

# AZ ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEK HOZAMÁNAK VIZSGÁLATA

**Horváth-Szováti Erika és Vágvölgyi Andrea**

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar*

## KIVONAT

A minirotációs energetikai faültetvények egyrészt megújuló energiaforrásként szolgálnak, másrészt telepítésük a mezőgazdasági felhasználásra nem alkalmas termőföld hasznosítása szempontjából is fontos. Arra keressük a választ, hogy hozamnövekedés szempontjából mely éghajlati és talaj adottságok a legmeghatározóbbak. A kísérletben szereplő nagyszámú változót a többváltozós matematikai statisztika eszközeivel (főkomponens-analízissel és faktoranalízissel) minimálásra redukáltuk. Megállapítottuk, hogy a hozamot elsősorban a hőmérséklet, a talaj Ph-ja és  $\text{CaCO}_3$ - tartalma, valamint az Arany-féle kötöttség befolyásolja. Mivel a kísérleti területek között csapadékmennyiség szempontjából jelentős különbség nem volt, így ennek a tényezőnek a hatása a kísérletben minimálásra csökkent.

*Kulcsszavak:* fásszárú energetikai ültetvények, termőhely, többváltozós matematikai statisztika, főkomponens-analízis, faktoranalízis

## ANALYSIS YIELDS OF ENERGY PLANTATIONS

### Abstract

The mini-rotation energy plantations are important on the one hand as a source of renewable energy, on the other hand, makes it useful the not suitable for agricultural use lands. We try to give an answer to the question, under what climate and soil conditions is the increase the most significant. Large number of variables, in the experiment were reduced to a minimum by means of multivariate statistics (principal component analysis and factor analysis). We found that the yields are affects primarily by temperature, by soil pH, by  $\text{CaCO}_3$  content and by Arany's value. As in the pilot areas significant difference in terms of rainfall was not, so the effect of this factor reduced the minimum.

*Keywords:* woody energy plantations, production site, multivariate statistics, principal component analysis, factor analysis

## BEVEZETÉS

Az energiafogyasztás nagymértékű növekedése és a globális klímaváltozás miatt szükségszerűvé vált, hogy a világ energiafelhasználásában növekedjen a megújuló energiaforrások részaránya. Az egész világon előtérbe kerültek a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos kutatások. A fenntartható fejlődést segíthetik elő a minirotációs energetikai faültetvények hasznosításával és fejlesztésével kapcsolatos vizsgálatok is. Az ener-

*Levelező szerző/Correspondence:*

*Vágvölgyi Andrea, H-9400 Sopron, Ady E. u. 5.; e-mail: avagvolgyi@emk.nyime.hu*



sorszám	tőátmérő: $d_0$ (mm)	mellmagassági átmérő:		tömeg: m (kg)	sarjaztatás száma	átlagos hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ )	átlagos csapadék (mm/év)	pH <sub>vizes</sub>		CaCO <sub>3</sub>						K <sub>A</sub>		H%	
		$d_{1,3}$ (mm)	magasság: h (m)					súlyozott átlag a termőhelyre	felső réteg adatai	súlyozott átlag a termőhelyre	felső réteg adatai	mélység <sub>(1)</sub> (ahol megjelenik; cm)	érték	mélység <sub>(17)</sub> -ben	mélység <sub>(2)</sub> (ahol (maximális; cm)	érték	mélység <sub>(2)</sub> -ben	súlyozott átlag a termőhelyre	felső réteg adatai
711.	69	55	7,4	8,79	2	9,8	610	8,05	8	20	14	0	18	60	54	37	40	1,42	2,3
712.	56	46	7,4	5,5	2	9,8	610	8,05	8	20	14	0	18	60	54	37	40	1,42	2,3
713.	45	37	5,8	3,98	2	9,8	610	8,05	8	20	14	0	18	60	54	37	40	1,42	2,3

A főkomponens-analízis során használt főkomponensek az eredeti változók lineáris kombinációi. Általában nincs semmilyen gyakorlati jelentésük, hiszen az eredeti változók nagyon sokfélék lehetnek, így lineáris kombinációik sem értelmezhetők, de ez nem is feltétlen elvárás. A főkomponens-analízis sokszor egy összetett adatelemzés első fázisa, amely során a főkomponensekkel dolgozunk tovább. Főkomponens-analízis során az okság a változóktól mutat a főkomponensek felé.

A faktoranalízis az adathalmaz mögött rejtőző háttérösszefüggéseket tételez fel, célja ezek feltárása és segítségükkel a változók csoportosítása, illetve redukciója. A „faktor” valójában a „háttérváltozót” jelenti. A faktorok segítségével a változókat, illetve a mérések koordinátáit egy olyan új koordináta-rendszerben írjuk fel, amely az értelmezhetőségüket jelentősen megkönnyíti. Ebben az esetben tehát az okság a faktorok felől mutat a változók felé. A faktorok száma akkor optimális, ha a lehető legkevesebb, de ez a minimális számú faktor még jól reprezentálja a páronkénti kovarianciák rendszerét. A faktorsúlyokból (a faktorok együtthatói a lineáris kombinációkban) következtethetünk arra, hogy mennyire szoros a lineáris kapcsolat egy adott változó és egy faktor között. Fontos különbség a főkomponens-analízis és a faktoranalízis között, hogy faktoranalízis során a faktorok jelentését is keressük. A faktorok értelmezését megkönnyítő faktorrotációkról is ejtünk néhány szót (Fazekas, 1997; Füstös et. al, 1986; Horvai, 2001; Münnich et. al, 2006; Podani, 1997; Sváb, 1979; Szűcs, 2000; Jahn és Vahle, 1974).

A kiértékelés során a következő 19 (db) változóval dolgoztunk (1. táblázat):

Var1 - tőátmérő:  $d_0$  (mm),

Var2 - mellmagassági (1,3 m magasságban mért) átmérő:  $d_{1,3}$  (mm),

Var3 - magasság: h (m),

Var4 - tömeg: m (kg),

Var5 - a sarjaztatások száma,

Var6 - átlaghőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ),

Var7 - átlagos csapadék (mm/év),

Var8 – a pHvizes súlyozott átlaga a termőhelyre<sup>1</sup>,

Var9 – a pHvizes adatai a legfelső talajrétegben<sup>2</sup>,

Var10 – a CaCO<sub>3</sub> súlyozott átlaga a termőhelyre<sup>1</sup>,

Var11 - a CaCO<sub>3</sub> adatai a legfelső talajrétegben<sup>2</sup>,

Var12 – a mélység, ahol a CaCO<sub>3</sub> megjelenik,

Var13 – a CaCO<sub>3</sub> értéke, ahol megjelenik,

Var14 – a mélység, ahol a CaCO<sub>3</sub> értéke maximális,

1 a mélység függvényében végzett súlyozás adatai

2 a felső 40 cm-es talajréteg adatai



Var15 - a  $\text{CaCO}_3$  maximális értéke,  
 Var16 -  $K_A$  súlyozott átlaga a termőhelyre<sup>1</sup>,  
 Var17 -  $K_A$  adatai a legfelső talajrétegben<sup>2</sup>,  
 Var 18 - H% súlyozott átlaga a termőhelyre<sup>1</sup>,  
 Var 19 – a H% vizes? adatai a legfelső talajrétegben.

Meg kell jegyeznünk, hogy a vizsgálati területek hőmérsékleti és csapadék adatai között jelentős eltérés nem volt, így ezeknek a változóknak a hatása kísérletben minimálisra csökkent.

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

A főkomponens-analízis és faktoranalízis alkalmazhatósága ellenőrizhető a korrelációs mátrix értékeinek vizsgálatával (2. táblázat). Mindkét módszer alkalmazható, mert a korrelációs mátrix értékei között sok változópaár esetében kaptunk abszolút értékben 0,3-nél nagyobb értéket.

Először a főkomponens-analízis segítségével elemeztük az adatokat. A korrelációs mátrix sajátértékeit a 3. táblázat mutatja. Ez alapján látható, hogy a 17 főkomponens együtt a teljes varianciát magyarázza (az első 29,78%-ot, a második 21,01%-ot, a harmadik 15,52%-ot, és így tovább). A későbbiekben az első 5 főkomponenssel dolgoztunk tovább, mert ezek sajátértéke 1-nél nagyobb. Ez azt jelenti, hogy a 17 változót jól reprezentálhatjuk 5 főkomponenssel.

2. táblázat: Korrelációs mátrix.

Table 2: Correlation matrix.

variable	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16	Var17	Var18	Var19
Var1	1,000	0,957	0,864	0,907	0,213	-0,136	0,004	-0,072	-0,109	0,170	0,050	0,059	0,202	-0,023	0,256	0,085	-0,033	0,149	0,129
Var2	0,957	1,000	0,933	0,899	0,244	-0,124	-0,033	0,003	-0,048	0,213	0,067	0,071	0,222	-0,032	0,280	0,074	0,005	0,082	0,058
Var3	0,864	0,933	1,000	0,836	0,227	-0,102	-0,033	0,009	-0,041	0,135	0,014	0,049	0,120	-0,099	0,143	0,152	0,018	0,096	0,064
Var4	0,907	0,899	0,836	1,000	0,148	-0,100	0,061	-0,075	-0,123	0,068	-0,064	0,190	0,193	0,001	0,141	0,014	-0,104	0,085	0,064
Var5	0,213	0,244	0,227	0,148	1,000	-0,214	-0,257	0,344	0,192	0,746	0,358	0,263	0,652	0,587	0,615	0,340	-0,266	-0,145	-0,204
Var6	-0,136	-0,124	0,029	-0,100	-0,214	1,000	-0,626	-0,112	-0,119	-0,422	-0,401	0,058	-0,514	-0,141	-0,633	0,306	-0,134	0,129	0,135
Var7	0,004	-0,033	-0,104	0,061	-0,257	-0,626	1,000	-0,339	-0,331	-0,208	-0,253	0,037	-0,115	-0,102	-0,055	-0,278	-0,153	0,214	0,203
Var8	-0,072	0,003	0,009	-0,075	0,344	-0,112	-0,339	1,000	0,958	0,663	0,530	-0,157	0,365	0,273	0,489	-0,076	0,137	-0,691	-0,696
Var9	-0,109	-0,048	-0,041	-0,123	0,192	-0,119	-0,331	0,958	1,000	0,588	0,640	-0,360	0,286	0,092	0,404	-0,037	0,313	-0,685	-0,684
Var10	0,170	0,213	0,135	0,068	0,746	-0,422	-0,208	0,663	0,588	1,000	0,672	-0,048	0,688	0,378	0,866	0,058	0,107	-0,380	-0,414
Var11	0,050	0,067	0,014	-0,064	0,358	-0,401	-0,253	0,530	0,640	0,672	1,000	-0,496	0,561	-0,175	0,511	-0,036	0,644	-0,249	-0,260
Var12	0,059	0,071	0,049	0,190	0,263	0,058	0,037	-0,157	-0,360	-0,048	-0,496	1,000	0,408	0,631	0,008	-0,167	-0,670	-0,135	-0,133
Var13	0,202	0,222	0,120	0,193	0,652	-0,514	-0,115	0,365	0,286	0,688	0,561	0,408	1,000	0,451	0,662	-0,184	-0,002	-0,332	-0,346
Var14	-0,023	-0,032	-0,099	0,001	0,587	-0,141	-0,102	0,273	0,092	0,378	-0,175	0,631	0,451	1,000	0,472	0,284	-0,606	-0,343	-0,337
Var15	0,256	0,280	0,143	0,141	0,615	-0,633	-0,055	0,489	0,404	0,866	0,511	0,008	0,662	0,472	1,000	-0,025	0,068	-0,281	-0,289
Var16	0,085	0,074	0,152	0,014	0,340	0,306	-0,278	-0,076	-0,037	0,058	-0,036	-0,167	-0,184	0,284	-0,025	1,000	-0,125	0,112	0,091
Var17	-0,033	0,005	0,018	-0,104	-0,266	-0,134	-0,153	0,137	0,313	0,107	0,644	-0,670	-0,002	-0,606	0,068	-0,125	1,000	0,099	0,129
Var18	0,149	0,082	0,096	0,085	-0,145	0,129	0,214	-0,691	-0,685	-0,380	-0,249	-0,135	-0,332	-0,343	-0,281	0,112	0,099	1,000	0,995
Var19	0,129	0,058	0,064	0,064	-0,204	0,135	0,203	-0,696	-0,684	-0,414	-0,260	-0,133	-0,346	-0,337	-0,289	0,091	0,129	0,995	1,000

Következő lépésként (4. táblázat) a főkomponensekhez tartozó sajátvektorok koordinátáit határoztuk meg, melyek megmutatják, hogy az eredeti változók mekkora mértékben járulnak hozzá a főkomponensekhez. Mivel korrelációs mátrixon alapul a számítás, ezek a koordináták egyben a változók főkomponenshez való relatív hozzájárulását is mutatják, azaz a faktorsúlyokkal is megegyeznek. A 4. táblázat alapján megpróbáltuk értelmezni és elnevezni a főkomponenseket, a kapott eredmények ugyanis így sokkal szemléletesebbek lesznek. Az elnevezés a főkomponens-analízis esetében nem mindig egyszerű és egyértelmű feladat, és megjegyezzük, hogy - ellentétben a faktoranalízissel - nem is elvárás.

3. táblázat: A korrelációs mátrix sajátértékei.  
 Table 3: Eigenvalues of correlation matrix.

Value number	Eigenvalues of correlation matrix, and related statistics Active variables only			
	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	5,659600	29,78737	5,65960	29,7874
2	3,992063	21,01086	9,65166	50,7982
3	2,948138	15,51651	12,59980	66,3147
4	2,128869	11,20458	14,72867	77,5193
5	1,691934	8,90492	16,42060	86,4242
6	0,953612	5,01901	17,37422	91,4432
7	0,499759	2,63031	17,87398	94,0736
8	0,357396	1,88103	18,23137	95,9546
9	0,276291	1,45416	18,50766	97,4088
10	0,189349	0,99657	18,69701	98,4053
11	0,108456	0,57082	18,80547	98,9761
12	0,089138	0,46915	18,89461	99,4453
13	0,062404	0,32844	18,95701	99,7737
14	0,021373	0,11249	18,97838	99,8862
15	0,017268	0,09088	18,99565	99,9771
16	0,002940	0,01547	18,99859	99,9926
17	0,001410	0,00742	19,00000	100,0000

 4. táblázat: A változók faktor-koordinátái.  
 Table 4: Factor coordinates of the variables.

Variable	Factor coordinates of the variables, based on correlations				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Tőátmérő d0 (mm)	0,215432	-0,910775	0,209073	0,095099	-0,120870
Mellmagassági átmérő d1.3 (mm)	0,271797	-0,898032	0,223670	0,141667	-0,155894
Magasság h (m)	0,196735	-0,849527	0,237308	0,284249	-0,133235
Tömeg m (kg)	0,164202	-0,889859	0,107415	0,110846	-0,270755
Hányszor sarjzatotott	0,677291	-0,241901	-0,316419	0,003934	0,507715
Átlaghőm.	-0,436177	0,086067	-0,091841	0,828458	0,115759
Átl. Csap.	-0,268675	-0,119122	-0,062170	-0,745919	-0,301191
Ph vizes Súlyozott átlag a termőhelyre	0,797497	0,337519	0,103536	0,266308	-0,181710
Ph vizes Felső réteg adatai	0,734636	0,422346	0,295097	0,273622	-0,192471
CaCO3 Súlyozott átlag a termőhelyre	0,904699	-0,012891	0,047316	-0,119761	0,261979
CaCO3 Felső réteg adatai	0,673299	0,198671	0,584039	-0,139487	0,222391
CaCO3 Mélység (ahol megjelenik cm)	0,037091	-0,269828	-0,844116	-0,065144	-0,171702
CaCO3 Érték	0,763367	-0,152155	-0,187573	-0,325578	0,084942
CaCO3 Mélység (ahol max. cm)	0,452576	-0,046954	-0,796281	0,016381	0,186811
CaCO3 Érték	0,815197	-0,135883	-0,012550	-0,331506	0,207808
KA Súlyozott átlag a termőhelyre	0,000661	-0,131118	-0,102557	0,474226	0,615410
KA Felső réteg adatai	0,080623	0,205293	0,867452	-0,082794	0,092723
H% Súlyozott átlag a termőhelyre	-0,639944	-0,370413	0,207112	-0,255944	0,514274
H% Felső réteg adatai	-0,659908	-0,342534	0,212506	-0,258203	0,495311

1. főkomponens (**első talajminőségi és sarjzatási főkomponens**): a pH-val és a CaCO<sub>3</sub>-mal szoros pozitív kapcsolat, a sarjztatás számával közepesen erős pozitív kapcsolat, a humusztartalommal pedig negatív kapcsolat van;
2. főkomponens (**negatív hozammutató főkomponens**): valamennyi hozammal kapcsolatos változóval szoros negatív kapcsolat van;
3. főkomponens (**második talajminőségi főkomponens**): a CaCO<sub>3</sub> mélységi adataival szoros negatív kapcsolat és a K<sub>A</sub> felső rétegbeli adataival szoros pozitív kapcsolat van;
4. főkomponens (**éghajlati főkomponens**): az átlaghőmérséklettel szoros pozitív, az átlagos csapadékkal szoros negatív kapcsolat van;
5. főkomponens (**3. talajminőségi főkomponens**): a K<sub>A</sub> termőhelyre vett súlyozott átlagával közepesen erős pozitív kapcsolat van.

A főkomponensek megnevezése után az eredményeket egységkörös vektorbrák segítségével elemeztük. Mivel a cél az ültetvény „hozam” alakulásának vizsgálata a „hozammutató főkomponens” a többi főkomponens



függvényében ábrázoltuk. Minden eredeti változónak az 5-dimenziós térben (az 5 főkomponens tere) egy pont felel meg. Ezeket a pontokat vetítettük a Factor1-Factor2, Factor3-Factor2, Factor4-Factor2, Factor5-Factor2 síkokra, így kaptuk a 1. ábrán lévő egységkörös vektorábrákat. Amelyik vektor hossza nagyon kicsi, az azt mutatja, hogy a tengelyeken lévő főkomponensek egyikével sincs az adott változó szoros korrelációban.

Az egységkörös vektorábrákon (1. ábra) a vektorok által közbezárt szög koszinuszának nagyságával arányos a korreláció mértéke. Tehát például mindegyik egységkörös vektorábrán kicsi hegyesszöget zár be az 1-2-3. változóhoz tartozó vektor, így ezek között a változók között erős pozitív korreláció van (ez azt jelenti, hogy ha bármelyik kettőt kiválasztjuk és a mérési eredményeket e kettő síkjában ábrázoljuk, a pontok nagy része egy növekvő egyenes mentén helyezkedik el). Ha a szög növekszik, a pozitív korreláció mértéke csökken, derékszög esetén pedig nulla. Ez utóbbi esetben nincs lineáris kapcsolat a változók adatai között, nem korrelálnak. A korrelálás hiánya a függetlenségnek csak szükséges, de nem elegendő feltétele, azaz nem jelenti feltétlenül az adatok közötti függetlenséget, másfajta kapcsolat, nem lineáris kapcsolat fennállhat közöttük. Derékszög felett tovább növelve a szöveget a negatív korreláció egyre erősebbé válik, és egyenesszög esetén éri el a -1-et. A -1-hez közeli korreláció úgy értelmezhető, hogy a pontok nagy része egy csökkenő egyenes mentén helyezkedik el.

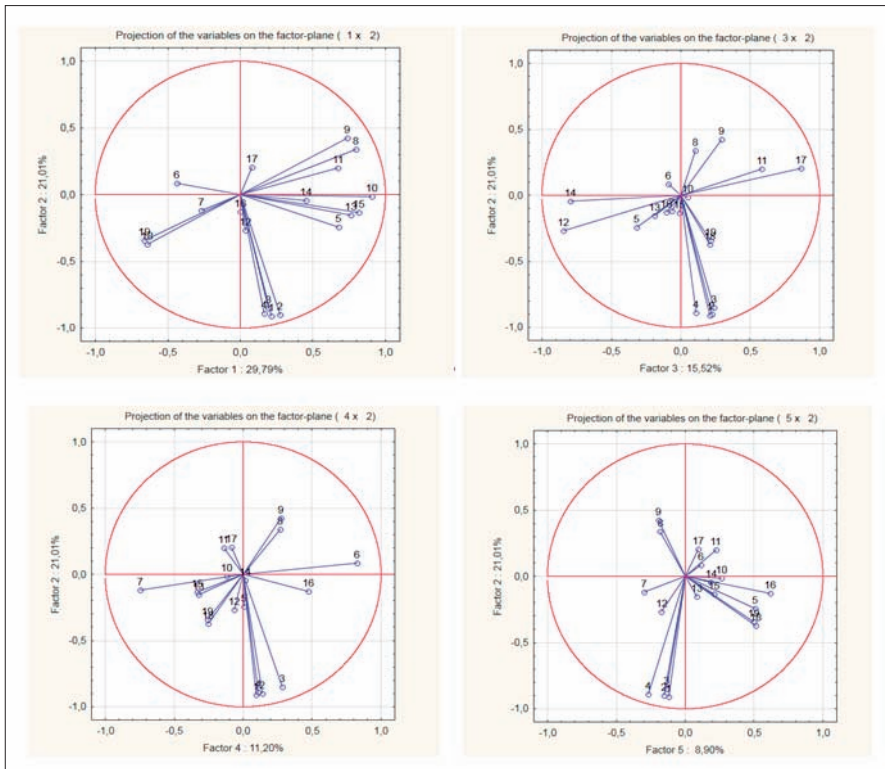
Felmerülhet a kérdés, hogy miért csak a lineáris kapcsolatot elemeztük, és másfajta illeszkedést miért nem vizsgáltunk. Ha a feltételezett függvény monoton függvény (akár exponenciális, akár logaritmus, vagy valamely hatványfüggvénynek egy monoton szakasza, stb.), akkor az egy kis intervallumon egyenessel mindig jól közelíthető. Esetünkben valamennyi változó értelmezési tartománya egy szűk intervallum, és biztos, hogy valamilyen monoton függvénykapcsolat feltételezhető a változók között.

A Factor2 a *negatív hozammutató főkomponens*, azért neveztük így, mert a hozam-koordinátákkal szoros negatív kapcsolatban áll, vagyis minél nagyobb a hozam, annál kisebb a második faktorhoz tartozó koordináta. Mind a négy ábrán 90 fokos szög, vagy tompaszög van a hozamváltozók (Var1-Var2-Var3-Var4) és a Var6 (átlaghőmérséklet), Var8 (a  $\text{pH}_{\text{vízes}}$  súlyozott átlaga a termőhelyre), Var9 (a  $\text{pH}_{\text{vízes}}$  a legfelső talajrétegbeli adatai), Var11 ( $\text{CaCO}_3$  a legfelső talajréteg adatai), és Var17 ( $K_A$  a legfelső talajréteg adatai) változók között. Ez korrelálatlanságot, vagy negatív korrelációt mutat a hozamváltozók, illetve a Var6, valamint Var8, Var9, Var11, és Var17 változók között a F1-F2 (negatív hozammutató főkomponens), F3-F2, F4-F2, F5-F2 síkokban. Mivel a Factor2 a *negatív hozammutató főkomponens*, így hozamnövekedés szempontjából épp ezek a változók mutatnak pozitív korrelációt a hozamváltozókkal. (Ha az egyik tengely koordinátáinak épp ellentettjét vennénk, a növekvő egyenesekből csökkenők lennének és fordítva.)

A főkomponens-analízis alkalmazhatóságának megbízhatóságát többféleképpen lehet ellenőrizni, többek között a Cronbach-alfa érték kiszámításával (5. táblázat). Ez az érték mindig 0 és 1 közötti, minél nagyobb, annál jobb a módszer alkalmazhatósága. Adatainkra a Cronbach-alfa értéke 0,43, ez azt mutatja, hogy az adatsor vizsgálatára elfogadható eljárás a főkomponens-analízis. A Cronbach-alfa értéke 0,55-ra növekedne (azaz az eljárás megbízhatósága kicsit javulna), ha az átlagos csapadékmennyiség változót kihagynánk a vizsgálatból. Ennek oka valószínűleg a területenként nagyon hasonló csapadék adatokban keresendő.

A következőkben a faktoranalízis alkalmazására térünk át. A korrelációs mátrix sajátértékeit megvizsgálva (korábbi 3. táblázat) látjuk, hogy a korrelációs mátrixnak 5 db 1-nél nagyobb sajátértéke van, így 5 faktort érdemes választanunk. Ezek az adathalmaz teljes varianciájának kb. 86,42%-át magyarázzák. A faktorsúlyokat (az egyes változók és a faktorok közötti lineáris kapcsolat szorosságát) rotáció nélküli, varimax, biquartimax és equamax rotáció esetén is megvizsgáltuk. A faktorrotációk matematikai szempontból azt jelentik, hogy a választott bázis (vagyis a főkomponensek) tengelyeit olyan geometriai transzformációknak vetjük alá, amelyekkel úgy módosítjuk őket, hogy a faktorok értelmezhetősége a legideálisabbá váljon. Az értelmezhetőség szempontjából a rotáció nélküli esetet elvetettük, a háromféle rotáció között pedig nem láttunk különbséget, ezért a varimax rotációt választottuk (6. táblázat).





1. ábra: A változók vektorainak az egyes faktorsíkokra eső vetületei.  
Figure 1: Projection of the variables on the factor-planes.

5. táblázat: A főkomponens-analízis megbízhatóságának vizsgálata.  
Table 5: Study of the principal component analysis reliability.

variable	Summary for scale: Mean=910,124 Std.Dv.=92,1623 Valid N=568 Cronbach alpha: ,435054 Standardized alpha: ,611918 Average inter-item corr.: ,121001				
	Mean if deleted	Var. if deleted	Stdv. if deleted	Item-Totl Correl.	Alpha if deleted
Tőátmérő d0 (mm)	864,9706	6708,406	81,90486	0,410013	0,336872
Mellmagassági átmérő d1,3 (mm)	879,2101	6985,943	83,58195	0,426617	0,346774
Magasság h (m)	905,4776	8323,286	91,23205	0,428201	0,425242
Tömeg m (kg)	906,4087	8074,832	89,86007	0,535903	0,407378
Hányszor sarjzatott	909,1537	8354,667	91,40387	0,583507	0,427311
Átlaghőm.	899,8878	8506,985	92,23332	-0,496441	0,438465
<b>Átl. Csap.</b>	310,2928	7947,890	89,15094	-0,108093	<b>0,554435</b>
Ph vizes Súlyozott átlag a termőhelyre	902,4310	8478,582	92,07922	0,000387	0,436414
Ph vizes Felső réteg adatai	902,5406	8497,212	92,18032	-0,162811	0,437787
CaCO3 Súlyozott átlag a termőhelyre	898,0914	7999,129	89,43785	0,379555	0,404579
CaCO3 Felső réteg adatai	901,3673	8577,498	92,61478	-0,118088	0,448528
CaCO3 Mélység (ahol megjelenik cm)	899,0146	6341,880	79,63593	0,240499	0,385931
CaCO3 Érték	898,5020	7712,071	87,81840	0,532087	0,382474
CaCO3 Mélység (ahol max. cm)	865,2999	5466,100	73,93307	0,321941	0,344734
CaCO3 Érték	886,7224	6820,800	82,58813	0,439371	0,336824
KA Súlyozott átlag a termőhelyre	869,1649	8350,886	91,38318	-0,017035	0,448216
KA Felső réteg adatai	870,9619	8899,623	94,33781	-0,450795	0,469131
H% Súlyozott átlag a termőhelyre	907,3414	8497,061	92,17950	-0,050237	0,442916
H% Felső réteg adatai	905,3900	8583,344	92,64634	-0,110291	0,456917



A faktorrotáció után a faktorok lehetséges értelmezése a következő:

- 1. faktor:** a pH adatokkal erős negatív, a H% adatokkal erős pozitív kapcsolatban van, nevezzük **tápanyag ellátottsági és feltáródási faktornak**.
- 2. faktor:** a töltésmérő, mellmagassági átmérő, magasság és tömeg változókkal mutat szoros kapcsolatot, a neve legyen **hozam faktor**.
- 3. faktor:** a két  $\text{CaCO}_3$  mélység adattal erős negatív, a  $K_A$  felső réteg adattal nagyon erős pozitív korrelációban áll, elnevezése legyen **talajfiziológiai faktor**.
- 4. faktor:** az átlaghőmérséklet és a  $K_A$  súlyozott átlag változókkal erős pozitív, az átlagos csapadék változóval erős negatív kapcsolatban áll, nevezzük **talaj vízháztartás faktornak**.
- 5. faktor:** a sarjzatítás száma, a  $\text{CaCO}_3$  súlyozott átlaga, és a  $\text{CaCO}_3$  értéke, ahol megjelenik (mélység) valamint  $\text{CaCO}_3$  értéke, ahol maximális (mélység) változókkal mutat szoros pozitív korrelációt, a neve legyen a **sarjzatítások számával és a talaj mésztartalmával kapcsolatban álló faktor**.

A kapott 5 faktor nagyon hasonló a főkomponens-analízis során kapott főkomponensekhez, csupán kis eltérések láthatók (pl. az első faktorban nincs benne a  $\text{CaCO}_3$  és a sarjzatítás, viszont megjelenik a pH és a H% stb.).

6. táblázat: *Faktorsúlyok varimax rotációval.*  
Table 6: *Factor loadings with varimax raw.*

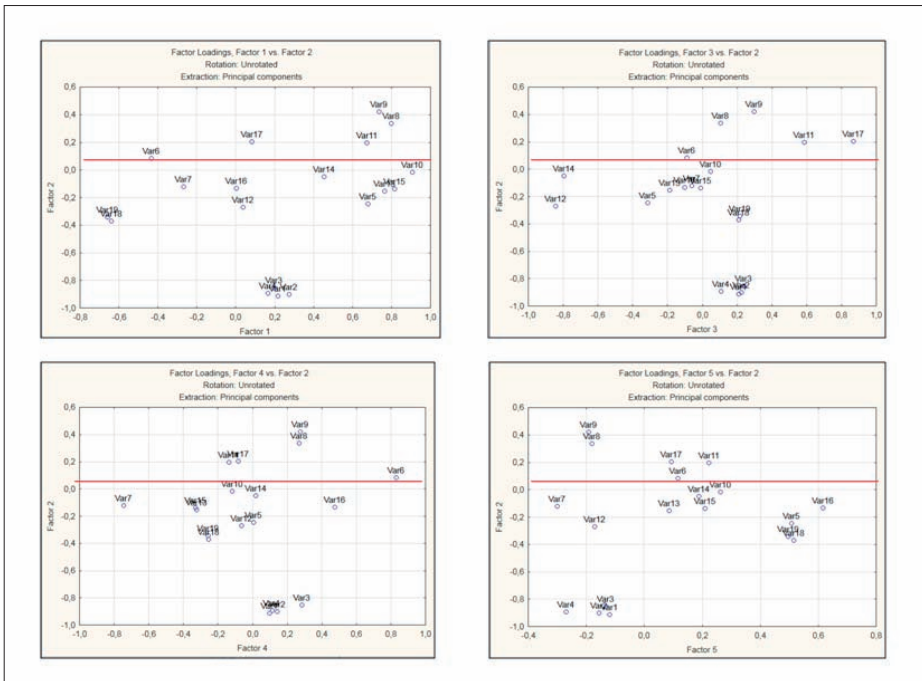
Variable	Factor Loadings (Varimax raw) (Ültetvény adatok_összes_cikkhez)				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Töltésmérő d0 (mm)	0.103251	0.956328	0.002714	0.023488	0.132302
Mellmagassági átmérő d1,3 (mm)	0.026301	0.977185	0.016632	0.004191	0.137330
Magasság h (m)	0.016835	0.946206	0.034702	-0.130098	0.039316
Tömeg m (kg)	0.032217	0.945958	-0.113191	0.083947	0.014542
Hányszor sarjzatított	-0.051140	0.146323	-0.258407	-0.271868	0.842875
Átlaghőm.	0.003553	-0.038651	-0.103917	-0.774533	-0.541875
Átl. Csap.	0.308756	-0.035255	-0.114447	0.785926	-0.100009
Ph vizes Súlyozott átlag a termőhelyre	-0.824644	-0.029366	0.181944	-0.118948	0.369360
Ph vizes Felső réteg adatai	-0.820231	-0.069991	0.380362	-0.113552	0.286033
CaCO3 Súlyozott átlag a termőhelyre	-0.365613	0.101767	0.126554	-0.021462	0.862181
CaCO3 Felső réteg adatai	-0.299705	-0.004894	0.674139	0.032444	0.597875
CaCO3 Mélység (ahol megjelenik cm)	-0.022456	0.088870	-0.891341	0.114179	0.067170
CaCO3 Érték	-0.259354	0.149561	-0.153458	0.236964	0.764818
CaCO3 Mélység (ahol max. cm)	-0.186226	-0.096029	-0.733780	-0.143212	0.522892
CaCO3 Érték	-0.219668	0.152002	0.037618	0.185156	0.853927
KA Súlyozott átlag a termőhelyre	0.228637	0.037470	-0.063948	-0.729931	0.201899
KA Felső réteg adatai	-0.018528	-0.014033	0.900942	0.057640	0.031800
H% Súlyozott átlag a termőhelyre	0.935555	0.077013	0.161294	-0.048967	-0.100038
H% Felső réteg adatai	0.927736	0.053730	0.169057	-0.037781	-0.127984
Expl.Var	3.626222	3.772896	2.981497	2.008519	4.031470
Prp.Totl	0.190854	0.198573	0.156921	0.105712	0.212183

A főkomponens-analízissel kapott eredmények értelmezése a következő. Az egyes változókat ábrázolva az 5 dimenziós térben (az 5 faktor tere) minden változónak egy pont felel meg. Ezeket a pontokat vetítettük a Factor1-Factor2, Factor3-Factor2, Factor4-Factor2, Factor5-Factor2 síkokra (2. ábra). A változók hozam koordinátái közül a legnagyobbakat vettük figyelembe (piros vonal feletti koordináták), ezek alapján az eredmény ugyanaz, mint a főkomponens-analízis esetében.



Az általunk vizsgált adatbázisban tehát az alábbi paraméterek befolyásolják pozitívan a hozamadatokat:

- átlaghőmérséklet = Var6;
- a  $\text{pH}_{\text{vizes}}$  súlyozott átlaga a termőhelyre = Var8;
- a  $\text{pH}_{\text{vizes}}$  adatai a legfelső talajrétegben = Var9;
- a  $\text{CaCO}_3$  adatai a legfelső talajrétegben = Var11;
- a  $K_A$  adatai a legfelső talajrétegben = Var17.



2. ábra: A faktorsúlyok ábrázolása.  
 Figure 2: Representation of the factor loadings.

A faktoranalízis megbízhatósága a reziduális korrelációs mátrixszal ellenőrizhető, amely az eredeti változók korrelációs mátrixát és a felállított modell által kapott korrelációs mátrixot hasonlítja össze. Ideális esetben a korrelációs értékek különbségei legtöbb esetben nem haladják meg a 0,1-et. A reziduális mátrix (7. táblázat) alapján azt mondhatjuk, hogy a faktoranalízis a kísérleti eredményeinkre jó megbízhatósággal alkalmazható.



7. táblázat: A reziduális korrelációs mátrix.  
Table 7: Matrix of the residual correlations.

Residual Correlations (Ültetvény adatok_összes_cikkhez)																			
Extraction: Principal components																			
(Marked residuals are > .100000)																			
Variable	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16	Var17	Var18	Var19
Var1	0.06	0.00	-0.04	-0.00	-0.03	-0.01	0.00	-0.00	0.01	-0.00	0.00	-0.03	-0.02	0.02	0.02	0.02	-0.03	-0.01	-0.00
Var2	0.00	0.03	0.00	-0.03	-0.01	-0.01	0.01	0.00	-0.00	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.01	0.02	0.01	-0.00	-0.01	-0.00
Var3	-0.04	0.00	0.08	-0.05	0.03	-0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	-0.02	0.01	-0.01	-0.02	-0.01	0.01	0.01	-0.00	-0.01
Var4	-0.00	-0.03	-0.05	0.08	-0.01	-0.00	0.01	0.00	0.02	-0.01	0.02	-0.00	0.01	0.02	-0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Var5	-0.03	-0.01	0.03	-0.01	0.12	0.01	0.03	0.01	-0.01	0.01	0.02	-0.01	-0.00	-0.08	-0.08	-0.04	-0.04	0.00	-0.02
Var6	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	0.01	0.09	-0.09	0.02	-0.01	0.05	0.02	0.09	-0.07	-0.05	-0.02	-0.16	0.02	0.05	0.05
Var7	0.00	0.01	0.03	0.01	0.03	-0.09	0.26	0.07	0.08	0.03	-0.05	-0.14	-0.16	0.03	-0.04	0.24	-0.09	-0.03	-0.05
Var8	-0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	-0.07	0.14	0.09	0.02	-0.06	-0.02	-0.07	0.04	0.01	-0.04	-0.05	0.08	0.08
Var9	0.01	-0.00	0.00	0.02	-0.01	-0.01	0.08	0.09	0.08	-0.00	-0.03	-0.04	-0.05	0.05	-0.00	0.04	-0.05	0.05	0.05
Var10	-0.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	0.05	0.03	0.02	-0.00	0.10	-0.04	-0.01	-0.06	-0.04	0.03	-0.04	-0.04	0.02	0.01
Var11	0.00	-0.01	-0.02	0.02	0.02	0.02	-0.05	-0.06	-0.03	-0.04	0.10	0.05	0.12	-0.04	-0.10	-0.02	0.01	-0.02	-0.02
Var12	-0.03	-0.01	0.01	-0.00	-0.01	0.09	-0.14	-0.02	-0.04	-0.01	0.05	0.18	0.17	-0.04	-0.06	-0.15	0.12	0.04	0.05
Var13	-0.02	-0.02	-0.01	0.01	-0.00	0.07	-0.16	-0.07	-0.05	-0.06	0.12	0.17	0.25	-0.06	-0.11	-0.12	0.10	0.01	0.02
Var14	0.02	0.01	-0.02	0.02	-0.08	-0.05	0.03	0.04	0.05	-0.04	-0.04	-0.04	-0.06	0.12	0.05	0.07	0.04	0.00	0.03
Var15	0.02	0.02	-0.01	-0.02	-0.08	-0.02	-0.04	0.01	-0.00	0.03	-0.10	-0.06	-0.11	0.05	0.16	-0.02	-0.01	0.00	0.02
Var16	0.02	0.01	0.01	0.02	-0.04	-0.16	0.24	-0.04	0.04	-0.04	-0.02	-0.15	-0.12	0.07	-0.02	0.37	-0.03	-0.11	-0.11
Var17	-0.03	-0.00	0.01	0.01	-0.04	0.02	-0.09	-0.05	-0.05	-0.04	0.01	0.12	0.10	0.04	-0.01	-0.03	0.18	-0.02	0.00
Var18	-0.01	-0.01	-0.00	0.01	0.00	0.05	-0.03	0.08	0.05	0.02	-0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	-0.11	-0.02	0.08	0.08
Var19	-0.00	-0.00	-0.01	0.01	-0.02	0.05	-0.05	0.08	0.05	0.01	-0.02	0.05	0.02	0.03	0.02	-0.11	0.00	0.08	0.09

## ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalva megállapítható, hogy az általunk vizsgált kísérleti adatok esetében hozam szempontjából a hőmérséklet és a legfelső talajréteg pH-ja, és  $\text{CaCO}_3$ -tartalma, valamint a pH súlyozott értéke a termőhelyen és az Arany-féle kötöttség a meghatározó. Nem zárható ki a területre hulló csapadékmennyiség szerepe sem, azonban sajnos nem rendelkezünk megfelelő pontosságú, és megfelelő mennyiségű csapadékadattal, így ezek a mérési eredmények a kísérlet kiértékelésébe nem kerültek bele.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Fazekas I. (szerk.) 1997: Bevezetés a matematikai statisztikába. Egyetemi jegyzet. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen.
- Füstös L.; Meszéna Gy. és Simonné Mosolygó N. 1986: A sokváltozós adatelemzés matematikai módszerei. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Horvai Gy. (szerk.) 2001: Sokváltozós adatelemzés (Kemometria). Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Jahn W. és Vahle H. 1974: A faktoranalízis és alkalmazása. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
- Münnich Á.; Nagy Á. és Abari K. 2006: Többváltozós statisztika pszichológus hallgatók számára. Bölcsész Konzorcium, Debrecen (<http://psycho.unideb.hu/statisztika>).
- Podani J. 1997: Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeltárás rejtelmeibe avagy „Mit is kezdjünk azzal a rengeteg adattal?” Scientia Kiadó, Budapest.
- STATISTICA 11, STATISTICA statisztikai adatelemző, analitikai szoftvercsalád, StatSoft.
- Sváb J. 1979: Többváltozós módszerek a biometriában. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szűcs I. (szerk.) 2000: Alkalmazott statisztika. Agroinform Kiadó, Budapest.
- Többváltozós statisztika közgazdászoknak. <http://www.inf.unideb.hu/valseg/dolgozok/ispny/Multivar/main.html>

Érkezett: 2014. március 11.

Közlésre elfogadva: 2014. július 15.