

Fafizika

6. előadás

Hőtechnikai és égési tulajdonságok

Prof. Dr. Molnár Sándor
NYME, FMK,
Faanyagtudományi Intézet

The background of the slide is a warm, orange-brown color with a pattern of stylized, overlapping autumn leaves. The leaves are rendered in various shades of brown and orange, creating a textured, layered effect. The overall aesthetic is natural and seasonal.

Gyakorlati szerepe

A fa hőátágulása

A faanyag fajhője

Hővezetés, hődiffúzió

A faanyag égési sajátosságai

A faanyag energetikai jellemzői

A hőtechnikai tulajdonságok gyakorlati szerepe

- Kapcsolatban a:
 - Fafeldolgozási technológiákkal
 - A favédelemmel
 - Az energetikai hasznosítással

A fa hőágulása

- A hőágulás jellemzésére a vonalas hőágulási együtthatókat (α) használják

$$\alpha = \frac{1}{\ell_0} \cdot \frac{d\ell}{dt}$$

- A térfogati hőágulási együttható meghatározása a vonalas értékek alapján:

$$\alpha_v = (1 + \alpha_h) (1 + \alpha_s) (1 + \alpha_r) - 1$$

Lineáris hőtágulási együtthatók

Fafaj	Sűrűség (u = 12%) kg/m ³	Hőtágulási együtthatók, 10 ⁻⁶ · α		
		Húr (α _h)	Sugár (α _s)	Rost (α _r)
Cukorjuhar	680	37,6	28,4	4,16
Balza	170	24,1	16,3	-
Nyír	660	39,4	32,3	3,57
Nyár	430	33,9	23,3	3,17
Tölgy	690	41,0	29,3	3,60
Bükk	720	34,8	22,0	5,40
Lucfenyő	420	34,6	23,9	3,50
Erdeifenyő	520	29,0	15,0	4,20
Duglaszfenyő	510	45,0	27,1	3,52

- A fa tartószerkezetek, épületelemek hosszirányban lényegesen (3-5-ször) kisebb mértékben tágulnak, mint a vasbeton és acél szerkezetek, így égéskor nem dőlnek össze.
- A fa-műanyag kompozitoknál a vonalas hőtágulási együttható valamivel nagyobb, mint a természetes faanyagnál.
- A hűrirányú együtthatók a legnagyobbak, ezektől 20-50%-kal maradnak el a sugárirányúak. A rostirányú méretváltozások a legkisebbek, 8-12-szer maradnak el a hűrirányútól.
- A faanyag sűrűségének szerepe nem jelentős, ezzel szemben a nedvességváltozásé igen nagy.
- A hőtágulási értékek nagysága elhanyagolhatóan kicsi a nedvesség okozta méretváltozásokhoz (zsugorodás-dagadás) viszonyítva.

A faanyag fajhője

- A fajhő az egységnyi tömegű faanyag 1 fokkal történő felmelegítéséhez szükséges hőmennyiséggel jellemezhető:

$$C = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dt}$$

- A fajhőt a hőmérséklet és a nedvességtartalom jelentősen befolyásolja.
- Az összes fafaj átlagában fogadjuk el a $t = 0^{\circ}\text{C}$ és $u = 0\%$ állapotra a $C = 1,117 \text{ kJ/kg} \times \text{K}$ értéket.

- A hőmérséklet hatását figyelembe véve (C_t) felírható:

$$C_t = 1,117 + 0,00487 \cdot t$$

- A víz fajhője közel négyszerese a száraz faanyagénak ($C_{\text{víz}} = 4,1832$), ezért 0-100°C hőmérsékleti tartományban, $u \geq 8\%$ nedvességtartalomnál ($C_{t,u}$):

$$C_{t,u} = \frac{111,7 + 0,487t + 4,1832 \cdot u}{100 + u}$$

- A 0-100°C hőmérsékleti tartományban a közép fajhő (C_m) fogalmát is használják

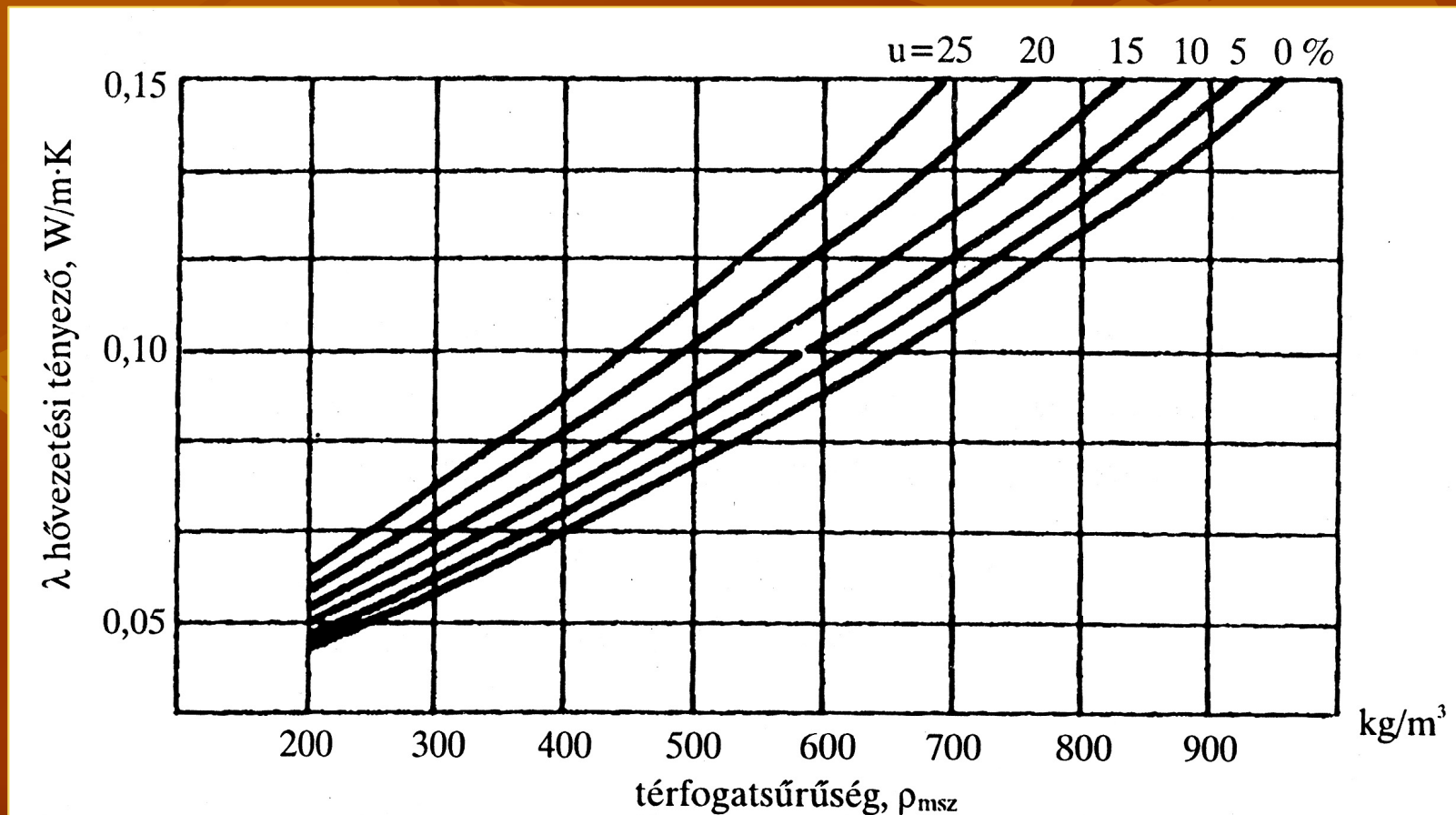
$$C_m = \frac{1}{t} \int_0^t C \cdot dt$$

- Egyes irodalmak javasolják a növényi eredetű szerves anyagoknál a 20°C hőmérséklethez kapcsolódó fajhő értéket kerekén 1,4 kJ/kg·K értékben elfogadni
- Így a nedves fára:

$$C_u = \frac{1,4 + 4,1832 \cdot 0,01u}{1 + 0,01u}$$

Hővezetés, hődiffúzió

- A hőnek a faanyagban való terjedését és a hőmérsékletváltozást két mutatóval lehet jellemezni:
 - a hővezetési tényezővel (λ) és a
 - hődiffúziós tényezővel (α).



Hővezetési tényező

- A **hővezetési tényező**: egységnyi idő (T) alatt, egy m² keresztmetszeten (A), egy méter távolságra (x) 1 K hőmérsékletkülönbség (t) mellett milyen hőmennyiség áramlik át [W/mK]:

$$\lambda = \frac{Q \cdot dx}{A \cdot T \cdot dt}$$

- A λ értéke függ
 - a fa sűrűségétől,
 - nedvességtartalmától,
 - rostirányától és
 - a hőmérsékletétől.
- A víz nagyobb λ értéke miatt a nedves fa jobban vezeti a hőt.

Fa- és egyéb anyagok hővezetési tényezője

Fafaj megnevezése		Hővezetési tényező, W/mK
Tölgy	rostokkal	0,29
	rostokra ⊥	0,16-0,18
Kőris	rostokkal	0,31
	rostokra ⊥	0,16-0,18
Balza	rostokkal	0,04
	rostokra ⊥	0,048-0,077
Lucfenyő	rostokkal	0,22
	rostokra ⊥	0,10-0,11
Egyéb faanyagok:	forgácslap	0,12-0,14
	kemény farostlemez	0,17
	alacsony sűrűségű farostlemez	0,048
	rétegeltlemez	0,14
Egyéb anyagok:	levegő	0,026
	víz	0,60
	beton	0,69
	réz	386
	acél	210

- Az európai fafajoknál a rostokra merőleges hővezetési tényező mintegy fele a rostirányúnak.
- A sűrűség és a rostirány függvényében a hővezetési tényezők:

$$\lambda_{\perp} = 0,026 + 0,195 \cdot \rho \cdot 10^{-3}; [\text{W/m K}]$$

$$\lambda_{\parallel} = 0,026 + 0,46 \cdot \rho \cdot 10^{-3}; [\text{W/m K}]$$

- A faanyag nedvességtartalmának változását a következő összefüggéssel lehet figyelembe venni:

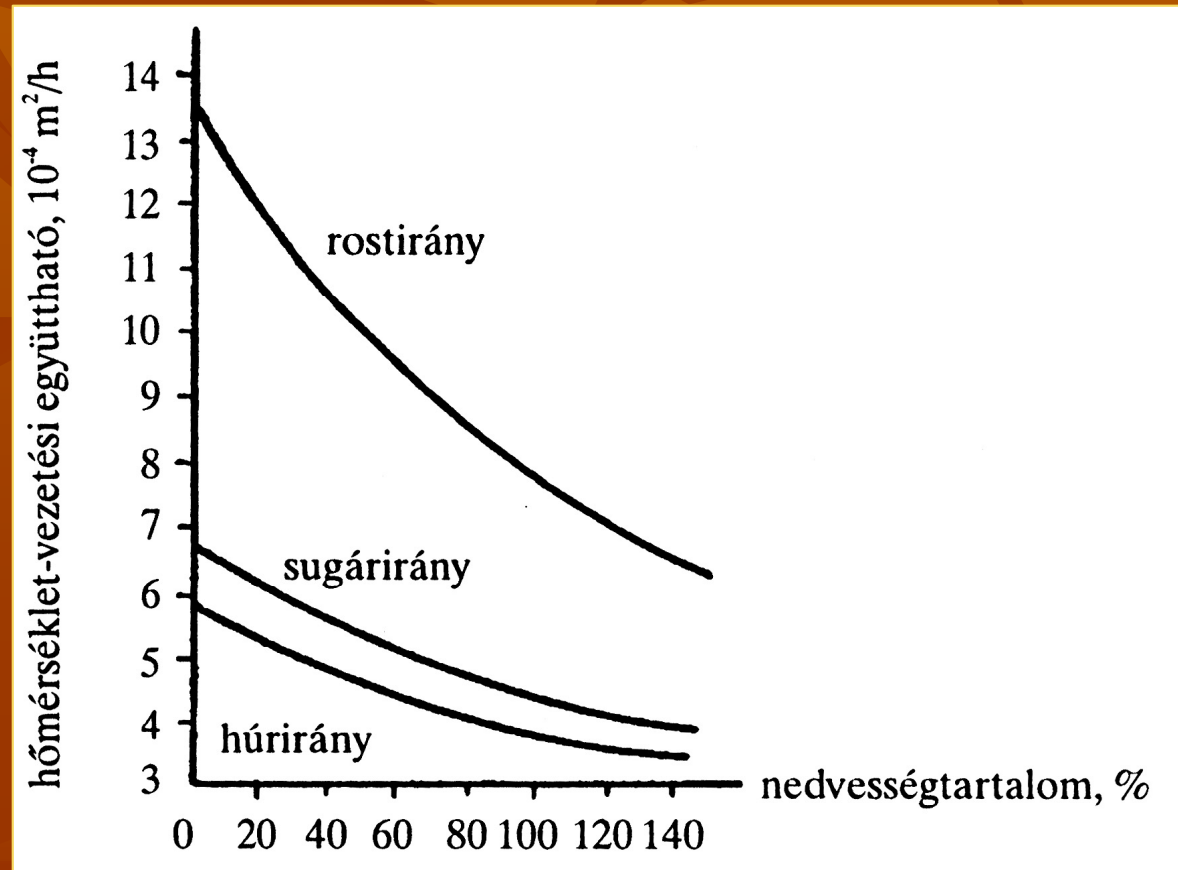
$$\lambda_2 = \lambda_1 [1 - 0,0125 (u_1 - u_2)]$$

A hődiffúziós tényező

- A hődiffúziós tényező (hőmérsékletvezető képesség, a) [m^2/h] az instacionáris hőcserénél a hővezetés sebességét jellemzi:

$$a = \frac{\lambda}{C \cdot \rho_b}$$

- Befolyásolja:
 - a nedvességtartalom,
 - a rostirány és
 - a sűrűség



A faanyag égési sajátosságai:

AZ égési jellemzők

- A levegő oxigénjének jelenlétében bekövetkező égési folyamatnak három szakaszát különíthetjük el:
 - felmelegedés, gyulladás
 - égés
 - utóizzás
- **Felmelegedésekor** 105°C után erősödik a gázok eltávozása. $180\text{-}210^{\circ}\text{C}$ -ig jelentős elváltozások a faanyagban nem következnek be.
- A faanyagból kiváló gázok $220\text{-}260^{\circ}\text{C}$ körül lánggra lobbannak, de az anyag még tartósan nem ég. Ez a **lobbanási pont**.
- $260\text{-}290^{\circ}\text{C}$ körül az anyag tartósan égni kezd. Ez a határ az **égési pont**.
- $350\text{-}470^{\circ}\text{C}$ körül a faanyagból távozó gázok önmaguktól (külső lángforrás nélkül) meggyulladnak. Ezt nevezzük **gyulladásási pontnak**.

Az égési folyamat jellemzését szolgáló mutatók

- A *gyúlékonyság*, amely a meggyulladáshoz szükséges energiával jellemezhető;
- az *égési sebesség*, amely a lángterjedés sebességét mutatja a felületen;
- az égési tömegveszteséggel lehet jellemezni az *éghetőséget*.
Éghetőségük alapján:
 - **nem éghető**: a cement(beton)kötésű falapok, lemezek, pl. Betonyp.
 - **nehezen éghető**: az égéskésleltető szerrel kezelt tömörfák és különféle falapok és lemezek.
 - **közepesen éghető**: a természetes faanyagok, forgácslapok, pozdorjalemezek, rétegeltlemezek.
 - **könnyen éghető**: védelem nélküli farostlemezek, MDF lemezek
- a *tűzállóság* egy összetett, a szerkezetekre vonatkozó fogalom. Kifejezi a tűz- és hőhatással szembeni szilárdsági ellenállást órákban. A tömörfa szerkezetek tűzállósága lényegesen kedvezőbb, mint az acél- és alumínium szerkezeteké.
- a *beégési sebesség* az elszenesedés időbeni előrehaladását jellemzi a fa vastagsága mentén.

A fa égését befolyásoló tényezők

- **A sűrűség**
- **A nedvességtartalom**
- **A különböző fafajok** az eltérő sűrűségük, szöveti és kémiai jellemzőik miatt eltérő égési sajátosságokkal rendelkeznek.
- **Az alaki tényezők** szempontjából a fa felülete és a térfogat aránya a fontos.
- **Az égési jellemzőket természetesen befolyásolja**
 - a hőmérséklet,
 - a hővezetési tényező nagysága és
 - a faanyag anizotrópiája is.

A faanyag energetikai jellemzői

Égéshő, fűtőérték

Az egységnyi mennyiségű faanyag elégetésekor keletkező teljes hőmennyiséget égés hőnek nevezzük.

Az elemi összetételből meghatározható:

$$E = 34000 \cdot C + 142000 \cdot \left(H - \frac{O}{8} \right)$$

Az összes fafaj átlagában ($u = 0\%$): $E = 17700 \text{ kJ/kg}$

Fontosabb fafajaink égéshője tömegre (kJ/kg) és fatérfogatra (MJ/m³) vonatkoztatva (u = 0%)

Fafaj	kJ/kg	MJ/m ³
Nyír	20070	14049
Akác	18617	13590
Cser	18133	13330
Gyertyán	16696	13190
Bükk	18419	12525
Juhar	20070	11841
Tölgy	17858	11608
Éger	17681	8841
Lucfenyő	19503	8386
Erdeifenyő	16745	8205
Nyár	16843	6400

Fűtőérték

- A fa elégetésekor a hidrogénből és az oxigén egy részéből vízgőz keletkezik, amely gőz formájában eltávozik.
- Így a gyakorlatban felhasználható hőmennyiség - a **fűtőérték** [kJ/kg] - kisebb, mint a teljes égési hő:

$$F = \frac{E - 2500 \cdot (u + 9H)}{1 + u}$$

A faanyag energetikai hasznosításának néhány jellemzője

- A fa környezetbarát tüzelőanyag, égetésekor nem keletkeznek ártalmas gázok;
- a faanyag bővítetten újratermelhető, és növekedéséhez a nap energiáját hasznosítja;
- a széntüzeléshez viszonyítva a fa elégetésekor mindössze 0,5-1,0%, a szénnél pedig 25-40% hamu keletkezik;
- nem termel többlet CO₂-t, csak az élőfa által megkötött mennyiséget juttatja vissza;
- a fa energetikai hasznosítása jelenti az ipari fahulladékok megsemmisítéséhez a legnagyobb lehetőséget. A keletkező fűrészpor, kéreg, darabos apró hulladék alkalmas az egyéb energiahordozók kiváltására. Pl. 4 tonna fahulladék energiatartalma 1 tonna fűtőolajéval egyenértékű;
- gazdaságosan nem művelhető területeken értékes „energia ültetvények” létesíthetők.



Köszönöm a figyelmet!