregionálnych migrácií v budúcnosti, potom sú potrebné špeciálne metódy na odhad pravdepodobností prechodu varírujúcich v čase (Plane a Rogerson 1994, pp. 211-219). Markovova vlastnosť sa môže zmierniť aplikáciou modelov odvodených na báze Markovových reťazcov vyššieho rádu ako prvého.

Záverom je však potrebné konštatovať, že početné, teoreticky zdôvodnené pokusy modifikovať Markovove modely migrácie tak, aby sa maximálne priblížili realite, sa prakticky veľmi ťažko realizujú, a to buď vzhľadom na prekážky súvisiace s odhadom parametrov modifikovaných modelov, alebo tiež pre nedostatok dát potrebných na ich aplikáciu. V tom pravdepodobne spočívajú hlavné príčiny rapidného poklesu záujmu o čisté migračné modely tohto typu v poslednom desaťročí. Prehľad doterajších pokusov využiť Markovove reťazce na modelovanie migrácie a redistribúcie obyvateľstva podáva M. Kupiszewski (1990; 2002, pp. 26-35).

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu č. 2/6041/26-A „Priestorová štruktúra vnútorných migrácií na Slovensku v post-transformačnom období“, ktorý bol financovaný grantovou agentúrou VEGA.

Literatúra

- BOYLE, P., HALFACREE, K., ROBINSON, V. (1998). *Exploring contemporary migration*. Harlow (Longman).
- CLARK, W. A. V. (1986). *Human migration*. Beverly Hills (Sage).
- CUSHING, B., POOT, J. (2004). Crossing boundaries and borders: regional science advances in migration modelling. *Papers in Regional Science*, 83, 317-338.
- FIK, T. J., MULLIGAN, G. F. (1998). Functional form and spatial interaction models. *Environment and Planning A*, 30, 1497-1507.
- FLOWERDEW, R. (1991). Poisson regression modelling of migration. In Stillwell, J., Congdon, P., eds. *Migration models: macro and micro approaches*. London (Belhaven), pp. 34-56.
- FLOWERDEW R., BOYLE, P. J. (1995). Migration models incorporating interdependence of movers. *Environment and Planning A*, 27, 1493-1502.
- FOTHERINGHAM, A. S., CHAMPION, T., WYMER, C., COOMBES, M. (2000). Measuring destination attractivity: a migration example. *International Journal of Population Geography*, 6, 391-421.
- FOTHERINGHAM, A. S., O'KELLY, M. E. (1989). *Spatial interaction models: formulations and applications*. Dordrecht (Kluwer).
- FOTHERINGHAM, A. S., PITTS, T. C. (1995). Directional variation in distance decay. *Environment and Planning A*, 27, 715-729.
- GORDON, I. (1991). Multi-stream migration modelling. In Stillwell, J., Congdon, P., eds. *Migration models: macro and micro approaches*. London (Belhaven), pp. 73-112.
- GORDON, I., MOLHO, I. (1998). A multi-stream analysis of the changing pattern of interregional migration in Great Britain, 1960-1991. *Regional Studies*, 32, 309-323.
- GREENWOOD, M. J. (1985). Human migration: theory, models, and empirical studies. *Journal of Regional Science*, 25, 521-544.
- GREENWOOD, M. J. (1997). Internal migration in developed countries. In Rosenzweig, M., Stark, O., eds. *Handbook of population and family economics*. Amsterdam (Elsevier Science), pp. 647-720.
- GREENWOOD, M. J., MUESER, P. R., PLANE, D. A., SCHLOTTMANN, A. M. (1991). New directions in migration research. *Annals of Regional Science*, 25, 237-270.
- HAINING, R. (1990). *Spatial data analysis in the social and environmental sciences*. Cambridge (Cambridge University Press).
- ISHIKAWA, Y., FIELDING, A. J. (1998). Explaining the recent migration trends of the Tokyo metropolitan area. *Environment and Planning A*, 30, 1797-1814.
- ISSERMAN, A. M., ed. (1986). *Population change and the economy: social science theories and models*. Boston (Kluwer-Nijhoff).
- KUPISZEWSKI, M. (1990). Model łańcuchów Markowa w modelowaniu migracji: zastosowania i problemy badawcze. In Gawryszewski, A., Kupiszewski, M., eds. *Modele migracji*, 2. Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej, (2). Warszawa (Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania), pp. 9-36.
- KUPISZEWSKI, M. (2002). *Modelowanie dynamiki przemian ludności w warunkach wzrostu znaczenia migracji międzynarodowych*. Prace Geograficzne, 181. Warszawa (Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego).
- MACKINNON, R. D. (1975). Controlling interregional migration processes of a Markovian type. *Environment and Planning A*, 7, 781-792.
- MILLINGTON, J. (2000). Migration and age: the effect of age on sensitivity to migration stimuli. *Regional Studies*, 34, 521-533.
- O'BRIEN, L. G. (1992). *Introducing quantitative geography: measurement, methods and generalised linear models*. London (Routledge).
- PELLEGRINI, P. A., FOTHERINGHAM, A. S. (2002). Modelling spatial choice: a review and synthesis in a migration context. *Progress in Human Geography*, 26, 487-510.

- PLANE, D. A. (1984). Migration space: doubly constrained gravity model mapping of relative interstate separation. *Annals of the Association of American Geographers*, 74, 244-256.
- PLANE, D. A., ROGERSON, P. A. (1994). *The geographical analysis of population with applications to planning and business*. Wiley (New York).
- REES, P. H., WILSON A. G. (1977). *Spatial population analysis*. London (Edward Arnold).
- ROGERS, A. (1968). *Matrix analysis of interregional population growth and distribution*. Berkeley (University of California Press).
- ROGERS, A. (1975). *Matrix population models*. Thousand Oaks, Ca. (Sage).
- ROGERS, A. (1995). *Multiregional demography: principles, methods and extensions*. Chichester (Wiley).
- ROGERS, A., WOODWARD, J. (1991). Assessing state population projections with transparent multiregional demographic models. *Population Research and Policy Review*, 10, 1-26.
- SHEN, J. (1999a). Estimating nodal attractions with exogenous spatial interaction and impedance data using the gravity model. *Papers in Regional Science*, 78, 213-220.
- SHEN, J. (1999b). Modelling regional migration in China: estimation and decomposition. *Environment and Planning A*, 31, 1223-1238.
- SMITH, S. K., TAYMAN, J., SWANSON, D. A. (2001). *State and local population projections: methodology and analysis*. New York (Kluwer Academic/Plenum).
- STILLWELL, J. (1986). The analysis and projection of interregional migration in the United Kingdom. In Woods, R., Rees, P., eds. *Population structures and models: developments in spatial demography*. London (Allen and Unwin), pp. 160-202.
- STILLWELL, J. (1991). Spatial interaction models and the propensity to migrate over distance. In Stillwell, J., Congdon, P., eds. *Migration models: macro and micro approaches*. London (Belhaven Press), pp. 34-56.
- STILLWELL, J., CONGDON, P., eds. (1991a). *Migration models: macro and micro approaches*. London (Belhaven).
- STILLWELL, J., CONGDON, P. (1991b). Migration modelling: concepts and contents. In Stillwell, J., Congdon, P., eds. *Migration models: macro and micro approaches*. London (Belhaven), pp. 1-16.
- WALTER, J. (1970). *Stochastické modely v ekonomii*. Praha (SNTL a Alfa).
- WILSON, A. G. (1970). *Entropy in urban and regional modelling*. London (Pion).
- YANO, K., NAKAYA, T., FOTHERINGHAM, A. S., OPENSHAW, S., ISHIKAWA, Y. (2003). A comparison of migration behaviour in Japan and Britain using spatial interaction models. *International Journal of Population Geography*, 9, 419-431.

Main directions in the modelling of interregional migration

Summary

A number of approaches have been developed by the researchers from different disciplines in their attempts to understand internal migration. It is the aim of this paper to review and evaluate the main approaches to the modelling of interregional migration flows. In the introductory section some theoretical underpinnings of migration models in general are discussed. In the first place, attention is given to the purpose (e. g. explanations of historical migration movements or forecasting of migration activity in the future) for which the model is intended. Then, the distinction between micro and macro approaches to migration modelling is used as a useful guiding principle for classification of migration models.

The next three sections deal essentially with three specific forms of macro models developed for modelling of interregional migration flows. In the second section the family of spatial interaction models is introduced and the different models that constitute the family are described. The value of spatial interaction models for

examining spatial and temporal variations in the propensity to migrate over distance is evaluated in some detail. Some alternatives to the basic spatial interaction model, including an inverse gravity model and competing destinations model, are also briefly mentioned.

In the third section the focus moves to regression models in which variables relating to the socio-economic conditions at the origins and destinations are used to explain or project migration flows between regions. Two classes of regression models – recursive and nonrecursive – are presented and the main advantages and shortcomings of each class are examined in brief. In addition to this discussion, a comparison between the spatial interaction modelling approach and standard regression approach is undertaken. As a consequence, the Poisson regression analysis, which combines the strengths and avoids most of the weakness of the two approaches, is recommended for migration modelling.

The last section of the paper is devoted to Markov chain models of migration. The underlying assumptions in Markov models are formulated and some possible lines of approach for dealing with violations of the assumptions are suggested. It is argued that Markov models can still give reasonable short-term forecasts even when the assumptions are not satisfied.