

M. KONEČNÝ—K. RAIS

GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY

1985

UNIVERZITA J. E. PURKYNĚ V BRNĚ

1985

PŘEDMLUVA

Žijeme v období vědecko-technické revoluce, pro niž je charakteristický prudký nárůst informací, dokonce takový, že se podle některých názorů nevyužívá ani z padesáti procent. O to více vzrůstá význam shromažďování informací a jejich ekonomického a racionálního využití.

Vědy o Zemi, zvláště geografie, hledají tradičně nejefektivnější prostředky zachycení reality a prostorově-časových vztahů v ní. Osvědčené mapové vyjádření bylo a je nejvhodnějším prostředkem znázornění výsledků geografických výzkumů. Velmi vhodným prostředkem pro realizaci rychlých, racionálních a efektivních výstupů jsou různé formy geografických systémů. Těm je věnována následující práce.

Poznání vhodnosti, účelnosti, ale i náročnosti tvorby a provozu geografických informačních systémů vzniklo zejména v průběhu řešení státních výzkumných úkolů na katedře geografie přírodovědecké fakulty Univerzity J. E. Purkyně v Brně, a to v oblasti Rosicka-Oslavanska a aglomeraci města Brna. Řada problémů byla diskutována nejen s pracovníky katedry geografie, ale i Ústavu výpočetní techniky Univerzity J. E. Purkyně v Brně (doc. dr. J. Hořejš, CSc., dr. V. Račanský, CSc., dr. H. Fendrychová, dr. I. Černošáková) a na některých zahraničních pracovištích, zejména v MGU v Moskvě (prof. J. G. Simonov, DrSc., doc. V. S. Tikunov, DrSc., doc. A. Berlant, DrSc., dr. V. I. Klenov, CSc.), Tbilisi (doc. N. L. Beručašvili, DrSc.) a Wroclavi (dr. W. Zyszkowska, dr. J. Czerwinski). Při zpracování textu byly též využity poznatky z konzultací s prof. K. Brasselem z Univerzity v Curychu. Na grafických pracích se podílely pracovnice katedry geografie J. Janošíková, Z. Valoušková, A. Povolná a J. Vaverková. Je naší milou povinností vyslovit všem jmenovaným za podnětné připomínky, diskuse, konzultace a dobře odvedenou, obětavou práci, dík.

Autoři práce neměli lehkou úlohu, neboť téma nebylo dosud v ČSSR ani jiných socialistických zemích v rámci ucelené knižní publikace ani učebnice zpracováno. Proto se kromě studia zahraniční literatury a vlastních zkušeností inspirovali zejména sborníky z konferencí a seminářů, věnovaných řešení dílčích otázek problematiky u nás. Přitom se zaměřili nejen na tradiční geografický pohled týkající se sběru, zpracování a vyhodnocení dat, ale i postupy, které je třeba uskutečnit při projektování,

realizaci a týmovém zabezpečení provozu a využití geografických informačních systémů v geografii i praxi.

Nejprogresivnější složkou uplatnění geografických informačních systémů v praxi je počítačová grafika, mající v geografii a kartografii podobu tzv. počítačové kartografie. Ve srovnání s tradičními kartografickými prostředky je automatizované zpracování dat rychlejší, racionálnější a efektivnější. Na rozdíl od prvních počítačových map (kartogramů), které se od tradičních tematických map lišily zejména estetickým dojmem, jsou mapy produkované v poslední době na moderních technických zařízeních téměř neodlišitelné. Úspora pracovních sil a rychlost, s níž mohou být na základě geografického informačního systému používány, je předurčuje pro velmi výhodné uplatnění v praxi.

1. ÚVOD

Výpočetní technika proniká do všech oblastí geografického výzkumu. Její uplatnění je do značné míry závislé na technickém vybavení pracovišť, dostupnosti potřebné techniky a často i schopností překonávat překážky provázející zavádění nových prostředků při řešení geografických úloh. Těžiště rozpracování nových metod výzkumu pomocí výpočetní techniky leží v oblasti myšlenkové, ideové. Po počátečním nadšení a pozdějším vystřízlivění se znovu potvrdilo, že prvořadým předpokladem k řešení vědeckých úloh je stanovení cíle výzkumu, definice, algoritmizace a formalizace vědecké metody řešení, jakož i určení nejvhodnějších variant výstupu.

Dosud velmi málo publikací se však zabývá hledáním teoretických a koncepčních směrů při využití výpočetní techniky v geografii. Většina z nich se soustřeďuje na ukázkou aplikací a programové zpracování již známých matematických i statistických postupů, tedy směry nezbytné pro výzkumy i aplikace geografického výzkumu. Pro obohacení dalšího teoretického a následného praktického rozvoje geografie bude nezbytné rozpracování vyššího stupně matematizace geografie, která s velkou pravděpodobností posune možnosti geografie vpřed.

Uvedené názory lze dokumentovat tlumočením tvrzení některých průkopníků zavádění výpočetní techniky v geografii. Tak T. Hägerstrand, 1967, švédský profesor, uvažuje využití počítačů k následujícím cílům:

1. vyhotovování map
2. analytickým účelům
3. modelování.

P. Hagget (1969), známý britský geograf, vymezuje čtyři aplikační roviny využití počítačů v geografii:

1. výpočty pomocí multivariačně-statistických metod
2. vytyčování plošných trendů
3. vyhotovování map
4. simulace.

Velký rozmach zaznamenalo využití výpočetní techniky v SSSR a dalších socialistických zemích, zejména NDR a MLR. O koncepcích sovětských geografů a kartografů se ještě zmíníme.

V československé geografické literatuře dosud neexistuje ucelená publikace řešící uvedenou problematiku. Kromě článků jednotlivých autorů byly vůbec první práce J. Krcha (1970, 1971) následované rozsáhlou prací s názvem Morfometrická analýza reliéfu na základě geometrického aspektu teorie pole (1973), psaná v anglickém jazyce se zkráceným resumé ve slovenském jazyce. Řada prací řešící dílčí otázky problematiky se objevila v kartografické literatuře, zejména v časopise Geodetický a kartografický obzor. Jedna z prvních map vyhotovených pomocí počítače se objevila v knize J. Demka (ed., 1972). Posledními československými pra-

cemi v oblasti problematiky výpočetní techniky v geografii jsou studie autorů Š. Poláčka (editor), J. Oñahela a J. Paulova (1982) Hlavné smery vo využívaní samočinných počítačov v geografii, M. Konečného (1983) Antropogenní transformace reliéfu: kartografické a matematicko-kartografické modely, a učební text M. Konečného, K. Raise a V. Touška (1984), Vybrané kapitoly využití výpočetní techniky v geografii (Počítače v geografii).

Obdobná situace je i v literatuře zahraniční. Řada publikací je věnována dílčím oblastem využití výpočetní techniky v geografii. Ke známým dílům patří kniha autora P. Mathera *Computers in Geography* (1976), vydaná v r. 1981 i v ruském překladu *Kompjutery v geografii* a kniha *Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography* (1976). Z novějších prací jsou to díla autorů sdružených v rámci Mezinárodní geografické unie (IGU) v komisi *Data Sensing and Processing* vedené prof. D. F. Marblem. K nejnovějším pracím náleží třísvazková publikace Marble et al. (1980) *Computer Software for Spatial Data Handling* zabývající se způsoby zpracování prostorových dat. Tato kniha je doplněna řadou hotových, aplikovatelných programů. Z dalších anglicky psaných prací zaměřených na kartografické výstupy pomocí výpočetní techniky upozorňujeme na práce Taylora (1980, 1983) a Monmoniera (1982).

V sovětské literatuře se otázkami spjatými s modelováním pomocí počítačů zabývá kniha žáků prof. Sališčeva, V. T. Žukova, S. N. Serbenjuka a V. S. Tikunova *Matematiko-kartografičeskoje modelirovanije*. Z německy psané literatury se problematice věnují práce Bollmanna (1980) a Brassela (1974). Z řady francouzských prací upozorňujeme na knihu Racine, Reymond (1973), která byla přeložena do polštiny (1977).

Také domácí i zahraniční časopisecká literatura věnuje zvýšenou pozornost dílčím otázkám výpočetní techniky v geografii nebo geografických informačních systémů. Ze zahraničních časopisů jmenujme alespoň *Vestnik Moskovskogo universiteta*, ser. geografija, *Izvestija vsesojuznogo geografičeskogo občestva*, *Izvestija AN SSSR serije geografičeskaja*, *ITC Journal*, *Geoforum*, *Geojournal*, *Computer Applications in the Natural and Social Science*, *Mapping Sciences and Remote Sensing* a řada dalších.

2. DEFINICE NĚKTERÝCH ZÁKLADNÍCH POJMŮ

Hovoříme-li o geografických informačních systémech, pak je nezbytné je před vlastním popisem a rozбором přesně definovat. Situace však ani v základních pojmech není zcela jednoznačná, různí autoři definují geografický informační systém různě. Za velmi zdařilou považují autoři této práce definici Langeforse (1966): *Informační systém* je takový systém, který obsahuje složky pro sběr, předávání, uchování, zpracování a vydávání informací o území“ (obr. 1). V souvislosti s dále uvedeným doporučením IGU, které se týká dekompozice geografického informačního systému a v souvislosti s obsahovou stránkou této práce, budou autoři vycházet z následující definice:

„*Geografický informační systém* je systém lidí a technických a organizačních prostředků, které provádějí sběr, přenos, uložení a zpracování údajů za účelem tvorby informací vhodných pro další využití v geografickém výzkumu a jeho praktických aplikacích.“

Základní složky systému	úroveň		
	obecná	interpretační	konstrukční
prvek	údaj informace	fond dat informací	Základna dat banka dat
vazba	vztah mezi daty, informacemi	logické vazby fond algoritmů	knihovny programů

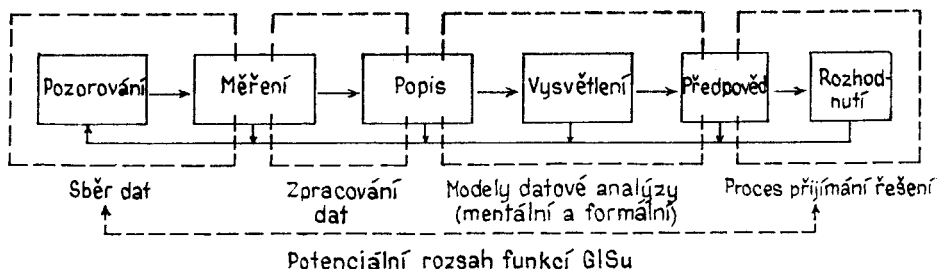
Obr. 1. Základní složky a úrovně informačního systému

Základními prvky geografického informačního systému jsou *informace*. Určení jejich obsahu a definice je proto důležitým předpokladem pro stanovení náplně a funkcí informačního systému. Informací budeme na stránkách této práce rozumět množinu dat (údajů), která má smysl a která je k dispozici uživatelů pro další geografické zpracování.

V budoucnu se zajisté setkáme i s *geografickými automatizovanými informačními systémy*, které lze definovat jako „část informačního systému, který je realizován na množině lidí a automatizačních prostředků,

kteří provádí sběr, přenos, uložení a zpracování údajů za účelem tvorby informací vhodných pro další využití v geografickém výzkumu a jeho praktických aplikacích“. Domníváme se, že je na místě zdůraznit fakt, že geografický automatizovaný informační systém nebude sloužit pouze pro automatizované zpracování dat, ale měl by se stát integrální součástí celého systému zpracování a využití geografických informací při plném respektování jejich prostorově-časového charakteru.

Rozsah potenciálních funkcí v geografickém informačním systému uvádíme na obr. 2.



Obr. 2. Rozsah funkcí geografického informačního systému (podle Calkinse 1977)

Jak jsme již uvedli, je tedy prvkem geografického informačního systému informace, přičemž stupeň agregace informace závisí na rozlišovací úrovni. Informace pro určitou rozlišovací úroveň se současně z hlediska vyšší rozlišovací úrovně jeví jako údaj, jako součást vstupních dat pro generování informace (agregovanější) vyššího řádu.

Obvykle neexistují žádné rozpory v úvahách o tom, co jsou to *data*, i když s explicitní definicí se setkáváme zřídka. Data jsou zpravidla považována za izolovaná fakta, kterým je (operacemi zpracování dat) přiřazen jistý význam, z něhož lze vyvozovat určité závěry. Data tedy můžeme chápat jako surovinu, kterou můžeme zpracováním změnit na informaci. Data jsou tedy základním stavebním prvkem v procesu tvorby informací. Jsou jednak objektem zpracování, jednak jsou základem pro **informace, analýzu a rozhodování**.

Dalším pojmem, s nímž se na stránkách této práce setkáme, je údaj. Údaj zobrazuje určitou vlastnost objektu, která může být kvantitativního nebo kvalitativního charakteru a je reprezentován názvem a hodnotou.

3. MATEMATIZACE GEOGRAFIE

Matematizace geografie je organicky spjata s matematizací vědy jako celku. Geografie byla svým způsobem matematizována již od svého vzniku, zejména nerozlučným spojením výsledků svých výzkumů s mapovým vyjádřením. Největšího rozmachu však dosahuje v období vědeckotechnické revoluce v souvislosti s nutností řešení složitých vztahů v geografické sféře. Zejména komplexní studie mnohoparametrických geosystémů, ocenění jejich funkce, dynamiky a evoluce si vyžádalo zavedení nových postupů a metod. Zpravidla čerpají z výsledků vstřícných geografických a matematických výzkumů.

3.1 MATEMATIZACE VĚDY

Matematizace vědy není novým procesem, za jaký je často pokládána. Začala již velmi dávno, v antice. Za zmínku stojí vznik eukleidovské geometrie a algebra Arabů. Celý dosavadní vývoj vědy má tendenci k matematizaci vědeckých poznatků a vědy vůbec. Dnešní důraz na matematizaci je podle N. I. Karpovové a A. A. Ljapunova (1983) motivován především prudkým zrychlením tohoto procesu. Uplatnění matematiky klade nové požadavky na samotné empirické poznatky (geografie dosud zůstává z velké části empirickou vědou).

Překážkou zavádění matematiky do řady věd, zejména popisných, je specifická kultura myšlení a abstraktní jazyk matematiky umožňující popsat jednotně i velmi rozdílné procesy. Ne nadarmo klasikové marxismu-leninismu tvrdí, že úroveň rozvoje dané vědecké disciplíny charakterizuje zejména její schopnost užívat matematických metod, tj. schopnost napojit se na systém univerzálních výzkumných postupů, které matematika jako celek představuje. Bezprostředně však matematika může zpracovávat informace tak, aby se podle nich dalo rozhodovat.

Sovětský akademik A. A. Dorodnicin (1983) dělí vědy na *exaktní* a *popisné*. Za exaktní považuje takovou vědu, která má prostředky pro praktické, dostatečně přesné předvídání průběhu zkoumaných procesů na dostatečně dlouhou dobu (podle praktických potřeb daného oboru) nebo takovou vědu, která dokáže na základě určité výchozí informace dostatečně přesně předvídat vlastnosti zkoumaných objektů a vztahy mezi nimi. Popisnou vědu charakterizuje soupisem poznatků o zkoumaných objektech a procesech, přičemž mezi těmito poznatky někdy ani není zřejmá souvislost nebo častěji je omezena jen na nějaké kvalitativní vztahy. Často se však vyskytují i nesoustavné poznatky o kvantitativních vztazích. Většinu věd považuje autor za popisné, což je charakteristika vývojové etapy vědy.

Poněvadž podle výše uvedeného hodnocení patří zčásti do věd popisných i geografie, prozkoumejme spolu s A. A. Dorodnicinem, jak probíhá vývoj vědeckých oborů. Každá věda vzniká v několika souběžných prouděch, které se dále rozvíjejí. Počátek souhlasí s *cílevědomým sběrem*

informací o zkoumaných objektech (jevech, pojmech aj.). Člověk — ale i zvíře — vždycky podvědomě shromažďuje informace (pravdivé i nepravdivé) o objektech kolem sebe. Vědecké shromažďování informací se od živelného liší větší správností výsledků (i věda se může mýlit) a zejména cílevědomostí; věda shromažďuje informace záměrně, aby pochopila podstatu objektů a jejich vzájemné vztahy.

Současně, či téměř současně, se sbíráním informací začíná jejich *třídění* — *klasifikace* objektů. Těto činnosti je schopen opět člověk i zvíře, aniž potřebuje vědu. Výsledkem je pak spontánní, spotřebitelská klasifikace, z velké části subjektivní, o níž rozhoduje vztah člověka k danému objektu. Vědecká klasifikace je naproti tomu opět cílevědomá — má usnadnit analýzu zkoumaných objektů (ačkoliv se může stát, že je též subjektivní).

Uvedené dva proudy sbírání a třídění informací se ustavičně stýkají a ovlivňují, spjaty procesem *identifikace*. O každém novém objektu se musí analýzou rozhodnout, zda patří k některé již uvedené klasifikační třídě nebo zakládá novou třídu, nebo zda množstvím nových informací dokonce vyvolává nutnost celý klasifikační systém předělat.

Třetím proudem v rozvoji vědy je *objevování souvislostí a vztahů* mezi objekty, a to vztahů kvalitativních i kvantitativních. Zjišťují se neustálou analýzou získávaných a utříděných informací. Jejich obecná platnost se tedy určuje empiricky, nedokazuje se. Uvedené tři proudy jsou charakteristické pro „popisné“ období vývoje vědy. Délka takového období může trvat tisíce let, stejně jako zvrát „kvantity v kvalitu“ může probíhat velmi dlouho. Množství získaných poznatků o souvislostech a vztazích mezi objekty umožní formulovat rozhodující základní principy, z nichž se všechny ostatní vztahy dají odvodit dedukcí.

Tento přechod kvantity v kvalitu začíná pokusy vytvořit matematické modely zkoumaných procesů (ve vývoji vědy nejde vždy nutně o tvoření matematických modelů, jak o tom svědčí např. vznik Daviesovy teorie v geomorfologii, která vytváří modely vývoje reliéfu bez matematického vyjádření). Matematický model však vyžaduje nějaké přesně definované veličiny. Proto se musí určit podstatné vlastnosti zkoumaného jevu a přiřadit jim kvalitativně přesně definované (měřitelné) veličiny. Ve vývoji vědy tak vznikají dva nové proudy — *zavádění veličin a matematické modelování*. Oba nepřetržitě navazují na starší, třetí proud, na zjišťování souvislostí a vztahů. Za počátek exaktního období pak lze považovat dobu, kdy zvolené veličiny a matematické modely poprvé dostatečně a úplně souhlasí s fakty nashromážděnými ve třetím proudu.

Nabízí se otázka, kde ve vyličeném vývojovém procesu vědy se mohou účinně uplatnit matematické metody? Pokud neuvažujeme matematické metody s. s. (analytické metody), ale přísně formalizovaná pravidla zpracování informací, bude odpověď znít — všude. Nejpádňější důkazy poskytuje budování automatizovaných informačních systémů (v geografii známe informační systémy o území, kartografické banky dat apod.), či matematizované přístupy ke klasifikacím. Ukazuje se, že i jedny z nejpracovanějších klasifikací — botanické a zoologické — jsou subjektivní, neboť jsou přes pečlivost zpracování založeny na malém počtu znaků. Větší počet znaků je pro člověka nezvládnutelný. Stejně problémy má též geografie a jiné vědní obory.

Zkušenost v oblasti klasifikací ukazuje, že o objektivnosti lze hovořit tehdy, kdy počet možných klasifikačních tříd značně převyšuje počet klasifikovaných objektů. Při zjišťování souvislostí a vztahů objektů a jevů (třetí proud) se matematické metody užívají již tradičně. Využívá se přitom statistické, kombinatorické a logické analýzy. Také v tomto případě se velmi výrazně uplatňuje výpočetní technika.

Nejsložitější je pak tvorba matematických modelů, zejména v popisných vědách. I v geografii máme k dispozici obrovské množství informací, ale forma pohybu hmoty, někdy se hovoří o geografickém pohybu hmoty, je složitější než například mechanický pohyb a úměrně tomu jsou složitější i jednotlivé modely. Abychom i v této oblasti zaznamenali pokrok, je třeba modernizovat celý postup vědecké práce a výzkum provádět v ustavičném *dialogu s počítačem*. Schematicky dělíme postup do 6 etap (Dorodnicin, 1983):

1. Úvahy o možných formách souvislostí a vztahů (člověk).
2. Vypracování varianty matematického modelu (člověk).
3. Řešení modelových úloh (počítač).
4. Srovnání výsledků s empirickými daty a určení odchylek (počítač).
5. Analýza možných příčin odchylek (člověk).
6. Vypracování nové varianty modelu (člověk).

Cyklus se pak opakuje od bodu 2 do bodu 6 stále znovu, až výsledný model dobře popisuje empirická data a vztahy.

Nejobtížnější ovšem zůstává volba veličin a její formalizace. Objevy v této oblasti jsou připisovány spíše intuici, kterou do počítače zatím vložit nedokážeme. Víme však, že tyto základní veličiny musíme hledat v materiálu třetího proudu a jde o to je rozpoznat.

Přes značné rezervy rozvoj užívání matematiky urychluje přechod od popisné k exaktní vývojové etapě daného oboru.

Obdobný, byť do značné míry nadstavbový charakter, má i *kybernetizace vědy*. Její vznik se datuje r. 1948, kdy americký matematik Norbert Wiener publikoval práci *Kybernetika*. Uvedený autor považuje za předmět kybernetiky zkoumání procesů řízení a zpracování informací v technických systémech i v živých organismech a kolektivech složených ze živých organismů a technických prostředků. Sovětský matematik A. Kolmogorov definuje kybernetiku následovně: „... je věda zabývající se studiem systémů libovolné povahy, které jsou schopné přijímat, uchovávat a zpracovávat informaci a využívat ji k řízení a regulaci“. Pro geografy jsou zejména zajímavé ty oblasti kybernetiky, které se zabývají zpracováním a využitím informací, jakož i nové přístupy k organizaci a struktuře modelované krajinné sféry. Omezení kybernetiky pro geografů spočívá mimo jiné v tom, že jde o pouhý nástroj, který usnadňuje řešení úkolů, ale neumožňuje odpovědět na základní otázky, jako proč problém řeší, jaké jsou jeho cíle, co chce dosáhnout a volbu metod k dosažení. Při řešení problémů proto výhodně používá *systémový přístup*, při němž postupuje následovně:

- a) definuje cíle

- b) provádí vlastní detailní analýzu
- c) předkládá metody, jak s danými zdroji a možnostmi stanovených cílů dosáhnout a tím problém vyřešit.

Systémový přístup geografa k zadanému problému zdůrazňuje všechny základní myšlenky dialektiky a zaměřuje se na zkoumání prvků systému, vazeb mezi nimi a z hlediska funkce prvků i celku, na vazby mezi systémem a jeho okolím a na vývojové tendence systému.

3.2 MATEMATIZACE V GEOGRAFICKÝCH DISCIPLÍNÁCH

Matematizace se začala v geografii výrazně projevovat v 60. letech. Podle L. L. Vasilevského a J. V. Medvedkova (1976) motivují *geografii ve vztahu k matematice* následující skutečnosti:

- a) možnost vytvoření metodik, které povedou k lepší odůvodnitelnosti, spolehlivosti a přesnosti závěrů,
- b) zpřesněný a zobecněný výklad teorie s důrazem na objasnění obecných vlastností nebo homologičnosti struktur u vzhledově a předměťově různých jevů,
- c) možnost heuristicky plodných intelektuálních kontaktů s jinými disciplínami pomocí formulace závěrů v obecně vědeckém jazyce matematiky.

Při sestavování geografických teorií se neobejdeme bez objektivních a univerzálních prostředků analýzy. Velmi často využíváme specializovaných jazyků, zvláště matematických. V praxi probíhá zobrazení struktury reálného světa do matematického systému v několika následných etapách (Körner S., 1960, s. 182):

1. Záměnou empirických pojmů a pravidel matematickými.
2. Následným výstupem výzkumu získaným na základě matematizovaných předpokladů.
3. Záměnou některých zjištěných matematických pravidel empirickými.
4. Experimentálním potvrzením stanovených empirických pravidel.

První krok posloupnosti je rozhodující, neboť předpokladem využití matematického jazyka je přesná formulace pojmů a pravidel. Jsou-li empirické pojmy zformulovány nejasně a dvousmyslně, je nasazení adekvátního přesného matematického jazyka velmi složité a nevede zpravidla ke správným výsledkům. Celý proces je velmi složitý, jak to vystihuje i citát Einsteina (1923, s. 27): „Pokud se zákony matematiky vztahují ke skutečnosti, nejsou přesné; pokud jsou přesné, nevztahují se ke skutečnosti“.

Buďme poněkud optimističtější než tento věhlasný fyzik a pokusme se

v souladu s Harveyem (1974) stanovit alespoň „přibližná“ pravidla na složitě cestě *matematizace*:

1. Nezbytnými předpoklady použití matematického vyčíslení (výpočtu) je:
 - a) rozpracování přesných, nedvousmyslných a empiricky podmíněných pojmů
 - b) přesný výklad vztahů mezi těmito pojmy.
2. Má-li vybraný matematický výpočet zobrazovat tyto pojmy a vztahy, musí být podle možnosti:
 - a) jednoduchý a vhodný pro převod
 - b) zobrazovat přesně empirické pojmy
 - c) přesně zobrazovat strukturu a charakter vyjasněných vztahů.
3. Při nasazení matematického výpočtu je třeba uvažovat předpoklady pro využití vybraného modelu a pokud je to možné, zaručit jejich souhlas se studovanými podmínkami reality nebo metodou popisu těchto podmínek.
4. Pokud v zájmu použitelnosti matematického modelu poněkud modifikujeme pojmy a vztahy, je nezbytné vždy přesně ohodnotit, nakolik jsou tyto změny oprávněné z empirického pohledu.

Uvedená pravidla jsou velmi obecná, při praktickém použití je nutno často volit kompromisní řešení se snahou nalézt optimální výběr takových různorodých faktorů, jako je jednoduchost modelu, jeho reálnost atp. I zde platí poznatek, že čím hlubší je poznání reality na základě teoretické analýzy, tím přesnější je její vyjádření pomocí matematických vztahů. Důkazem je využití konkrétních matematických metod, především geometrie a teorie pravděpodobnosti, jakož i matematické analýzy a jejich odvětví. Především prvně dvě jmenované disciplíny přispěly k dílčímu projevu matematizace geografie, a sice její kvantifikaci.

3.3 KVANTIFIKACE GEOGRAFIE

Problému kvantifikace je v československé geografické literatuře věnováno několik titulů, většinou spjatých se statistikou. Uvedme alespoň tři: M. Nosek, *Metody v klimatologii* (1972), R. Brázdil a kol., *Statistika pro geography* (1982) a Z. Pavlík, *Úvod do statistických metod pro geography*. Výhradně problémům kvantifikace je věnován učební text Z. Pavlíka a K. Kühnla *Úvod do kvantitativních metod pro geography* (1981), kde čtenář najde základní metody kvantifikace, zejména ve sféře ekonomické geografie. Uvedeme zde některé základní myšlenky posledně jmenovaných autorů a vymezení pojmů nutných ke kvantifikaci. Pavlík a Kühnl připouštějí, že kvantitativní metody (mezi něž řadí i kybernetiku a systémovou analýzu) přispívají k takové integraci vědy, která umožňuje odborníkům z různých disciplín vzájemnou domluvu. Takováto integrace však má pouze metodologický charakter. Netýká se vlastní výstavby jednotlivých oborů, jejich vnitřního uspořádání a teorie, která musí vychá-

zet z vlastního předmětu a z jeho diferenciaci v realitě, kterou teorie odráží. Integrace obsahová bude mít ve vědě zcela jiný charakter, než pouhá integrace metodologická.

Autoři dále uvádějí (s.16-17) některé myšlenky týkající se vztahu kvantifikace a poznávání. Vědecké poznání má následující typické znaky: kritické myšlení, nalezení obecněji platných poznatků (pravidelností, zákonů) a jejich systematické utřídění. *Kvalitativní určenost jevů* je čini postižitelnými v jejich relativní stálosti a odlišitelnými od jiných jevů a procesů. Rozdílnost kvalit vytváří nekonečnou rozmanitost světa. Žádná věc nemůže ztratit svoji kvalitu, aniž by přestala být sama sebou. Ve vzájemných vztazích různých jevů a procesů se projevují různé vlastnosti, a proto můžeme mluvit o tom, že věci mají více kvalit.

Kvantitativní určenost jevů a procesů, jejich velikost, počet, objem, rychlost průběhu, stupeň intenzity apod. je čini naopak porovnatelnými, neboť vyjadřuje jejich podobnost. Kvantita na rozdíl od kvality vystihuje vnější charakter jevů a procesů a je tedy od nich (např. v matematice) relativně odtržitelná. Tím si zároveň můžeme vysvětlit relativní formální vyspělost oborů pracujících pouze s kvantitami vzhledem k jiným oborům vědy, které mohou jen omezeně abstrahovat od kvality zkoumaných jevů a procesů.

V souvislosti s výše uvedeným charakterizují Kühnl a Pavlík rozdíl mezi kvantitou, veličinou a číslem. *Kvantitu* (nejčastěji vyjadřujeme jako veličinu nebo číslo) lze v praxi charakterizovat dvěma způsoby, a to *spojitě* a *nespojitě*. První způsob představuje zobrazení kvantity pomocí spojitě se měnících fyzikálních veličin (délky, váhy, teploty aj.) Tyto kvantity lze zjišťovat (měřit, číselně vyjadřovat) jenom do určité přesnosti. Operace s těmito kvantitami takto vyjádřenými se provádí pomocí fyzikálních modelů na základě analogie, a proto se označují přístroje na nich založené jako analogové počítače (např. logaritmické pravítko).

Nespojitě zobrazení kvantity docílujeme pomocí smluvených symbolů-čísel, která se skládají z číslic. Uspořádání číslic v číslech je dáno přijatou číselnou soustavou.

Kvantifikaci rozumí Pavlík s Kühnlem (1981, s. 18) *přirázování určitých čísel určitým jevům podle určitého pravidla*. Kvantitativní a číselně vyjádřené však není totéž. Lze říci, že se ve způsobu vědeckého poznávání neustále opakuje jeho historie (je to obdoba známého zákona, že ontogeneze je opakování fylogeneze). Od poznání kvalitativního pouze postupně přecházíme k poznání kvantitativnímu. Čím je realita komplexnější (a to je právě případ reality geografické), tím je takový přechod obtížnější. O geografické poloze (např. exponovanosti, dopravní dosažitelnosti) určité obce nebo intenzitě vyhledávání rekreace jejími obyvateli se můžeme domnívat podle určité hypotézy, že mají kvantitativní určenost ještě před tím, než se nám ji podaří vyjádřit číselně a konec konců bez ohledu na to, zda se nám ji vůbec kdy podaří vyjádřit. Je zřetelné, že jakékoliv kvantifikaci musí předcházet vytvoření takových pojmů, vlastností jednotek, které jsou kvantitativně postižitelné v prvé řadě, eventuálně poté také číselně vyjádřitelné a vystihují také to, co skutečně vystihnout chceme. Zde jsme jako v každé empirické vědě nuceni „sle-
vovat“, musíme však posoudit, zda tyto ústupky nejdou příliš daleko (pak

by bylo lépe od kvantifikace upustit.) Neadekvátnost kvalitativního významu určitého pojmu a jeho kvantitativního vyjádření vede pouze k formalismu a je pro požadavek hlubšího stupně poznání sterilní.

V geografii, jakož i v jiných vědách, *kvantifikujeme měřením* nebo *čítáním* (metrické veličiny resp. počty obyvatel, antropogenních tvarů apod.). Existují ovšem i vlastnosti, které nejsou ve výše uvedeném smyslu měřitelné, ale pouze klasifikovatelné nebo srovnatelné (jde o jakýsi „nižší“ stupeň kvantifikace). Měřitelné vlastnosti jsou v logice označovány jako extenzivní, ostatní „neměřitelné“ jako intenzivní. Jak dále Pavlík a Kühnl uvádějí, jde zpravidla o složené pojmy výše zmíněného typu jako exponovanost, rekreativita určité obce, ale též například klimatická vhodnost, větrnost, hornatost aj. Pokud u některých vlastností nelze nalézt vhodná kvantifikační kritéria (v geomorfologické studii např. brněnský prostor může být označen pro region se specifickým reliéfem), pak je taková vlastnost pouze *klasifikovatelná*, nikoliv kvantifikovatelná a nemůže se stát veličinou.

Na většinu vlastností v geografii lze pohlížet jako na složené, které můžeme strukturovat, případně operacionalizovat. Na pojmy se díváme jako na systémy, určujeme nejprve elementy jejich vnitřní struktury, vztahy mezi nimi. Pak se tyto elementy pokoušíme kvantifikovat a konečně vytvořit několik kumulativních charakteristik, které by vyjadřovaly kvalitativní zákonitosti daného systému (pojmu, veličiny). Např. antropogenní transformace reliéfu je v našich přírodních podmínkách složena ze dvou složek: vlastních antropogenních tvarů a antropogenně podmíněných procesů. Antropogenní tvary lze dále dělit do řady genetických skupin a v rámci nich vyčleňovat vlastní tvary, které lze měřit, analyzovat jejich geologické složení, geomorfologickou tvářnost a vzhledem k okolí ovlivnění morfometrie reliéfu. Obdobně lze členit i druhou skupinu antropogenních procesů (potenciální eroze, člověkem ovlivněná či vyvolaná eroze), apod. Z hodnocení obou složek pak lze usuzovat na celkovou antropogenní transformaci reliéfu.

Kvantifikace je pouze prvním krokem při použití kvantitativních metod. Předpokladem jejich správného využití je *stanovení odpovídajících* (adekvátních) *hypotéz*. Kvantitativní metody jsou totiž především nástrojem analýzy reality a nikoliv syntézy, a jsou tedy v podstatě určeny spíše k ověřování hypotéz, mnohem méně se však účastní na jejich budování. (Pavlík, Kühnl, 1981, s. 20).

Aplikace jakékoliv formální metody v empirických vědách znamená určitý metodický přístup k realitě, resp. její popis, analýzu nebo vysvětlení použití dané metody. Výsledkem jsou např. logické nebo matematické konstrukce vybudované na dané realitě, chápané jako prvky, struktury nebo systémy. Tomuto postupu se obecně říká *exaktizace* a původním smyslem tohoto slova je tedy aplikace exaktních metod v poznávání a vysvětlování reality.

Za typického představitele exaktních postupů se považuje především matematika. Liší se od empirických věd zejména mírou své abstraktnosti, logicko-deduktivní metodou, dokonalostí formálního jazyka, verifikovatelností svých výsledků a návazností poznání. Začíná tam, kde

abstrahujeme od konkrétního jevu nebo procesu a pracujeme jen s jeho „abstrahovanou kvantitativní stránkou“.

Dokonalé formálnosti dosáhla matematika tzv. *axiomatizací*. Aplikaci matematických metod v geografii lze chápat také jako snahu po logicko-deduktivním přístupu, po zdokonalení vědeckého jazyka, po ověřitelnosti a návaznosti poznání. Z toho je zřejmé, že jde pouze o specifikaci aplikace logických metod. Také v geografii hlubší uplatnění formálních věd zřejmě povede k vytváření axiomů, tím více se však ještě zdůrazní rozdílný charakter geografie jako empirické vědy a formálních konstrukcí vybudovaných na realitě. Protože empirické vědy nebudou moci nikdy nahradit důkaz pravdivosti svých tvrzení, založený na přímé konfrontaci s realitou, důkazem odvozeným z nerozporného deduktivně vybudovaného systému, formální vědy budou vždy nutně v geografii „pomocným“ aparátem.

Aplikace formálních metod v geografii však nehraje jen pasivní úlohu. Pomůže rozvinout zvláštní způsoby geografického poznávání, jehož realita je jiná než realita negeografických oborů a dá nové impulsy pro rozvinutí takových kvantitativních metod, které budou více přihlížet ke specifickým geografickým strukturám. Zvláštní roli zde hrají a budou hrát metody statistické.

Použití kvantitativních metod má v geografii a ostatně v každém empirickém oboru pouze nástrojový charakter. Jejich uplatňování nemůže nahrazovat řešení zásadních teoretických koncepcí a rozvíjení jiných metod poznání. Hlubšího poznání reality nedosáhneme tím, že nevyjasněné koncepce vyjádříme formálně přesným jazykem matematiky nebo statistiky. Kvantifikace ve vědě se nemůže stát jedinou metodou a nemůže nikdy nahrazovat dialekticko a historikomaterialistický přístup ve vědě; pouze ho doplňuje a pomáhá k objektivizaci a k postupnému zpřesňování našeho poznání (Pavlík, Kühnl, 1981).

Při splnění všech nutných podmínek kvantifikace lze velmi výhodně využít výpočetní techniky. Předpokladem je popis objektů a jevů, jejich měření a klasifikace.

3.4 Popis geografických objektů a jevů, jejich měření a klasifikace

Adekvátní způsoby popisu nemůže geografie uskutečnit bez *výběru a zpracování informace*. Podobně jako jiné vědy postupuje cestou určení, měření a klasifikace jevů, které zkoumá. Rozpracovává charakteristické způsoby jejich zobrazení, mezi nimiž je jednou z nejdůležitějších *metoda mapování*.

Jednotlivé metody jsou podrobovány analýze a kritickému zkoumání s cílem zabezpečit jejich přesnost a efektivnost. Především proto Harvey (1974, s. 285) mluví o množině modelů sběru, určení, měření, klasifikace a interpretace geografických dat. Modely výběru jsou chápány jako prostředky, které zabezpečují nerozpornost a spojitost geografického popisu.

Praxe přináší badatelům velké množství informací. Cílem metod výzkumu

je vyčlenit a uspořádat informaci tak, aby byla přehledná a vhodná pro další práci. Při výzkumu se na základě určitého vyhledávacího postupu snímají údaje postupující z reálného světa s cílem objasnění možné pravidelnosti nebo spojitosti jevů. Postupy, které přitom používáme, mají vliv na druh otázek, které můžeme při výzkumu zadat i odpovědi, které můžeme dát. Člověk má omezenou způsobilost získávat, hromadit a zpracovávat informaci. Při výzkumu v souladu s Harveyem (1974) hovoříme o používání *modelů popisu (určení), měření a klasifikace*.

Modely vybíráme v závislosti na tom, kterou z úloh řešíme, zda jde o zisk materiálu pro sestavení hypotézy, anebo uspořádání dat pro prověrku hypotéz. Obě je třeba přesně odlišovat, abychom nedošli k nepravděpodobným závěrům. Vytvoříme-li například skupinu hypotéz prostřednictvím výběru určitých ohraničení, nebylo by správné používat též ohraničení pro prověrku adekvátnosti hypotéz. Druhá obtíž je spojena s tím, že informaci, shromážděnou bez určitého cíle, bývá často obtížné použít pro prověrku již existující hypotézy. Zpravidla vždy se ukazuje, že data jsou shromážděna podle nevyhovujících evidenčních jednotek, že nejsou tak zaměřena a klasifikována, aby je bylo možno použít pro prověrku dříve naznačené hypotézy. Získávání a uspořádání dat je spojeno s konkrétní strategií výzkumu. Zisk dat odkrývá jednu cestu k vědeckému poznání, uspořádání dat pro prověrku apriorních hypotéz — jeho druhou cestu.

3.4.1 MODEL Y POPISU A MĚŘENÍ

Rozeznáváme dva základní způsoby popisu reality, a to *kvalitativní* a *kvantitativní*. K popisu využíváme tzv. *klasifikátorských pojmů*, jimiž v souladu s Pavlíkem a Kühnlem (1981) rozumíme charakteristiky jako drsný, hladký, úzký, široký aj., které jsou ve vědě používány k sestavování klasifikací. Celá řada těchto klasifikátorských pojmů má kvantitativní obsah, např. studený, chladný, ledový. Podobně můžeme charakterizovat očekávané nastoupení určitého jevu jako jisté, téměř jisté, velmi pravděpodobné, pravděpodobné, pochybné, nepravděpodobné, nemožné. Potíže nastanou při odlišení horkého předmětu od velmi teplého nebo téměř jisté nastoupení určitého jevu od nastoupení velmi pravděpodobného. Význam takto uspořádaných řad klasifikátorských pojmů je však možno spatřovat v jejich plynulém přechodu v relační, tzv. topologické pojmy, které umožňují kvantitativní komparaci (seřazení hornin podle jejich odolnosti vůči fyzickému a chemickému zvětrávání v dané klimatomorfogenetické zóně).

Od *topologických* je pak přímý přechod k *pojům metrickým*, které již předpokládají zvolenou nebo kvantitativní určenost, s kterou studovaný jev nebo proces srovnáváme a vyjadřujeme ho jako její násobek, tedy číselně. Metrické pojmy jsou vlastním předmětem měření, které zpravidla dělíme na základní (nezahrnuje žádné předcházející měření nějaké veličiny) a odvozené (je závislé na základním měření jiných veličin, jeho numerickou hodnotu zjišťujeme výpočtem, např. hustotu). Rozdíl mezi obě-

ma druhy měření není vždy zcela jednoznačný (hustotu můžeme měřit např. přímo hustoměrem).

Složitě problémy s měřením odpadnou, kvantifikujeme-li čítáním, kterým zjišťujeme počet nějakých jednotek, velikost množiny, rozsah souboru apod. Zkoumané objekty zpravidla charakterizujeme pomocí *statistických znaků*. Statistické znaky jsou charakteristiky různých vlastností statistických jednotek. Zpravidla si je představujeme jako funkce, přiřisující každé statistické jednotce určitou číselnou hodnotu (např. při studiu svahů můžeme sledovat dva znaky, a to jejich sklonitost a délku). Stěží lze vyjmenovat všechny znaky vyskytující se v geografickém výzkumu. Každá disciplína má totiž svoji *skupinu znaků*. Znakem nebo skupinou znaků můžeme popisovat přírodní jevy, např. v klimatologii považujeme za kvantitativní znaky ty, které jsou založeny na měření délek (čtení délky rtuťového sloupce apod.). Určení směru větru může být v podstatě považováno za měření určitého množství stupňů, šestnáctin, popř. dvaatřicetin kruhu, vyjdeme-li od severu. Jiným případem je pozorování jevů, které nejsou kvantitativně spojitě; v určitém okamžiku srážky buď jsou nebo nejsou. Z uvedeného je patrné, že vedle řadících znaků číselných (kvantitativních), jako je teplota vzduchu, tlak vzduchu, množství srážek apod., máme znaky slovní (kvalitativní). Slovními znakem rozumíme takový znak, jehož obměny se vyjadřují slovy, protože se liší svou kvalitou a nikoliv množstvím (úrovní). Tak lze pozorovat oblačnost podle druhu oblačnosti, typy mlh, barvu oblačnosti aj. U většiny slovních znaků lze pomocí určité konvence převést znak slovní na znak číselný; např. směr větru NNE na 20° , E na 90° apod. (Nosek, 1972, 10).

Je úlohou každého badatele, aby vybral takovou skupinu znaků, které charakterizují zkoumaný jev či proces nejvýstižněji. Statistická analýza pak může zpětně posoudit, s jakou spolehlivostí podchycují měřené znaky zkoumaný přírodní jev a vybrat z množiny sledovaných znaků skupinu nejvhodnější k popisu.

V souladu s prací Michálka a kol. (1982, s. 9-11) si kvůli jednoduchosti můžeme představit, že znaky nabývají pouze číselných hodnot. To ale nemusí znamenat, že jsme touto formální operací už kvantifikovali odpovídající geografickou vlastnost. Naopak, věcný význam dat může být kvantifikován v různé míře a podle toho rozeznáváme různé *typy znaků*. Čtyři nejdůležitější typy se rozlišují podle toho, zda jsme u dvou hodnot znaku x_1 , x_2 schopni po věcné stránce interpretovat jejich:

rovnost	$x_1 = x_2$
uspořádání	$x_1 \leq x_2$
rozdíl	$x_1 - x_2$
podíl	x_1 / x_2

(1) Znaky, u nichž jsme schopni věcně interpretovat jen rovnost $x_1 = x_2$, popř. nerovnost dvou hodnot, se nazývají *nominální*, protože hodnoty zde představují pouhé smluvené kódy kvalitativních pojmenování. Nominální uspořádání se týká např. označení oblastí čísly 1, 2, 3, ... Čísla nám oblasti odlišují, ale nic jiného z nich o vztahu oblastí nelze poznat.

(2) Znaky, u nichž jsme (kromě rovnosti) schopni věcně interpretovat i nerovnost $x_1 < x_2$ popř. $x_1 > x_2$, se nazývají *ordinálními*, protože jejich hodnoty vyjadřují nějaké vzestupné nebo sestupné uspořádání intenzity zkoumané vlastnosti. Příkladem může být např. bodování chuťových vlastností piva, atraktivnosti rekreačních oblastí atd. Podle dohody může např. stoupající pořadí bodů vyjadřovat lepší chuťovou vlastnost nebo atraktivnost posuzované oblasti. To však neznamená, že objekty s hodnotami 5 a 7 vykazují stejný rozdíl jako jiné objekty s hodnotami 9 a 11. Jiným příkladem je školská klasifikace. Jedničkař je lepší než dvojkař, ale to neznamená, že je mezi nimi stejný výkonový rozdíl jako mezi trojkařem a čtyřkařem.

(3) Znaky, u nichž jsme schopni (kromě rovnosti a uspořádání) věcně interpretovat i rozdíl $x_1 - x_2$ dvou hodnot, se nazývají *intervalovými*, protože stejný interval mezi jednou dvojjící hodnotou a jinou dvojjící hodnotou u nich vyjadřuje i stejný rozdíl v intenzitě zkoumané vlastnosti. Např. teplota měření ve stupních Celsia představuje intervalovou proměnnou. Naměříme-li ve čtyřech dnech polední teploty 0, +2, +4, +6, znamená to, že každým dnem vykazovaly polední teploty rozdíl +2 °C, ale bylo by chybné interpretovat tyto údaje tak, že z druhého na třetí den vzrostla polední teplota dvakrát, kdežto ze třetího na čtvrtý 1,5krát. (Kolikrát by vzrostla z prvního na druhý den? Nekonečně mnohokrát? Potíž je zřejmé v tom, že nulový bod — bod mrazu — byl stanoven pouhou konvencí.)

(4) Znaky, u nichž jsme schopni (kromě rovnosti, uspořádání a rozdílu) věcně interpretovat i podíl x_1/x_2 dvou hodnot, se nazývají *poměrovými*, protože stejný poměr mezi jednou dvojjící hodnotou a jinou dvojjící hodnotou u nich vyjadřuje i stejný podíl v extenzitě zkoumané vlastnosti. Vážím-li např. 170 kp (Osecký in Michálek a kol., 1982) a moje manželka pouze 85 kp, mohu smysluplně říci, že mám dvakrát větší váhu než manželka. Souhlasně s bodem (1) mohu ovšem rovněž říci, že naše váhy jsou různé podle bodu (2), že jsem těžší než manželka a podle bodu (3), že se ve váze lišíme o 85 kp. Možnost udávat poměry zřejmě souvisí s tím, že nulový bod při vážení je stanoven povahou věci — nulovou váhu by mělo mít nehmotné těleso. Jinými příklady poměrového znaku jsou např. tělesné rozměry, výnosy plodin, délka života, četné laboratorní údaje udávané ve fyzikálních a chemických jednotkách atd.

Intervalové a poměrové znaky se společně nazývají *kardinálními*, protože bývají v externích vědách spojeny s existencí měrné jednotky (smluvené či přirozené). Intervalové znaky se jinak nazývají *intenzívními veličinami* a jsou charakterizovány smluveným stanovením nulového bodu, poměrové znaky externími veličinami a jejich nulový bod je dán přirozeně, tj. povahou zkoumané vlastnosti. (Pozor, pojem „náhodná veličina“ v počtu pravděpodobností není nijak vázán uvedenými věcnými podmínkami.)

Ačkoliv se statistické metody vyvinuly nezávisle na tomto hrubě načrtnutém schématu, přece jen jejich užití je různě adekvátní u různých typů znaků. U nominálních znaků bychom měli užívat jen různých typů třídění a metod souvisejících s kontingenčními tabulkami. U ordinálních znaků jen pořadových statistik jako kvantilů, mediánů, koeficientů po-

