

**Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci
s Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVal UKF v Nitre**



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 14

Číslo 2/2023

Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci s
Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVai UKF v Nitre



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 14

Číslo 2/2023

EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Recenzovaný vedecký časopis venovaný aktuálnym problémom ekológie, krajinej ekológie a príbuzných vedných disciplín

Hlavný redaktor / Editor-in-Chief:

prof. RNDr. František Petrovič, PhD.

Výkonný redaktor / Executive editor:

prof. PaedDr. PhD. RNDr. Martin Boltžiar, PhD.

Redakčná rada / Editorial board:

RNDr. Peter Gajdoš, CSc.

prof. Fedir Hamor, DrSc. (Ukrajina)

RNDr. Vladimír Herber, CSc. (Česká republika)

prof. RNDr. Juraj Hreško, CSc.

prof. RNDr. Zita Izakovičová, PhD.

doc. RNDr. Zdeněk Lipský, CSc. (Česká republika)

Dr.h.c. prof. RNDr. László Miklós, DrSc.

RNDr. Milena Moyzeová, PhD.

Ing. Július Oszlányi, CSc.

Dr. László Podmanický (Maďarsko)

prof. Ing. Ivan Vološčuk, DrSc.

Dr.h.c. prof. RNDr. Florin Žigrai, DrSc. (Rakúsko)

Technické spracovanie / Computer typesetting:

Mgr. Henrik Kalivoda, PhD.

Za obsahovú a jazykovú stránku príspevkov zodpovedajú autori

Vydavateľ: Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV v spolupráci s Ústavom krajinej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVaI UKF v Nitre

Dátum vydania: december 2023

Číslo: 2

Ročník: 14

Vychádza 2x ročne

Časopis Ekologické štúdie je dostupný online na stránke <http://publikacie.uke.sav.sk/>

Evidenčné číslo MK SR: EV 4174/10

ISSN 1338-2853

OBSAH

HALADA, L., DAVID, S., GAŠPAROVIČOVÁ, P.: Vegetácia obce Runina (Národný park Poloniny, SV Slovensko) a jej prírodoochranná významnosť.....	4
HUTÁROVÁ, D., ŠTEFUNKOVÁ, D., KOZELOVÁ, I.: Ekosystémové služby záhradkárskeho osád v mestách – systematický prehľad.....	16
MARETTA, M., ČALKOVSKÝ, M.: Tvorba mapy ohrozenia bleskovými povodňami v povodí Sklabinského potoka.....	30
PALAJ, A., KOLLÁR, J.: Zmeny v zastúpení endemických druhov v alpskej vegetácii Západných Karpát.....	40
MIHÁL, I.: Štruktúra symbiotickej a saprotrofnej mykobioty v kultúrnych smrečiniach	52
KRNÁČOVÁ, Z.: Využitie techník faktorovej analýzy pri modelovaní agroekosystémov	67
HRIVNÁKOVÁ, K., ČAJKOVÁ, S., HREŠKO, J.: Morfodynamika povodí plies Vysokých Tatier (Dolina Zeleného plesa) v kontexte zmeny klímy.....	80

VYUŽITIE TECHNÍK FAKTOROVEJ ANALÝZY PRI MODELOVANÍ AGROEKOSYSTÉMOV

USE OF FACTOR ANALYSIS TECHNIQUES IN MODELING AGROECOSYSTEMS

Zdena KRNÁČOVÁ

Ústav krajinej ekológie SAV, v.v.i., Štefánikova 3, P. O. Box 254, 814 99 Bratislava,
e-mail: zdena.krnacova@savba.sk

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. 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 krajnotvorné 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, (Caswell, 1988, Michael, 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, Yemefack, 2005, Kanianska et al., 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, čo zdôrazňuje potrebu zväziť interakcie medzi aktivitami človeka, pôdnym pokryvom a produkčnosťou (Kibblewhite et al., 2008).

Cieľom štúdie je prezentácia techniky faktorovej analýzy pri skúmaní interakcii v agroekosystémov, ktoré môžeme považovať za viacúrovňový, hierarchický systém a interaktívnu oblasť biotických, abiotických a socioekonomických zložiek krajiny, ktoré tvoria unifikovaný celok (človek-agroekosystém). Využitie tejto techniky nám umožňuje zjednodušiť a kvantifikovať interaktívne väzby v týchto systémoch a prisúdiť im váhu významnosti, ktoré môžeme využiť pri návrhových zmenách riadenia a manažmentu agroekosystémov.

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, Hoosbeek 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 pestrou geomorfológiou, 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:

$$Impact = f(Action, Agroecosystem)$$

kdezávislá 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 vlastnosti sú vyvolané 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 *F*, 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 skonstruovať (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 (1972) v tvare Budíková a kol. (2005) a 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.

Kvantifikácia vstupných premenných (indikátorov)

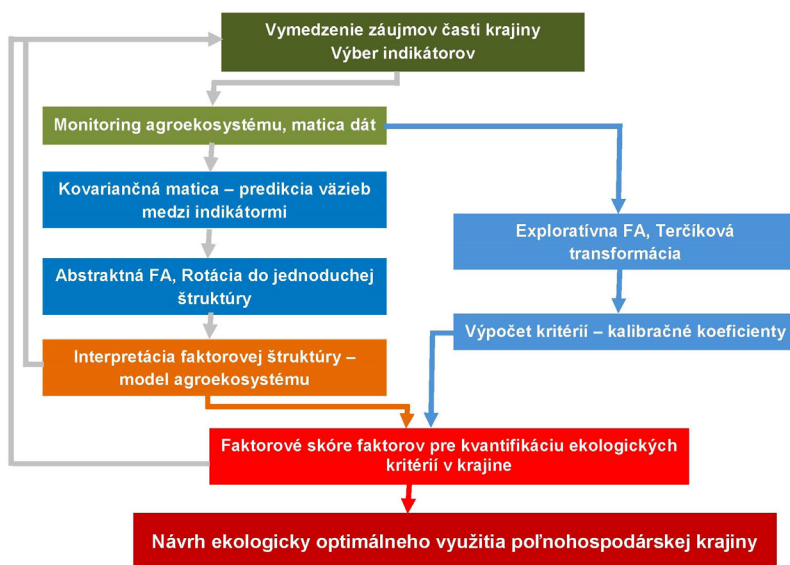
Pri použití vstupných premenných v akejkoľvek faktorovej analýze sa vyžaduje použitie kvantitatívnych premenných so škálou intervalového typu, ako vstupné premenné. Nedodržaním tejto striktnnej podmienky môžu byť výsledky analýzy silne deštruované. V prípade nevyhnutnosti použitia kvalitatívnych indikátorov 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).

Návrh štruktúry modelu faktorovej analýzy pri štúdiu interakčných väzieb agroekosystémov

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



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

Multikriteriálny prístup k priestorovej kvantifikácii interaktívnych väzieb agroekosystémov 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.

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).

$$X(n, N) = \begin{bmatrix} x_{11}, & x_{12} \dots \dots \dots & x_{1n} \\ x_{21}, & x_{22} \dots \dots \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{N1}, & x_{N2} \dots \dots \dots & x_{Nn} \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{súbor } n \text{ premenných, ktorými sú ukazovatele} \\ \text{(indikátory)} \end{array}$$

N - prvkov (výberový súbor)

Obr. 2: Schéma najpoužívanejšej štruktúry dát.

Prvkami výberového súboru môžu byť základné priestorové jednotky, ktoré možno považovať za relatívne homogénne z hľadiska abiotických atribútov - napr. 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),

krajinno-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 (NPPCP, 2022) 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 fytomasy 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, Ořahel, 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.

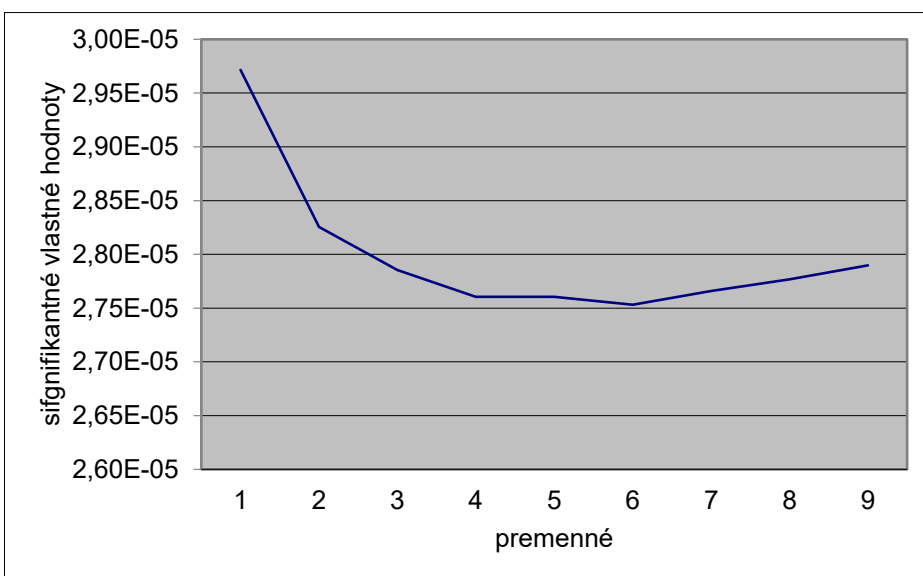
Podmienky tvorby modelu agroekosystému - kalibrácia modelu

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 aplikáciami faktorovej analýzy vykonanými 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 významných vlastných hodnôt, t.j. počet extrahovaných faktorov (graf 1).

Na uvedenom grafe 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).



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

Tvorba modelu agroekosystému

Pri prvotných analýzach takto získané faktorové riešenie transformujeme pomocou ortogonálnej rotácie do jednoduchšej štruktúry použitím kritéria VARIMAX. Rotovanú maticu faktorových záťaží získanú analýzou reálne existujúceho agroekosystému označme A_0 . Faktorové záťaže stanovené v zmysle jednoduchšej 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. Pritom 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 vhodné ortogonálne vlastnosti latentných premenných.

Ďalej definujeme významnosť (signifikantnosť) 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 0.3 - 0 (Krnáč, Krnáčová, 1994).

Príklad štruktúry hodnôt faktorových záťaží šiestich 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	0.38516	-0.0428	-0.2822	0.17746	0.53505	-0.0417
2	SV	0.19441	-0.0201	-0.6687	0.27199	-0.0286	0.01949
3	HPV	0.45593	0.38719	0.12578	0.09412	0.13601	0.38989
4	SKEL	0.43088	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	0.11108	-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), SiO₂P - % 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, obrábatelnosť 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 atmosférické 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), Kovář 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.

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.

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

Premenné	Charakteristika
Vlastné hodnoty	Chybová analýza
Faktorové záťaže	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

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, prípadne 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:

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

kde: \mathbf{A}_0 - matica faktorových záťaží, \mathbf{F}_0 - faktorové skóre a \mathbf{E}_0 - matica chýb.

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

V určitých prípadoch je potrebné preškálovanie hodnôt faktorového skóre do uvedených intervalov pre možnosti ich priemetu do homogénnych jednotiek. Faktorové skóre charakterizuje s akou intenzitou sa daný faktor prejavuje v danej lokalite je zobrazený v Tab. 3 (Krnáč, Krnáčová, 1994).

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.

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	$x \geq 0,1$

Zhrnutie navrhovaných krokov tvorby modelu

- Výhody predkladaného metodického postupu sú nasledovné:
- 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 hodnotenie vplyvu človeka na poľnohospodársku krajinu. Dlhodobo u nás prebiehajú čiastkové monitorovacie systémy pôdy a krajiny a dáta agrochemického skúšania v pravidelnom 5 ročnom cykle pre celé SR (Enviroportál MŽ SR). K dispozícii sú digitálne dáta v podobe BPEJ, ktoré sú dostupné pre odborníkov ale aj širokej verejnosti (NPPC, 2022). Tiež sú k dispozícii letecké snímky (ortofotomapy) pre diagnostikovanie prvkov krajinnnej pokrývky, databázy ZB GIS (Geoportál – metainformačný systém ZB GIS, UGKK SR, 2021) a iné. Na základe interpretácie týchto dát je možné vytvárať vektorové alebo rastrové 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 spomenieme 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 in Europe). Jej cieľom je vytvoriť európsky legislatívny rámec potrebný na vybudovanie európskej infraštruktúry priestorových informácií a zabezpečiť sprístupnenie veľkého množstva kvalitných a štandardizovaných priestorových informácií na úrovni Spoločenstva na všetkých úrovniach členských štátov.

Záver

V našej štúdii sme sa zamerali na teoreticko-metodický rámec využitia techniky faktorovej analýzy pre štúdium agroekosystémov, ich praktického využitia a pre návrhy ich udrža-

teľného manažmentu. 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 napríklad na riešenie otázok v ére klimatickej zmeny. 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. Pri spracovaní experimentálnych dát je vhodné upraviť pôvodný dátový súbor na určitý štandardný tvar, ktorý by z hľadiska kvantifikácie zachovával ekvivalentnosť dát. Výsledkom je matica faktorových záťaží, ktoré je následne možné interpretovať. Model 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. Výsledky získané na úrovni modelu možno následne transformovať do roviny originálu.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „Podpora výskumno-vývojových aktivít jedinečného riešiteľského tímu“, 313011BVY7, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra:

- BELCHER, K. W., BOEHM, M. M., FULTON, J. A.: Agroecosystem sustainability: an approach to a system simulation model. *Agricultural systems*. 2004, Vol. 79, No. 2. pp. 131-258
- BLAHUŠ, P. 1985. Faktorová analýza a její zoběcnení. Praha : STNL, Nakladatelství technické literatury, 354 p.
- BOSSARD, M., FERANEC, J., OŤAHEL, J.: CORINE land cover technical guide – addendum 2000. Copenhagen (EEA), <http://terrestrial.eionet.eea.int>
- BUDÍKOVÁ, M., KOUTKOVÁ, H., PORTEŠOVÁ, Š.: Faktorová analýza testu S. Harterové. In Sborník 4. matematického workshopu. FAST VUT, BRNO : Vysoké učení technické, 2005. od s. 12-24, 12 p. ISBN 80-214-2998-4.
- CASWELL, H. : Theory and models in ecology: a different perspective. *Ecological Modelling* 43: 1998, pp. 33-44.
- GARDNER, R. H., TURNER, M. G., O'NEILL, R. V., LAVOREL, S.: Simulation of the Scale-Dependent Effects of Landscape Boundaries on Species Persistence and Dispersal. 1991, In: Holland, M. M., Risser, P. G., Naiman, R. J. (eds.) *Ecotones*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8_5
- GUIMARAES COUTO, E, STEIN, A., KLAMT, E.: Large area spatial variability of soil chemical properties in central Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1997, 66. pp. 139-152.
- HENDL, J. : Kvalitativní výzkum metody a aplikace. Praha : Portál, 2005, ISBN 80-7367-040-2, 408 p.
- HOOSBEEK, M. R., AMUNDSON, R. G., BRYANT, R. G.: Pedological modeling, p. E77 - E116, In: M. E. Sumner, (ed.). *Handbook of soil science*. 2000, CRC Press, Boca Raton, FL.
- HRONEC, O., VILČEK, J., TOMÁŠ, J.: Kvalita zložiek životného prostredia v problémových oblastiach Slovenska. Brno : Mendělova univerzita v Brne, 2010. 225 p. ISBN 978-80-7375-387-0.
- KANIANSKA, R., JAĎUĎOVÁ, J., MAKOVNÍKOVÁ, J., KIZEKOVÁ, M.: Assessment of Relationships between Earthworms and Soil Abiotic and Biotic Factors as a Tool in Sustainable Agricultural. *Sustainability* 2016, 8(9), 906; doi:10.3390/su8090906
- KIBBLEWHITE, M. G., RITZ, K., SWIFT, M. J. : Soil health in agricultural systems. *Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci.* 363, 2008, pp. 685 - 701.

- KRNÁČ, Š., KRNÁČOVÁ, Z.: Study of ecosystem by factor analysis method. Bratislava : Institute of Landscape Ecology SAS. 1994, Ecology, Vol., 13, 4, pp. 349-360.
- KRNÁČOVÁ, Z.: The model of interaction connections structure in agroecosystems on the example of the agricultural landscape of Skalica. Ekológia Bratislava, Vol. 19, Supplement 2/2000, pp. 285-298
- KOVÁŘ, P., VAŠŠOVÁ, D., JANEČEK, M.: Surface runoff simulation impact of soil erosion - case study Třebsín (Czech Republic). 2012, Soil and Water Research 7 (3), pp. 85-96.
- MALINOWSKI, E. R., HOWERY, D. G.: Factor analysis in Chemistry. 1980, Wiley Interscience. New York.
- MCDONALDS, R. P., SWAMINATHAN, D. G.: Factor analysis of dispersion matrices based on a very model with a rapidly convergent procedure for the estimation of parameters. 1972, The Ontario Institute for Studies in Education.
- MELOUN, M., MILITSKÝ, J.: Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech. Praha : ACADEMIA, 2005, ISBN 80-200-1335-0
- MESSING, I., JARVIS, N. J.: Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. 1993, Journal of Soil Science 44, pp. 11-24.
- MICHAEL, J., CRAWLEY, M. J.: Statistical computing: an introduction to data analysis using S-Plus. John Wiley & Sons, Chichester, England. 2002, ISBN 978-0-471-56040-1, 722 p.
- MITAŠOVÁ, H., MITAŠ, L.: *Viacstupňové simulácie erózie pôdy pre manažment využitia krajiny*. In: Landscape erosion and landscape evolution modeling. 2001, Harmon R. and Doe W. (eds.). Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 321- 347.
- MITAŠOVÁ, H., HOFIERKA, J., HARMON, R. S., BARTON, M. C., ULLAH, I. : *GIS-based Soil Erosion Modeling*, In: Shroder, J., Bishop, M. P. (eds.). Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 3, 2013, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology, pp. 228–258.
- MILLWARD, A. A., MERSEY, J. E.: Conservation strategies for effective land management of protected areas using an erosion prediction information system (EPIS). J Environ Manage. 2001 Apr;61(4):329-4
- MURKHART, A.: Special Issue Agroecosystem Modelling., 2021, Submit to Plants, ISSN 2223-77-47, October, 3. doi: 10.1006/jema.2000.0415. PMID: 11383105.
- SKLAR, F. H., COSTANZA, R. :The development of dynamic spatial models for landscape ecology: A review and progress, In: M. G. Turner and R. H. Gardner (eds). 1991, Quantitative methods in landscape ecology, Vol. 2. Springer-Verlag, New York.
- 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.: Hodnotenie produkčného potenciálu pôd a pôdno-ekologických jednotiek modelových podnikov. 1992, Výskumná správa. VÚPÚ, Bratislava, pp. 5-11.
- VILČEK, J.: Energetický potenciál poľnohospodárskych pôd – kritérium hodnotenia a využívania krajiny, VÚPOP Bratislava, 2006, 82 p. ISBN 80-89128-25-4.
- VILČEK, J., BEDRNA, Z.: Vhodnosť poľnohospodárskych pôd a krajiny Slovenska na pestovanie rastlín, VÚPOP, Bratislava, 248 p., 2007, ISBN 978-80-89128-36-5.
- TIXIER, P.: 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). 2, Montpellier, France, 3 February 2020/5
- YEMEFACK, M.: Modelling and monitoring soil and land use dynamics within shifting agricultural landscape mosaic Systems in Southern Cameroon. ITC Dissertation 121, 2002, ITC Enschede and Utrecht University, The Netherlands. 213 p. http://www.itc.nl/library/Papers_2005/phd/yemefack.Pdf
- WILSON, B.R., GROWNS, I., LEMON, J.: Land - use effects on soil properties on the north-western slopes of New South Wales: Implications for soil condition assessment. Australian Journal of Soil Research, 2008, 46(4), pp. 359–367.
- NPPC, 2022: Databáza bonitovaných jednotiek (BPEJ) v digitálnej podobe v mierke 1:10 000.
- UGKK SR, 2021: Databáza geologických a hydrogeologických jednotiek v mierke 1: 50 000.