

VYUŽITIE TECHNÍK FAKTOROVEJ ANALÝZY PRI MODELOVANÍ AGROEKOSYSTÉMOV

Zdena Krnáčová

Abstract

Modeling has recently been increasingly used to evaluate these complex agroecosystems. From the point of view of the applied methodological approach, we look at the agroecosystem (traditionally a geocomponent understood as a summary of a geological, hydrological, soil-substrate layer in a space with a certain use) as a system of diagnostic properties of geocomponents and their relations. The use of models creates the opportunity to study the original indirectly, it is its idealized reproduction, which is simpler, clearer and more accessible and with which it is easier, safer and more efficient to work. Factor analysis technique allows the study of complex systems for a better understanding of their functionality (Gardner et al., 1991). Projections of the extracted factors for individual selection elements (example ABC, KEC, VSEU) determines the F0 factor score. The row vectors in this matrix represent the distribution of individual factors for a specific implementation of the selection (spatial distribution). We usually rescale the obtained factor score values into x-categories so that we can project them into homogeneous units (ABC, KEC, VSEU). Based on the quantification of ecological criteria for each homogeneous unit, we were able to propose a sustainable management of the agroecosystem.

Keywords: agroecosystem, factor analysis, mathematic modeling, interaction in the model, sustainable indicators, factor score values

Úvod

Poľnohospodárska krajina neplní len funkciu produkcie fytomasy, ale má i krajinotvorné funkcie a funkcie pri rozvoji sídiel. Prejavom nevhodného hospodárenia človeka v agroekosystéme (ako je napr. prejav vodnej a veternej erózie), je degradácia samotnej pôdy pre poľnohospodársku produkciu, ako aj iné prírodné zdroje krajiny (Caswell, 1988, Crawley, 2002, Guimaraes, Stein, 1997, Hoosbeek et al., 2000, Sklar, Costanza, 1991, Murkhart, 2021).

Hronec a kol. (2010) a iní autori (Vilček, 2006, Vilček, Bedrna, 2007) rozširujú pohľad na vnímanie udržateľného poľnohospodárstva, ktorý charakterizujú ako riadenie a využívanie agroekosystému spôsobom, ktorý uchováva jeho biologickú diverzitu, produktivitu, regeneračnú kapacitu, vitalitu a funkčnosť tak, aby (poľnohospodárstvo) plnilo významné ekologické, ekonomické

a spoločenské funkcie na miestnej, národnej a globálnej úrovni a nepoškodzovalo ďalšie ekosystémy nielen v súčasnosti, ale ani v budúcnosti.

V posledných rokoch bolo vyvinutých množstvo modelov systémovej simulácie na preskúmanie rôznych aspektov udržateľnosti agroekosystému (Messing, Jarvis, 1993, Belcher et al., 2004, Wilson et al., 2008, Yemegack, 2000, Kanianska a kol., 2016, Tixier, 2020, Murkhart, 2021).

Prejavom antropogénneho zásahu v krajine je súčasný spôsob využitia krajiny, konfigurácia a priestorové rozloženie, tvar, veľkosť, poloha pozemkov (parciel), erózne prejavy a pod. Dopadom aktivity človeka na environment je kvalita funkčnosti agroekosystému, ktorí zdôrazňujú potrebu zvážiť interakcie medzi aktivitami človeka, pôdnym pokryvom a produkčnosťou (Kibblewhite et al., 2008).

Teoreticko-metodické východiská

Teoretické odôvodnenie modelov s latentnými premennými a technika faktorovej analýzy je relatívne veľmi náročná, preto je vhodné v súvislosti s riešenou problematikou uviesť z dôvodu malého rozšírenia týchto techník aspoň najzákladnejšie charakteristiky modelov faktorovej analýzy (Caswell, 1988, Krnáč, Krnáčová, 1994, Guimaraes et al., 1997, Hoosbeec et al., 2000, Michael, Crawley, 2002, Meloun, Militský, 2005, Hendl, 2004).

Aplikáciu zvolených metodických postupov techniky faktorovej analýzy pri modelovaní štruktúr vzájomných väzieb v systéme človek - agroekosystém je vhodné uplatňovať na rozsiahlejších modelových územiach s typologicky veľmi pestrú geomorfológiu s čím úzko súvisí pestrosť pôdneho pokryvu, rôznorodého spôsobu využitia krajiny. Práve rôznorodosť prírodných podmienok a manažmentu podmieňuje vznik rôznorodých environmentálnych problémov rôznej závažnosti a rozsahu, čo umožňuje spracovanie rozsiahleho informačného materiálu z vybraného modelového územia.

Matematicko-štatistická podstata modelovania

Hlavný cieľ matematického modelovania pri analýze štruktúr vzájomných väzieb v systémoch je nájsť funkčné závislosti medzi antropogénnymi zásahmi (action) a ich dopadmi na agroekosystém (impact) v podmienkach globálnych bioklimatických zmien a tieto analyzovať ako jednotný systémový celok. Túto úlohu môžeme formálne zapísať nasledovne:

$$Impact = f(Action, Agroecosystem), \text{ kde}$$

závislá premenná *Impact* - charakterizuje environmentálny dopad činnosti človeka, nezávislá premenná *Action* - reprezentuje základné charakteristiky agrochemických

a agrotechnických činností realizovaných v agroekosystéme, parameter - *Agroecosystem* popisuje základné vlastnosti fyzického stavu agroekosystému a matematická funkcia f predstavuje model.

Vo všeobecnosti všetky premenné majú štatistický charakter, ich náhodnosť je vyvolaná viacerými faktormi, ktoré súvisia s nasledujúcimi problémami:

a) *problém merateľnosti premenných - kvantifikácia a prípadná rekvantifikácia premenných,*

b) *problém štrukturalizácie systému - stanovenie hraníc systému a výber vhodných premenných a jeho realizácia,*

c) *problém vzájomnej závislosti premenných - na manifestnej úrovni nevieme zabezpečiť nezávislosť premenných,*

d) *problém aproximatívnej redukcie - aproximatívny charakter matematického modelu.*

Štatistická podstata využitia matematického modelovania pri analýze vzájomných väzieb v agroekosystémoch vyžaduje pri vytváraní vhodných modelov aplikáciu multivariantných štatistických postupov a formalizmus matematickej štatistiky, pomocou ktorých hľadáme „najvýdatnejšie“ riešenia s ich následnou štatistickou verifikáciou. Použitím týchto postupov minimalizujeme problémy a), b), d).

Modely latentných premenných

Problémy typu c) riešia rôzne metodiky rôznym spôsobom. V podstate tieto riešenia sú založené na určitom subjektívnom výbere dôležitosti a spôsobu hodnotenia jednotlivých premenných bez detailnej objektívnej analýzy ich vzájomnej závislosti.

V rámci matematického modelovania je možné tento problém riešiť použitím *triedy modelov s latentnými premennými*. Formálne takýto model môžeme získať prepísaním modelu (1) do tvaru:

$$Latent = \bar{f}^*(Impact, Action, Environment) = \bar{f}^*(X) \text{ alebo}$$

$$X = f^*(Latent) = f^*(\Phi),$$

kde premenná *Latent* predstavuje novú, teoretickú premennú alebo súbor premenných Φ , ktoré spĺňajú podmienku nezávislosti. Axióm lokálnej nezávislosti je základným atribútom modelov s latentnými premennými. Súbor premenných X zahŕňa na jednej úrovni všetky manifestné premenné bez rozdielu či sa jedná o indikátory popisujúce vlastnosti fyzického environmentu alebo indikátory popisujúce intenzitu dopadu aktivít človeka na agroekosystém.

Pod označením *modely s latentnými premennými* teda (ďalej MLP) rozumieme skupinu štatistických premenných, ktoré popisujú a v istom zmysle vysvetľujú pozorované dáta pomocou ich závislosti na nepozorovanej charakteristike, ktorú možno matematicky skonštruovať (Blahuš, 1985). V terminológii všeobecného modelu s latentnými premennými môžeme tieto predstavy popísať pomocou:

1. manifestných premenných x_j , $j = 1, 2, \dots, n$, kde n je počet premenných, teda priamo merateľných alebo pozorovateľných empirických veličín,

2. latentných premenných ϕ , ktoré stoja v pozadí, nie sú merateľné alebo priamo pozorovateľné a vysvetľujú podstatu javu.

Pozorované hodnoty x_j a ich vzájomné vzťahy je možné vysvetliť pomocou sústavy ϕ teoretických premenných, ktoré sú definované podľa autorov McDonald, Swaminathan (McDonald, Swaminathan, 1972) v tvare (Budíková a kol., 2005, Hendl, 2004).

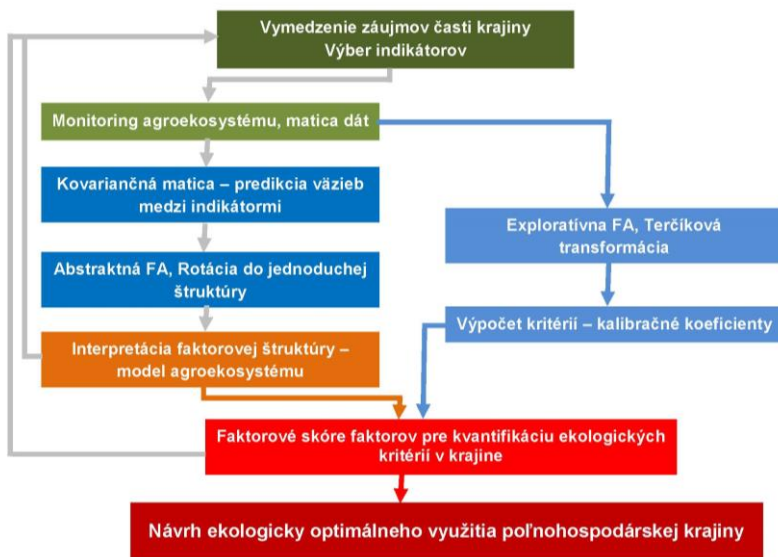
Cieľom modelu je teda podať popis a v istom zmysle vysvetlenie manifestných premenných a ich vzájomných závislostí.

Model s latentnými premennými je v podstate modelom dát a ich vzájomných súvislostí. Svojou povahou je to model štatistický. Dáta, na ktoré je aplikovaný, majú väčšinou charakter simultánnych pozorovaní vektora náhodných veličín.

Klasická lineárna exploratívna faktorová analýza je najpoužívanějšíou metódou, tvorí základ navrhovanej techniky matematického modelovania (Krnáč, Krnáčová, 1994) Schématické zobrazenie je na obr.1.

Multikriteriálny prístup k priestorovej kvantifikácii ekosystémových služieb agroekosystému je prepojený so socioekonomickými indikátormi (je potrebné stanoviť homogénne územné jednotky pre štatistické účely, ktorým sa priradujú dáta) umožní explicitne posúdiť potenciál ekosystému poľnohospodársky využívaných pôd poskytovať agroekosystémové služby ako aj prispôsobiť manažment pôd pre lokálne podmienky.

Obr. 1: Schématický model faktorovej analýzy (Krnáčová, 2022)



Kvantifikácia vstupných premenných (indikátorov)

Pri použití vstupných premenných v akejkoľvek faktorovej analýze sa vyžaduje použitie kvantitatívnych premenných so škálou intervalového typu, ako vstupné premenné. Nedodržaním tejto striktnej podmienky môžu byť výsledky analýzy silne deštruované. V prípade nevyhnutnosti použitia kvalitatívnych indikátorov existuje možnosť ich rekvantifikácie na premenné so škálou nominálneho typu (kvázikvantitatívneho typu), ktoré už potom je možné použiť pre analýzu.

Úroveň kvantifikácie premenných zodpovedá úrovni merateľnosti empirických vlastností krajinného systému. Rozlíšenie typu premennej:

- *nominálne premenné (kvázikvantitatívne premenné),*
- *ordinálne premenné (kvalitatívne premenné),*
- *intervalové premenné (kvantitatívne premenné).*

Štruktúra vstupnej dátovej matice

Štruktúra dát vo vstupnej matici úzko súvisí s kvantifikáciou, lebo umožňuje:

- kvantifikovať informácie, ktoré sa nedajú kvantifikovať priamo,

- kvantifikovať ordinálne dáta, ktoré nemôžu byť priamo použité pri analýze modelov ekosystémov,
- upravovať namerané údaje do štandardných tvarov (mnohorozmerných matic) vhodných pre syntézu súborov dát rôzneho charakteru (súbory dát popisujúce vlastnosti fyzického environmentu, spôsobu využitia zeme a dáta iného charakteru (obr. 2).

Obr. 2: Schéma najpoužívanejšej štruktúry dát

$$X(n, N) = \begin{bmatrix} x_{11}, & x_{12} \dots \dots \dots & x_{1n} \\ x_{21}, & x_{22} \dots \dots \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{N1}, & x_{N2} \dots \dots \dots & x_{Nn} \end{bmatrix}$$

*súbor n premenných, ktorými sú ukazovatele (indikátory)
N - prvkov (výberový súbor)*

Prvkami výberového súboru môžu byť základné priestorové jednotky, ktoré možno považovať za relatívne homogénne z hľadiska abiotických atribútov, pôdno-ekologické jednotky (BPEJ), abiotické komplexy (ABK) alebo krajinnno - ekologické komplexy (KEK), kde sú zahrnuté aj biologické a socioekonomické atribúty agroekosystému.

Výber vstupných indikátorov a spôsob ich kvantifikácie

Pre potreby matematického modelovania interakčných väzieb medzi prvkami agroekosystému, popr. jeho zmien vplyvom antropogénnych aktivít používame všetky dostupné dáta, ktoré by mohli s danou problematikou súvisieť, pričom musí byť zachovaná podmienka použitia dát kvantitatívneho alebo kvázikvantitatívneho typu:

- **indikátory fyzického stavu environmentu alebo prírodného potenciálu krajiny** - formou dát kvantitatívneho a kvázikvantitatívneho typu popisujeme vlastnosti krajinných prvkov (za homogénny krajinný prvok s rovnakým environmentálnym správaním a rovnakými atribútmi je možno považovať pôdno - ekologické jednotky (BPEJ), krajinnno - ekologické prvky (KEK) a pod). Ďalej je vhodné použitie indikátorov klimatických pomerov (teplota ovzdušia, atmosférické zrážky), vybraných

morfometrických vlastností reliéfu, fyzikálno-chemických vlastností geologicko-substrátového podkladu, fyzikálnych, fyzikálno-chemických a niektorých biologických vlastností pôdneho pokryvu.

- **indikátory produkčnosti pôdneho stanovišťa** - pri výpočte produkčného potenciálu BPEJ (VÚPOP, 2019) je vhodné využitie metodiky autorov Vadovičová, Džatko (1992), Vilček, (2006), Vilček, Bedrna (2007). Podstatou metodického postupu pri hodnotení produkčnosti je korekcia exaktných výpočtov potenciálnej produkcie fytohmoty pomocou bodových hodnôt bonitovaných jednotiek vyjadrená v GJ. ha⁻¹.
- **indikátory antropogénnej činnosti** - popisujúce prostredníctvom vhodných ukazovateľov ďalšie oblasti, u ktorých je predpoklad korelácie s antropogénnou aktivitou (krajinná pokrývka) - prvky krajiny pokrývky sú získané z leteckých snímok, interpretáciou ortofotomáp do kategórií podľa legendy CORINE Land Cover Technical Guide – Addendum 2000 (Bossard, Feranec, Oñahel, 2000) .
- **indikátory špecifického charakteru** - popisujúce prostredníctvom vhodných indikátorov ďalšie oblasti, u ktorých je predpoklad impaktu človeka na krajinu - stupeň ohrozenia krajiny, napr. indikátory stupňa potenciálnej vodnej erózie pôdy. Komplexné fyzikálne modely a automatizované prístupy sa uplatnili v prácach Mitašová, Mitaš (2001), Mitašová a kol., (2013), Millward, Mersey (2001), Kovář a kol., (2012) a iných autorov. V podstate aplikujú postupy modelovania erózie a akumulácie na základe modifikovanej rovnice univerzálnej straty pôdy (USLE) v rôznych mierkach a komplexnosti v počítačovom prostredí GIS. Vhodné je využitie modelovania vodnej erózie na poľnohospodárskych pôdach s využitím empirického modelu univerzálnej rovnice straty pôdy (USLE), ktorý je užitočným nástrojom na riadenie a plánovanie ochrany pôdy.

Štandardizácia matice dát

Rôzne jednotky a rôzne škály použitých vstupných dát spôsobujú sťažené podmienky interpretácie faktorového riešenia. Pri spracovaní experimentálnych dát je výhodné upraviť pôvodný dátový súbor na určitý štandardný tvar, ktorý by z hľadiska kvantifikácie mal zachovávať *ekvivalentnosť dát*.

Základnú maticu na ktorú aplikujeme techniku faktorovej analýzy môžeme upraviť nasledovne:

a) *centralizáciou dát* (ďalej C), kedy v riadkoch získavame hodnoty s nulovou priemernou hodnotou,

b) *normalizáciou dát* (ďalej N), kde zase v riadkoch dostávame normované hodnoty na jednotku.

Tieto úpravy môžeme navzájom kombinovať. Štandardizácia dát určuje tvar kovariačnej matice, ktorá je východiskovým bodom každej faktorovej analýzy.

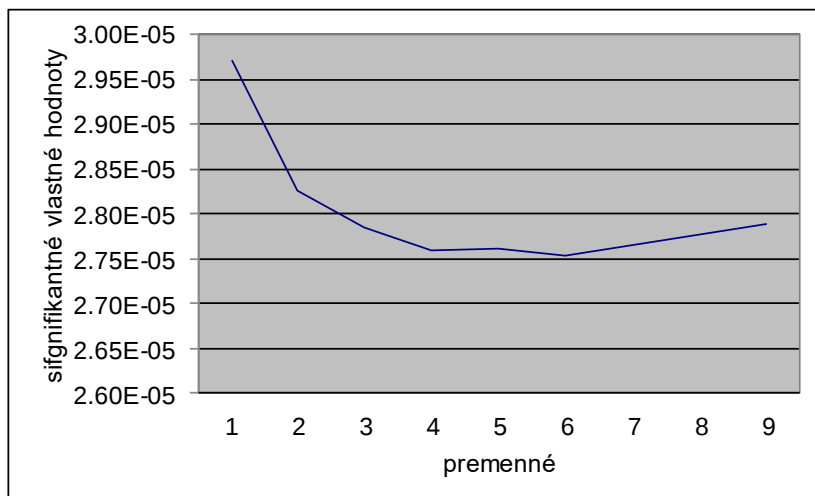
Podmienky tvorby modelu agroekosystému - kalibrácia modelu

Úlohou kalibrácie modelu je stanoviť kalibračné koeficienty v matici faktorových záťaží. Pre ich určenie je potrebná znalosť kompletnej vstupnej dátovej matice. Je možné použiť faktorovú štruktúru získanú aplikáciou faktorovej analýzy vykonaných pri hodnotení iných ekvivalentných systémov, pri ktorých boli použité identicky súbory manifestných indikátorov.

Podmienky tvorby modelu agroekosystému - faktorizácia modelu

Faktorizácia modelu je založená na rozklade redukovanej výberovej korelačnej matice vytvorenej z dátovej matice indikátorov do systému vlastných hodnôt a vlastných vektorov. Podľa Malinowského chybovej analýzy (Malinowski, Howery 1980) sa v ďalšom kroku stanovuje počet signifikantných vlastných hodnôt, t.j. počet extrahovaných faktorov (graf 1).

Graf 1: Malinowského chybová analýza indikujúca 4 a 6-faktorové riešenie



Na uvedenom grafe 1 vidíme, že zlom v grafe sa nachádza niekde medzi premennou 4 a premennou 6, ktoré predstavujú počet vlastných hodnôt. Z hľadiska kritéria vysvetlenej kumulatívnej variácie sme sa rozhodli, že za vhodný počet vysvetľujúcich faktorov budeme považovať $m=6$ (6 - faktorové riešenie).

Tvorba modelu agroekosystému

Pri prvotných analýzach takto získané faktorové riešenie sme transformovali pomocou ortogonálnej rotácie do jednoduchej štruktúry použitím kritéria VARIMAX. Rotovanú maticu faktorových záťaží získanú, analýzou reálne existujúceho agroekosystému označme $\mathbf{A}_0$. Faktorové záťaže stanovené v zmysle jednoduchej štruktúry zvyšujú interpretovateľnosť získaných faktorov. Zo základného riešenia pomocou spomínanej metódy VARIMAX je možnosť odvodiť niekoľko ortogonálnych rotovaných riešení pre rôzny počet spoločných faktorov. Každé z týchto alternatívnych riešení sa najprv prehodnotia na základe empirického poznania. V konkrétnej štúdii (Krnáčová, 2000) sa najvhodnejšie ukázalo riešenie so šiestimi spoločnými faktormi oproti štyrom spoločným faktorom.

Výsledky štruktúry faktorového riešenia možno považovať za model štruktúry analyzovaného agroekosystému, pretože opisujú a kvantifikujú interakčné väzby medzi vstupnými parametrami (indikátormi) a extrahovanými faktormi a je vhodné porovnávať výsledky podobných štúdií, konfrontovať ich a hľadať podobnosti získaného faktorového riešenia, ako aj ich interpretácie.

Model agroekosystému na základe interpretácie štruktúry faktorových záťaží vstupných premenných

Pomocou vektorov záťaží v stĺpcoch matice faktorových záťaží je možné identifikovať a interpretovať význam jednotlivých extrahovaných faktorov. Interpretácia dovoľuje v ďalšom postupe uskutočniť dva významné kroky:

- verifikáciu získanej faktorovej štruktúry vzhľadom na známe empirické skúsenosti a prijaté teoretické zákonitosti,
- použitie extrahovaných faktorov ako hodnotiacich kritérií v ďalšom procese hodnotenia vlastností a environmentálnych problémov v rámci agroekosystémov vzhľadom na výhodné ortogonálne vlastnosti latentných premenných.

Ďalej definujeme významnosť (signifikovateľnosť) hodnôt faktorových záťaží:

- **za primárne korelačné väzby** medzi faktormi a vstupnými indikátormi považujeme hodnoty faktorových záťaží v **intervale 0.6 - 1.0**,
- **za sekundárne korelačné väzby** považujeme hodnoty faktorových záťaží v **intervale 0.3 - 0.6**,
- **na hranici signifikantnosti korelačných väzieb** považujeme hodnoty faktorových záťaží v **intervale 0.2 - 0** (Krnáč, Krnáčová, 1994).

Štruktúru hodnôt faktorových záťaží 6-tich faktorov prezentujeme v tab.

1.

Tab. 1: Príklad 6 - faktorového riešenia z prípadovej štúdie na modelovom území Skalica (Krnáčová, 2000)

	Merateľné parametre	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6
1	DS	0.3851	-0.0428	-0.2822	0.17746	0.53505	-0.0417
2	SV	0.1944	-0.0201	-0.6687	0.27199	-0.0286	0.01949
3	HPV	0.4559	0.38719	0.12578	0.09412	0.13601	0.38989
4	SKEL	0.4308	0.46778	-0.5235	-0.0699	-0.0268	0.0311
5	HLP	-0.4833	-0.2698	0.75812	-0.0642	-0.0474	0.0018
6	ZRN	-0.1019	0.06279	-0.4998	-0.6891	-0.3358	-0.3547
7	PROD	-0.3413	-0.222	0.64722	0.46869	0.01722	0.071
8	SiO ₂ P	0.1110	-0.6143	0.15431	0.607	0.01213	-0.3207
9	Al ₂ O ₃ P	0.0451	0.32319	-0.0501	-0.8104	0.02075	0.37844

Vysvetlivky: DS – neprerušená dĺžka svahu parcely, SV – svahovitosť BPEJ, HPV – hĺbka hladiny podzemnej vody, SKEL - skeletnosť pôdy, HLP – hĺbka pôdneho profilu, ZRN – zrnitosť (% zastúpenie ílovitej frakcie pôde), PROD – potenciálna produkcia fytomasy (GJ.ha⁻¹), SiO₂ P - % zastúpenie v pôde, Al₂O₃ - P - % zastúpenie v pôde

Hodnoty faktorového skóre ako možnosť kvantifikácie ekologických kritérií pre účely optimálneho využitia poľnohospodárskej krajiny

Predmetom štúdie okrem iného sú aj možnosti kvantifikácie účelových (funkčných) vlastností krajiny, t.j. interpretácie vstupných parametrov vzhľadom na konkrétny účel. Interpretované vlastnosti sú v tomto prípade chápané ako latentné premenné - priamo v krajine nemerateľné, ktoré sú vytvárané rôznou kombináciou priamo merateľných vstupných údajov. Interpretácia vstupných parametrov znamená prehodnotenie vzájomných vzťahov medzi vstupnými parametrami. Podstatou interpretácie je určiť:

- ktorá účelová (funkčná) vlastnosť krajiny (agroekosystému) bude rozhodovať o umiestnení vybranej činnosti človeka (produkčnosť, obrábateľnosť technologické vlastnosti pôdy, erodovateľnosť, atď.),
- ktoré analytické parametre budú vstupovať do vybranej účelovej (funkčnej) vlastnosti krajiny (agroekosystému) a prostredníctvom akého funkčného vzťahu budú ovplyvňovať naše rozhodovanie jednotlivé ekologické kritériá ako sú potenciálna produkčnosť agroekosystému a pod.),

• ktoré analytické ukazovatele a v akej najvhodnejšej kombinácii možno stanoviť pre konkrétnu účelovú (funkčnú) vlastnosť krajiny (účelová vlastnosť erodovateľnosť pôd v agroekosystéme je podmienená takými parametrami ako sú atmosferické zrážky, svahovitosť, neprerušená dĺžka svahu parcely, zrnitosť, manažment a pod., účelová vlastnosť potenciálna produkčnosť je podmienená kombináciou celého spektra fyzikálnych, chemických a biologických parametrov pôdneho stanovišťa ako aj klimatickými charakteristikami a pod.).

Vyššie uvedené skutočnosti zároveň predkladajú otázky alebo problémy týkajúce sa interpretačného (prehodnocovacieho) postupu analytických údajov vzhľadom na účelovú (funkčnú) vlastnosť krajiny. Spôsob riešenia uvedených problémov je použitím tradičných metodických postupov pri hodnotení účelových vlastností krajiny iný ako u predkladaného postupu technikou faktorovej analýzy. Výber vhodných vstupných údajov, ich váha významnosti vzhľadom na konkrétnu hodnotenú vlastnosť krajiny je pri tradičných metodických postupov postavená na dlhoročných výskumoch v interiéri (laboratórne podmienky) a exteriéri (krajina samotná) a z nich vyplývajúcich skúsenostiach. Získané skúsenosti a poznatky následne môžu byť podkladom pre tvorbu najskôr tzv. parciálnych neskôr komplexnejších modelov pre hodnotenie vybraných funkčných vlastností krajiny, napr. vývoj parciálnych a komplexných modelov systému vodnej erózie pôdy USLE (Millward, Mersey (2001), Kovár a kol., (2012) a modelov potenciálu produkcie fytohmoty.

Analýzy modelov agroekosystému technikou faktorovej analýzy poskytujú celý rad možností štúdia interakčných väzieb v ekosystémoch, ktoré sú podrobnejšie uvedené v tab. 2.

Tab. 2: Možnosti využitia techniky faktorovej analýzy pri študovaní ekosystémov.

Premenné	Charakteristika
Vlastné hodnoty	Chybová analýza
Faktorové záťaž	Interakčné väzby medzi indikátormi a extrahovanými faktormi
Faktorové skóre	Prejav faktorov v geografickom priestore – kvantifikácia vybraných vlastností systému
Jedinečnosti a rezíduá	Presnosť modelu systému
Reprodukované indikátory	Modelovanie neznámych indikátorov

Tieto výsledky sa dajú vhodne využiť pri riešení vyššie uvedených otázok a problémov, ktoré súvisia s hodnotením a monitorovaním agroekosystémov.

V súvislosti s extrahovanými faktormi je dôležité zdôrazniť skutočnosť, že faktory predstavujú „umelé“ latentné premenné, ktoré sú na rozdiel od reálnych

manifestných premenných (vstupné premenné popisujúce fyzický environment) tzv. lokálne nezávislé a teda v „čistej“ forme charakterizujú interpretovanú, účelovú vlastnosť krajiny. Ich nezávislosť je matematicky formulovaná ich ortogonálnosťou.

Každý faktor je daný lineárnou kombináciou vstupných manifestných premenných, kde váhové koeficienty (faktorová štruktúra) sú získané tak, aby boli splnené dve základné kritériá:

- podmienka lokálnej nezávislosti faktorov,
- podmienka jednoduchej štruktúry.

Tieto dve vlastnosti latentných premenných predurčujú ich veľmi výhodné použitie pri kvantifikácii ekologických, popr. environmentálnych kritérií a limitov a ich návrhov pre ekologicky optimálne využitie krajinných systémov. Získaná faktorová štruktúra teda vlastne stanovuje váhové koeficienty pre jednotlivé faktory s cieľom kvantifikácie ekologických limitov. Faktory sú navzájom nezávislé a netreba riešiť vzájomné vzťahy medzi nimi pri ich použití (aplikácii) ako komplexných kritérií pri ekologickom rozhodovaní.

Ak teda použijeme extrahované faktory ako ekologické, popr. environmentálne limity, hodnoty týchto limitov pre jednotlivé prvky krajinných systémov získame stanovením tzv. faktorového skóre.

Priemety extrahovaných faktorov pre jednotlivé prvky výberu (kvázi homogénne areály krajinného systému) určuje faktorové skóre F_0 . Riadkové vektory v tejto matici predstavujú distribúciu jednotlivých faktorov pre konkrétnu realizáciu výberu (priestorová distribúcia, časový priebeh a pod., podľa použitého módu analýzy). Potom faktorový model reálne existujúceho agroekosystému môžeme matematicky sformulovať:

$$\mathbf{X}_0 = \mathbf{A}_0 \mathbf{F}_0 + \mathbf{E}_0, \text{ kde}$$

$\mathbf{A}_0$ - matica faktorových záťaží

$\mathbf{F}_0$ - faktorové skóre

$\mathbf{E}_0$ - matica chýb

V prípade potreby analogickým spôsobom možno konštruovať pre reálny agroekosystém aj modely vyšších rádov.

V nasledujúcom kroku boli hodnoty faktorového skóre preškálované do uvedených intervalov pre možnosti ich priemety do homogénnych jednotiek. Faktorové skóre charakterizuje s akou intenzitou sa daný faktor prejavuje v danej lokalite je zobrazený v tab. 3 (Krnáč, Krnáčová, 1994).

Tab. 3: Príklad rozsahu intervalov pre jednotlivé homogénne prvky agroekosystému konkrétnej štúdie (Krnáč, Krnáčová, 1994)

Počet kategórií	Rozsah intervalu
1. kategória	$x < -0,1$
2. kategória	$-0,1 \leq x < -0,06$
3. kategória	$-0,06 \leq x < -0,02$
4. kategória	$-0,02 \leq x < 0,02$
5. kategória	$0,02 \leq x < 0,06$
6. kategória	$0,06 \leq x < 0,1$
7. kategória	$x \geq 0,1$

Prekategorizované hodnoty faktorového skóre do príslušných kategórií charakterizujú s akou intenzitou sa daný faktor prejavuje v danom priestore a môžu byť podkladom pre priestorové zobrazenie v GIS pomocou softvérového produktu Arc/View.

Výhody predkladaného metodického postupu

- optimalizácia výberu vstupných indikátorov vo vzťahu k extrahovaným faktorom,
- stanovenie váhových koeficientov pre vstupné indikátory v rámci extrahovaných faktorov,
- použitie extrahovaných faktorov ako hodnotiacich ekologických, popr. environmentálnych kritérií pre hodnotenie krajinných systémov,
- študovanie originálu systému nepriamo prostredníctvom jeho modelu za účelom poznania vzájomných väzieb v systéme,
- návrh optimálneho manažmentu krajinného systému na základe poznania primárnych a sekundárnych väzieb medzi prvkami modelu.

Dnes už nie je problém získať potrebný rozsah čo najširšieho spektra primeraných dát na popis vplyvu človeka na poľnohospodársku krajinu. Dlhodobu u nás prebiehajú čiasťkové monitorovacie systémy pôdy a krajiny a dáta agrochemického skúšania v pravidelnom 5 ročnom cykle pre celé SR (Enviroportál MŽ SR). Máme k dispozícii digitálne dáta v podobe BPEJ, ktoré sú dostupné pre odborníkov ale aj širokej verejnosti (NPPC, 2022). Tiež máme k dispozícii letecké snímky, pre tvorbu ortofotomáp a ich diagnostikovanie prvkov krajiny pokrývky, databázy ZB GIS (Geoportál – metainformačný systém ZB GIS, UGKK SR, 2021) a iné. Vektorové analytické vrstvy, ktoré vstupujú do hodnotiaceho procesu a ich následnou superpozíciou získavame dostatočné množstvo dát a maticu dát, ktorá je podkladom pre využitie techník faktorovej analýzy.

V tejto súvislosti spomeniem aj iniciatívu Európskej komisie v podobe rovnomennej Smernice Európskeho parlamentu a Rady 2007/2/ES zo 14. marca 2007, ktorou sa zriaďuje Infraštruktúra pre priestorové informácie v Európskom spoločenstve (INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information). Jej cieľom je vytvoriť európsky legislatívny rámec potrebný na vybudovanie európskej infraštruktúry priestorových informácií a zabezpečiť prístupnosť veľkého množstva kvalitných a štandardizovaných priestorových informácií na úrovni Spoločenstva na všetkých úrovniach členských štátov.

Záver

V našej štúdii sme sa zamerali na metodicko-teoretický rámec využitia techniky faktorovej pri štúdiu ekosystémov a ich praktickom využití a návrhoch pri udržateľnom manažmente agroekosystémov.

Modely sú dobrým nástrojom na opis reakcie agroekosystémov v rámci rôznych súborov biotických a abiotických scenárov. V súčasnosti sú k dispozícii rôzne modely agroekosystémov založené na procesoch, ktoré možno použiť na riešenie otázok v ére klimatických zmien.

Pre aplikáciu zvolených metodických postupov techniky faktorovej analýzy pri modelovaní štruktúr vzájomných väzieb v systéme človek-agroekosystém je potrebné získať potrebné dáta, ktoré so spomínanou problematikou súvisia. Dáta majú obyčajne rôzny fyzikálny rozmer a tak spôsobujú podmienky interpretácie faktorového riešenia. Pri spracovaní experimentálnych dát je výhodné upraviť pôvodný dátový súbor na určitý štandardný tvar, ktorý by z hľadiska kvantifikácie zachovával ekvivalentnosť dát. Výsledkom je matica faktorových záťaží, ktoré následne interpretujeme.

Model teda nie je presnou kópiou originálu, ale iba jeho idealizovanou reprodukciou, ktorá je jednoduchšia, zrozumiteľnejšia a prístupnejšia a s ktorou sa ľahšie, bezpečnejšie a efektívnejšie pracuje. Vďaka tomu vzniká možnosť študovať originál nepriamo, prostredníctvom jeho modelu, pričom výsledky získané na tejto úrovni možno znovu transformovať do roviny originálu.

Podakovanie

Príspevok bol spracovaný vďaka podpore Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „Podpora výskumno-vývojových aktivít jedinečného riešiteľského tímu“, 313011BVY7, zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- BELCHER, K.W. – BOEHM, M.M. – FULTON, J. A. 2000. Agroecosystem sustainability: an approach to a system simulation model. In *Agricultural Systems*. vol. 79, no.2. pp. 131-258.
- BLAHUŠ, P. 1985. *Faktorová analýza a její zoběcnení*. Praha: STNL, Nakladatelství technické literatury, 1985. 354 s.
- BOSSARD, M. – FERANEC, J. – OŤAHEL, J. 2000. CORINE land cover technical guide – addendum 2000. Copenhagen (EEA), <http://terrestrial.eionet.eea.int>
- BUDÍKOVÁ, M. – KOUTKOVÁ, H. – PORTEŠOVÁ, Š. 2005. Faktorová analýza testu S. Harterové. In Sborník 4.matematického workshopu. Brno: FAST VUT, 2005, s. 12-24. ISBN 80-214-2998-4.
- CASWELL, H. 1988. Theory and models in ecology: a different perspective. In *Ecological Modelling*. vol. 43, pp.33-44.
- MICHAEL, J. – CRAWLEY, M. J. 2002. *Statistical computing: an introduction to data analysis using S-Plus*. Chichester: John Wiley & Sons, 2002. 722 p. ISBN 978-0-471-56040-1.
- GARDNER, R. H. – TURNER, M. G. – O'NEILL, R. V. – LAVOREL, S. 1991. Simulation of the Scale-Dependent Effects of Landscape Boundaries on Species Persistence and Dispersal. In Holland, M. M., Risser, P. G., Naiman, R. J. (eds). *Ecotones*. Boston: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8_5
- GUIMARAES COUTO, E. – STEIN, A. – KLAMT, E. 1997. Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. In *Agriculture, Ecosystems & Environment*. vol. 66, pp.139-152.
- HENDL, J. 2005. *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005. 408 s. ISBN 80-7367-040-2.
- HOOSBEEK, M. R. – AMUNDSON, R. G. – BRYANT, R. B. 2000. Pedological modeling. In Sumner, M. E. (ed). *Handbook of Soil Science*. Boca Raton: CRC Press.
- HRONEC, O. – VILČEK, J. – TOMÁŠ, J. 2010. *Kvalita zložiek životného prostredia v problémových oblastiach Slovenska*. Brno: Mendělova univerzita v Brne, 2010. 225 s. ISBN 978-80-7375-387-0.
- KANIANSKA, R. – JAĎUĐOVÁ, J. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – KIZEKOVÁ, M. 2016. Assessment of Relationships between Earthworms and Soil Abiotic and Biotic Factors as a Tool in Sustainable Agricultural. In *Sustainability*. vol. 8, no. 9, article number 906. DOI: 10.3390/su8090906
- KIBBLEWHITE, M. G. – RITZ, K. – SWIFT, M. J. 2008. Soil health in agricultural systems. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. vol. 363, pp. 685-701.

- KRNÁČ, Š. – KRNÁČOVÁ, Z. 1994. Study of ecosystem by factor analysis method. In *Ecology*. vol. 13, no. 4, pp. 349-360.
- KRNÁČOVÁ, Z. 2000. The model of interaction connections structure in agroecosystems on the example of the agricultural landscape of Skalica. In *Ekológia Bratislava*. vol. 19, supplement 2/2000, pp. 285-298.
- KOVÁŘ, P. VAŠŠOVÁ, D. JANEČEK, M. 2012. Surface runoff simulation impact of soil erosion, case study Třebšín (Czech Republic). In *Soil and Water Research*. vol. 7, no. 3, pp. 85-96.
- MALINOWSKI, E. R. – HOWERY, D. G. 1980. *Factor Analysis in Chemistry*. New York: Wiley Interscience.
- MCDONALDS, R. P. – SWAMINATHAN, D. G. 1972. *Factor analysis of dispersion matrices based on a very general model with a rapidly convergent procedure for the estimation of parameters*. The Ontario Institute for Studies in Education. 216 p.
- MELOUN, M. – MILITSKÝ, J. 2005. *Počítačová analýza vicerozměrných dat v příkladech*. Praha: Academia, 2005. ISBN 80-200-1335-0.
- MESSING, I. – JARVIS, N. J. 1993. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. In *Journal of Soil Science*. vol. 44, pp. 11-24.
- MITAŠOVÁ, H. – MITAŠ, L. 2001. Viacstupňové simulácie erózie pôdy pre manažment využitia krajiny. In Harmon, R., Doe W. (eds). *Landscape erosion and landscape evolution modeling*. Kluwer Academic, pp. 321-347.
- MITAŠOVÁ, H. – HOFIERKA, J. – HARMON, R. S. – BARTON, M. C. – ULLAH, I. 2013. *Modelovanie erózie pôdy na báze GIS*. In Shroder (ed.). *Treatise o geomorfológii*. San Diego: Academic Press, s. 228-258.
- MILLWARD, A. A. – MERSEY, J. E. 2001. Conservation strategies for effective land management of protected areas using an erosion prediction information system (EPIS). In *Journal of Environmental Management*. vol. 61, no. 4, pp. 329-343.
- MURKHART, A. 2021. Special Issue "Agroecosystem Modelling. Submit to Plants. ISSN 2223-77-47. DOI: 10.1006/jema.2000.0415
- SKLAR, F. H. – COSTANZA, R. 1991. The development of dynamic spatial models for landscape ecology: A review and progress. In Turner, M. G., Gardner, R. H. (eds.). *Quantitative methods in landscape ecology*. vol. 2. New York: Springer-Verlag.
- SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY 2007/2/ES zo 14. marca 2007, ktorou sa zriaďuje Infraštruktúra pre priestorové informácie v Európskom spoločenstve (Inspire).
- VADOVIČOVÁ, E. – DŽATKO, M. 1992. *Hodnotenie produkčného potenciálu pôd a pôdno-ekologických jednotiek modelových podnikov*. Výskumná správa. Bratislava: VÚPÚ, s. 5-11.

- VILČEK, J. 2006. *Energetický potenciál poľnohospodárskych pôd – kritérium hodnotenia a využívania krajiny*. Bratislava: VÚPOP, 2006. 82 s. ISBN 80-89128-25-4.
- VILČEK, J. – BEDRNA, Z. 2007. *Vhodnosť poľnohospodárskych pôd a krajiny Slovenska na pestovanie rastlín*. Bratislava: VÚPOP, 2007. 248 s. ISBN 978-80-89128-36-5.
- TIXIER, P. 2020. Modelling in agroecology: from simple to complex models, and vice versa. In *Modelling in agroecology: from simple to complex models, and vice versa*. CIRAD, INRAE, INRIA. Montpellier: CIRAD, 2 p. International Crop Modelling Symposium (iCROP 2020), Montpellier, France, 3 February 2020/5
- YEMEFACK, M. 2005. *Modelling and monitoring soil and land use dynamics within shifting agricultural landscape mosaic systems in southern Cameroon*. ITC Dissertation 121, ITC Enschede and Utrecht University, The Netherlands. 213 p.
- WILSON, B. R. – GROWNS, I. – LEMON, J. 2008. Land - use effects on soil properties on the north-western slopes of New South Wales: Implications for soil condition assessment. In *Australian Journal of Soil Research*. vol. 46, no. 4, pp. 359-367.

USE OF FACTOR ANALYSIS TECHNIQUES IN AGROECOSYSTEM MODELING

Summary

From the ecosystem point of view, the agroecosystem can therefore be considered as a multilevel, hierarchical system and an interactive area of the biotic, abiotic and socio-economic components of the landscape, which form a unified whole (system - agroecosystem). Agroecosystems are actually derived from natural ecosystems. The agricultural landscape is the most intensively used ecosystem of all other ecosystems (aquatic, forestry and other ecosystems) and they are spatially located in the potentially most productive segments of the landscape. A factor analysis technique is used to analyze these complex relationships to better understand the functionality of the agroecosystem. The factor analysis technique allows the study of complex systems for a better understanding of their functionality. Models are seen as linking data and theory through a set of formal equations that provide the key to understanding the relationships that underlie change processes (Turner and Gardner, 1991). The term model often refers to a small reproduction or representation of an object or phenomenon, a design to be copied, an ideal or standard situation, or as a credible means of imitation. As used herein, the term model means a simplified representation of reality that is intended

to facilitate visualization, prediction, and calculation, and which may also be expressed in symbolic or mathematical form. Modeling is the process of designing and using these models. The models are designed to improve our understanding of theoretical problems, not to duplicate all the details of the real world (Caswell, 1988, Hoosbeek et al., 2000). Models that are designed to principally describe or simulate the observed relationships between are called empirical models, while mechanical models are those that attempt to provide a description and understanding of the processes. In recent years, a number of system simulation models have been developed to examine various aspects of agroecosystem sustainability (Messing, Jarvis, 1993, Belcher et al., 2004, Wilson, Growns, Lemon, 2008, Yemegack, 2005, Kanianska et al., 2016).

RNDr. Zdena Krnáčová, PhD.

Ústav krajinnej ekológie SAV

Štefánikova 3, 814 99 Bratislava

E-mail: zdena.krnacova@savba.sk