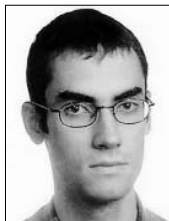


# Digitális domborzatmodellek előállítására és alkalmazására sztereo CORONA űrfelvételek alapján

Mészáros Minucsér<sup>1</sup>–Szatmári József<sup>2</sup>–Tobak Zalán<sup>2</sup>–dr. Mucsi László<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Újvidéki (Novi Sad) Természettudományi Egyetem, Földrajzi Tanszék

<sup>2</sup> SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék



## 1. Bevezetés

Egyes felszínalakító folyamatok – a periodikusság és a viszonylag hosszabb nyugalmi állapot miatt – űrfelvételek alapján nehezen vizsgálhatók. Kivételek talán a közelmúltban bekövetkezett hegycsuszamlások, melyekről már rendelkezésre állnak az esemény előtt és után készült nagyfelbontású űrfelvételek. A Duna menti csuszamlásos térszínnek (pl. Dunaföldvár) vizsgálata a magyar geomorfológiai kutatások középpontjában volt a XX. század második felében, elsősorban *Pécsi M.* akadémikus munkásságának eredményeképpen [1]. A Duna alsó szakaszán, különösen Újvidék környékén, a szerémségi Fruska Gora-hegység (Tarczal- vagy Köleshegy) északi előterében szintén jellemzőek ezek a formák, de a magyar szakemberek – közelsége ellenére, az ismert politikai és háborús helyzet miatt – nem tudtak bekapcsolódni az ott folyó kutatásokba.

2002-ben megteremtődtek azok a szakmai kapcsolatok, melyek révén a Szegei Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszéke, valamint az Újvidéki Természettudományi Egyetem Földrajzi Tanszéke oktatói közös kutatási programot indíthattak a felszínfejlődés geoinformatikai eszközökkel történő vizsgálatára. A kutatási program célja volt, hogy minél régebbi, megbízható, a kutató számára elérhető adatforrás alapján szerkesszük meg a terület digitális domborzatmodelljét (DDM). Ezt később össze kívánjuk hasonlítani egy, a mai állapotot

rögzítő (terepi méréseken és friss, nagyfelbontású légifelvételeken alapuló) domborzatmodellel, hogy a változásokat elemezhesük.

A csuszamlásos térszín mai állapotának, felvételi paramétereinek vizsgálatára, azok szubméteres pontosságú rögzítéséhez rendelkezésünkre álltak gyors és hatékony műszerek (mérőállomás, térinformatikai GPS), valamint 2004-ben készült sztereo légifelvételek alapján előállított felületmodellek. Miután geodéziai felvételezés és szintvonalas térképezés nem történt a parti csuszamlásos térszíneken, ezért a térszín közel 40 évvel ezelőtti állapotának meghatározásához a rendelkezésre álló legpontosabb, távérzékelte adatokat kerestük.

Ilyen tulajdonságú felvétel szerbiai forrásokból nem volt beszerezhető, de rátaláltunk a CORONA, egykori kémhűholdak adatbázisára, ahonnan sikerült űrfelvétel sztereopárokat megvásárolnunk. Ezek feldolgozásáról és a belőlük előállított DDM értékeléséről szól tanulmányunk.

## 2. Irodalmi áttekintés

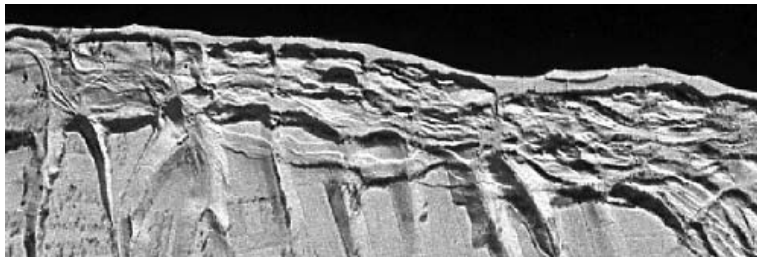
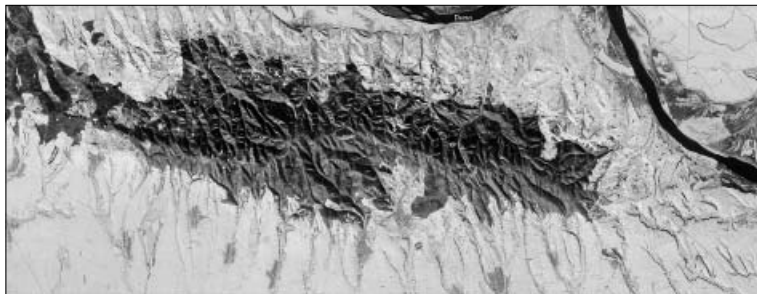
1995 februárjában *B. Clinton*, az USA akkori elnöke, Különleges Elnöki Rendeletében engedélyezte a CORONA (KH 1-4), ARGON (KH-5), és LANYARD (KH-6) műholdak által készített felvételek titkosság alóli felszabadítását. A rendelet az 1960 és 1972 között készített, több mint 860 ezer felvételre vonatkozott. Ezek a felvételek ma már nyilvánosak, és akár az interneten keresztül

is megrendelhetők az USGS EarthExplorer honlapján.<sup>1</sup>

A sztereo képfeldolgozást nehezíti, hogy a CORONA felvételekhez nem állnak rendelkezésre a belső tájékozási adatok közül a képfőpont és a keretjelek koordinátái, valamint a tájékozáshoz szükséges többi adat is csak megközelítőleg ismert. Ezért áttekintettük a szakirodalomban fellelhető feldolgozási módszereket a CORONA felvételekre vonatkozóan.

Az IMPETUS projekt [2] keretében egy marokkói, megközelítőleg 100 km<sup>2</sup>-es területre állítottak elő felszínmodellt CORONA KH-4B kamerával készült sztereo felvételpárból. A felszíni illesztőpontok méréséhez differenciális GPS technikát alkalmaztak, amelynek pontossága x, y és z irányban is 10 cm-en belül volt. 2003-ban T. Schenk kutatócsoportjával [3] a KH-4A/B rendszerek kameramodelljét határozta meg matematikai úton, kollinearitási egyenletek alapján. Az elkészült algoritmust egy KH-4A felvételpár és topográfiai térképekről nyert ellenőrző pontok felhasználásával tesztelték. Vizsgálták a felvételek affin és polinomiális transzformációjával elérhető terepi pontosságot is.

Bayram és társai [4] Isztambul közelében egy partvonalszakasz térbeli helyzetének időbeli változását követték 1963-ban készült CORONA és az 1990-es évek végéről származó SPOT-4 és IRS-1D pankromatikus felvételek alapján. A KH-4A felvételpár rektifikációjához ugyancsak affin, projektív és „gumilepedő” transzformációs módszereket alkalmaztak és értékelték az elért terepi pontosságok alapján. Mindhárom tanulmány végkövetkeztetésként megállapítja, hogy a CORONA felvételek, amennyiben a vizsgálandó területre rendelkezésre állnak a sztereopárok, gazdaságos és körülbelül 10 m-es felületmodellezési pontossági igényt kielégítő – a mai nagyfelbontású műholdfelvételekkel összevethető – képi adatbázisként használhatók a 30–40 évre kiterjedő felszíni változásvizsgálatokhoz.



1 a–b. ábra A Fruska Gora-hegység fő tömege az 1969. február 08-i CORONA űrfelvételen (40×17 km) és egy csuszamlásos terület a Duna jobb partján Újvidéktől DK-re

### 3. CORONA felvételek fotogrammetriai feldolgozása a Fruska Gora-hegység területére

Az USGS archívumában több olyan időpontot is találtunk (1969. 02. 08., 1972. 05. 26.), amikor sztereo felvételek készültek (1. táblázat). Ezek közül az 1969-es felvételek voltak felhőmentesek. A megrendelés után a negatívokat a HM Térképészeti Kht. munkatársai szkennelték be 12 im-es felbontással (1 a–b. ábra). Egy negatív csik ára 2003-ban 18 USD volt.

Az általunk alkalmazott OrthoBase Pro digitális fotogrammetriai szoftverrel közelítő légiháromszögelési megoldást kaptunk a fókusztávolság, a pályamagasság, a digitális felvétel pixelmérete, valamint terepi illesztőpontok felhasználásával. A nagy matematikai apparátust igénylő teljesen korrekt tájékozás [3] gyakorlatilag számunkra kivitelezhetetlen volt. Nem is foglalmaztuk meg ezt elérendő célként, hiszen nagy területre kiterjedő és gazdaságosan előállítható domborzati adatok kinyerésére tettünk kísérletet a további, főként geomorfológiai vizsgálatokhoz, amelynek elvárható pontossági követelményeit az ismertetett eljárásokkal teljesíteni tudtuk.

A következő lépésben a képpár kölcsönös tájékozását hajtottuk végre. Az automatikus

<sup>1</sup><http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/>

1. táblázat

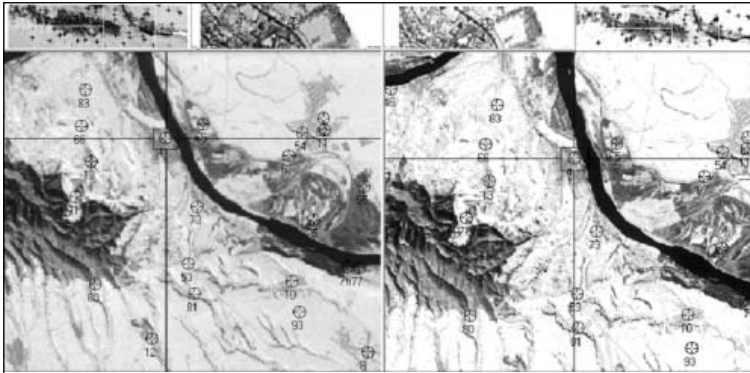
A KH-4B repülés során használt kamera és film paraméterei

Rendszer	CORONA KH-4B
Felvételzés ideje	1969. 02. 08.
Küldetés sorozatszám	1106
Pályamagasság (névleges)	150 km
kamera típusa	panoráma
ikerkamerák szöge	30°
fókusz távolság	609,6 mm
film típusa	pankromatikus
film felbontása	160 sor/mm
film hasznos mérete	55,37 × 756,9 mm
lefedett terület	14 × 188 km
méterarány	1:247500
terepi felbontás	1,83 m

kapcsolópont mérés nem adott megfelelő minőségű és mennyiségű pontot, mert a téli felvételek részlegesen hóborította időszakban készültek, és a nagyobb kiterjedésű homogén hófoltok területén a kereső algoritmus, értelemszerűen, nem talált homológ pontokat. Az ilyen képrészletek környezetében manuálisan mértünk kapcsolópontokat.

Az abszolút tájékozáshoz a hegységben és a hegylábi előtér területén relatív rapidstatikus technikával felszíni illesztőpontokat mértünk (2. ábra), amelyhez a bázis Szegeden, az egyetemi épületünk tetőteraszán állandósított ponton állt.

Az alapvonal hossza hozzávetőlegesen 145 km volt, így a feldolgozás céljának megfelelő



2. ábra A CORONA űrfelvétel abszolút tájékozása felszíni illesztőpontok alapján

szubméteres pontosságot biztosította a mérés. A 36 évvel ezelőtt készült műholdképeken a szilárd burkolatú utak keresztvezéseinél, valamint a Dunába igyekvő patakokon és csatornákon átvezető hidak korlátjai mellett találtunk azonosító pontokat. Jó ellenőrzőpontot mértünk a hegység központi, legmagasabb régiójában elhelyezkedő íriski-venac-i emlékmű környezetében, amely épségben maradt a 1999-es amerikai bombázások után is, nem így a TV-torony, amely még ma is megdöbbentő és elszomorító hatást kelt, mementójaként egy XX. század végi értelmetlen háborús pusztításnak (3. ábra).



3. ábra Újvidéki TV-adótorony 2004-ben

Problémát jelentett a GPS koordináták átszámítása helyi vetületi rendszerbe, amelyhez közelítő megoldást használtuk [5, 6]. A későbbiekben megoldandó feladat, hogy megfelelő pontosságú vetületi átszámítási eljárást találjunk a felszínmozgás-dinamikai vizsgálatainkhoz.

A kapcsoló- és illesztőpontok mérése, kiválogatása és ellenőrzése után a légiháromszögelést futtatuk le a modellre, amelyhez a programban adott önkalibráló direkt lineáris transzformáció (*self-calibrating direct linear transformation*) nevű eljárást választottuk [2]. Ennél a megoldásnál nincs szükség a kamera belső tájékozási adataira és a becsült külső paraméterekre. Az eljárást többször lefuttattuk, miközben az eredményeket a teljes modellre vonatkozó RMS hiba értékei, valamint az illesztő- és kapcsolópontokra vonatkozó reziduumok alapján kiértékeljük, majd – a megoldásból eliminálva a legnagyobb durvahibával rendelkező pontokat – eljutottunk a lehetőségek adta legjobb háromszögelési eredményhez.

Az OrthoBase Pro programmal ezek után felszínmodellt (DSM) generáltunk. Az eljárás alapján megegyezik az automatikus kapcsolópont mérésénél alkalmazott algoritmussal. Közös képterülettel rendelkező digitális felvételek

azonos pontjainak megtalálására gyakran alkalmazott eljárás a fotogrammetriában a korreláció. Az automatikus DSM előállítás a korrelációs számításokon és képillesztési eljárásokon keresztül valósítják meg a digitális fotogrammetriai programok [7].

### Érdeklődési pont meghatározása

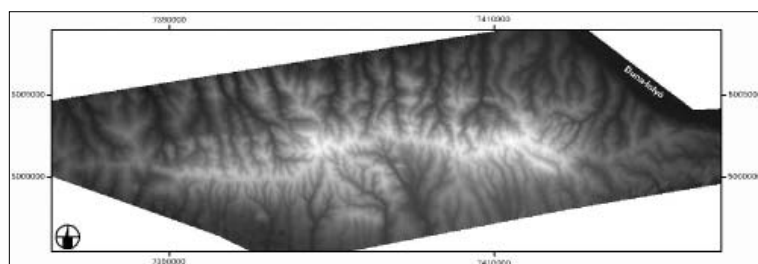
Érdeklődési operátor alkalmazásával a felvételeken érdeklődési pontok (*feature points*) sorozatát határoztuk meg. Az érdeklődési pont a mintaablak középpontja, amely megfelelő szűrke-ségi intenzitással és kontraszttal rendelkezik. Az érdeklődési pont ugyanakkor egy képpont is, egy jól felismerhető felszíni objektum jellemző pontja, pl. útkereszteződés, híd korlátja, emlékmű.

### Érdeklődési pont illesztése

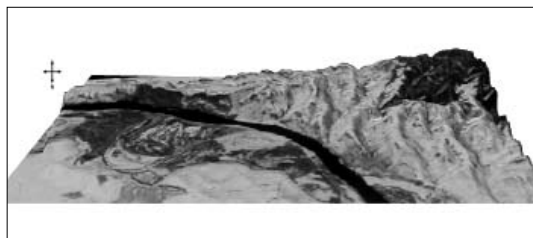
Amennyiben a tömb egy felvételén az érdeklődési pont meghatározása sikeresen megtörtént, a program az átfedő további felvételeken is megkeresi az adott pontot, így a vele azonosítható felszíni jellegzetességet is. A korrelációs ablak és a mintaablak között keresztkorrelációs együttható kiszámítása a következő lépés. A mintaablak a referencia képhez tartozik, a keresőablak a szomszédos átfedő képhez. Az érdeklődési pontnak a szomszédos képen több lehetséges illesztőpont is megfelelelhet. Minden lehetséges illeszkedő képpont-halmazra kiszámítja a program a korrelációs koefficiens-t. A korrelációs együttható mutatja meg a hasonlóság mértékét az átfedő képterület pont-halmazai között. A magasabb érték (0,8–1,0) statisztikailag a hasonlóság nagyobb fokát jelenti.

### Stratégiai paraméterek

A stratégiai paraméterek az illesztési eljárás sikerességét és pontosságát befolyásolják. A para-



4. ábra A Fruska Gora-hegység 5 méteres cellaoldalú raszteres felszínmodellje



5 a–b. ábra 2 m-es cellaoldalú raszter DSM és az ortofotó alapján előállított virtuális látványkép és a mintaterület részlete (foto: Mészáros M.)

méterek közül a keresőablak és a mintaablak méretének és a korrelációs együttható választott hártárértékének van legnagyobb hatása az eljárásra.

### Alkalmazás a CORONA modellre

A teljes területre generáltunk egy 5 méteres cellaoldalú raszteres (ERDAS img típusú) felszínmodellt (4. ábra), egy közel 450000 pontból álló ESRI 3D shape állományt, valamint a programparaméterek és opciók optimális beállításainak tesztelésére egy 2 m-es cellaoldalú raszter DSM-et a hegység DK-i, Duna felé lefutó felszínmozgásos lejtőinek előzetes vizsgálatához (5 a–b. ábra)

A légiháromszögelés és a felszínmodellezés külső pontossági vizsgálatához egy újabb, DGPS mérésre lesz szükség, amellyel valójában képet kaphatunk a fentiekben leírt eljárások korrektségéről. A belső pontossági statisztikák némi támpontot nyújthatnak az értékeléshez. A végleges megoldásban minden illesztőpontot (GCP) fel kellett használnunk a lefedett felszíni terület tetemes nagy-

sága miatt. Az ellenőrző futtatások alkalmával a megoldásból egy-egy GCP-t kihagyva és ellenőrző pontként definiálva, ezen pontokra kapott rezidumok mind X, Y és Z értékben a 2. táblázatban közölt hibaintervallumokon belül maradtak.

Statisztikai hibaszámításaink eredményeit összehasonlítottuk az ismertetett tanulmányokban közölt külső pontosságvizsgálatok értékeivel. Altmaier és kollégái [2] DGPS mérésével, 120 ponton történt ellenőrzés után, míg Schenk és kollégái [3] 1:24000 méretarányú topográfiai térképről digitalizált 20 db ponton ellenőrizték eredményeiket, amelyeket a 3. táblázat tartalmaz. Értékelve mindhárom statisztikai adatsort megállapíthatjuk, hogy a CORONA KH-4A/B felvételek digitális fotogrammetriai feldolgozásával horizontálisan elérhető a 10 m alatti, míg vertikálisan a 10–25 m közötti pontosság, amely az egy képpárral kiértékelhető nagy területet és az alapanyag olcsóságát tekintve igen jónak mondható.

## 2. táblázat

*A légiháromszögelés és a DSM ellenőrzés rezidumai a felszíni illesztőpontokon, méterben*

	Légiháromszögelés			DSM img	DSM 3D shape
	x	y	z	DSM z – GCP z	
<i>minimum</i>	0,6	4,4	3,4	2	5,3
<i>maximum</i>	15,5	12,9	24,9	25,1	27,1
<i>átlag</i>	6,7	8,0	8,6	10,7	13,7

## 4. Térbeli megjelenítési és feldolgozási lehetőségek

A tájékozott modell és a DSM alapján az Ortho-Base programban előállítottuk a terület 2x2 m-es

## 3. táblázat

*Pontosságvizsgálatok összefoglaló eredményei az idézett tanulmányokban [2, 3]*

	Átlag			DSM Z – DGPS Z
	X	Y	Z	
Légiháromszögelés 2 modellre (A. Altmaier)	2,5–4,8	2,7–5,7	12,5–21,6	–
Légiháromszögelés (T. Schenk)	6,2	5,6	12,34	–
DSM (A. Altmaier)	–	–	–	9,7–13,3

felbontású ortofotóját. A raszteres DSM-t megjelenítettük az ERDAS VirtualGIS moduljában, ahol a felszínmodellre az ortofotót, a szintvonalrajzot és egyéb vektoros állományokat illesztetünk. A DSM 3D shape pontjait az ERDAS Stereo Analyst programjával, anaglif módszerrel és valós térbeli megjelenítéssel, folyadékkristályos StereoEyes szemüveg alkalmazásával értékeltük ki.

Térbeli adataink karbantartásához és aktualizálásához meglévő vektorrétegeinket a DSM-re fedettük, így meghatároztuk a valós térbeli pozíciókat. A 2D-s vektorfedvények 3D-s térbeli rétegekké transzformálhatók a legtöbb 3D-s képfeldolgozó rendszerrel. A vektorrétegek attribútum táblái megjeleníthetők és szerkeszthetők a térkiértékelés során.

## Összefoglalás

A Fruska Gora-hegységtől északra, a Duna mentén található mintaterület geomorfológiáját tekintve hasonlóságot mutat a paksi, dunaföldvári löszfelszínekkel. A folyó mentén a negyedkori lösszel fedett felszíneken lejtős tömegmozgásokat figyelhetünk meg. Bár a terület leírása már a XIX. sz. végén elkezdődött, a magyarországi löszfelszíneken végzett kutatásokhoz hasonló vizsgálatok nem folytak ezen a tájon, így a tömegmozgások dinamikáját nem tudjuk több évtizedes mérések alapján becsülni. Ezért, a 60-as években készülő, 1:25000 méretarányú topográfiai térképek mellett, olyan forrásokat és módszereket kerestünk, melyek alapján legalább 40–50 évre visszamenően hatékonyan, nagy pontossággal elkészíthető a felszín egy adott időpontra érvényes domborzatmodellje, és az összehasonlítható a jelenlegi méréseinkkel.

Az 1960–72 között tevékenykedő amerikai kém-műholdak archívumában 2 m-es térbeli fel-

bontású analóg sztereofelvételek is találhatóak. A szakirodalomban fellelhető feldolgozások tanulmányozása után, a hazai gyakorlatban még nem alkalmazott módszerekkel, az űrfelvételek és terepi GPS-es mérések alapján, fotogrammetriai módszerek segítségével elkészítettük a terület digitális domborzatmodelljét. A teljes területre egy 5 méteres cellaoldalú raszteres (ER-DAS img típusú) felszínmodell, és egy közel 450000 pontból álló ESRI 3D shape állományt generáltunk. A programparaméterek és opciók optimális beállításainak tesztelésére egy 2 m-es cellaoldalú raszter DSM-et készítettünk, melyet felhasználtunk a hegység DK-i, Duna felé lefutó felszínmozgásos lejtőinek előzetes vizsgálatához.

### **Manufacturing and Use of Digital Relief Model Using Stereographic Corona Image**

*Mészáros, M.–Szatmári, J.–Tobak, Z.–Mucsi, L.  
Summary*

In the last decade, the U.S. government released images from the CORONA spy-satellite mission (1960-1972) are of high quality with a ground resolution of about 2 m. This paper is concerned with the derivation of a Digital Surface Model (DSM) of Fruska Gora mountain based on images of KH-4B panoramic stereo camera. Fruska Gora is a low, isolated, island-mountain rising above the Vojvodina plains in northern Serbia. Large areas are covered with aeolic loess sediments where the landslides represent the

greatest problems in construction, transport that arise from recent geomorphologic processes, and require close monitoring

### **Irodalom**

1. *Pécsi M.*: Geomorfológia és domborzatminősítés, Budapest 1991, p. 296
2. *Altmaier, A.–Kany, C.* (2002): Digital Surface Model Generation from CORONA Satellite Images. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56 (2002) 221–235.
3. *Schenk, T.–Csatho, Beata–Sung Woong Shin* (2003): Rigorous Panoramic Camera Model for Disp Imagery. ISPRS Hannover Workshop.
4. *Bayram, B.–Bayraktar, H.–Helvacı, C.–Acar, U.* (2004): Coast Line Change Detection Using CORONA, Spot and IRS 1D Images. ISPRS. Istanbul.
5. *Timár G.–Molnár G.–Pásztor Sz.* (2002): A WGS84 és HD72 alapfelületek közötti transzformáció Molodensky-Badekas-féle (3 paraméteres) meghatározása a gyakorlat számára. /Geodézia és Kartográfia/ \*54\*(1): 11–16.
6. *Timár, G.–Aunap, R.–Molnár, G.* (2004): Datum Transformation Parameters between the Historical and Modern Estonian Geodetic Networks. /Estonia Geographical Studies/ \*9\*: 99–106.
7. *Kugler Zs.–Barsi Á.–Mélykúti G.–Ládai A.* (2005): Automatikus fotogrammetriai eljárással előállított digitális terepmodell beépített környezetben. /Geodézia és Kartográfia/ 2005/12. 12–17.

## **A DEBRECENI KÖRZETI FÖLDHIVATAL**

*Földmérési ügyintézői munkakörbe*

### **FÖLDMÉRŐ MÉRNÖKÖT KERES.**

**Jelentkezési feltétel:** szakirányú főiskolai vagy egyetemi végzettség.

**Bérfizetés:** az 1992. évi XXIII. tv. (ktv.) szerint.

*A jelentkezéseket szakmai önéletrajzzal az alábbi címre kérjük benyújtani:*

*4002 Debrecen, Kossuth utca 12–14.*

*Pf. 131.*

*Tel: (52) 505-833*