

Fafizika

11. előadás

A faanyag szilárdságának jellemzése II.

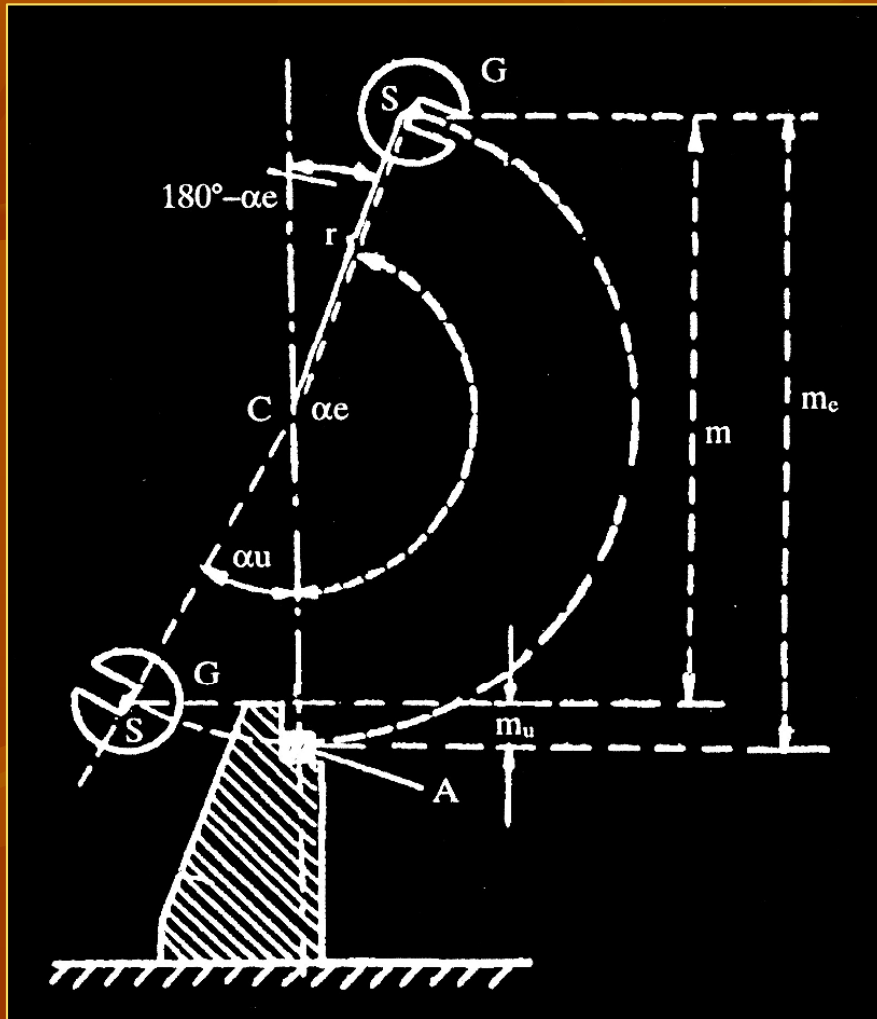
Prof. Dr. Molnár Sándor
NYME, FMK,
Faanyagtudományi Intézet

Ütő-hajlító szilárdság

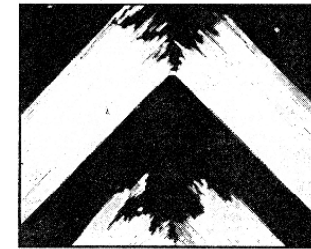
- A faanyagnak a gyors, lökésszerű erőhatásokkal szembeni ellenállását nevezzük dinamikai szilárdságnak.
- A dinamikai szilárdságokat azzal a munkával mérjük, amelyet az erők a törés előidézésekor kifejtenek.
- Az anyagvizsgálati gyakorlatban a lengőkalapácsos ütőművel megvalósítható „ütő-hajlító” szilárdsági vizsgálat terjedt el.
- E jellemző választ ad arra, hogy az adott faanyag mennyire szívós dinamikus igénybevételek esetén.
- A vizsgálatokhoz négyzetes hasáb alakú próbatestet alkalmaznak. A keresztmetszet mérete 20x20 mm, és a hasáb teljes hossza 300 mm. A próbatest felfekvési távolsága 240 mm, szabad felfekvése pedig 210 mm.
- A mérést Charpy-féle ütőművön végezzük el.
- A lengő kalapács kiindulási és végső magassága közötti helyzeti energiák különbsége került felhasználásra a próbatest eltörésekor.

- Így az ütőmű által kifejtett fajlagos ütő-hajlító munka:

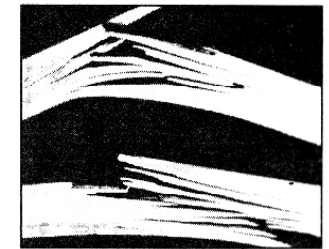
$$w = \frac{G \cdot m_e - G \cdot m_u}{A} = \frac{G(m_e - m_u)}{A} = \frac{G \cdot m}{A}$$



rideg



normál



szálkás (szívós)

Fafaj	Ütő- hajlító szilárdság J/cm ²
Duglaszfenyő	3,8
Erdeifenyő	4,0
Lucfenyő	4,0
Vörösfenyő	6,0
Akác	13,5
Bükk	10,0
Kóris	6,8
Nyár (óriás)	5,0
Tölgy	6,8

Technológiai-szilárdsági tulajdonságok

- Azokat a sajátos összetett mechanikai igénybevételeket, amelyek a fatermék gyártásakor és felhasználásakor jelentkeznek, technológiai tulajdonságoknak nevezzük.
- Ide tartoznak:
 - a keménység,
 - a kopásállóság,
 - a szeg- és csavarállóság,
 - a hasítószilárdság,
 - a hajlíthatóság,
 - a ragasztási szilárdság és
 - a fajlagos forgácsolási ellenállás.

A faanyag keménysége

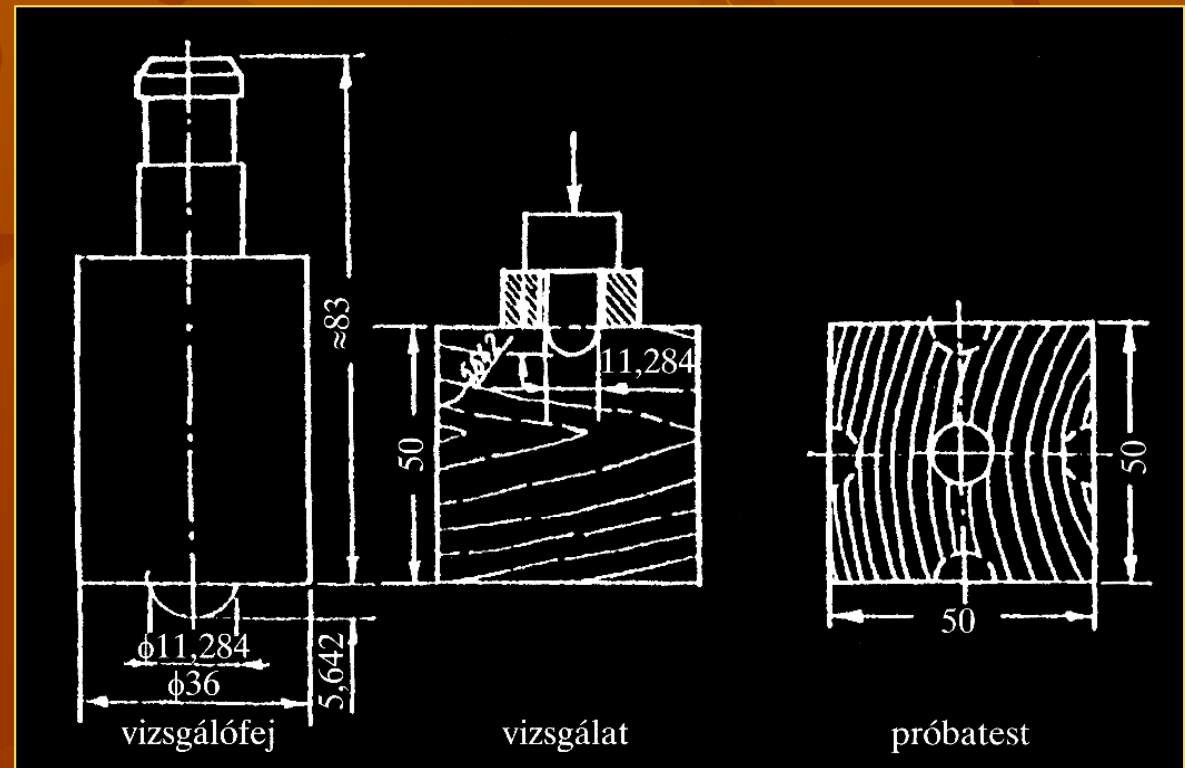
- A fa keménységét a korábbi évtizedekben univerzális műszaki anyagjellemzőnek tekintették.
- A fafajok besorolása is: lágy lombos, kemény lombos. A keménység szerepe a különböző fatermékek használatakor (pl. parketta), vagy a faanyag forgácsolási, ragasztási paramétereinek megválasztásakor vitathatatlan.
- A fa keménységén azt az ellenállást értjük, amelyet a fa a belé nyomott kemény tárgy szemben kifejt.
- A keménység abszolút számokkal való jellemzésére különböző vizsgálati eljárások alakultak ki, amelyek elsősorban a benyomott tárgy alakjában különböznek.
- A keménység meghatározására kialakult vizsgálati eljárások két csoportba sorolhatók:
 - - statikus és
 - - dinamikus keménységvizsgálati eljárások

Janka-féle keménységvizsgálati eljárás

- A Janka-féle keménységi szám megállapítására egy 11,284 mm átmérőjű acélgolyót egyenlítőjéig, 5,642 mm mélységre nyomunk a vizsgálandó faanyagba.
- Az alkalmazott golyó félgömb, vetülete pontosan 1 cm².
- A Janka-féle keménységi szám:

$$H_J = \frac{F}{100}$$

- A próbatest nagysága minimálisan 50x50x50 mm élhosszúságú kocka.



■ Janka-féle keménységi skála	N/mm ² –ig
■ igen puha fák (nyárok, fűzek, hársak, fenyők)	< 35
■ puhafák (nyír, éger, vörösfenyő)	35-50
■ középkemény fák (szelídgesztenye, vöröstölgy)	51-65
■ keményfák (bükk, tölgy, akác, kőris, gyertyán)	66-100
■ igen kemény fák (bukszus)	101-150
■ csontkemény fák (pockfa, ébenfa)	151 >

A Janka-féle keménységvizsgálati eljárás hibái

- A legtöbb fafajnál a gömbsüveg felületére vonatkoztatott legnagyobb keménység kb. 0,77 mm benyomódási mélységnél jelentkezik, tehát a Janka-féle keménységi számok kisebbek lesznek, mint a gépen kijelzett maximális értékek.
- A fenyőfélék és a lombfák más-más magatartást tanúsítanak a benyomott golyó mélységének változásával szemben.
- A benyomott golyó kisebb-nagyobb szöveti elváltozásokat idéz elő, kicsiny szöveti szakadások állapíthatók meg, amelyek a behatolási mélységgel állandóan növekszenek.
- A rostoknak oldalirányú eltolódása következtében hasító hatás is létrejön, amely különösen a lombosfáknál kerül előtérbe.
- A golyó benyomódásával a rostokkal párhuzamos irányú, a fatestre ferdén ható nyomóhatás is jelentkezik.

Brinnell-Mörath-féle keménységvizsgálati eljárás

- Mörath a fa keménységének meghatározására a Brinnell-féle golyós vizsgálatot módosította, úgy, hogy csak a terhelőerőknél javasolt változtatásokat.
- Ehhez 10 mm átmérőjű acélgolyót használnak, amelyet az európai fafajoknál 500 N-os, a nagyon kemény trópusi fáknál 1000 N-os terheléssel nyomnak a vizsgálandó faanyagba. Igen puha fánál az acélgolyó benyomásához használt erő csak 100 N-os.
- A vizsgálatokhoz használt próbatest mérete 50x50x50 mm. Megállapítandó a bütü- és oldalkeménység, az utóbbit a sugár- és húrmetszeteken kell vizsgálni.

$$H_B = \frac{F}{D \cdot \pi \cdot h}$$

- A benyomódás mélysége helyett lehet a benyomódási kép átmérőjét is mérni:

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

- Ezt behelyettesítve:

$$H_B = \frac{2F}{D\pi \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Brinell-Mörath-féle keménységvizsgálati eljárás hibái

- A golyó benyomódásához az előirt háromféle nyomóerő alkalmazása az eljárást bizonytalanná teszi.
- A keménységi szám meghatározásához a gömbsüveg felületének az átlagos átmérőből való kiszámítása (különösen az oldalkeménységnél) pontatlan eredményeket ad, mert a fába benyomott gömbsüveg képe nem mindig szabályos kör, hanem igen gyakran ellipszis alakú.
- Az acélgolyó 10 mm-es átmérő mérete még mindig kis felületen hat, így hasító- illetve ékhatással (főleg a bütüfelületen) számolnunk kell.
- A szélesebb évgyűrűk esetén a benyomódás vagy a korai vagy a késői pásztát érinti. Tehát nem jellemzi az egész faanyagot.

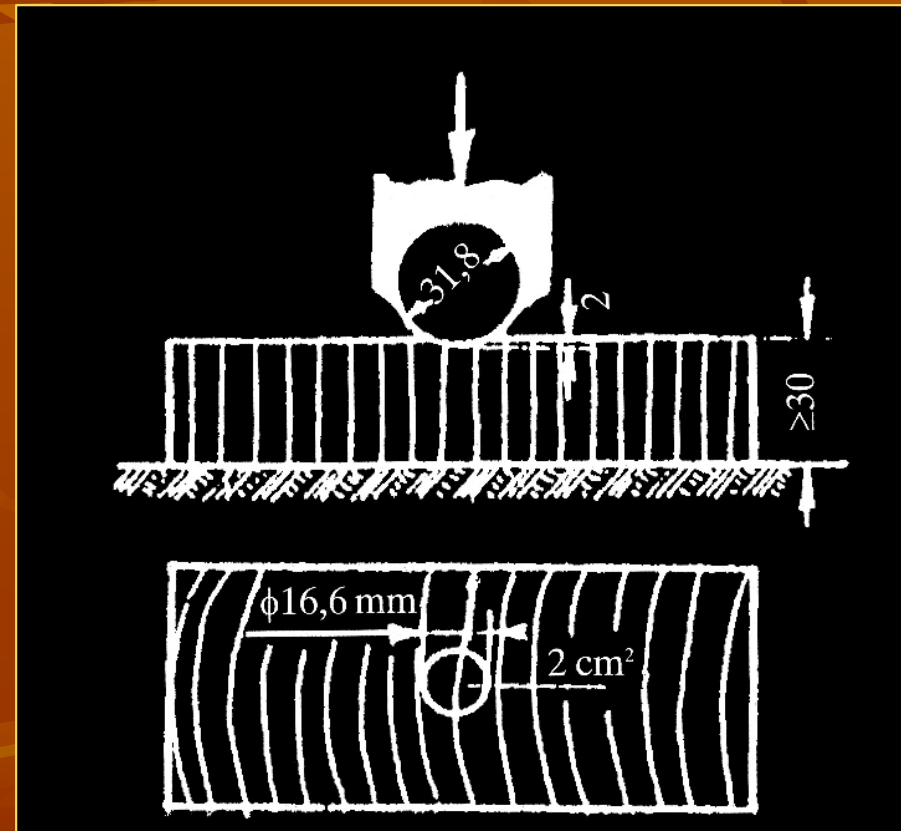
A fontosabb hazai fafajok Brinnetl-Mörath-féle keménysége, N/mm²

Fafaj, csoport	Bütüfelülete n	Oldal felülete n
Igen puha fák:	10-40	5-20
Hárs	38	16
Fűz	35	16
Óriás nyár	36	12
Puha fák:	20-60	10-30
Lucfenyő	32	12
Erdeifenyő	40	19
Vörösfenyő	53	19
Középkemény fák:	40-65	20-40
Szelídgesztenye	38	18
Tölgyek	66	34
Bükk	72	34
Kőris	65	-
Hegyi juhar	62	27
Kemény fák:	60-100	30-60
Akác	74	48
Gyertyán	71	36

Krippel-Pallay-féle keménységvizsgálati eljárás

- Gömbsüveg alakú nyomótestet, melynek benyomódási mélysége 2 mm.
- A benyomott gömbsüveg felülete 2 cm².
- A vizsgálatokhoz használt gömbsüveg - acélgolyó átmérője 31,834 mm.

$$H_{K-P} = \frac{F}{200}$$



Az eljárás előnye:

- A benyomódás viszonylag sekély, (a kísérlet eredményei azt igazolták, hogy a 2 mm-es benyomási mélységen belül a fenyőfélék és a lombfák egyformán viselkednek);
- A benyomott gömbsüveg nagy felülete biztosabban adja a próbatest átlagos keménységét.

Szanaev mikrokeménységi vizsgálati módszere

- Lehetőséget ad a korai és késői pászta elkülönített vizsgálatára.
- A Szanaev-módszer lényege, hogy egy 60 μm sugarú, félgömb hegyű fémtűt 0,3 N terheléssel egyenletesen 1,5 percen keresztül nyomnak a fába: a tű behatolási mélységét 0,01 mm pontossággal határozzák meg.
- A vizsgálati eredmények jól reprezentálják az évgyűrűszerkezeten belüli keménységi eltéréseket.

Fafaj	korai pászta	késői pászta
Tölgy	52	93
Erdeifenyő	21	105

Pevzoff dinamikai módszere

- Egy 25 mm átmérőjű acélgolyót 500 mm magasságból ejtenek a próbatest felületére.
- Megméri a benyomódás átmérőjét, és az átlagátmérő alapján a dinamikai keménység:

$$H_p = \frac{4 \cdot m \cdot g \cdot h}{\pi \cdot d^2}$$

Fafaj	Dinamikai keménység	Fafaj	Dinamikai keménység
Vörösfenyő	0,92	Akác	1,27
Lucfenyő	0,74	Bükk	0,96
Erdeifenyő	0,73	Nyír	0,82
Jegenyefenyő	0,66	Nyár	0,69

A faanyag kopásállósága

- A kopásállóság kifejezi, hogy a faanyag felületi rétegei mennyire képesek ellenállni a külső koptató erőknek.
- A kopás (elhasználódás) mértéke kifejezhető tömeg és/vagy térfogat veszteségben, valamint vastagságcsökkenéssel.
- A kopásállóság, mint a fa felületének egyik jellemzője szoros kapcsolatban áll a keménységgel és a csúszó súrlódási tényezővel.
- Vizsgálati eljárások:
 - **homokfúvásos eljárás:** nagy erővel fújt homoksugár koptatja a fa felszínét
 - **kemény fém eszközökkel** végzett koptató eljárások
 - **csiszolásos eljárások:** az emberi járást modellezi. A lábat utánzó vastuskó aljára van a csiszolószalag felszerelve

- Az eltérő módszerű koptató eljárások eredményei nehezen hasonlíthatók össze.
- Így a különböző fafajokra kapott értékeket a bükkhöz szokták hasonlítani.
- Ha a bükk kopásállóságát 1,0-nek vesszük, akkor az akác 0,37, gyertyán 0,45, kőris 1,53, tölgy 1,56, vörösfenyő 1,86, lucfenyő 2,03, éger 3,34 viszonylagos kopásállóságú.
- A fafajok sorrendbe állítása jól mutatja, hogy a keménységi jellemzőkkel összhangban az akác és a gyertyán a két legkopásállóbb fafajunk.

Minősítés	Vastagságcsökkenés, mm/100 ford		Tömegveszteség, g/100 ford	
	bütü	oldal (húr, sugár)	bütü	oldal (húr, sugár)
Nagyon kopásálló	< 0,02	< 0,03	< 0,06	< 0,08
Kopásálló	0,021-0,04	0,031-0,06	0,061-0,12	0,081-0,16
Közepesen kopásálló	0,041-0,06	0,061-0,09	0,121-0,18	0,161-0,22
Gyengén kopásálló	> 0,061	> 0,091	> 0,181	> 0,221

A faanyag súrlódási tulajdonságai

- a súrlódás két alapesetét különböztetjük meg:
 - csúszó és
 - gördülő súrlódások.
- A korábbi évtizedekben a fa súrlódási jellemzőinek a gépgyártásban is jelentős szerepe volt.
- Szinte egyedülálló terület a rönkbehordó lánctranszportöröknél használt fabetétek.
- A súrlódási tényező szerepe azonban jelentős a fa kopása, a falapok, fatermékek tárolása, mozgatása, sőt a faanyagok csiszolása szempontjából is.
- A fizikából ismert, hogy a csúszó súrlódási erő (F_s) egyenesen arányos a felületre ható nyomóerővel (F_{ny}):

$$F_s = \mu_{cs} \cdot F_{ny}$$

- Ennek értéke a felületek simaságától, anyagi minőségétől, a kialakuló molekuláris erőktől és a mozgás sebességétől függ.
- Az egymásra helyezett falapok, fatermékek elmozdulását akadályozó **tapadási súrlódás** a csúszó súrlódásnak a nyugalmi helyzetre vonatkozó sajátos típusa.
- A tapadó súrlódási együttható (μ_t) értéke valamivel meghaladja a csúszó súrlódásét: $\mu_t > \mu_{cs}$.

Tapadó súrlódási együtthatók (μ_t)									
	B	Lf	T	Rl	Fl	Fr1	MDF	Dl	Bl
B	0,38	0,33	0,28	0,38	0,32	0,32	0,35	0,17	0,37
Lf	0,33	0,34	0,35	0,39	0,37	0,33	0,32	0,21	0,29
T	0,28	0,35	0,46	0,44	0,35	0,32	0,38	0,22	0,32
Rl	0,38	0,39	0,44	0,19	0,42	0,32	0,41	0,22	0,28
Fl	0,32	0,37	0,35	0,42	0,58	0,36	0,59	0,22	0,30
Fr1	0,32	0,33	0,32	0,32	0,36	0,29	0,41	0,20	0,24
MDF	0,35	0,32	0,38	0,41	0,59	0,41	0,52	0,20	0,29
Dl	0,17	0,21	0,22	0,22	0,22	0,20	0,20	0,12	0,17
Bl	0,37	0,29	0,32	0,28	0,30	0,24	0,29	0,17	0,15

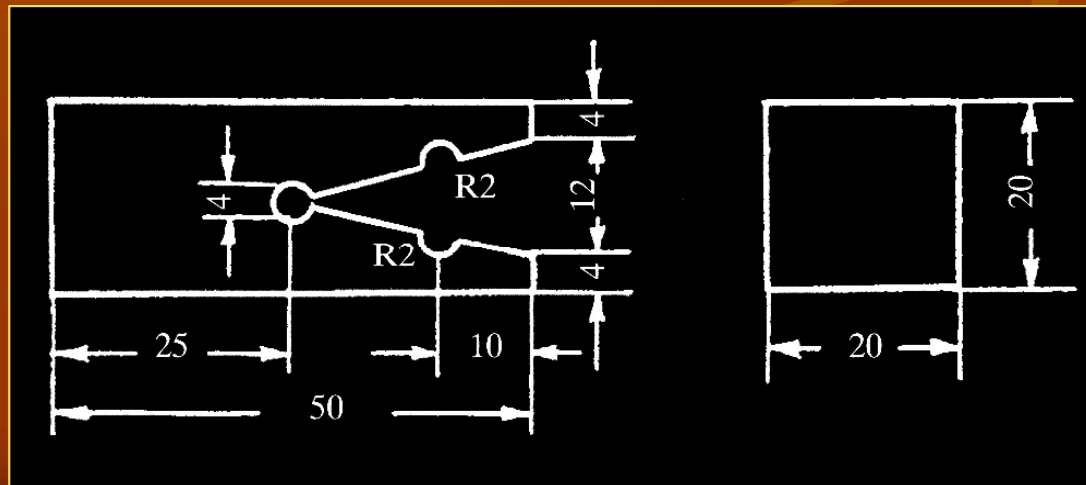
Csúszó súrlódási együtthatók (μ_{cs})

	B	Lf	T	Rl	Fl	Fr1	MDF	Dl	B1
B	0,32	0,27	0,22	0,33	0,18	0,19	0,18	0,15	0,31
Lf	0,27	0,25	0,26	0,29	0,20	0,21	0,18	0,19	0,26
T	0,22	0,26	0,35	0,32	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25
Rl	0,33	0,29	0,32	0,16	0,20	0,18	0,20	0,17	0,20
Fl	0,18	0,20	0,20	0,20	0,23	0,20	0,24	0,18	0,22
Fr1	0,19	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,22	0,16	0,19
MDF	0,18	0,18	0,20	0,20	0,24	0,22	0,23	0,18	0,21
Dl	0,15	0,19	0,20	0,17	0,18	0,16	0,18	0,11	0,15
B1	0,31	0,26	0,25	0,20	0,22	0,19	0,21	0,15	0,12

Hasítószilárdság

- Egy ék alakú szerszám behatolásával szembeni ellenállóképeség.
- E jellemzőt a sarangolt faválasztékok hasításakor veszik figyelembe.
- A vizsgálatokat klimatizált próbatestekkel folyamatos lassú terheléssel kell végezni.
- Sugárirányban előnyösebben hasítható, mint húrirányban.
- A nedvességtartalom növekedésével $u = 12\%$ -ig növekszik a hasítószilárdság, azt követően pedig folyamatosan csökken.

$$\sigma_{hs} = \frac{F_{max}}{A}$$



- A hasíthatóságot nagyban befolyásolják a fahibák. Különösen a göcsösségnek és a szabálytalan rostlefutásnak (csavarodottságnak) negatív a hatása.
- A szöveti jellemzők közül a nagy bélsugarak (pl. bükk, tölgy) pozitívan hatnak a hasíthatóságra.

Fafaj	Húr	Sugár
Lucfenyő	0,26	0,20
Feketefenyő	0,46	0,45
Erdeifenyő	0,46	0,24
Simafenyő	0,77	0,45
Akác	1,12	0,62
Juhar	1,60	1,00
Kőris	1,60	0,69
Szil	0,74	0,60
Gyertyán	1,50	0,62
Bükk	0,45	0,35
Tölgy	0,45	0,43
Nyár (óriás)	0,53	0,39

Szeg- és csavarállóság

- A szegek ,facsavarok kihúzásához szükséges erővel mérhető.
- Ismerete fontos a különböző bútorelemek, belsőépítészeti tárgyak, ládák, rakodólapok kötéseinek tartóssága szempontjából.
- A mérések a szeg (csavar) kihúzásához szükséges erő meghatározására irányulnak.
- A szeg (csavar) tartó erőt a beverési hossz viszonyában adják meg:

$$F_{sz} = \frac{F_k}{l}$$

Anyag (sűrűség)	Szegállóság, N/mm		Csavarállóság, N/mm	
		⊥		⊥
Forgácslap (600 kg/m ³)	0,8...1,5	1,2...2,0	-	-
Fenyők (500 kg/m ³)	1,5...2,2	2,5...4,0	-	-
Forgácslap (650-750 kg/m ³)	-	-	35...60	50...80
MDF lemez (730-780 kg/m ³)	-	-	40...70	55...85

A szilárdsági jellemzőket befolyásoló tényezők

- A különböző szilárdsági, rugalmassági jellemzőkre a következő fontosabb tényezők hatnak:
 - a sűrűség,
 - a nedvességtartalom,
 - a rostirány,
 - a terhelési idő,
 - a hőmérséklet,
 - a szöveti jellemzők,
 - a fahibák.

A fatest sűrűsége

- A sűrűség viszonylag szoros, függvényszerű kapcsolatban áll a statikus szilárdsági jellemzőkkel.
- A nagyfokú gyantatartalom és a gesztesedés során berakódó járulékos anyagok ronthatják a faanyag rugalmas jellemzőit.
- Ugyancsak kedvezőtlen, ha a keskeny évgyűrűszerkezet silány termőhelyi körülmények eredménye. Gyűrűslikacsú lombfáknál a szélesebb évgyűrűjű, nagyobb sűrűségű fák általában szilárdabbak.
- A szilárdsági jellemzők (σ) és a sűrűség (ρ) viszonya:

$$\sigma = a \cdot \rho + b$$

$$\sigma = a \cdot \rho^b$$

- A szilárdsági értékek és a sűrűség hányadosát **fajlagos szilárdsági jellemzőknek** hívjuk.
- E jellemzők jól érzékelteik a különböző fafajok alkalmassági fokát is egy-egy szerkezeti célra.

A nedvességtartalom

- A nedvességtartalom növekedésével a statikus szilárdsági jellemzők a rosttelítettségi pontig fokozatosan csökkennek, azt követően nem változnak.
- A nemzetközi megállapodások szerint az anyagvizsgálatokat 20°C hőmérsékleten, 65% légnedvességen, klimatizált próbatestekkel kell elvégezni. A fafajok átlagában ez 12% egyensúlyi fanedvességet jelent.
- Amennyiben a nedvességtartalom ettől eltér, a mérési eredményeket légszáraz állapotra kell átszámítani:

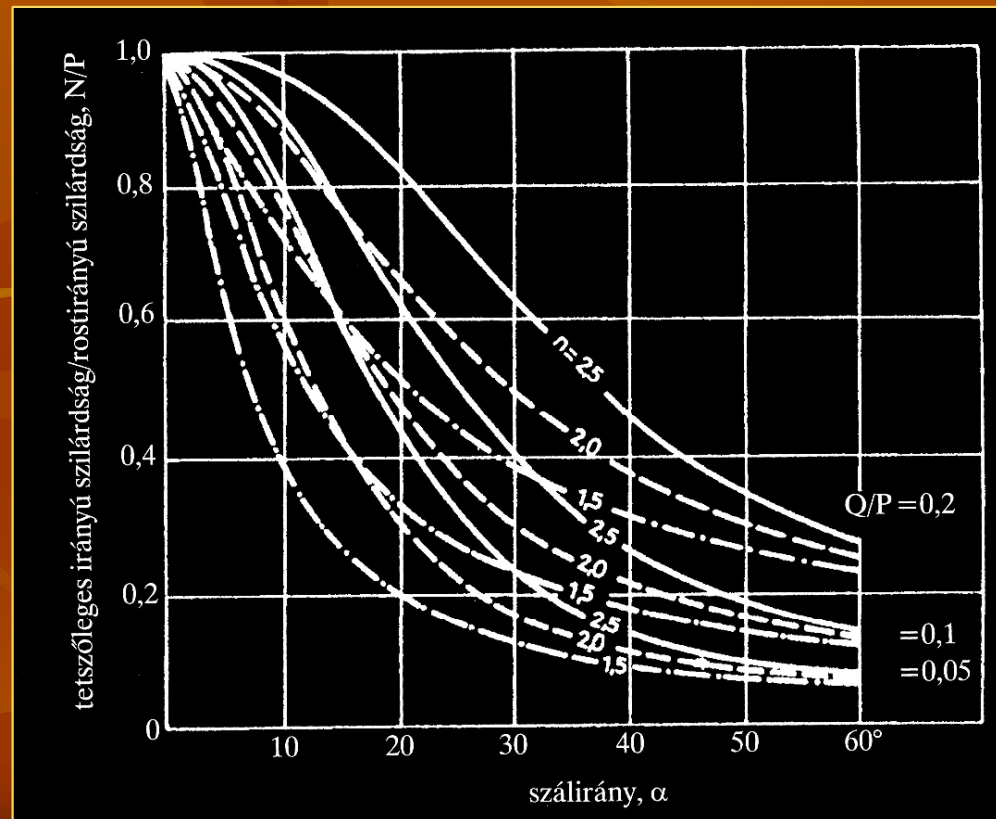
$$\sigma_{12} = \sigma_u [1 + \alpha(u - 12)]$$

α értéke:

nyomószilárdságnál	0,04
húzószilárdságnál	0,03
nyírószilárdságnál	0,03
hajlítószilárdságnál	0,04
hajlító rugalmassági modulusnál	0,02
ütő-hajlító szilárdságnál	0,025
keménységnél: bütüfelületen	0,04
oldalfelületeken	0,025

A rostirány

- A különböző faszerkezeteknél gyakran előfordul, hogy az alapvető igénybevételek iránya nem esik egybe a faanyag rostirányával.
- A szilárdsági értékek általában a rostirányban a legmagasabbak, a rostra merőlegesen a legkisebbek.



- A rostiránnyal bezárt szög (α) ismeretében a szilárdsági jellemzők:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_{\perp} \cdot \sigma_{\parallel}}{\sigma_{\parallel} \cdot \sin^n \alpha + \sigma_{\perp} \cdot \cos^n \alpha},$$

A terhelés időtartama, a faanyagok reológiai tulajdonságai

- A terhelés hosszabb időtartama jelentősen lecsökkenti a statikus szilárdsági értékeket.
- Ha a tartós teher (feszültség) és a statikus szilárdság hányadosaként megfogalmazott terhelési tényezőt %-ban fejezzük ki, akkor ez 0,3-5 év alatt 40-60% értéket vesz fel.

A hőmérséklet, a fahibák és egyéb tényezők hatása

- A hőmérséklet és az egyéb időjárási tényezők együttesen jelentős hatással lehetnek a faanyag szilárdsági jellemzőire is.
- A hőmérséklet növekedésével (0-80°C között) minimális mértékben (0,1 %/1°C) csökkennek a szilárdsági jellemzők.
- A nedvesség és a hőmérséklet együttesen jelentős elváltozásokat okoznak.
- A rostok szabálytalan futásiránya, csavarodottsága és általában a különböző szöveti hibák befolyása jelentős szilárdság csökkentő tényező.
- A göcsösség elsősorban hajlító és a húzó igénybevételeknél csökkenti a szilárdsági értékeket.
- A korhadás már a kezdeti szakaszban is lényeges elváltozásokat okozhat.
- Az egészséges álgeszt és a kékülés szilárdságromlást nem okoznak, mivel a jelenlévő a sejtfal alkotórészeit nem bontják.



Köszönöm a figyelmet!