

TEREPMODELLBŐL SZÁRMAZTATOTT FAMAGASSÁG-TÉRKÉP FELHASZNÁLHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA KARSZTOS TERÜLETEN

TANÁCS ESZTER¹, KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA²

SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék
6722 Szeged Egyetem u. 2. Pf 653.

e-mail: ¹nadragulya@geo.u-szeged.hu, ²keveibar@earth.geo.u-szeged.hu

Kulcsszavak: Digitális terepmodell, felületmodell, famagasság-mérés, Haragistya, karszt

Összefoglalás: A karsztkutatásban csak az utóbbi években merült fel az igény, hogy megismerjük a tágabb környezet összefüggéseit, amelybe szorosan beletartozik a felszint borító növényzet. Az abiotikus tényezők meghatározzák a növényzet faji összetételét és növekedését, amiből következik, hogy a vegetáció változásai viszont jelezhetik a rendszerben végbemenő folyamatokban bekövetkező változásokat. A magyarországi karszterületeken földrajzi elhelyezkedésük, illetve magassági viszonyaik szerint a potenciális növénytakaró dominánsan az erdő. Egy idősebb, természetközeli állapotú erdő esetében a termőhelyi tényezők változatosságát kifejező egyik fontos adat a fák magassága. Ez az adat nagyobb területen földi famagasság-mérésekkel nehezen állítható elő, távérzékelt adatok felhasználásával azonban egyszerűen és gyorsan létrehozható. Az előállítás egyik módja digitális terepmodell (DTM) alkalmazása. Az ebből származtatott famagasság-modell felhasználhatóságát az Aggteleki-karszt területén vizsgáltuk. A pontosság meghatározására két, 2005 nyarán végrehajtott famagasságmérés-sorozat alapján tettünk kísérletet. Bár a statisztikai összehasonlítást megnehezíti, hogy a modell hibáján kívül a helymeghatározás és a földi famagasság-mérés hibái is bizonytalanságot jelentenek, összességében elmondható, hogy a modell önmagában nem alkalmas az egyes fák magasságainak becslésére. Ugyanakkor még az említett bizonytalanságok figyelembe vétele mellett is látható, hogy a modell jól leírja az adott pontban az uralkodó lombkoronaszint magasságát, amely közvetve utal a termőhelyi viszonyokra. Az eredmények alapján így azt a következtetést vontuk le, hogy a terepmodellből előállított famagasság-térkép erdőterületek vizsgálatakor az erdészeti üzemtervek hatékony kiegészítéseként szolgálhat, különösen olyan területeken, ahol az erdőrészelek nagysága nem felel meg a termőhelyi változatosság léptékének.

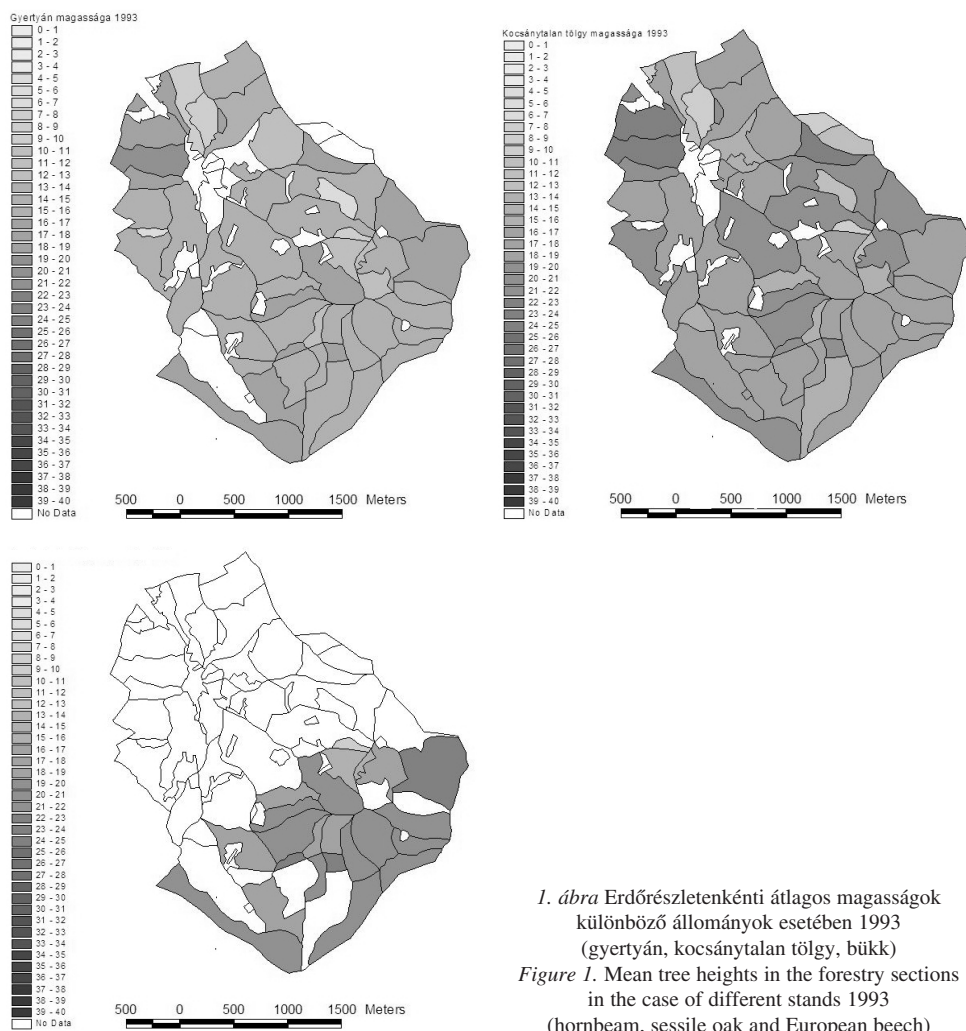
Bevezetés

A magyarországi karszterületeken földrajzi elhelyezkedésük, illetve magassági viszonyaik szerint a potenciális növénytakaró dominánsan az erdő. Annak ellenére, hogy a vegetációt évszázadok óta alapvetően befolyásolja az emberi tevékenység, az erdők aránya ezeken a területeken ma is magas. A karsztok, mint környezeti hatásokra fokozottan érzékeny területek kutatásában csak az utóbbi években merült fel az igény, hogy megismerjük a tágabb környezet összefüggéseit, amelybe szorosan beletartozik a felszint borító növényzet. A vegetáció kölcsönhatásban áll a karsztökológiai rendszer egyéb tényezőivel: a mikroklímával, a talajjal, és ezeken keresztül közvetve az egész rendszerrel (KEVEINÉ-BÁRÁNY 2004). Az abiotikus tényezők meghatározzák a növényzet faji összetételét és növekedését, amiből következik, hogy a vegetáció változásai jelezhetik a rendszerben végbemenő folyamatokban bekövetkező változásokat.

A termőhely minősége és a növekedés látható összefüggései miatt a fák magasságának megmérése mindig is fontos volt, ennek ellenére a mai napig nincsenek igazán megbízható terepi módszerek az egyes álló fák magasságának meghatározására. Ennek oka nem a műszerek fejletlenségében keresendő, hanem egyéb, nehezen áthidalható problé-

mákban. Általában elmondható, hogy a földi mérés pontossága csökken a famagassággal. Több faj (pl. a bükk vagy a fenyő) sok esetben olyan zárt állományt alkot, hogy az egyes fák legmagasabb pontja nem látható. E pont definíciója sem egyértelmű, különösen, ha a törzs valamilyen irányba dől vagy nem egyenes. Ilyen esetekben az értelmezés a mérés céljától függően változhat. Az erdőborította völgyekben az elvileg nagy pontosságú GPS sem képes néhány méteres pontosságnál jobbat elérni, vagyis még a fa tővének abszolút térbeli helyzete sem határozható meg pontosan. Igen sok bizonytalansági tényező nehezíti tehát az egyes fák magasságának földi meghatározását.

A távérzékeléses módszerek használata a famagasság meghatározásában szintén hosszú múltra tekint vissza. A legpontosabb eredményeket az egyes fák magasságának meghatározásában a sztereo-képpárokon végzett „kézi” mérések adták, illetve az ezekből készített felületmodellek (BÁN 1996). Ezeknek az előállításában azonban igen idő- és munkaigényes, valamint a láthatóság itt is okozhat problémát.



1. ábra Erdőrészletenkénti átlagos magasságok különböző állományok esetében 1993 (gyertyán, kocsánytalan tölgy, bükk)

Figure 1. Mean tree heights in the forestry sections in the case of different stands 1993 (hornbeam, sessile oak and European beech)

Az erdészeti gyakorlatban az üzemtervekben állományonként számolt átlagokat rögzítenek. Ez az adat megfelel a gazdálkodás céljainak, de felvet néhány problémát. Mivel a tervezés egysége az erdőrészlet, az eltérő magasságú állományok térbeli helyzetét a részleten belül az üzemterv nem rögzíti (1. ábra). Előfordulhat, hogy valamelyik külön leírt állomány egy másik alatt szórtan helyezkedik el. Ahol a termőhelyi tényezők térbeli változatosága nagy (mint például egy karsztfennsíkon), ott a valós viszonyok az üzemterv alapján igen nehezen rekonstruálhatóak. Idősoros vizsgálatoknál a helyzetet nehezíti, hogy az erdőrészletek határát gyakran módosítják, és a módosított hovatartozású területek változásait utólag kinyomozni szinte lehetetlen.

Anyag és módszer

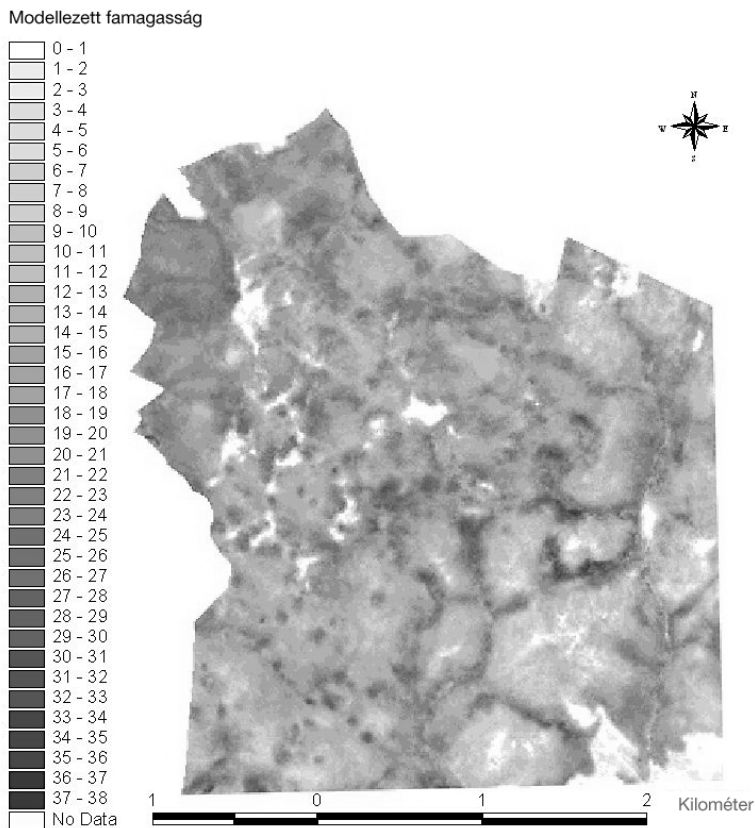
Egy idősebb, természetközeli állapotú erdő esetében a termőhelyi tényezők változatoságát kifejező egyik fontos adat a fák magassága. Ez az adat nagyobb területen földi famagasság-mérésekkel vagy sztereo-képpárokra végzett manuális mérésekkel állítható elő; az előállítás egyszerűbb és gyorsabb módja digitális terepmodell (DTM) alkalmazása. Az ebből származtatott famagasság-modell pontosságának és felhasználhatóságának kérdéseit vizsgáltuk az Aggteleki-karszt területén. A Haragistya területét lefedő felületmodellt Zboray Zoltán (HM Térképészeti Kht. Fotogrammetriai Alosztály) állította elő 2004-es légifelvételéből, majd ebből készítette el a famagasság-térképet (2a-b ábra).

A modell (ZBORAY 2006) előállításának alapelve, hogy a domborzatmodellel szemben a felületmodell tartalmazza a földfelszínen megtalálható objektumok magasságát is, így a két modell különbsége megadja ezeknek az objektumoknak a magasságát. Összefüggő, zárt erdőállományban a különbségtérkép a fák magasságát adja meg. A kérdés az, hogy a modell által bemért, és a felület számításához használt pontok hol helyezkednek el a lombkoronában. A felületmodell előállítási módjából elvileg az következik, hogy zárt állományban a pont abban a magasságban helyezkedik el, ahol a legsűrűbb a lombkorona, vagyis az uralkodó helyzetű fák csúcsa közelében. Így a famagasság-modell nagy valószínűséggel ezt a felületet írja le, és annál pontosabban, minél sűrűbb a lombkorona.

A modell ellenőrzése két, eltérő időpontban és módszerrel végzett felméréseken alapul. A felméréseket az Aggteleki-karszton található Haragistya területén (2a ábra) végeztük el. A mintaterület kiválasztásában fontos szerepet játszott többek között az, hogy részletes háttérinformációval rendelkezünk a terület történetéről és a jellemző használatokról, melyek meghatározóak az erdő jelenlegi képezés kialakulásában, így a magasság-értékek eloszlásában is. A Haragistya az Aggteleki Nemzeti Park szigorúan védett A-zónájának az országhatár által körbeölelt csücskében található. A terület a Szilicei-fennsíkhöz tartozik, egy jellegzetes karsztplató, igen változatos mikrodomborzattal. A jelenlegi vegetáció elsősorban gyertyános-tölgyes, a gerinceken száraz melegkedvelő tölgyes, a mélyedésekben, völgyekben bükkös vagy bükkal elegyes tölgyes, de kisebb-nagyobb foltokban ültetett fenyveseket és irtásréteket is találunk. Az északi részen, az egykori erdészház környékén az 1930-as évek óta intenzív fenyves telepítés folyt, a terület déli részein található őshonos fajok alkotta idősebb erdőkben azonban néhány gyérintést leszámítva nem történt jelentős beavatkozás. A méréseket mindkét esetben ez utóbbi állományokban végeztük el.



2 a. ábra A mintaterület elhelyezkedése (forrás: www.anp.hu)
 Figure 2 a. The study area (source: www.anp.hu)



2 b. ábra A Haragistya (Aggteleki Karszt) terepmodellből származtatott fmagasság-térkép
 Figure 2 b. The tree height map of the Haragistya karst plateau (Aggtelek karst)
 derived from a Digital Surface Model

Az első felmérés 2005. július 2–7. között zajlott. Úgy ítéltük meg, hogy a lombkorona miatt a kézi GPS-szel történő abszolút helymeghatározás nem célravezető. Ehelyett relatív meghatározással próbálkoztunk, vagyis felálltunk egy ismert koordinátájú ponton, majd onnan kiindulva tájolóval irányt, és Vertex III típusú ultrahangos távolságmérővel vízszintes távolságot mértünk. A nyíltabb helyeken kiegészítésként alkalmaztuk a kézi GPS-t, valamint kihasználtuk a domborzat változatosságát az utólagos korrekció során. A mintapontok egymástól 30 m-re helyezkedtek el, minden esetben a 4 legközelebbi fa került felmérésre. Rögzítettük a fák relatív helyzetét a ponthoz képest, meghatároztuk a fajt, mellmagassági átmérőt (átmérő 1,3 m magasságban) és a magasságot. A magasságméréshez szintén Vertex III-at használtunk. A négy legközelebbi fa kiválasztásánál alászorult, illetve álló holt egyedeket nem vettünk figyelembe. 71 pontban 283 faegyed került felmérésre.

A méréssorozatokat úgy irányítottuk, hogy valamennyi jellemző erdőtípusból legyen mérés, valamint hogy ellenőrizhessük a famagasság-modell és a domborzat jól látható összefüggését is. Sajnos az ismert koordinátájú pontok elhelyezkedése és a közlekedés nehézségei miatt a száraz, melegkedvelő tölgyesek kissé alulreprezentáltak.

A második felmérést 2005. augusztus 6-án végeztük. Mivel ez a felmérés más célokat is szolgált, némileg eltérő módszereket alkalmaztunk. A pontokat kézi GPS segítségével határoztuk meg, de jellemző helyeken (út közelében, töbör oldalában). A kiválasztásnál szempont volt, hogy az adott pont környékén a törzssűrűség minél kisebb legyen. Minden pontban nagyjából a 20 legközelebbi fa került felmérésre (5 pontban összesen 115 faegyed), a rögzített adatok és a mérés módja megegyezett az első méréssel, de valamennyi álló fát figyelembe vettük.

Az elemzéshez az SPSS 11 statisztikai szoftvert használtuk.

Noha eredetileg a felületmodell pontosságának meghatározására törekedtünk, az általunk kimutatott hiba ezen kívül magában foglalja a domborzatmodellt, a földi famagasság-mérés, valamint az abszolút helymeghatározás lehetséges hibáit is.

$$\text{SUM_E} = \text{E} + \text{HE} + \text{DE} + \text{XYE}$$

SUM_E: A famagasságmodell és a mért adatok eltérése (összes hiba)

E: a felületmodell hibája (a keresett érték)

HE: a földi mérés hibája

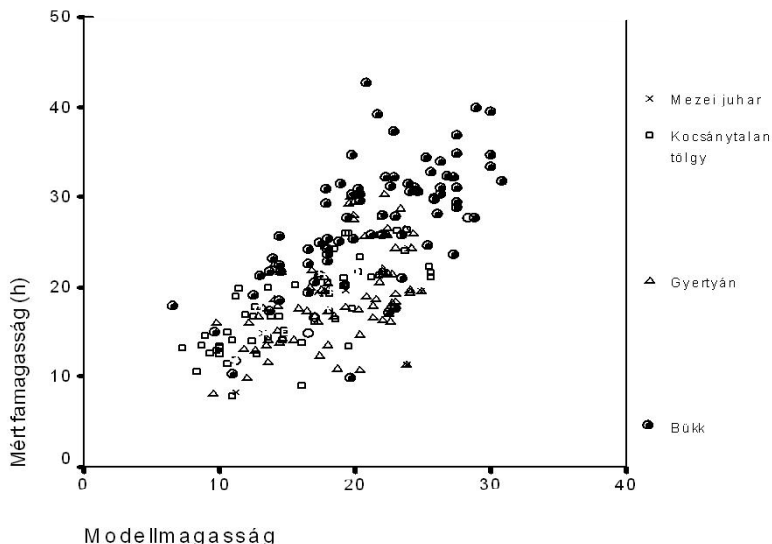
DE: a domborzatmodell hibája

XYE: az abszolút helymeghatározás pontatlanságából adódó hiba

Eredmények és megvitatásuk

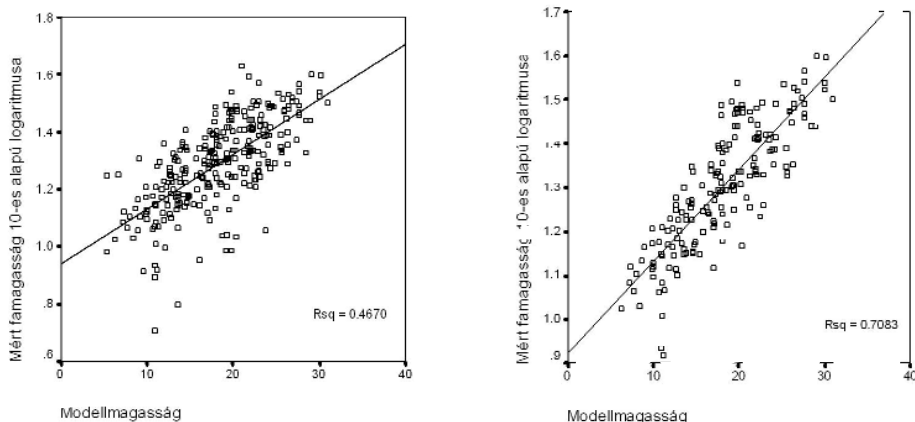
Az első mérés adatait összevetve a modellel (3. ábra) látható, hogy a scatterplot pontjai nem teljesen egy egyenes mentén helyezkednek el. Ez elsősorban a bükkfák esetében mért kiemelkedően magas értékeknek köszönhető, hiszen a modell értékei 35 m alatt maradnak, míg a mért értékek maximuma 42 m volt. Az összehasonlításhoz emiatt a mért magasságok 10-es alapú logaritmusát használtuk fel.

Az első mérés során az összes fa mért adatai és a modell összevetésekor R2 értéke 0.48-nak adódott (4a. ábra). Bár ennél a méréssorozatnál az uralkodó szintnél feltűnően



3. ábra Az első mérés adatainak összevetése a fmagasság-modell értékeivel

Figure 3. The data of the first field measurement compared to the values of the tree height model



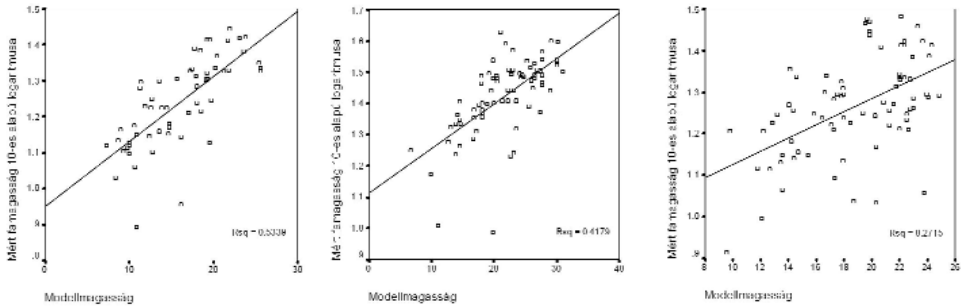
4 a-b. ábra Faegyenkénti összevetés

a.) az összes megmért fa esetében b.) az átlagtól 15%-nál nem többel eltérő fák esetében

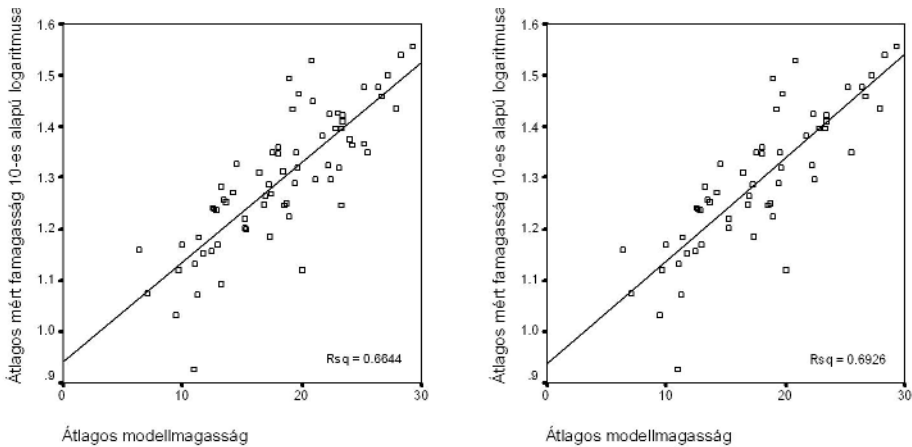
Figure 4 a-b. Comparison by individuals in the case of a.) every measured tree b.) trees with a difference less than 15% from the mean of their surroundings

alacsonyabb, a modell által nagy valószínűséggel „nem látható” fákat eleve kizártuk a mérésből, a fánkénti összehasonlítás eredményét jelentősen módosította a pont átlagától több, mint 15%-kal eltérő egyedek kizárása az összevetésből ($R^2=0.7$) (4b. ábra).

A fajajokra jellemző eltérő átlagos magasságok miatt érdekesnek ígérkezett a fajonkénti összevetés. A területen legnagyobb számban megtalálható három faj, a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), a bükk (*Fagus sylvatica*) és a gyertyán (*Carpinus betulus*) esetében végeztük el az összehasonlítást (5a-b-c. ábra). A legjobb egyezést a mért értékek és a magasságmodell között a kocsánytalan tölgy esetében találtuk, míg a bükk vala-



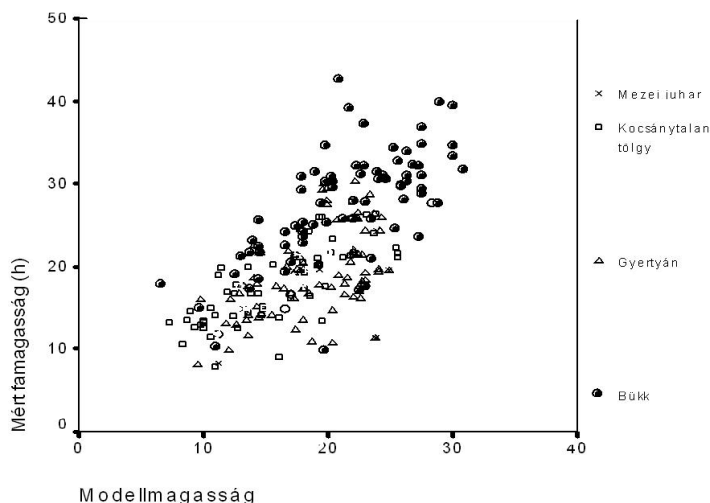
5 a-b-c. ábra Faegyedenkénti összevetés a.) kocsánytalan tölgy b.) bükk c.) gyertyán esetében
 Figure 5 a-b-c. Comparison by individuals in the case of a.) sessile oak b.) hornbeam c.) European beech



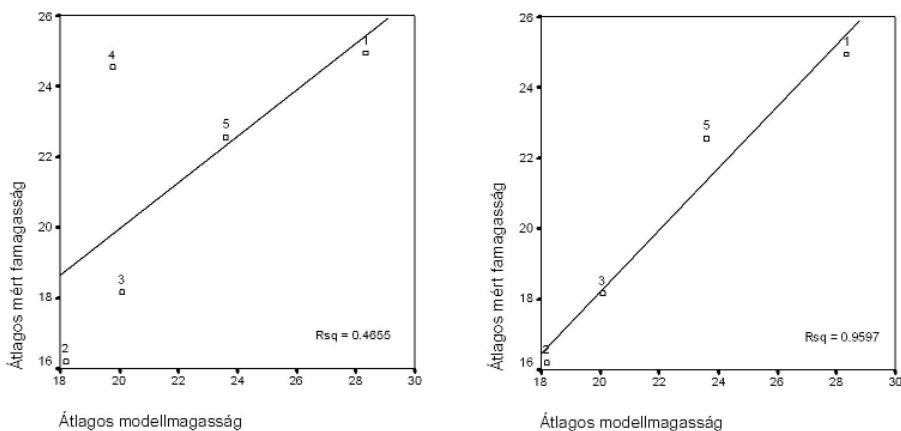
6 a-b. ábra Az első mérés során vizsgált pontok számtani átlagai összevetve azon pixelek átlagaival, ahová a.) a mérések estek b.) uez. azon pontok esetében, ahol az átlag és a medián különbsége < 1m
 Figure 6. a-b The means of tree height values measured in the first series compared to the means of the pixel values in the case of a.) all the measurement points b.) those points where the difference between the mean and median does not exceed 1 m

mivel kisebb értéket adott. A gyertyán esetében a korrelációs együttható értéke nagyon kicsi. A területen a kocsánytalan tölgy tekinthető az uralkodó fafajnak, amely majdnem minden domborzati helyzetben és kitettségekben megtalálható, ráadásul általában az uralkodó szintben. A bükk magasabb állományokat alkot, szintén gyakran található meg az uralkodó szintben, azonban sokszor kimagasló egyedeket is találunk. A gyertyán is nagyon gyakori faj, de általában második lombkoronaszintet alkot. Így a fajonkénti bontásban történő összevetés is megerősíti a feltételezést, hogy készítése során a modell a pontokat az uralkodó szintből veszi.

Az első mérés során vizsgált pontok számtani átlagait összevetve azon pixelek átlagaival, ahová a mérések estek, R2 értéke 0.68-nak adódott (6a. ábra). Mivel pontonként csak négy fát mértünk fel, az átlagok nem biztos, hogy az uralkodó szint magasságát írják le. A többszintű állományok kiszűrésére azt a módszert választottuk, hogy a pontban felmért fák magasságainak átlagát és mediánját kivontuk egymásból. Azokat a pontokat, ahol a különbség abszolútértéke meghaladta az 1 m-t, kizártuk az elemzésből



7. ábra A második mérés adatainak összehasonlítása a modellel
 Figure 7. The data of the second field measurement compared to the values of the tree height model



8a-b. ábra A második mérés pontátlagainak összehasonlítása a modellátlagokkal
 Figure 8a-b. The means of the points of the second field measurement compared to the means of the relevant pixels of the tree height model

(6b. ábra). Ez valamennyire megjavította az eredményt, de jelentős változást nem hozott.

A második mérés összes adatát összehasonlítva a modellmagasságokkal meglepően gyenge eredményt kaptunk ($R^2=0.1$) (7. ábra). Ennek az oka részben az, hogy a sorozatban a szociális helyzetre, „láthatóságra” tekintet nélkül minden egyes fát megmértünk. Egy másik lehetséges ok, hogy a felmért fák között elég magas volt a bükk aránya, ami a földi mérés eredményeit rontja. Az átlagok összehasonlításánál készített scatterplot is szolgálhat magyarázatul a gyenge eredményre: látható, hogy az 1–3, valamint az 5. pontok egy egyenes mentén helyezkednek el, míg a 4. pont erősen kilóg (8a. ábra).

A pontot közelebről megvizsgálva kiderült, hogy egy magasabb, bükk dominálta, és egy alacsonyabb, gyertyán dominálta állomány határán helyezkedik el. A terepi jegyzőkönyvben szerepel, hogy az út jobb oldalán, a völgy oldalában történt a mérés, a kézi GPS adatai alapján történt bevitel során azonban a pont kb. 20 m-t csúszott dél felé, és a térinformatikai rendszerben már az út bal oldalán, egy kevésbé lejtős területen helyezkedik el.

Mivel eleve állományhatárra esett, az összehasonlítás során a kétpixelnyi elcsúszás jelentősen megzavarhatta az eredményeket.

Az átlagok összehasonlítása során a 4. pontot eltávolítva R2 értéke 0.95-re ugrik (8b. ábra). Ez az eredmény, bár biztató, a pontok kis száma miatt legfeljebb jelzésértékű lehet. Azt mindenesetre megerősíti, hogy érdemes az átlagokat vizsgálni, és hogy az átlagok előállítását adott pontban érdemes a második méréssorozat esetében alkalmazott módszerrel elvégezni, mivel a négy fa alapján felírt átlag még akkor sem biztos, hogy jól leírja az állományt, ha a négy fát az uralkodó szintből választjuk.

Következtetések

A famagasság-modell pontosságának meghatározását nehezíti, hogy a modell hibáján kívül a készítéshez felhasznált domborzatmodell, a helymeghatározás és a terepi famagasságmérés hibái is bizonytalanságot visznek az összehasonlításba. Az eredmények ugyanakkor megerősítik azt a feltevést, hogy a modell adott pontban nem az egyes fák, hanem az uralkodó szint magasságát írja le, amit a mért adatok esetében az adott pontban mért fák átlagával vagy az átlagtól 15%-nál nem többel eltérő fák figyelembe vételével közelítettünk. Az átlag alkalmazása csökkent a földi mérésből és a helymeghatározásból adódó hiba mértékét is, ugyanakkor többszintű állományok esetében használata az uralkodó szint közelítésére félrevezető lehet. Az első méréssorozat alapján a mért és a modellértékek egyezése az átlagok esetében kb. 70%. A második méréssorozat biztatóbb eredményei (4 pont esetében 95%-os egyezés) azt sugallják, hogy a reális összehasonlításhoz pontonként több fa megmérése van szükség.

A modell elsősorban az erdészeti üzemtervek hatékony kiegészítéseként lehet alkalmazható; az eltérő magasságú állományok erdőrészleten belüli elhelyezkedéséről szolgáltat térbeli információt.

Köszönetnyilvánítás

A vizsgálat a T048356 sz. OTKA támogatásával zajlott, és nem lett volna kivitelezhető az Aggteleki Nemzeti Park munkatársai, elsősorban Szmorad Ferenc támogatása nélkül. A terepi mérések elvégzésében Rákos Magdolna és Talabér Emánuel nyújtott segítséget. Külön köszönet Gergely Zoltánnak a famagasság-mérés bizonytalanságairól folytatott eszmecsereért.

Irodalom

- BÁN I. 1996: Erdészeti alkalmazott biomatematika. Akadémiai Kiadó, Budapest
KEVEI-BÁRÁNY, I. 2004: A karsztökológiai rendszer szerkezete. Karsztfejlődés IX: 65–74
ZBORAY Z. 2006: Az erdő növekedésének vizsgálata térinformatikai és fotogrammetriai módszerekkel karsztos mintaterületen – a kötetben. Tájökológiai Lapok, 4(2): (megjelenés alatt)

POSSIBILITIES OF USING A TREE HEIGHT MAP DERIVED FROM A DIGITAL SURFACE MODEL IN A KARST AREA

E. TANÁCS¹, I. KEVEINÉ BÁRÁNY²

Department of Climatology and Landscape Ecology
University of Szeged

6722 Szeged Egyetem u. 2. PO Box 653

¹nadragulya@geo.u-szeged.hu

²keveibar@earth.geo.u-szeged.hu

Keywords: Digital Surface Model, Digital Terrain Model, tree height, karst, Haragistya

The claim to understand the wider context of the karsts' environment only appeared in the last few years, especially with regard to the vegetation cover. The composition and growth rate of vegetation is defined by an interaction between the environmental factors and therefore changes in these characteristics can indicate the changes of the whole system. Due to their geographical position the potential vegetation of Hungarian karsts is mainly mixed-stand deciduous forest. In the case of an old, near-natural forest one of the indicators describing the cumulative effect of the environmental factors is the height of the trees. These data are rather hard to acquire by field measurements for large areas but they are easy and fast to produce by remote sensing methods. One of these methods is deriving tree height from a Digital Surface Model. In this study we examined the possibilities of using this method in a karst area. In order to determine the accuracy of a tree height model derived from aerial photos of 2004 we carried out two series of field measurements in the Aggtelek karst area in summer 2005. Although the error of the model, the errors of navigation and that of the field measurements add up, which makes statistical analysis complicated; it is clear that the model describes stand height rather than the height of individuals. On the basis of the results our conclusion is that tree height maps derived from Digital Surface Models can serve as a useful complementary to the forest management plans, especially in areas where the resolution of the plan does not match the diversity of the surface.