



Cementkötésű faforgácslapok nedvességmérése mikro- hullámú radarral*

UTASSY Viktor¹, DIVÓS Ferenc², ALPÁR Tibor³

¹ PhD-hallgató, NymE FMK Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

² Egyetemi tanár, NymE FMK Fa-és Papíripari Technológiák Intézet

³ Egyetemi docens, NymE FMK Fa-és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

Napjainkban egyre nagyobb a cementkötésű faforgácslapok (ck-lapok) felhasználási területe. A környezeti hatások, a szárítóba bekerülő lap nedvességtartalma és a szárító berendezés pillanatnyi állapota határozza meg a termék nedvességtartalmát. Ez tipikusan 6 és 12% között ingadozik, sőt akár egy táblán belül is lehetnek eltérések. Optimális szárító beállításához ismernünk kell a termék nedvességtartalmát. A ck-lapok gyors és érintésmentes nedvességméréseivel foglalkoztunk, mely technológia akár a gyártósorba is beépíthető. A mérést egy mikrohullámú radarral végeztük, visszavert jelet detektálva nedvességtartalmat mértünk. Magas (0,983) korrelációt találtunk az elektromágneses hullám visszaverődése és a nedvességtartalom között.

Kulcsszavak: cementkötésű faforgácslap (ck-lap), nedvességmérés, mikrohullám, mikrohullámú radar

Moisture content measurement of cement bonded particle board by microwave radar

Abstract

Cement bonded particle board are well accepted by the construction industry. The moisture of the cement bonded particle board is an important parameter. Basically the settings of the dryer, the environmental parameters are determining the product moisture content. Typically it is in the range of 6–12%. Additionally it may have local variation inside the board. To keep the dryer in optimum settings an online moisture measurement is necessary. This paper deals with a non-contact and quick moisture measurement technique using microwave radar where the reflected microwaves amplitude is measured. This parameter is in high correlation (0,983) with the moisture content.

Key words: cement bonded particle board, moisture content measurement, microwave, microwave radar

Bevezetés

Az építőiparban egyre fontosabb szerepe van a cementkötésű forgácslapnak (ck-lapnak). A gyártás és szállítás közben felmerülő költséget optimálisra kellene beállítani. A szállítás közben nem mindegy, hogy mennyi plusz vizet tartalmaznak a lapok, de arra is gondolni kell, hogy a szárításnak is vannak energia- és anyagi költségei. Ennek az optimumnak a megtalálá-

sához szükség van a ck-lapok nedvességének meghatározására. Erre a vizsgálatra gyors és érintésmentes vizsgálatok a legcélszerűbbek, ipari alkalmazások esetén. Az elektromágneses hullámokkal történő vizsgálatok a legalkalmasabbak erre a feladatra. A faipar egyéb területein izotópos technikát jellemzően nem alkalmaznak. Ennek részben az izotópok felhasználásával kapcsolatos szigorú szabályozás az oka.

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

Ezzel szemben a mikrohullám semmilyen szabályozás alatt nem áll, és ellenőrzött körülmények közötti használata nem veszélyes az ember egészségére. Kutatásokat végeztek faanyag nedvesség és sűrűség mérésére mikrohullámmal, átsugárzásos módszerrel (Schajer 2006). A KETT Science Of Sensing cégnek létezik mikrohullámú nedvességmérője. Ennek hátránya azonban, hogy folytonos átsugárzást használva a nem kívánt reflexiók jelentős hibákat okozhatnak. Ez ellen árnyékolással védekeznek (<http://www.kett.com/files/brmmm.pdf>). A radar alkalmazása erre a problémára ad választ.

Elméleti háttér

A faanyag és a fából készült termékek fontos jellemzője a nedvességtartalom. Cementkötésű lapoknál a cement megkötéséhez elengedhetetlen a víz, melyből a faanyag nagy mennyiséget fölvesz. A nedvességtartalom meghatározása a következőképpen történik.

Nettó nedvességtartalom:

$$u = \frac{m_n - m_0}{m_0} \quad [1]$$

ahol: m_0 – az abszolút száraz faanyag tömege,
 m_n – az aktuális nedvességtartalmon mért tömeg.

Faanyag nedvesség mérésére alkalmas több mérési módszer közül a legismertebb a szárítási eljárás. Nagy gyanta- és olajtartalmú fáknál végeznek mért extrakciós eljárással. Léteznek még ellenállás típusú, dielektromos elven működő és légnedvesség mérésén alapuló (fahigrométer) nedvesség mérő készülékek. A folyamatos mérésre az elektromágneses hullámokkal történő mérés lehet a legalkalmasabb, melyek gyors, roncsolás- és érintésmentes mérést tehetnek lehetővé (Molnár 2004).

A mikrohullám frekvenciatartománya az infravörös és a rádióhullámok között található. Terjedési tulajdonságai átmenetet képeznek a két határoló tartomány jellemzői között. A kb. 30 cm-től a 3 mm-es hullámhosszig, azaz 1000 MHz-től 100 000 MHz-es frekvenciáig a terjedési tulajdonságok már sok tekintetben hasonlítanak a fényhullám tulajdonságaihoz. Egyik leglényegesebb az egyenes irányú terjedés, így csak az optikai látástávolságon belül lehet mikrohullámmal összeköttetést létesíteni vagy vizsgálni (Lóránt 1959).

A fény irányítva egészen nagy távolságba eljuttatható, de csak egy irányba, míg diffúz módon csak a környezetét világítja meg. A mikrohullám a fényhez hasonlóan így irányítható, ezzel magasabb energia juthat

el nagyobb távolságra (antennák használata) (Imrik 1981, Lóránt 1959). Elektromos mező, mint a mikrohullámú tér, a dielektrikum (szigetelők) belsejében erősen módosul a vákuumhoz viszonyítva. Ennek két oka van: az egyik az, hogy a dielektrikum molekuláris alkotórészeinek már külső elektromos tér nélkül is van elektromos momentuma, a másik pedig, hogy a külső elektromos tér hatására a semleges atomok, molekulák polarizálódnak. Ennek az állapotnak a jellemzésére az elektromos polarizációt szokás megadni:

$$\bar{P} = \epsilon_0 \cdot \kappa \cdot \bar{E} \quad [2]$$

ahol: \bar{P} – a polarizáció vektora,
 \bar{E} – az elektromos térerősség vektora,
 ϵ_0 – a vákuum permittivitása (dielektromos állandója),
 κ – arányossági tényező (elektromos szuszceptibilitás).

A polarizáció vektorának figyelembe vételével az eltolási \bar{D} vektor dielektrikumokra a következő:

$$\bar{D} = \epsilon_0 \cdot \bar{E} + \bar{P} \quad [3]$$

Az eltolási vektornak dielektrikumokban bevezetett fenti definíciója annyit jelent, hogy a tér könnyű kezelhetősége és számíthatósága céljából úgy származtatjuk, mintha a térerősséget a valódi töltés és a polarizáció folytán előálló töltéssűrűség együttesen hozná létre vákuumban. Behelyettesítve a polarizáció vektorát:

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \epsilon_0 \cdot \bar{E} + \bar{P} = \epsilon_0 \cdot \bar{E} + \epsilon_0 \cdot \kappa \cdot \bar{E} \\ &= \epsilon_0 \cdot (1 + \kappa) \cdot \bar{E} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \bar{E} = \epsilon \cdot \bar{E} \end{aligned} \quad [4]$$

ahol: $\epsilon_r = 1 + \kappa$ az anyag relatív permittivitása,

\bar{E} – az átlagos makroszkópikus térerősség,
 ϵ – az anyag abszolút permittivitása.

Az E térerősség időben változik, a P polarizáció csak késve követi a térerősség változásait. Változó térerősség esetén a polarizációs folyamat dielektrikumokban a tér energiájának egy részét felhasználja, és mint molekuláris súrlódási munkát, az anyag belső energiájának mérlegében a belső energia forrását (q) adja. A dielektrikum véges γ vezetőképessége miatt valóságban is fellépnek veszteségek. A kétféle veszteséget együtt dielektromos veszteségnek nevezzük. Ha az anyag fajlagos vezetőképessége γ , a vezetési áramsűrűség $\bar{J}_v = \gamma \cdot \bar{E}$, az eltolási áramsűrűség viszont $\bar{J}_e = \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}$.

$$\bar{J} = \gamma \cdot \bar{E} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \quad [5]$$

A D behelyettesítésével, és a valós és képzetes részek szétválasztásával a következő egyenlethez jutunk:

$$J = [(\omega \cdot \varepsilon'' + \gamma) + j \cdot \omega \cdot \varepsilon'] \cdot E \quad [6]$$

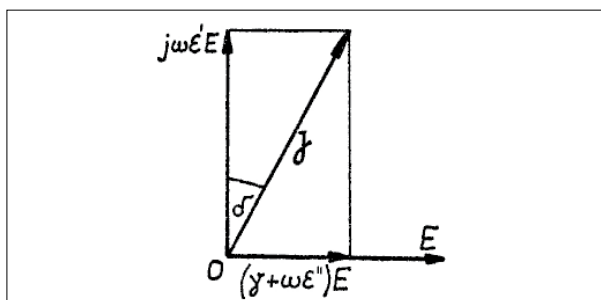
ahol: ε' és ε'' – a komplex permittivitás,
 j – az imaginárius egység,
 ω – a körfrekvencia.

Az áramsűrűség $(\omega \cdot \varepsilon'' + \gamma) \cdot E$ komponense az E térerősséggel fázisban van, a $j \cdot \omega \cdot \varepsilon' \cdot E$ komponens viszont 90° -kal siet a térerősséghez képest, így az hatásos teljesítményt nem hoz létre (1. ábra). A dielektrikumok minőségének jellemzésére a veszteségi szögöt, illetve annak tangensét használják (Imrik 1981):

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\gamma + \omega \cdot \varepsilon''}{\omega \cdot \varepsilon'} \quad [7]$$

Az 1. táblázat faanyagra vonatkozó dielektromos jellemzőket mutat be 2,4 GHz-en $0,5 \text{ g/cm}^3$ sűrűség mellett különböző hőmérsékleteken és nedvességtartalom mellett Torgonikov (1993) alapján. A nedvességméréshez a mikrohullám reflexiós elrendezést alkalmaztunk. Ezért megvizsgáljuk, hogy a reflexiós tényező hogyan függ a faanyag mikrohullámú paramétereitől. Torgonikov (1993) könyvének 3. és 9. oldala alapján, valamint optikai analógiát felhasználva merőleges beesésre a következő formulát kapjuk a reflexióra (r):

$$r = \frac{(\sqrt{\varepsilon'} - 1)^2}{(\sqrt{\varepsilon'} + 1)^2} \quad [8]$$



1. ábra Villamos áram sűrűsége dielektrikumban (Imrik 1981)
Figure 1 The current density in dielectric material (Imrik 1981)

1. táblázat Faanyagra vonatkozó dielektromos jellemzők (Torgonikov 1993)

Table 1 Dielectric parameters of wood (Torgonikov 1993)

Frekvencia f (Hz)	Abszolút száraz sűrűség ρ_0 (g/cm^3)	Hőmérséklet t ($^\circ\text{C}$)	Nedvességtartalom (%)											
			0		10		20		30		60		100	
			ε'_s	$\operatorname{tg} \delta_s$	ε'_s	$\operatorname{tg} \delta_s$	ε'_s	$\operatorname{tg} \delta_s$	ε'_s	$\operatorname{tg} \delta_s$	ε'_s	$\operatorname{tg} \delta_s$	ε'_s	$\operatorname{tg} \delta_s$
$2,4 \times 10^9$	0,5	-20	1,6	0,017	1,9	0,08	2,0	0,14	2,2	0,20	2,6	0,20	3,1	0,20
		+20	1,7	0,023	2,3	0,11	2,9	0,18	3,8	0,22	6,5	0,20	12,8	0,19
		+50	1,8	0,026	2,4	0,11	2,9	0,17	3,8	0,20	6,5	0,18	12,8	0,17
		+90	1,9	0,029	2,6	0,11	3,0	0,15	3,8	0,17	6,5	0,16	12,8	0,15

Ha a [8] formulába behelyettesítjük az 1. táblázat adatait és ábrázoljuk a reflexiót a nedvességtartalom függvényében, akkor lineáris összefüggést találunk. Ugyan a vizsgálataink nem fára, hanem ck-lapra, és nem merőleges beesésre vonatkoznak, de megalapozottan reménykedhetünk egy hasonló lineáris összefüggésben.

Kísérleti anyagok és módszerek

A nedvességmérés tesztelése három különböző gyártási fázisban levő eltérő nedvességtartalmú (10–30%) ck-mintasorozatot alkalmaztunk. A kísérlet során 48 db 12 mm vastagságú 20×30 cm-es próbatestet vizsgáltunk. Méréshez a Novelda-cég mikrohullámú radarját használtuk. A radar felépítését az 2. ábra mutatja. A készülék két antennával rendelkezik, melyek közül az egyik kibocsát egy adott amplitúdójú impulzust, míg a másik a visszavert hullámot detektálja. A polarizált hullámok 45° -os kúpszögben hagyják el a szinusz antennát. A radar USB porton keresztül kapcsolódik a számítógéphez. A Novelda-cég programja segítségével lehet a radart használni (3. ábra). A felső fekete ablakban láthatunk egy visszavert jelet, a függőleges tengelyen az amplitúdó, még a vízszintes tengelyen az idő található. Az idő tengely csatornára van felosztva, ennek a felbontása állítható, a maximális 512 csatornát használtuk, ami 5 mm-es térbeli felbontást eredményez. A kezdeti sima szakasz a kibocsátás és a visszavert hullám detektálása közötti időt jelzi.

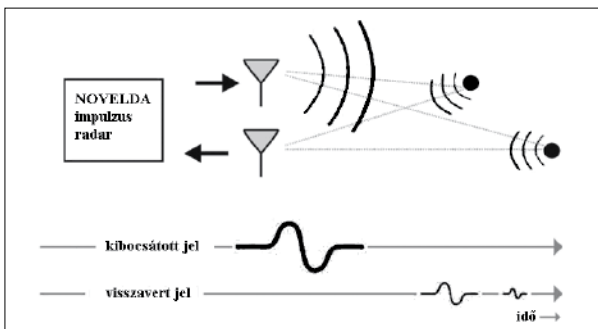
A 3. ábrán a teljes mért tartományt (0–250 cm), az alatta lévő pedig a jelrészlet kinagyítását teszi lehetővé. A radaron állítható a hullám intenzitása, vagyis különböző amplitúdójú hullámot képes kibocsátani. A legerősebb kimenő jelet használtuk. (<http://www.novelda.no>)

A mérés összeállítása és sematikus rajza a 4. ábrán látható. A mérések során a visszavert hullámok amplitúdójának maximuma és minimuma közötti értékét vettük figyelembe, amely a minta és az antennák közötti távolság (25 cm) alapján kijelölt tartományon belül volt mérhető. A tartományt az 5. ábrán a fehér

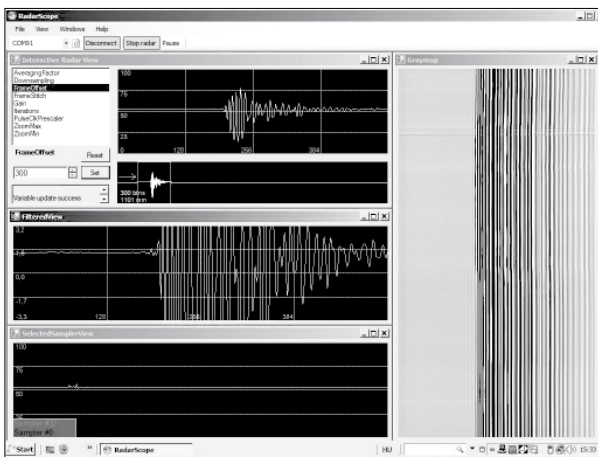
vonat jelöli. Ezzel a technikával a minta környezetében levő tárgyakról történő reflexió zavarása teljes mértékben kiszűrhető. Ez a radartechnika előnye. Azonban megköveteljük, hogy a minta és az antennák közötti térben zavarás (fém tárgy) ne legyen. A gyors mérés érdekében egy célprogramot készítettünk, ahol az amplitúdó nagysága a „Diff” paraméterben jelenik meg, lásd a 6. ábrát. Ez becsli a nedvességtartalmat. A Novelda-rendszer rendkívül gyors, a méréseket 48 kHz-es frekvenciával ismétli. Ha a jobb statisztika érdekében 60 mérést átlagolunk, akkor is a mérési ciklus ideje alig haladja meg az 1 ms-ot, ami ipari előtolási sebességgel mozgó lap esetén is pillanatfelvételnak számít.

Eredmények és értékelés

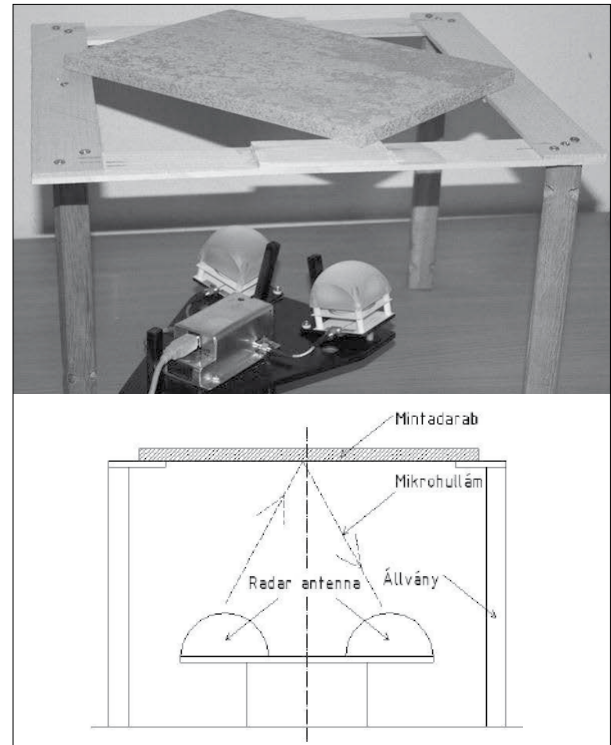
A Novelda mikrohullámú radarjával korábban faanyag nedvességét is vizsgáltuk, azonban ott megmutatkozott, hogy a rendszer érzékeny a faanyag sűrűségére, és a fafajra. A csk-lapok sűrűsége azonban állandóságot mutat, a Falco Wood Industry szerint ez az érték $1350 \pm 75 \text{ kg/m}^3$ (<http://www.falco-woodindustry.com>).



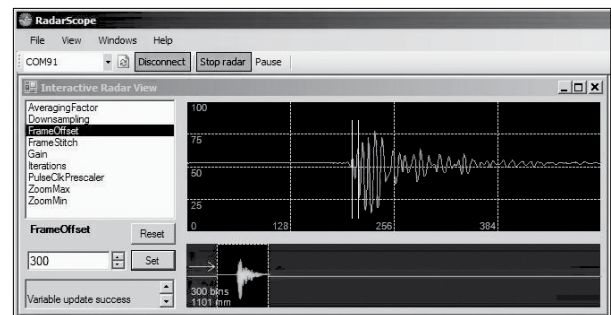
2. ábra A Novelda-radar működése (<http://www.novelda.no/>)
Figure 2 The principle of the Novelda radar (<http://www.novelda.no/>)



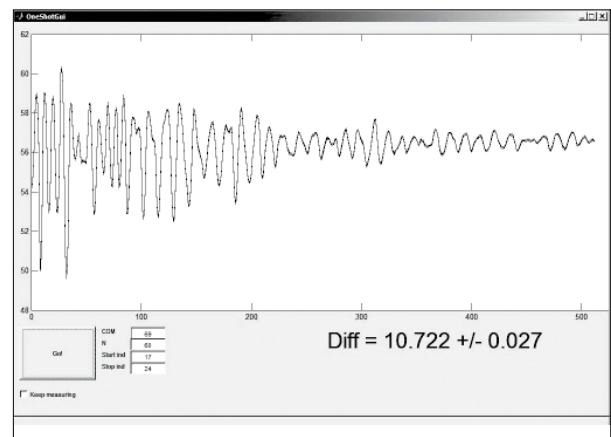
3. ábra RadarScope, a Novelda-radar szoftvere
Figure 3 RadarScope, the software surface of the Novelda Radar



4. ábra A mérés sematikus elrendezése
Figure 4 The applied arrangement of the measurement



5. ábra A számításba vett tartományt jelzik a fehér vonalak
Figure 5 The region of interest marked by white line

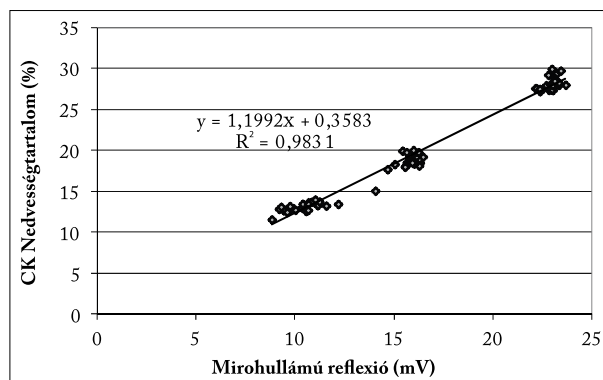


6. ábra A gyors mérésekhez készített célprogram 60 mérés átlagát szolgáltatja 2 másodperc alatt
Figure 6 The developed software for the quick measurement is able to provide the average of 60 measurements in 2 seconds

A mikrohullámú nedvességmérés tesztelésére három különböző gyártási fázisban levő ck-mintaszorozatot alkalmaztunk. Mértük a visszavert mikrohullám amplitúdóját. A 6. ábrán látható, készített szoftverrel 60 mérést átlagoltattunk. A mérést követően szárítókamrában súlyállandóságig szárítottuk a mintákat és így határoztuk meg a minta nedvességtartalmát. Összehasonlítottuk a reflektált mikrohullám amplitúdót és a mérlegtartalmat. Az eredményt a 7. ábra szemlélteti. A nedvességmérés relatív hibája +/-1,1%. A két mennyiség között lineáris összefüggést találtunk, összhangban azzal, amit a bevezető szakaszokban elméleti megfontolások alapján megállapítottunk a [8] formula segítségével.

Összefoglalás

A ck-lapokon elsőként végeztünk nedvességmérést mikrohullámú radarral. A tömör faanyag vizsgálata-



7. ábra Kapcsolat a ck-lapok nedvessége és a visszavert mikrohullámú jel nagysága között

Figure 7 Relation between the cement board moisture content and the amplitude of the reflected microwave

kor kiderült, hogy a radar érzékeny a sűrűsége és a fafajra. A ck-lapok sűrűsége csak kis mértékben ingadozik, így a nedvességmérést nem befolyásolja, ezt igazolják a laboratóriumi méréseink is, ahol magas korrelációt (0,9831) kaptunk. A mérés elvi megalapozottsága, a jó kísérleti tapasztalatok alapján a kifejlesztett mérési elrendezés alkalmas ipari körülmények között folyamatos mérések végzésére.

Irodalomjegyzék

- Imrik Z. (1981) Transzportfolyamatok. Egyetemi jegyzet, Sopron, 46-61.
- Lóránt P. (1959) A mikrohullám. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 9-22.
- Molnár S. (2004) Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 188-195.
- Schajer GS., Orhan FB. (2006) Measurement of wood grain angle, moisture content and density using microwaves. Holz als Roh- und Werkstoff. 64: 483-490.
- Sitkei Gy. (szerk.) (1994) A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft, Budapest, 105-106.
- Torgonikov GI. (1993) Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials. Springer-Verlag, Berlin, 3, 8-11, 179-180.
- <http://www.falco-woodindustry.com>
- <http://www.kett.com/files/brmmm.pdf>
- <http://www.novelda.no/>

Hidakról – földrajzi-történeti áttekintés

IV. rész: Az Újvilág régi hídjai

LÁNG Elemér¹

¹ Associate Professor Emeritus, West Virginia University, Division of Forestry and Natural Resources, Morgantown, WV 26505

Kivonat

A cikksorozat negyedik, egyben befejező része az amerikai kontinens fa hídjait ismerteti. Röviden tárgyaljuk a Kolumbusz előtti maja, azték és inka hidak kialakítását. Említésre kerül az észak-