

Mit kell tudni a fával való tüzelésről?

A fa (faanyag) az emberiség legősibb, egyben megújuló energiahódozója, fűtőanyaga. A sivatagokat, a több ezer méter feletti kopár hegycsúcsokat és sarkkörüli területeket kivéve mindenütt találunk fákat vagy fás szárú növényeket, cserjéket. ***Mi tette ezt az anyagot a mindenütt elérhetőséget is beleértve egyik leggyakoribb fűtőanyaggá?*** Elsősorban a magas fűtőértéke, könnyű meggyújthatósága, a megújuló volta, könnyű darabolhatósága, tárolhatósága stb. Ugyan a földgázvezetékek kiépülésével mára nálunk vesztett jelentőségéből, de a megújuló források előretörésével és a fosszilis tüzelőanyagok árának nem egyszer jelentős emelkedésével ismét reneszánszát éli. Főleg a kandallók esetén, ahol látni is lehet a tüzet, semmivel összehasonlítható látványt melegeget és melegséget kölcsönöz a szobának.

A következőben áttekintem az égéssel, a faanyaggal, mint tüzelőanyaggal kapcsolatos alapismereteket, mindenki számára érhető módon, hogy azok is megértsék ezeket a fogalmakat, akik már rég tanultak fizikát és kémiát. A fával való tüzelés elméleti és gyakorlati ismereteit, elsősorban a **hagyományos** (mindenféle plusz eszköz, pl. ventilátor nélküli) kályhában, kandallóban, cserépkályhában tüzelés, fűtés szempontjából tárgyalom. Akik több évtizeden keresztül fával tüzeltek már tapasztalatból tudják (mindenféle elméleti okfejtés nélkül is) milyen a jó hasábfűtés, a háziasszony tudta, hogy kell felélesztenie a tüzet a sparheltben, ha gyorsan ebédet akart főzni, vagy mindenki tudta, hogy milyen fa kerüljön északára a kályhába, hogy sokáig tartsa a tüzet. Akik a gázfűtésről vagy kiegészítő fűtésésként most térnek át a fatüzelésre, azoknak nincs a fatüzeléssel kapcsolatban tapasztalatuk. Elsősorban nekik készült ez az összefoglaló.

Faanyagoknak olyan szövetes növényeket nevezünk, melyeknek évelő, talaj feletti kemény, kéreggel borított szára van. Ez gyakorlatilag sejtfalakkból áll, amelyek lényegében négy vegyület(csoportra) osztható:

- cellulózra,
- hemicellulózokra (arabán, galaktán, xilán, mannán stb.),
- ligninre,
- extrakt (csersav, gyanta, olaj, fehérje, színező stb.) anyagokra.

Elemek szerinti összetétel alapján a faanyag kb. 50% szenet, kb. 43% oxigént, mintegy. 6% hidrogént, valamint, kis mennyiségű nitrogént és éghetetlen anyagot tartalmaz, tehát egy igazi „széntároló”, és a szén égése adja fűtőértékének jelentős részét.

Az összetétele egyben meghatározza az éghetőségét is: mivel (szinte) minden alkotóeleme éghető, így a faanyag is éghető, összességében ideális fűtőanyag. De mielőtt rátérünk faanyagokra számos égéssel, tüzeléssel kapcsolatos alapismeretet át kell ismételnünk.

Az égés jellemzői, égéstermékek

Az égéstípusok (diffúz, tökéletes, lassú, kinetikai stb.) közül mi csak a faanyagra jellemző **tökéletlen nyíltlángú normál égéssel** (amely egy kályhában is végbemegy) foglalkozunk. Még a legjobb kályhában is tökéletlen az égés, mert a füstgázban mindig vannak tökéletesen el nem égett szilárd és gáznemű alkotórészek.

Az **égés** a normál értelmezés szerint a levegő oxigénjével történő egyesülés (oxidáció), amely a szerves anyagokat (pl. faanyagot) visszafordíthatatlan folyamattal megsemmisíti.

A **tűz** általában az égési folyamat kísérőjelensége. A tűz fizikai jelenség, az éghető anyag fény- és hőhatással járó önfenntartó folyamata. A **láng** az égés azon zónája, ahol a gáz- és gőzfázisú anyagok fénykibocsátás közben elégnék. Addig tart, amíg az égés feltételei fennállnak. A folyamat végén égésgázok és éghetetlen anyag (hamu) marad vissza.

Az égés csak akkor indulhat meg és maradhat fenn, ha az éghető anyag, és a levegő megfelelő mennyiségű oxigénje, mint oxidáló anyag, valamint az égés megindulásához szükséges gyulladási hőmérséklet azonos térben és időben rendelkezésre áll.

Az égés feltételei:

- **Legyenek éghető anyagok**, amelyek oxigénnel hőfejlődés mellett képesek egyesülni. Szükséges, hogy az anyagok gázzá tudjanak alakulni (párologni), az oxidációra és önfenntartó (normál) égésre alkalmasak legyenek. Ilyen tulajdonsággal rendelkezik pl. a faanyag is.
- A másik nélkülözhetetlen feltétel, hogy **legyen oxigén** (levegő). A levegő 21%-a oxigén (O_2), ami az égéshez elegendő. Ha az oxigén 14-18% között van, tökéletlen, ha 10% alatt van, megszűnik az égés. 1 kg fa elégésének elméleti levegőszükséglete például 5,9 kg, azaz $4,5\text{ m}^3$. Ha belegondolunk, hogy 1 kg fa 1-2 db hasábfának felel meg akkor tetemes mennyiségű levegőre van szükség az égéséhez.
- A harmadik feltétel a **gyulladási hőmérséklet elérése**. Az égéshez vagy a gyulladáshoz az anyag felületének fel kell melegednie, amit aktiválási energiának is szoktak nevezni.
- Ezen három tényezőn kívül még az **oxidációs reakció létrejöttét** is hozzá szokták sorolni, de ez csak elméleti kérdés, mert normál esetben, ha az előbbi három tényező rendelkezésre áll, elindul oxidációs folyamat, azaz az égés.



1. kép. Kandallóban égő és előkészített fahasábok /Fotó: Móró Kandalló/

Azt, hogy egy kályha bizonyos idő alatt mennyi hőt adjon le alapvetően két dologgal tudjuk szabályozni, azzal hogy mennyi fát teszünk a tűzre és mennyi levegőt adunk az égéshez. Praktikusan a levegő beömlő rostély keresztmetszetét szabályozzuk.

A nyíltlángú égésnek további elengedhetetlen feltétele, hogy az égéstermék (füst) eltávozzon, helyébe friss levegő áramoljon és a levegő (oxigén) elérje a láng reakciós zónáját. A magas hőmérséklet miatt az égéstermék sűrűsége kisebb (a füstgáz kitágul), mint a környező levegőé. Ebből adódóan hat rá a felhajtóerő (felhajtó erő nem csak vízben van, hanem levegőben is), ezért felszáll és a helyébe friss levegő áramlik. ($F_{\text{felhajtóerő}} = g \cdot \rho_{\text{levegő}} V > G_{\text{füstgáz}} = g \rho_{\text{füstgáz}} V$). A képletben a „g” nehézségi gyorsulást ($9,81 \text{ m/s}^2$), „ ρ ” a sűrűséget a „V” a térfogatot jelenti. Egyesek számára bonyolult képlet valóban azt mondja ki, hogy minél nagyobb a felhajtó erő annál nagyobb az áramlási sebesség. Mivel nyílt rendszerről lévén szó a nehézségi gyorsulás és térfogat állandó, kiejthetők, és felható erő lényegében csak a környezeti levegő sűrűségének és meleg füstgáz sűrűségének különbségétől függ. A füstgáz sűrűségét pedig leginkább a hőmérséklet befolyásolja, minél melegebb a füstgáz annál ritkább, annál kisebb sűrűsége. Így kialakul egy függőleges áramlás, természetes ventiláció. A kályhában is ez a természetes ventiláció, a „**huzat**” **szükséges az égés fenntartásához**. Ha az égéstermék nem tud(na) eltávozni, megakadályozná az oxigén áramlását, és a tűz közvetlen környezetében lévő oxigén felhasználása után a tűz kialudna.

Az égés (az oxidáció) a lángban megy végbe. A **láng színe** az égő anyagra jellemző (szén esetében sárga, a hidrogén esetében halványkék). A fénykibocsátás intenzitása pedig a lánghőmérséklet és a lángban lévő anyagok anyagi minőségének függvénye. A gyertya égésénél ugyanaz játszódik le, ugyanolyan a láng szerkezete, mint a fa égésénél.



2. kép. A láng felépítése /hmika.freeweb.hu/

A fa égéstermékei:

- **Füstgázok:** Elsődlegesen: széndioxid, szénmonoxid, víz és egyéb el nem égett bomlástermékek, mint metanol, metán, hidrogén, formaldehid, fakátrány gőzök stb. A gyakorlatban az égés mindig tökéletlen. Tökéletes égés csak laboratóriumi körülmények között, nagy oxigénfelesleg mellett (esetleg tiszta oxigénnel) hozható létre.

- **A füst szilárd (folyékony) anyagai:** korom (valójában tiszta porszén), pernye. Főleg a magas gyantatartamú fenyők tüzelőanyagként való égetése során, a tökéletlen égésből adódóan a kéményben fakátrány csapódhat le, amely károsítja a kéményt is.
- **Hamu** a fa által fészívott ásványi sókban található kálium, kalcium, nátrium, foszfor stb. oxidja. Faanyagok esetében ez 0,2-1,0%.

A faanyag tökéletlen égése közben is (a széndioxidon és vízgőzön felül) szabadulnak fel különböző káros anyagok, mint például formaldehid, szénmonoxid stb., de mind a füst sűrűsége, mind a káros anyagok mennyisége lényegesen kevesebb, mint amennyi a műanyagok égése során szabadul fel. Nagyon ritkán fordul elő, hogy fatüzelésű kályha visszaáramlásból, „befüstölésétől” adódóan valaki szénmonoxid mérgezést kapjon. Jó tüzelőberendezésben ez az érték 0,5 térfogat% alatti. A füstben lévő ingerlő anyagok általában előbb riasztják pl. az alvó embert is, mielőtt a „néma gyilkos” a szénmonoxid jelentősen feldúsulna a levegőben. A földgázos tüzelőberendezések visszaáramlásánál nincs ez a szag és ezért is van ezeknél ennyi áldozat. Csak az ismétlés kedvéért a széndioxid nem éghető, de ellenben a szénmonoxid igen. A szénmonoxid színtelen, szagtalan, nagyon mérgező gáz és csak akkor keletkezik, ha tökéletlen az égés (gyakorlatilag kevés levegőt kap a tűz): Minél tökéletlenebb az égés, annál több szénmonoxid szabadul fel. Az el nem égett szénmonoxid jelentősen rontja hatásfokot, szennyezi a környezetet. ***De mi is a hatásfok?***

Hatásfok

Mielőtt rátérünk az égéssel kapcsolatos jellemzőkre arról is szót kell ejteni, hogy mennyi hasznosul az elégetett fahasárból. A **hatásfok** a tüzelőanyagban (fában) lévő elméleti hő (ahogy a köznapilag helytelenül használják „hőenergia”, /mert a hő nem az energia egyik fajtája/) és a hasznosult (pl. a szoba fűtésére) hányadosának százalékban kifejezett formája. Ha minden hő hasznosulna, amely nem lehetséges, akkor ez az érték 100% lenne. A hatásfok számítása:

$$\eta = \frac{E_h}{E_b} \cdot 100\%$$

ahol: η - a hatásfok (%),
 E_h - a hasznos energia (J),
 E_b - a befektetett (összes) energia (J).

Mi lesz a többi hővel? A kéményen keresztül füstgáz (főleg széndioxid és víz), vagy el nem égett fa alkotórész vagy éghető köztes termék (korom, széndioxid, formaldehid, stb.) formájában távozik. Ha 100% lenne a hatásfok, akkor minden éghető alkotórésznek tökéletesen el kellene égnie és a füstgáz sem lehetne nagyobb a szoba hőmérsékleténél. Ha visszatérünk a korábban említett áramlástani tételekre, akkor nem lenne felhajtóerő, nem tudna eltávozni a füstgáz és a tűz gyorsan elaludna. A kéményen is ki **„kell engedünk” némi meleget**, hogy a füstgázok eltávozzanak. Számos füstmérgezési baleset azért következett be (főleg a gázfűtésnél), mert a rosszul megépített kéményben a füstgáz lehűlt és megszűnt a felfelé áramlás. Tehát **sosem lehet 100% a hatásfok**. Valóságban hagyományos tüzelőbetétekkel sem tudunk 65-80 %-os hatásfok fölé menni. Továbbá meg kell jegyezni a fűtési ciklus, különböző szakaszában különböző a hatásfok. A hatásfok hullámázást a kézi adagolás még tovább fokozza.

Némileg a hatásfokkal függ össze, hogy 1 kg fa elégetésének elméleti levegőszükséglete például $4,5 \text{ m}^3$ ($1,3 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű) levegő. A valóságban 20-50% levegőfelesleggel működnek a tüzelőberendezéseink. Az égés hatásfokát, szükséges levegőmennyiséget legjobban a láng és füstgáz színe árulja el. Tehát a szobából „szívja el” a huzat a 20-25°C-ra már felmelegített levegőt és távolítja el a kéményen. Ha kiszámítjuk, mennyi tűzifát égetünk el egy nap, akkor tetemes mennyiség jön ki, amit pótolni kell.

A faanyag égésének jellemzői

A faanyag égése során azt tapasztaljuk, hogy:

- A faanyag nagyjából egyenletes sebességgel ég el. Ezzel a témával később még részletesen foglalkozunk.
- Az égési zónák egymást követik.
- A pirolízis (égési) zóna csak 1,0-1,5 cm.
- A nem károsodott (belső) farész teljes (fűtő)értékű.
- A faanyag meggyulladásáig endoterm (hőelnyelő), utána exoterm (hőtermelő) a folyamat.

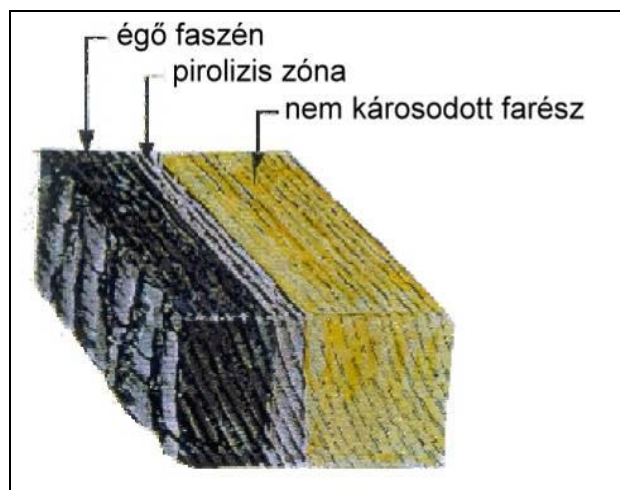
A faanyag gyulladáspontja a fafajtól, a nedvességtartalomtól, a hőközlés idejétől és a környezeti feltételektől függ. 160°C alatt nem kell arra számítani, hogy a faanyag lángra kap, de 350°C felett bekövetkezik az öngyulladás.

A faanyag beégési (ha egy égési felületre vonatkoztatunk) **sebessége egyenletes**, de faszerkezetek égésénél a hőtermelési folyamat nem egyenletes intenzitású. Az égés kezdetétől körülbelül 600-700°C-ig igen intenzív az éghető gázok képződése, de e felett csökken a gázképződés, gyúlékony szénképződnek és égnak el.

Először is külön kell választani két állapotot. Az első szakasz a felület meggyulladásáig tartó folyamat, amikor a faszénréteg még nem ég. A második szakasz az égési folyamat, amikor a faanyag már lánggal ég, és a külső részén faszénréteg található.

A faszén kb. 80-85% széntartamú, rendkívül porózus, így viszonylag jó hőszigetelő tulajdonságú, nagy fajlagos felületű éghető anyag. Fűtőértéke kb. 30-35 MJ/kg, ami kb. kétszerese a normál tűzifa átlagos fűtőértékének.

Elszenesedett faszerkezetet látva sokaknak jut eszébe, hogy grillezésnél milyen nehéz meggyújtani a faszenet. Igen, mert ekkor a faszén hideg, és a környezete is hűti. A faszén hőt szétszóró (disszipáló) tulajdonsága is késlelteti a meggyulladást. A faszenet tehát (vagy bármilyen más szenet) azért tudjuk nehezen meggyújtani, mert nagy aktiválási energiára van szükség az önfenntartó égés eléréséhez. Minden szénfajtának, így a faszénnek is alacsony hőmérsékleten rendkívül kicsi a disszociációja, mert olvadáspontja 3500°C, a forráspontja 4800°C fölött van.



1. ábra. A faanyag égési zónái /www.fireretard.com/

Az alacsony hőmérsékletű hőközlésnél kevés égető gáz (széngáz) keletkezik, amely a szén és egyéb más anyagok égésének feltétele. A szenes kályhába is úgy tudunk csak tüzet rakni, ha a szén alá gyújtószót és fát rakunk, majd az így képződött hő begyűjtja szenet. Ha 400°C-ra előmelegítjük faszenet, azonnal meg tudnánk gyújtani. Egy fatüzelésű kályhát is úgy célszerű begyújtani, ha először száraz, jól gyulladó fenyő gyújtószóval tüzet rakunk és annak a hője gyújtja be a keményfát.

A kályha begyújtása után főleg az első negyedóra jellemző, hogy a tűz kibontakozása jelentős hőmérséklet emelkedésével jár: Ebben az időszakban percenként nagyjából megduplázódik a termelődő hő.

A faanyag égési szakaszai

Az égő felületeket jelen esetben a belső, még ép faanyagtól a külső, égő rész irányába vizsgáljuk. A hőmérséklet emelkedése közben a fában kémiai változások mennek végbe. A faanyag égésének két némileg átfedő szakasza van:

Az első kb. 1 cm széles a pirolízis (endoterm) szakasz, amely a vízvesztéstől a kb. lobbanásgyulladáspontra tart. Erre a szakaszra jellemző, hogy hőt kell közölni a faanyaggal, hogy a pirolízis lezajtsódjon, de még nem beszélhetünk valójában égésről. Ha a keletkezett éghető gázok belobbannak, akkor sem lesz még önfenntartó az égés.

A második szakasz (exoterm szakasz) a keletkezett gázok és faszén égésének folyamata. Ez a szakasz a faszén külső rétegéig tart. Erre a szakaszra jellemző az önfenntartó égés, sőt a pirolízishez szükséges hőnél már sokkal több keletkezik.

Vízvesztés. A faanyag 100-110°C-ig folyamatosan elveszíti először a szabad (sejtüregekben lévő), majd a kötött (sejtfalba kémiai kötéssel kapcsolódó) vizét. Eközben már alig észrevehető kémiai változások is végbe mennek.

Elszíneződés. 110-150°C között a faanyag a kémiai változások felgyorsulásának eredményeképpen először barnásra, majd egyre sötétebbre színeződik, illóolajok, a fenyőkből terpentin stb. szabadul fel.

Szenesedés. 150-200°C között a hosszú cellulózmolekulák feldarabolódnak és ennek eredményeképpen felgyorsul az éghető, a felületre kilépő gázok képződése. Határozott faszénképződés tapasztalható.

Lobbanáspont. 200-260°C közötti hőmérsékleti tartományban a felszabaduló gázok összetétele megváltozik, mennyiségük is megnő. Az éghető bomlástermékek (szénmonoxid, hidrogén, metán stb.) mennyisége rohamosan növekszik, ellenben csökken a gázelegyben a széndioxid és a nitrogén aránya. A felszabaduló égéstermékek gyújtóláng, szikra hatására belobbannak.

Gyulladás. 260-290°C közötti hőmérsékleti tartományban a gáznemű bomlástermékek keletkezése olyan intenzív lesz, hogy az égés folyamatossá, a folyamat önfenntartóvá válik.

Öngyulladás. 330-370°C közötti hőmérséklettartományban, ha elegendő oxigén van a környezetben, a faanyag minden külső hatás (gyújtóláng) nélkül is belobbán és folyamatosan ég.

Égés. 400-500°C közötti hőmérséklettartományban egyre fokozódó hőmérsékletemelkedés tapasztalható, a gázképződés eléri a maximumát. Sarkok, kiálló részek azonnal lángra lobbannak. A faszénréteg kockásan, keresztirányban repedezik.

Faszén égése. 500°C felett a gázképződés csökken, és a korábban képződött szenek begyulladnak és elégnak. A tiszta faszénre jellemző, hogy kis lánggal ég, szinte csak izzik. Ettől a ponttól kezdve a hőtermelő (exoterm) folyamat intenzívvé válik, és a hőmérséklet elérheti a 1000-1200°C-ot is. Ha az égő faszénre (előmelegített) levegőt fuvatunk, hője a vasat is megolvasztja.

Utóégés. Az éghető anyagok elfogyásával a hőmérséklet meredeken csökken és utóégés, utóizzás után megszűnik az égés.

A fenti szakaszoknak faszerkezetek tűzvédeleme szempontjából van igazán jelentősége, de ezek a szakaszokat ugyanúgy megfigyelhetjük, ha egy újabb hasábfát rakunk tűzre. A fenti hőmérséklettartományok határai nem különülnek el egymástól élesen, és a fafaj, valamint peremfeltételek (nedvességtartalom, levegő mennyisége stb.) függvényében némileg eltérhetnek.

A fa égését befolyásoló tényezők

A fa (itt most elsősorban tűzifáról, hasábfáról beszélünk) égése számos tényezőtől függ. Ezek egy részét nem tudjuk befolyásolni, de a továbbiakban csak azokkal a tényezőkkel foglalkozunk, amelyek általunk valamilyen módon befolyásolhatók, meg tudjuk választani, hogy mivel és hogyan fűtünk. Ráadásul ezek a tényező jelentősen befolyásolhatják a tüzelés hatékonyságát. A faanyag inhomogén (nem egyenletes szerkezetű), és anizotrop (mindhárom irányban más a tulajdonsága). Valamennyi tulajdonságát, az előbb említett tényezők jelentősen befolyásolják, ezért minden mérési eredmény nagy szórást mutat. A továbbiakban említett értékek mindig átlagértékek és egy-egy konkrét esetben természetesen jelentős eltérések is mutatkozhatnak az átlagértékhez képest.

Fafajok égési gyorsasága (tűzzel szembeni ellenálló képessége)

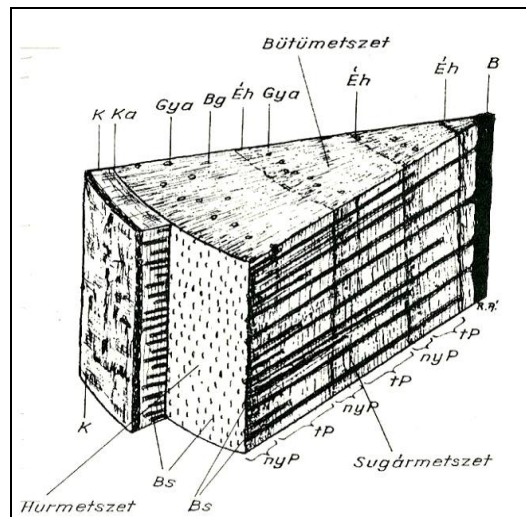
A különböző fafajok tűzzel szemben tanúsított ellenálló-képessége (gyakorlatban **égési gyorsasága**, milyen gyorsan ég el, /ég le a tűz/ egy adott faanyag) több tényezőtől függ, de alapvetően a szövetszerkezete határozza meg. Tapasztalatok szerint a szórtlikacsú (az évgyűrűben az edények elszórtan helyezkednek el) fafajok kevésbé ellenállóak, mint a gyűrűs likacsú fafajok (az évgyűrűben az edények sávokban helyezkednek el), mert utóbbiak edényeiből a bomlási gázok nehezen tudnak eltávozni.

A hazai fafajokat tűzzel szembeni ellenálló képességük (időegység alatti tömegvesztés) alapján az alábbi kategóriákba soroljuk:

1. jól ellenállóak: akác, bükk, kőris, tölgy;
2. közepesen ellenállóak: erdei- és feketefenyő, nyír, vörösfenyő;
3. mérsékelt ellenállóak: dió, cseresznye, lucfenyő;
4. nem ellenállóak: éger, hárs, jegenyefenyő, nyár.

Sűrűség, szöveti felépítés

Mint fentebb láttuk, a faj alapvetően határozza meg a faanyag éghetőségét. A különböző termőhelyről származó faanyagok között lényeges különbség lehet, de számít a kérdéses faanyagnak a fatörzsben eredetileg elfoglalt helye is. Gesztes faanyagok esetében a **szijács és a geszt** között is kimutatható minimális különbség a geszt javára. A geszt a fának legtöbbször sötétebb belső része, a szijács pedig a kéreg és a gesztközi rész. A nagyobb sűrűségű, keskeny évgyűrűjű faanyagok akár 50%-kal is kisebb lehet az égési sebessége, mint az azonos fafajú, de laza szerkezetű társának. Ezek a tulajdonságok a faanyag gázáteresztő képességének változására vezethetők vissza.



2. ábra. A fatest felépítése. B-bél; Bs-bélsugár; Éh-évgyűrű határ; Gya-gyantajarat; K-kéreg; Ka-kambium;nyP-nyári pászta; tP-tavaszi pászta /Forrás: Gyarmati B. - Igmándy Z. - Pagony H. (1975): Faanyagvédelem /

A faanyag **szá irányban gyorsabban terjed a tűz**, mert ebben az irányában a fa jobb hővezető, és az edények és tracheidák szá irányú elhelyezkedése is elősegíti az éghető gázok és égéstermékek kivezetését.

A fűtőérték és a nedvességtartalom

A kályhában a fát azért égetjük el, hogy hőt nyerjünk az fa elégetéséből. Ha kisebb fűtőértékű faanyagunk van, akkor sokkal több (térfogatú vagy tömegű /súlyú/) fát kell elégetünk, ahhoz, hogy ugyanolyan meleg legyen szobában mint a nagyobb fűtőértékűből. Tehát a fűtőértéknek a nagy jelentősége van és ezért ezzel részletesebben foglalkozom.

A faanyagok esetén megkülönböztetünk **égéshőt** (amely elsősorban egy szén, hidrogén, oxigén tartalom alapján számított érték), és mindig abszolút száraz faanyagra vonatkozik, valamint a **fűtőértéket** (amelyet mérésrel kapunk), és többnyire nedvesre anyagot takar. Természetesen az utóbbi alacsonyabb érték.

Fűtőérték az a hő („mennyiség”), amely az éghető anyag tömeg-, vagy térfogategységének elégetésénél felszabadul. A fűtőérték szabványos mértékegysége a Joule, rövidítése: J (ejtsd: zsúl) és annak ezer szerese „k” (kiló) és millió szorosa „M” (mega), amelyet tömeg (kg, tonna) vagy térfogat (legtöbbször m³) egységben szoktunk megadni. A Joule, az energia és mechanikai munka mértékegysége az SI rendszerben.

1 J munkát végzünk például akkor, amikor egy 1 N súlyú testet (pl. 0,1 kg kenyér) 1 m magasságba emelünk fel.

Ugyancsak 1 J az 1 W teljesítménnyel egy másodpercig végzett munka. Ez a meghatározás a legtöbb ember számára nem átlátható főleg, ha valaki ezeket az értékeket „kilókalóriában” tanulta. Felelevenítve 1 kcal 1 kg tömegű víz 1 °C-kal való felmelegítéséhez szükséges energiamennyiség. A kcal és kJ között az átváltás: 1 kcal=4,1868 kJ, 1 kJ=0,238846 kcal.

Milyen fajok a legjobb tüzelőanyagok a kályhában?

Az alábbi táblázatból látható, hogy elsősorban lombos keményfákat (tölgy, cser, akác, esetleg gyertyán bükk) használnak fűtésre. Nagyon sok téves adat van az interneten, ezért ezeket kritikával kezeljük, ráadásul a termőhelytől, az állomány korától stb. jelentősen függnek ezek az értékek. A fenyőket, nyárákat csak begyűjtásra, gyűjtósként használjuk. A táblázatban található adatok átlagos értékek. A szíjács és a geszt fűtőértéke között nincs jelentős eltérés. A **kéreg fűtőértéke** kevéssel marad el csak a fatest fűtőértékétől. A **kéregnek hamutartama** azonban nagyobb, mint a fatesté, fajtól függően kb. 3-8% és önmagában égetve összeégéseket okozhat a tüzelőrostélyon és lerakódásosakat a tüzelőjáratokban.

1. táblázat. Fontosabb fafajaink égéshője és a fűtőértéke (12%-os nedvességtartalmon) tömegre [kJ/kg] és fatérfogatra [MJ/m³] vonatkoztatva /Forrás: NYME Fannyagtudományi Intézet /

Fafaj	Égéshő [kJ/kg]	Égéshő [MJ/m ³]	Fűtőérték [kJ/kg]	Fűtőérték [MJ/m ³]
Nyír	20070	14049	16446	11071
Akác	18617	13590	15149	10661
Cser	18133	13330	14717	10429
Gyertyán	16696	13 190	13434	10304
Bükk	18419	12525	14972	9710
Juhar	20070	11841	16446	9099
Tölgy	17858	11608	14471	8891
Éger	17681	8841	14313	6421
Lucfenyő	19 503	8386	15940	6014
Erdeifenyő	16745	8205	13478	5853
Nyár	16843	6400	13565	4241

Példa: Ha egy 10 KW teljesítményű 60 % hatás fokú kandallót 50 % teljesítménnyel akarunk egyenletesen üzemeltetni, akkor hány m³ légszáraz tölgyet kell elégetni 1 nap alatt?

Ha 60% a hatásfok, akkor a teljes kapacitás mellett úgy kell számolnunk, mintha 16,6 kW-os lenne a kandalló. Ennek a fele 8,3 kW, mert csak 50 % teljesítménnyel üzemelünk. 1 kWh = 3600 kJ, tehát 8,3 kWh=29880 kJ hőt kell felszabadítani óránként. 14471 kJ/kg fűtőértékű tölgyből ennek értelmében körülbelül 2 kg-ot kell elégetni óránként, azaz 48 kg-ot naponta (kb. 0,07 m³-t).

A faanyag nedvességtartalma mindig a környezetének megfelelő **egyensúlyi nedvességtartalomra** áll be, a faanyag higroszkópos. Ha neves helyre kerül a fa, felnevesedik, ha száraz helyre kerül, akkor kiszárad. Normál körülmények között a faanyag mindig tartalmaz valamennyi nedvességet. Az égés során ennek a nedvességnek először fel kell melegednie, majd gőzzé kell alakulnia. Ez a folyamat jelentős mennyiségű hőt von el az égés során.

A faanyagokban bekövetkező változások a faanyag nedvességtartalmának ún. víztartalmi fokozatokban való megjelölését tették szükségessé. Az egyes víztartalmi fokozatok által jelzett fanedvességi állapotok a fa tulajdonságait, éghetőségét különbözőképpen befolyásolják. A gyakorlatban nettó nedvességtartalmat használunk, amely során az abszolút száraz faanyaghoz viszonyított nedvességtartalmat adjuk meg %-os formában. A nettó nedvességtartalom számítása az alábbi képlettel történik:

$$U (\%) = \frac{(\text{nedves tömeg} - \text{abszolút száraz tömeg})}{\text{abszolút száraz tömeg}} \cdot 100\%$$

Abszolút száraz állapot: A faanyagok mesterséges szárításával érhető el. Ebben az állapotban a faanyag nedvességtartalma 0%. Meg kell jegyeznünk, hogy ez az állapot a faanyagok higroszkópos tulajdonsága folytán gyorsan megváltozik.

Szobaszáraz állapot: A faanyagnak olyan száraz állapota, amely 20°C szobahőmérséklet és 45% relatív légnedvesség mellett alakul ki. A faanyagok víztartalma ez esetben 8-9%. Erre a nedvességtartalomra szokták leszárítani pl. a parkettákat.

Légszáraz állapot: Ez nettó 15% víztartalomnak felel meg. Az újabb anyagvizsgálati szabványok Európában 12%-ban állapították meg a „légszáraz” megjelölésű víztartalmi fokot. 12-15 %-os faanyag a legjobb a tüzelésre. 12% alá kültéren természetes úton legfeljebb nyáron szárad le a faanyag, de ősszel visszanevesedik.

Félszáraz állapot: Ha a faanyagot 20-24%-os víztartalomra szárítjuk, akkor félszáraz állapotú faanyagot kapunk. Ez megfelel az erdei rakodókon száradt faanyagok nedvességtartalmának.

Félnedves állapot: A félszáraz és az élőnedves közötti állapot. Víztartalmi fokot illetően ez kb. nettó $40 \pm 10\%$ -nak felel meg.

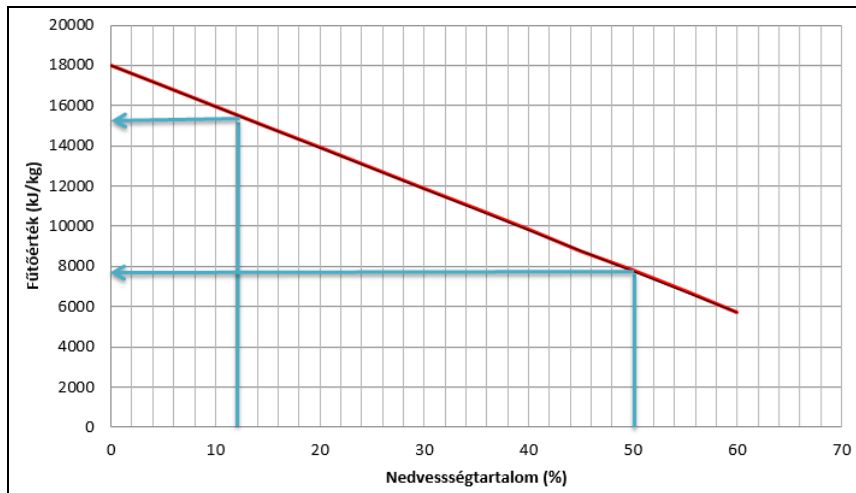
Élőnedves állapot: Az élőfa nedvességi állapota fajoként és egyéb adottságok szerint változó, általában 60-90 %

Abszolút nedves állapot: Ez alatt a sejtüregek teljes telítettségét értjük. Ez az állapot csak huzamosabb víz alatti tárolással érhető el. A sejtüregeket is teljesen kitöltő szabad vagy cseppfolyós víz mennyisége az egyes fafajokban eltérő lehet. Ebben az esetben több mint 100% a nedvességtartalom.

Az előbb volt már róla szó, hogy a fában levő víznek először fel kell melegednie, majd gőzzé kell alakulnia. Ez a folyamat jelentős mennyiségű hőt von el, hiszen a víz párolgáshője (amit latens hőnek is neveznek) 2260 kJ/kg. A faanyagban lévő 1 kg (1 liter) víz, a víz 10°C-ról 100°C-ra való felmelegítéséhez 378 kJ/kg hő szükséges, míg ennek a víznek az párologtatásához (**100°C-os víznek a 100°C-os gőzzé történő átalakításához**) **2260 kJ/kg** kell, tehát majdnem 6-szoros hő kell, mint a felforralásához, azaz összesen 2638 kJ/kg. Pontosan csak kaloriméter-bombával lehet a fűtőérték csökkenést megmérni, de általánosan elfogadott összefüggés alapján minden 10%-os többletnedvesség kb. 9%-os fűtőérték-csökkenéssel jár.

Mint az alábbi **elméleti számítással** kapott fűtőérték diagramon is látszik, ha a tüzelőnk 50 % körüli **majdnem 50%-kal kisebb a lesz fűtőértéke**, mintha 12 %-os nedvességtartamú lenne. Ez azt jelenti praktikusán, hogy kétszer annyi fát kell elégetünk a nedvesből, mint a szárazból. Tehát kétszer akkora lesz a fűtési költség. Itt nem kis különbségéről van szó, nagyon oda kell figyelni a nedvességtartalomra.

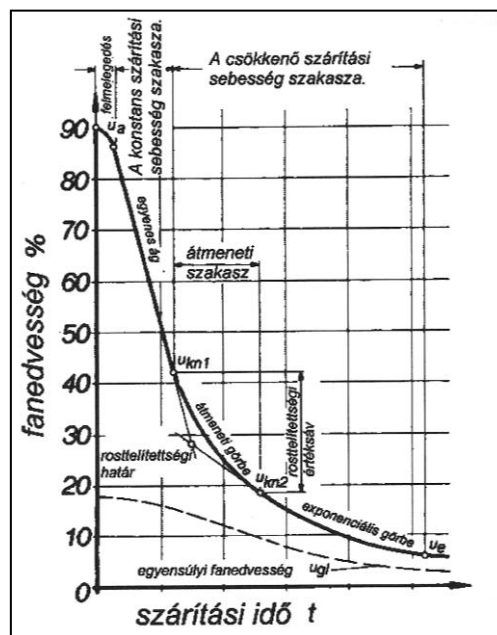
Minél nedvesebb a faanyag, annál nagyobb a hőelvonás, annál kevésbé ég. Romlik a tüzelőberendezés hatásfoka is. Az élőnedves faanyag meg sem gyullad, amíg a felületi réteg nedvességtartalma a környező hőtől jelentősen nem csökken.



3. ábra. A fűtőérték csökkenése a nedvességtartalom függvényében keménylombos faanyagok esetén /A diagram a www.megujulofutes.hu adatai alapján készült./

Hogyan csökkenthetjük a faanyag nedvességtartamát?

A nedvességvesztés egy párolgási folyamat és azon tényezők befolyásolják a száradást, mint a hőmérséklet, a páratartalom, szélesebbé, a párolgási felület. Tehát akkor szárad leggyorsabban a tűzelőnk, ha nyáron meleg van, nem párás az idő. Lazán félig nyitott faházba rajuk, hogy átjárja a légáramlat, feldaraboljuk és felhasználjuk, hogy megnőjön a párolgási felület. Tehát az időjárás jelentősen befolyásolja száradást. Nagyon nehéz megbecsülni, hogy mikorra szárad ki a fa, de még a tavasztól őszi tartó időszakban is a fajtól és hasábok nagyságától függően **legalább 6 hónapot** kell hagyni a száradásra. A kivágott fa kezdetben nagyon gyorsan szárad, de 30% nedvességtartalom alatt egyre lassúbb lesz száradási folyamat.



4. ábra. A faanyag száradási folyamatának elméleti lefutása /Forrás: Molnár S. faipari kézikönyv/

A mesterséges szárításnál, szárítási program kidolgozása során fafaj tényezővel is számolnak. Ez azt mutatja meg, hogy azonos paraméterek mellett melyik fafaj milyen gyorsan szárad. Mint az alábbi táblázat adataiból látható, hogy azonos állapotok mellett az akác száradásához 2,5-ször több idő kell, mint a lucfenyőhöz. Az is látható, hogy leggyakoribb fatüzelésre használt tölgy faanyagának a száradására hosszú időt kell hagyni.

2. táblázat. *Fafaj tényező szárítási idő számításához lefutása*
/Forrás: Molnár S. faipari kézikönyv/

Fafaj	Módosító tényező
lucfenyő, jegenyefenyő	20
erdeifenyő	22
éger, hárs	32
vörösfenyő, nyír	35
bükk, kőris, szil, dió juhar, nyár	40
akác	50
tölgy, gyertyán	85

Talán az a követendő példa, ha a téli vágású tüzelőt tavasszal megvásároljuk, felhasogatjuk, faházba rakjuk, amiből már elég száraz téli tüzelő lesz. Igazán a keménylombos faanyag **1,5-2 év alatt** szárad ki tökéletesen.



3. kép. *Helyesen tárolt hasábfá* /Forrás: www.mindenamiakac.hu/

Extraakt anyagok

A gesztesítő anyagokkal telerakódott faanyagok geszt égésének sebességéből kb. 20-30%-kal kisebb, mint ugyanannak a törzsnek a szijácsa. Ez elsősorban a sejtek gázáteresztő képességének különbségének következménye.

A fenyő faanyagának nagy része jelentős mennyiségben tartalmazhat gyantát és egyéb illóanyagokat, amelyek mennyisége a fafaj és a termőhely függvénye. A nagy gyantatartalmú fenyők biológiailag ellenállóbbak, de sokkal tűzveszélyesebbek, mint a kevesebb gyantát

tartalmazók. A **gyanta** fűtőértéke ugyanis kb. 35000 kJ/kg, azaz nagyobb, mint a faanyag fűtőértéke. Ezért jó a gyantás fa a begyújtásra.

Méreték, a tüzelő aprításának mértéke

A tűz a fahasábban mindig kívülről befelé halad. A beégési sebesség, amint korábban szó volt róla, fafajra jellemző, közel állandó értékű. A tűz kívülről haladva átlagosan tölgynél 0,4-0,6, a fenyő esetében 0,6-0,8 mm-t hatol be percenként. Egy 10 cm átmérőjű tölgy fahasáb kb. 30-50 perc alatt ég be a közepéig. Ha ezt az előbbi hasábot középen **kettéhasítjuk** hosszában, a fahasábok **elégési ideje a negyedére csökken**. Tehát a fában tárolt energiát gyorsabban szabadítjuk fel. **Miért?** Mert a tűz által támadható felület megnőtt. Azzal, hogy milyen aprítási fokú hasábot rakunk a tűzre, azzal szabályozhatjuk a kályha hőleadását, és nagyobb darabok esetén kevesebbszer kell tenni tűzre. Ha gyújtós méretűre aprítjuk az összes fát és ugyanúgy fűtünk vele, mintha nagy darabok lennének, akkor a másik oldalra billenhetünk és túlfűtjük a kályhát, kiégethetjük a betétet.

Egy meggyújtott fadarabnál megfigyelhető, hogy a tűz nem a lapok, hanem az élek mentén terjed gyorsabban. Ennek az a magyarázata, hogy az éleket jobban körbeveszi az égéshez szükséges levegő (oxigén), mint a lapot.

A fatüzelő egészségi állapota

Szót kell ejteni a faanyag minőségromlásáról, fűtőértékének csökkenéséről is. A helytelen tárolás vagy egyéb tényezők miatt a farontó gombák, a rovarok, és a külső fizikai hatások már jelentősen csökkenthetik a faanyag fűtőértékét.

A farontó gombák a fa fő alkotórészeit képező cellulóz vagy lignin lebontásával nemcsak a szilárdságot csökkentik, hanem a faanyag tömegét, az éghető anyag mennyiségét is. Tehát a gombák is **azokat a faalkotórészeket eszik meg, amelyek az égéshez is kellenek**. Az ilyen (köznyelv szerint „pudvás”) faanyag, még ha száraz is, gyorsan leég kevés meleget ad. Hasonló helyzet a farontó rovarok által keresztbe-kasul rágott fával is. Ezzel egyrészt csökkentik az anyag szilárdságát, másrészt a rovarjáratokon keresztül gyorsabban a felületre kerülnek az éghető gázok, ezért az egészségesnél gyorsabban „ég el” egy ilyen faanyag.



4. kép. Alacsony fűtőértékű, befülledt tüzelő
/Forrás:forum.index.hu/

Téves vélekedések és a rossz gyakorlat

Nézzünk néhány extrém példát, hogy milyen vélekedések, fordultak elő a gyakorlatban. Volt, aki úgy gondolta, hogy nem baj, ha neves fával fűtünk, mer a vizet a tűz úgy is elbontja hidrogénre meg oxigénre, ami újra meggyullad. Ez nagyon nem lenne jó, mert ilyen estben durranógáz keletkezne és felrobbanna a kályha. Ha mégis szétbontanánk a vizet, akkor az újbóli elégetéssel nyert hő az energia szétszóródás (disszipáló) miatt, mindig kisebb a vízbontásra befektetetténel. Ráadásul ezzel az energia-megmaradást, mint az egyik legfontosabb természeti törvényt sértené meg az így vélekedő. Ha mégis működött volna ez az elv, akkor feltalálta volna a tüzelőanyag nélkül mindig fűtő kályhát.

Szintén gyakori eset, hogy néhány hasábfával akarják fűteni a kályhát egész nap. Ez lehet, csak akkor hideg lesz a szobában, mert a hőveszteség pótlásához szükséges hőt égetéssel fel kell szabadítani. Ehhez azonban kiszámolható mennyiségű fát kell eltüzelni. Ha pl. gázzal áttérnek fátüzelésre, akkor sem nem kell kevesebb hő a szoba kifűtésére, mint korábban.

Kellő gyakorlat kell ahhoz is, hogy mikor lehet lezárni pl. egy cserépkályhát, mert ha korán zárják le és nem melegedett át rendesen a kályha, és nincs elég parázs, akkor csak szénmonoxid és fekete füst keletkezik és nem meleg. Egy kályha esetén az is határfok csökkenéssel jár, ha egyszer nagyon megrakjuk a kályhát, utána nem figyelünk rá és ismét erősen leroskad a tűz, majd kezdjük előlről a tűzrakást. Az egyenletes égés, viszonylag adagolás estén éjünk el legjobb hatásfokot.

Végezetül, ha valaki a jó minőségű tüzfát idejében megrendeli és kellően kiszárítja, figyel arra, hogy mindig az igényeknek megfelelően szabályozza, táplálja tüzet, akkor hideg, befüstölt szobától és számtalan bosszúsától kímélheti meg magát, ráadásul a tüzifa vásárláskor nem kell olyan mélyre nyúlnia a pénztárcájába. Ehhez csak egy kis odafigyelés kell.

Felhasznált irodalom:

1. Budó Á. (1975): *Kísérleti fizika I-III*, Tankönyvkiadó
2. Lugosi A. (szerk.) (1976): *Faipari kézikönyv*, Műszaki Kiadó, Budapest
3. Dr: Molnár Sándor (szerk.) (2000): *Faipari kézikönyv*, Faipari tudományos alapítvány, Sopron.
4. Dr: Molnár Sándor (2004): *Faanyagismerettan*, Mezőgazdasági Kiadó Budapest.
5. Dr. Király Béla - Dr. Csupor Károly (2013): *A kémiai faanyag- és tűzvédelem anyagai és keverékei*, NYME Faipari Mérnöki Kar Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Tankönyv
6. KLTE dragon.univeb.hu: *Égéselmélet és oltóanyag ismeret*, oktatási anyag

Dr. Király Béla
okl. faipari mérnök
c. egyetemi tanár