

# TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

## *A FAANYAGOK TŰZÁLLÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA: A BEÉGÉSI MÉLYSÉG MEGHATÁROZÁSA*

Janik Bernadett Zsuzsanna

IV. ofmh

Konzulens:

Stipta József, okleveles vegyészmérnök

**Nyugat-Magyarországi Egyetem**

**Faipari Mérnöki Kar**

**Fa- és Papíripari Technológiák Intézet**

**Sopron**

**2007**

# TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	3
Bevezetés	4
1. A fa égését befolyásoló tényezők	5
2. Felhasznált faanyagok égést befolyásoló tulajdonságai	6
2.1. Lucfenyő	6
2.2. Vörösfenyő	6
2.3. Nyárfa	6
2.4. Bükk	7
2.5. Akácfa	7
2.6. Tölgy	8
3. A felhasznált próbatestek sűrűségének sűrűség eloszlása	9
3.1. A normális eloszlás és sűrűségfüggvénye	9
3.2. A próbatestek sűrűségének sűrűségeloszlása	10
4. A kísérleti munka során felhasznált anyagok és eszközök	12
4.1. Felhasznált faanyagok	12
4.2. Felhasznált vegyszerek	12
4.3. Vizsgálati módszer	13
5. A kísérleti munka eredményei és összehasonlítása	14
5.1. A faanyagok beégési mélységének sűrűségeloszlása	14
5.2. Térfogatveszteség	19
5.3. Fafajok beégési mélységének és térfogatveszteségének meghatározása	23
Összefoglalás	29
Felhasznált irodalom	30
Köszönetnyilvánítás	31
Mellékletek	33

## ELŐSZÓ

Jelen dolgozat a „A FAANYAGOK TŰZÁLLÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA” című kutatási sorozat keretében jött létre. Az előző és a jelenlegi évben is négy tudományos diákköri dolgozat készült e témakörön belül. Az előzőekben a tűzzel szembeni ellenállási képességét figyeltük meg az egyes fafajoknak. Kovács Kristóf Károly a tűznek jól ellenálló faanyagokat, tehát a bükköt és a tölgyet, Konfár Roland a közepesen ellenálló fafajokat, az erdei- és a vörösfenyőt, valamint Janik Bernadett a kevésbé ellenálló faanyagokat, a nyarat és diót vizsgálta. A negyedik dolgozatot Horváth Ádám okleveles könnyűipari mérnök hallgató készítette „Lignocellulóz kompozitok éghetősége” címmel. Összefoglaltuk a témakörhöz tartozó szakirodalmi, jogszabályi és a szabványokban leírt ismeretanyagokat.

A jelenlegi dolgozatok nemcsak a tömegveszteségen alapuló minősítést veszik figyelembe. Kovács Kristóf Károly „A Lindner-módszer használhatósága a faiparban”, Konfár Roland „A tűz oldalirányú terjedése”, Janik Bernadett „A beégési mélység meghatározása” és Horváth Ádám a „Társított lignocellulóz rendszerek éghetősége” témákkal bővítette a kutatást.

Manapság az égéskésleltetéshez alkalmazott vegyszerek csak a felületen tapadnak meg, nem kötődnek a fához, így esőzés hatására elveszítik hatékonyságukat. A későbbiekben szeretnénk a vegyszereket kémiai úton kötni. A faanyag szerkezete tartalmaz olyan kémiaailag aktív helyeket, ahová ezek a vegyületek kémiai úton kapcsolhatók. Amennyiben a tűz kialakulásához vezető hőmérséklet-emelkedés hatására ezek a kémiai kötések felhasadnak, az aktív védőanyag képes kifejteni égésgátló hatását.

## BEVEZETÉS

Előzetes munkáink során a különböző hatásmechanizmussal rendelkező vegyszerek égéskésleltető hatékonyságát vizsgáltuk Lindner-módszerrel. A módszer megfelelő arra, hogy gyorsan, lehetőségeknek megfelelően, kellően érzékeny módon tudjuk vizsgálni a különböző vegyszereknek a különböző fafajú faanyagokra gyakorolt hatását. Az anyagok tűzállóságának vizsgálata ma már a legkorszerűbb termikus analizátorokkal történhet.

A Lindner-módszer minősítése az elégett tömeg alapján történik, de az előzőekben sem használtuk ezt a minősítést, mivel fontos a kezdeti anyag tömegéhez viszonyított tömegveszteség.

Az egykori mérések során gondolatban felmerült, nemcsak az elégett tömeg, hanem az égetés során a faanyag beégési mélységének vizsgálata és az ebből meghatározható elszenesedett fatérfogat kiszámítása. A faanyag égését nagyon sok tényező befolyásolja, méréseink során próbáltunk azonos méretű és nedvességtartalmú próbatesteket felhasználni.

A tűzállóságnak főleg a faszervezeteknél van jelentősége, tehát főleg fenyő fafajok esetében, hiszen a célunk a szerkezet állékonysági idejének meghosszabbítása, ezzel az emberi élet megmentése egy tűzvész esetén. Ennek ellenére más fafajok vizsgálatának bevonásával képet kaphatunk, hogy mekkora befolyásoló szerepe van a szerkezeti felépítésnek és extraktanyag tartalomnak.

Az előző vizsgálatok során leghatékonyabbnak bizonyult vegyszereket használtuk ebben a mérésorozatban, mégis fontos megemlíteni, hogy minden egyes fafaj esetében más-más vegyszer bizonyult a legmegfelelőbbnek. A használt vegyszerek nem a forgalomban kapható, különböző vegyszerek keverékéből létrehozott, fantázia névvel ellátott égésgátló szerek, hanem azok hatóanyaga, azaz analitikai tisztaságú vegyszerek.

# 1. A FA ÉGÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A faanyag égése során rengeteg befolyásoló tényezővel találkozunk, ezért is nagyon nehéz pontos méréseket, és számokat adni a faanyag beégési sebességéről, tűzállóságáról, gyúlékonyságáról, égési sebességéről. Minden egyes fa más tulajdonságokkal rendelkezik, mivel környezete formálja a szerkezetét, így a benne lévő anyagok mennyiségét és minőségét is. A különböző fafajok eltérő szöveti és kémiai jellemzőik miatt különböző égési sajátosságokkal rendelkeznek. [1][2][12]

Egyik legfontosabb befolyásoló tényező a faanyag sűrűsége. A sűrűség növekedésével csökken a porozitás, így megnő a gyulladási idő és a gyulladáshoz szükséges energia. A sűrűbb szerkezetű faanyagok beégési sebessége fele akkora is lehet, mint a lazább szerkezetű hasonló fajú anyagoké. [5][11][12]

A beégési sebesség a fafajra jellemző, közel állandó értékű, így a faanyag vastagsága erősen befolyásolja a faszövet tűzállóságát. Azok a szerkezeti elemek, melyek nagyobb felületen érintkeznek az oxigénnel, könnyebben esnek a tűz áldozatának, mint a levegőtől elzárt elemek. [3][4][5][13]

A nedvességtartalom növekedésével csökken a faanyag éghetősége, mivel az égés során a fában lévő vizet először fel kell melegíteni, majd gőzzé alakítani. Ez a folyamat hőelvonással jár. [12]

Az extraktanyag tartalom hatása az égés során jelentős szereppel rendelkezik, a nagy gyantatartalmú fenyők biológiailag ellenállóbbak, de a gyanta fűtőértéke nagyobb, mint a fának, így a faanyag tűzveszélyesebb. [11][12]

A nagyobb hővezetési tényezővel rendelkező faanyagok nehezebben gyulladnak és égnek, mivel a keletkezett hő folyamatosan elvezetésre kerül. [12]

A faanyag szerkezeti összetételéből adódóan a rostokkal párhuzamos lángterjedés gyorsabb, mint a rostra merőleges. A tapasztalatok szerint a szórt likacsú fafajok kevésbé állnak ellen a tűznek, mivel edényeikből a bomlási gázok könnyen tudnak távozni. [12]

A külső tényezők közül a faanyagot körülvevő atmoszféra oxigén-tartalma és hőmérséklete a meghatározó.

## **2. A FELHASZNÁLT FAANYAGOK ÉGÉST BEFOLYÁSOLÓ TULAJDONSÁGAI**

### **2.1. Lucfenyő ( *Picea abies* )**

Az északi, szibériai és a magashegyi állományok évgyűrű-szerkezete egyenletesen keskeny, ami a rövid növekedési időszak következménye. A hazai fenyőket a nem megfelelő termőhely miatt széles és erősen inhomogén évgyűrűk jellemzik („répafenyő”). A bél körüli juvenilis fa csak 12-16 évgyűrűből áll, tehát igen sűrű része a fának. A fatest 95,3 %-ban tracheidákból épül fel, melyek a késői pásztában hosszabbak és vastagabbak, mint a koraiakban. A tracheidák szabályos sorokba rendeződve egyenletes, homogén szerkezetet hoznak létre. Sok gyantajáratot tartalmaz, és nem rendelkezik gesztelő anyagokkal. A könnyű, puhafákhoz tartozik, sűrűsége légszárazon 330-470-680 kg/m<sup>3</sup> között változik. Pórustérfogata 71 %. [9][10][11]

### **2.2. Vörösfenyő (*Larix decidua*)**

Magyarországon Sopronban és Kőszeg környékén őshonos. Igen keskeny szíjjáccsal rendelkezik, amely csak 2-3 cm vastagságú. Évgyűrűn belül a vastag falú késői tracheidák jól elkülönülnek és akár a 40 %-os részarányt is elérheti. A vörösfenyő 91,2 %-ban tracheidákból áll. Az apró gyantajáratok többnyire a késői pásztában helyezkednek el és gyakran gyantatáskákat is tartalmaznak. A gyors növekedésű példányokra jellemző a széles, laza szövetű évgyűrű. A tartós geszt gyantában és csersavban gazdag. A hazai fenyők közül sűrűsége a második legnagyobb. Sűrűsége légszáraz állapotban 440-590-850 kg/m<sup>3</sup>. Pórustérfogata 63 %. Általában 4-9 %-ban extraktanyagokat (benzol-alkoholos kivonat), 10-12 %-ban csersavat és 4,1 %-ban gyantát tartalmaz. [9][10][11]

### **2.3. Nyárfa (*Populus*)**

A szíjjács és a geszt rész jól elkülönül, de a néhány évgyűrűt magába foglaló juvenilis fa határa szabad szemmel nem látható. A szíjjács körülbelül 30-40 %-nyi térfogati részarányú. A szíjjács és a geszt nedvesség tartalma között nagy eltérések vannak, a frissen döntött törzs gesztjének nettó nedvességtartalma 180-200 % között van, míg a szíjjácsé 110-130 %. A szórt likacsú fajokhoz tartozik és évgyűrűinek átmérője a szélessége mentén csökken. Az évgyűrűn belül a két pászta nehezen különíthető el,

szélességük függ a fajtától és az éves csapadéktól. A nyarak esetében nem találtak összefüggést az évgyűrű szélesség és a faanyag sűrűsége között. Az 56-63 %-ban előforduló libriform rostok bő üregűek és vékony falúak. Edényei részaránya 24-44 %. Álgesztesedés esetén tiliszesedésre hajlamos. Szerkezeti felépítettsége miatt kevésbé áll ellen a gomba- és rovarátadásoknak. Alacsony sűrűségű, légszárazon  $450 \text{ kg/m}^3$ , extraktanyag tartalma (alkohol-benzol) 2,3-3,2 %. Felületkezelése problémamentes. [9][10][11]

#### **2.4. Bükk ( *Fagus silvatica* )**

Közép-európai fafaj, zárt állásban, egyenes homogén törzseket fejleszt. A geszt és a szíjács nem különíthetők el. A geszt és szíjács nedvességtartalma közötti különbség nem jelentős. Szórt likacsú, edényeinek átmérője közel azonos. Az egészséges faanyag edényei nyitottak, így könnyen telíthetők. Vizes pácok alkalmazása során foltosodás is előfordulhat. A körülbelül 37,4 %-ban előforduló farostok nagy sejtfalvastagságúak, ezért is kiváló szilárdságú és keménységű. Bár a bükk nem tartozik a természetesen tartós fafajok közé. A mechanikailag sérült és beteg fatestben figyelhető meg tiliszesedés és gesztesítő anyagok berakódása. Az álgesztes faanyag mechanikai sérülésekre vezethető vissza, bár fája keményebb és tartósabb, mégis nehezen telíthető és könnyen reped. Sűrű, zsugorodásra, vetemedésre erősen hajlamos fafaj. Sűrűsége  $540\text{-}720\text{-}910 \text{ kg/ m}^3$  légszárazon. Pórustérfogata 55%. A frissen kivágott farönk  $400\text{-}500 \text{ kg/ m}^3$  vizet tartalmaz. Rosttelítettségi pont 32-35%. Extractanyag tartalma 0,7%. [9][10][11]

#### **2.5. Akácfa ( *Robinia pseudoacacia* )**

Növekedésére jellemző a külpontosság, így igen gyakori a nyomott- és húzottfa. Évgyűrűszerkezetére jellemző az inhomogenitás, nagy a juvenilis fa arány. A gyűrűs likacsú fafajokhoz tartozik, a nagy átmérőjű edények a korai pásztában 2-3-as sorokban helyezkednek el. Vékony szíjácsa 2-6 évgyűrűből áll, nagy víztartalmú és sok egyszerű szerves anyag található benne. A szíjács tartóssága messze elmarad a gesztétől, mivel hiányoznak belőle a gesztesítő anyagok. Az akácban csersav- és robinetinféleségek nagyszámú jelenléte biztosítja a faanyag tartósságát. A gesztesedési folyamatok gesztesítő anyagok lerakódásával vagy tiliszesedéssel mehetnek végbe. A geszt edényei erősen tilisszel és tömítőanyagokkal tömítettek, így a víz semmilyen irányban nem tud mozogni a fában. A bélsugarakban és az edényekben kristályos lerakódás figyelhető meg. A

pászták az évgyűrűn belül jól elkülönülnek, az átlagos 3-3,5 mm széles évgyűrűben késői pászta aránya 77 %. A fatest alapállományát a vastag falú libriform rostok alkotják, melyeknek 58 % a mennyiségi részarányuk. A frissen kitermelt faanyag csak 35-45 % nettó nedvességet tartalmaz, így frissen vágott állapotban is jól ég. Sűrűsége 580-770-900 kg/m<sup>3</sup> légszárazon. Pórustérfogata 52 %. Nagy sűrűségének köszönhetően nehezen gyullad, gyulladáshoz szüksége minimális hőszugárzási intenzitás 2,6 W/cm<sup>2</sup>. Az akác beégési sebessége körülbelül 0,5 mm/ min. [9][10][11]

## **2.6. Tölgy (*Quercus*)**

Szövetszerkezet szerint a gyűrűs likacsú fák közé tartozik, a nagy átmérőjű edényei szabad szemmel is jól megfigyelhetők amint az évgyűrűhatár mentén szabályos sorokat alkot. Homogén szerkezetű, keskeny évgyűrűvel rendelkezik. A kocsányos tölgyre jellemző az inhomogén évgyűrűszerkezet és gyakori a rendellenes gesztesedés kialakulása. Edények 25 %-os, míg rövid, vastag falú farostok 58 %-os részarányban található meg benne. Az edényüregek gyakran tilisszel tömítettek, melynek nagy mértéke sötét elszíneződést okozhat. Az élő fában betegség hatására gesztesedési és tiliszesedési folyamatok indulnak meg. Bár gesztje nagy csersavtartalmú, mégsem tartoznak a világ legtartósabb fái közé. A tölgyek sűrűsége megközelítőleg 660 kg/m<sup>3</sup>, hővezető képességük 0,20 W/mK. [9][10][11]



### 3. A FELHASZNÁLT PRÓBATESTEK SŰRŰSÉGÉNEK SŰRŰSÉGELOSZLÁSA

A fa égését befolyásoló tényezők közül a sűrűség a legmeghatározóbb. A mérések során felhasznált próbatestek sűrűségének sűrűségeloszlását diagramon rajzoltattuk ki, hogy képet kapjunk arról, egyes tömegeket illetve sűrűségeket milyen valószínűséggel vettek fel a próbatestek. A sűrűséget a faanyag nedvességtartalma és szerkezete befolyásolja, az általunk vizsgált próbatestek esetében a pontos méretre vágás is meghatározó volt. A mérési hibák lecsökkentése érdekében az összes próbatestet egy helységben tároltuk több hónapon keresztül, így közel azonos nedvességtartalommal kellett rendelkezniük, és egy fafaj esetében a próbatestek egy deszkából kerültek ki, hogy azonos szerkezetű anyagokat vizsgáljunk. A faanyag inhomogén szerkezetéből adódó eltérő sűrűség kihat mind az éghetőségre, mind pedig a felvitt égéskésleltető szer mennyiségére. Ebből következik, hogy a Lindner-módszer eredményeit, csak a tömegváltozások alapján figyelembe venni nem szabad.

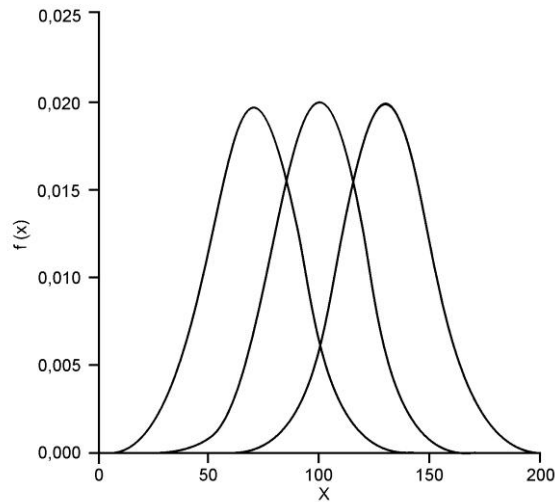
#### 3.1. A normális eloszlás és sűrűségfüggvénye

A normális eloszlást Gauss-eloszlásnak is nevezik, mivel ő alkalmazta először ezt az eloszlást égitestek mozgására. A természetben nagyon sok mért paraméter normális eloszlással írható fel, mint például a fák magassága. [15]

Egy folytonos valószínűségi változót normális eloszlásúnak nevezünk a  $\mu$  és  $\sigma$  paraméterekkel, ha a sűrűségfüggvénye a következő képlettel adható meg:

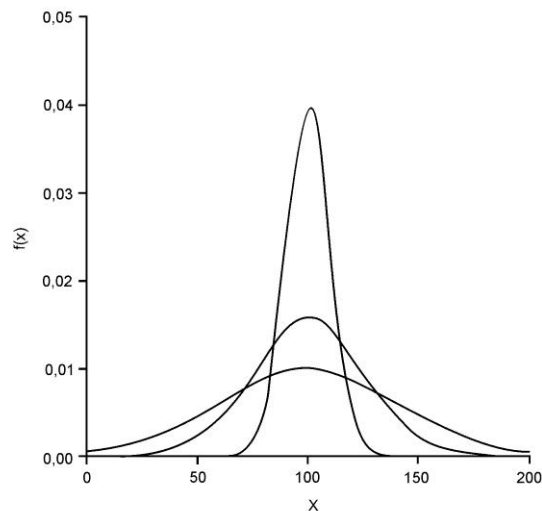
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

A normális eloszlás sűrűségfüggvénye harang alakú és szimmetrikus a  $\mu$  várható értékre és ez a pont egyúttal a függvény egyetlen maximumhelye. Gyakori feltevés, hogy a mérési hibák eloszlása a  $\mu$  átlag körül normális eloszlású, így  $\mu$ -t szokás az eloszlás átlagának is nevezni. A  $\mu$  értékének változása a Gauss görbe eltolódását jelenti az X tengely mentén (**1. ábra**). Az átlag növekedésekor a pozitív irányba tolódik. [15]



**1. ábra. A sűrűségfüggvény átlagának változása**

A  $\sigma$  szórás megváltozása a görbe laposságát befolyásolja, minél nagyobb a szórás annál laposabb és szélesebb a görbe (2. ábra).



**2. ábra. A sűrűségfüggvény szórásának változása**

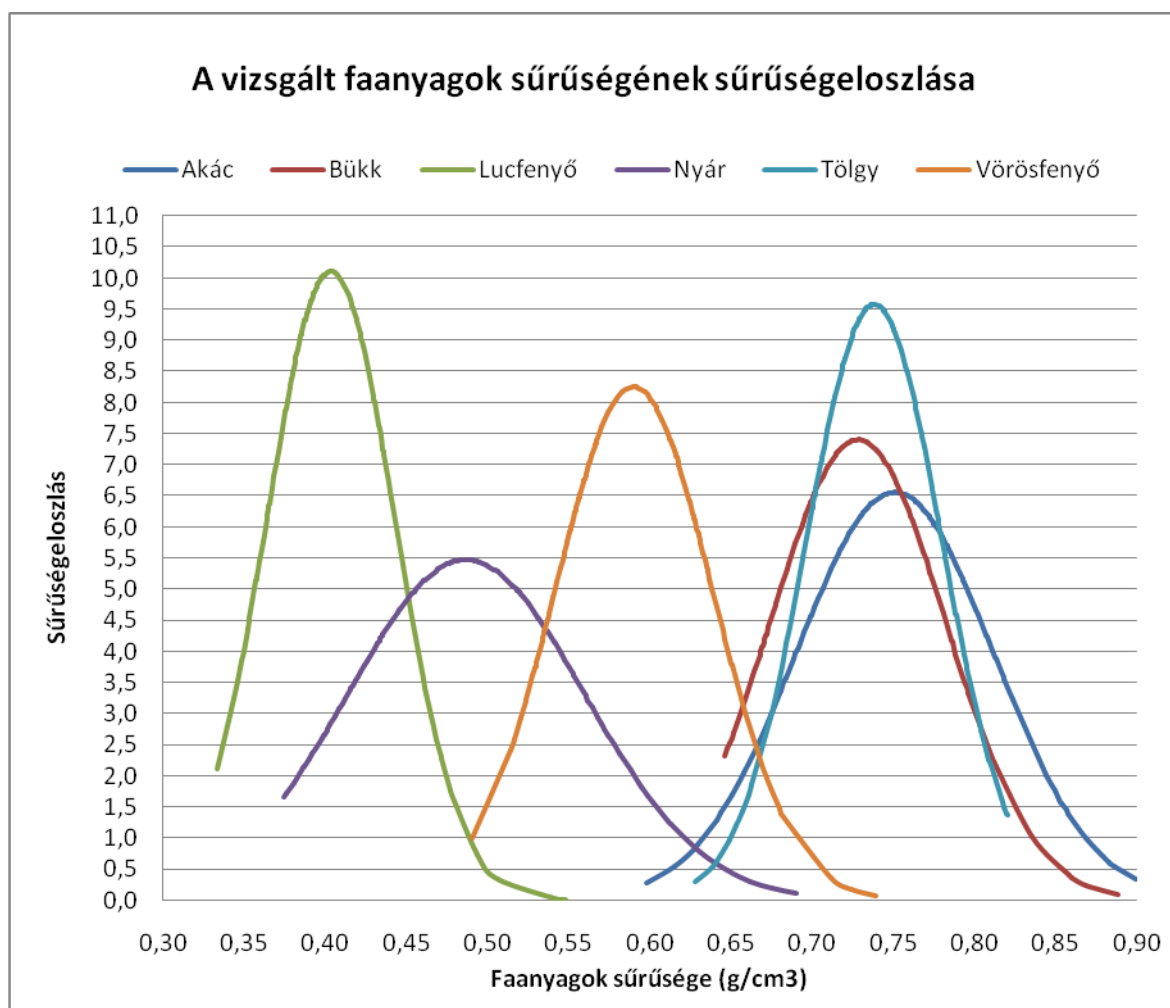
Minden esetben a görbe alatti terület 1-el egyenlő, a biztos esemény valószínűségét adja meg.

### 3.2. A próbatestek sűrűségének sűrűségeloszlása

A vizsgálat során mért tömegeket elosztottuk 100-al, mivel a próbatestek 10\*10\*1 cm-esek, így megkaptuk minden próbatest esetén a sűrűséget  $\text{g/cm}^3$ -ben. A minták sűrűségének átlagát, szórását, minimumát és maximumát egy táblázatban foglaltuk össze (1. táblázat).

1. táblázat. A faanyagok sűrűségének adatai g/cm<sup>3</sup>-ben kifejezve

	Lucfenyő	Vörösfenyő	Nyár	Bükk	Tölgy	Akác
átlag	0,403	0,590	0,487	0,728	0,738	0,751
szórás	0,039	0,048	0,073	0,054	0,042	0,061
minimum	0,333	0,491	0,374	0,646	0,628	0,598
maximum	0,548	0,739	0,690	0,889	0,820	0,899



3. ábra. A vizsgált faanyagok sűrűségének sűrűségeloszlása

A diagram segítségével összehasonlíthatjuk a különböző fajok sűrűségének sűrűségeloszlását (3. ábra), minél szélesebb a diagram, annál nagyobb a minták sűrűségének szórása. A csúcsonál a legnagyobb valószínűséggel előforduló sűrűség olvasható le az egyes fajok esetében. A legnagyobb szórás a nyár esetében jelentkezik, a lucfenyő és tölgy próbatesteknél a legkisebb a szórás.

## 4. A KÍSÉRLETI MUNKA SORÁN FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ESZKÖZÖK

### 4.1. Felhasznált faanyagok

A vizsgálatok során a gyakorlatban nagyobb százalékban használatos faanyagokat vizsgáltuk.

- Lucfenyő (*Picea abies*)
- Vörösfenyő (*Larix decidua*)
- Nyárfa (*Populus*)
- Bükk (*Fagus silvatica*)
- Akácfa (*Robinia pseudoacacia*)
- Tölgy (*Quercus*)

### 4.2. Felhasznált vegyszerek

A felhasznált vegyszerek kiválasztása előzetes munkákon alapult. Tavalyi tudományos diákköri dolgozat keretében hét vegyszert vizsgáltunk, amelyből 2-2 azonos hatásmechanizmussal rendelkezett, ezek közül négy vegyszert választottunk ki, mindegyik hatásmechanizmusú közül a jobb hatékonysággal rendelkezőt.

- **Hexametilén tetramin ( $C_6H_{12}N_4$ ):**  
Az 1 gramm vegyszer elégetése során keletkezett égéshő hatására létrejövő változásokat vizsgáljuk.
- **Nátrium-hexametafoszfát ( $(NaPO_3)_{12-13} Na_2O$ )**  
Égése során elszenesíti a faanyagot, olvadékot képez elzárva az oxigént a fától.
- **Dinátrium-tetraborát ( $Na_2B_4O_7$ )**  
Komplex faanyagvédő szer, a rovar- és gombakárosítók ellen is véd.
- **Dinátrium-hidrogénfoszfát ( $Na_2HPO_4$ )**  
Elszenesítő hatásmechanizmussal rendelkezik.
- **Diammónium-hidrogénfoszfát ( $(NH_4)_2HPO_4$ )**  
Égése során gáz fejlődik, amely hígítja az égést tápláló oxigén koncentrációját. A foszfátok a faanyag felszínét szenesítik el.

A faanyag kezelését nátrium-hexametafoszfát és diammónium-hidrogénfoszfát esetében 20 %-os oldattal végezzük, mivel előzetes vizsgálatok során kiderült ez a tömegszázalék a legmegfelelőbb, hogy minél mélyebben a faanyagba hatoljon és emellett megfelelő mennyiségű égéskésleltető anyagot tartalmazzon. A dinátrium-tetraborátnál és dinátrium-hidrogénfoszfátnál telített oldattal dolgoztunk, mivel nem állítható elő 20%-os koncentrációjú oldat. [6][7][8]

### 4.3. Vizsgálati módszer

A vizsgálatokat MSZ 9607-1:1983 szabvány által előírt Lindner-módszer szerint végeztük (**4. ábra**). 10\*10\*1 cm-es próbatestek beégési mélységét vizsgáltunk, 1 gramm hexametilén-tetramin pasztilla elégetésének hatására. A próbatestekre felvittük 3-szori kenéssel a vizsgálni kívánt vegyszert, majd 48 órán át száradni hagytuk. Tömegmérés után meggyújtjuk a készülék hideg égetőtömbjére helyezett 1 gramm hexametilén-tetramint. A kürtöt az égő vegyszerre kell helyezni és a próbatestet a kezelt felületével a tűz felé fordítva a felső tartólemezre kell tenni. A hexametilén-tetramin pasztilla teljes elégése után, meg kell várni míg szobahőmérsékletre hűl a próbatest, és újra megmérjük a tömegét. Kiskanál segítségével eltávolítottuk az elszenesedett faanyagot, és tolómérő segítségével megmértünk a beégési mélységet. A tűz egy gömbszelet formájában égeti a fát, így az elszenesedett térfogat is megállapítható, az átmérő és beégési mélység segítségével. [13]



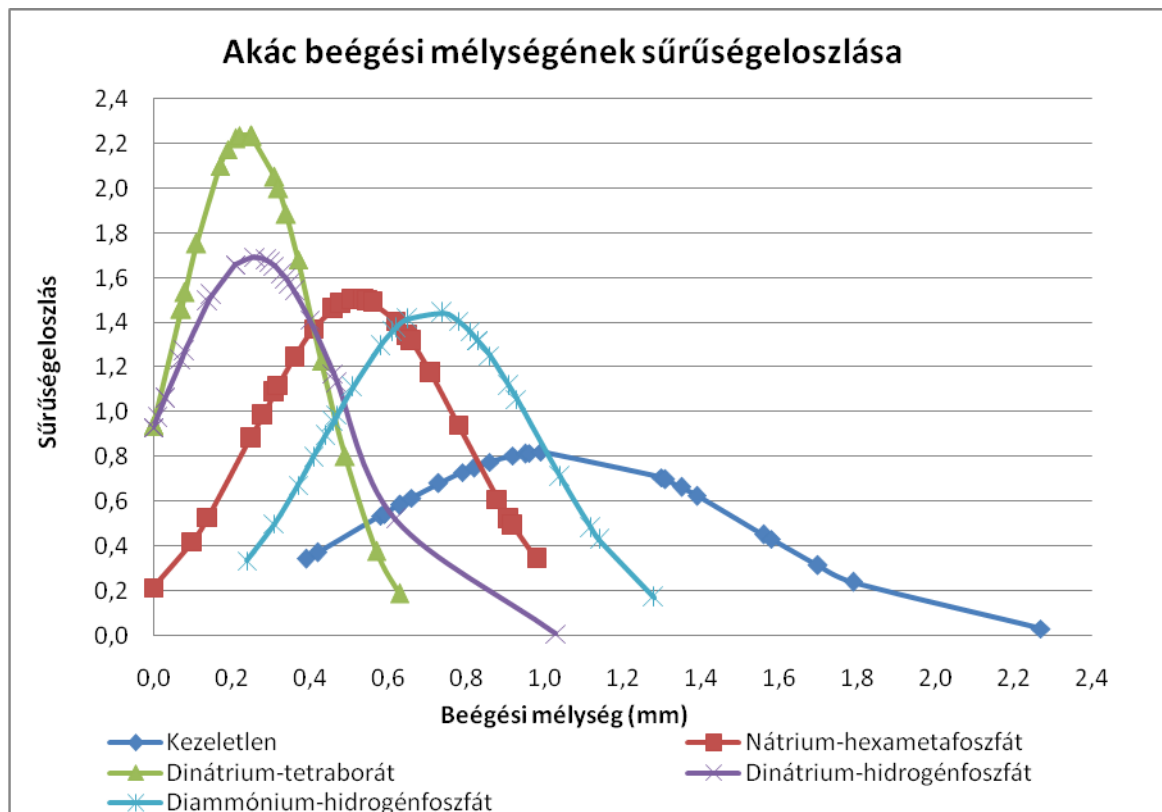
**4. ábra.** A vizsgálathoz elkészített Lindner-készülék

## **5. A KÍSÉRLETI MUNKA EREDMÉNYEI ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA**

A kiértékelés során két fontos dologra vagyunk kíváncsiak, az egyik hogy a különböző vegyszerek javították-e a faanyag ellenálló képességét a tűzzel szemben és melyik bizonyult a legjobbnak, míg kíváncsiak vagyunk arra is, hogy a különböző fafajnak, tehát szöveti szerkezetnek, sűrűségnek mekkora befolyásoló szerepe van a faanyag éghetőségében. Mind a hat fafajt vizsgáltuk, mind a négy vegyszerrel és kezeletlen állapotban is, minden sorozatban 25 próbatesttel dolgoztunk, így összességében 750 próbatest adatait vettük fel. A mért adatok mennyisége miatt, azok százalékos gyakoriságát diagramban foglaltuk össze (I-XII. melléklet). Számunkra a mért adatok átlagos értéke és szórása több információt hordoz.

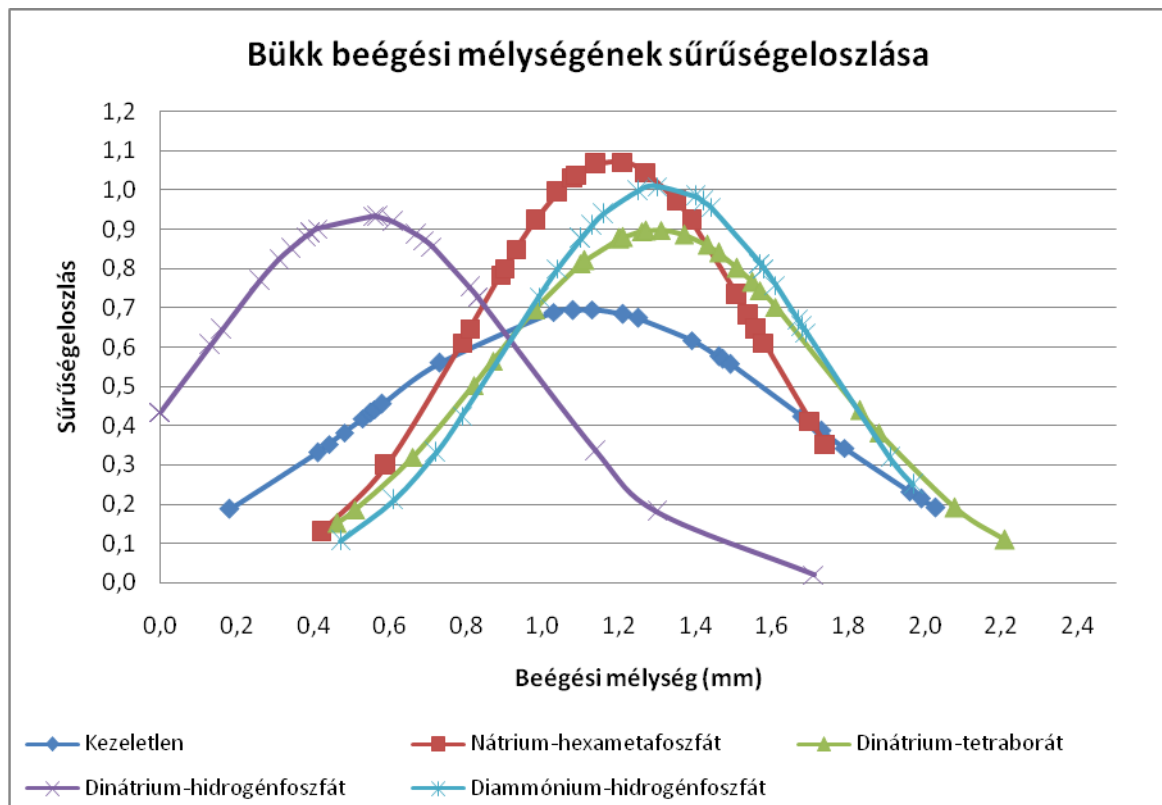
### **5.1. A faanyagok beégési mélységének sűrűségeloszlása**

Minden értéknek meghatároztuk a sűrűségeloszlását a szórás és átlag behelyettesítésével a normális eloszlás sűrűségfüggvényének képletébe. A növekvő sorrendben levő beégési mélységekhez meghatározott sűrűségeloszlások kirajzolása során harang alakú görbét kapunk. A görbe maximuma levetítve az x tengelyre adja az átlagértéket, a görbe lapossága pedig az adatok szórására utal. Minél laposabb a diagram, annál nagyobb a minták szórása.



**5. ábra. Akác beégési mélységének sűrűségeloszlása**

Jól látható, hogy mindegyik vegyszer javította az akác ellenállóságát (5. ábra), a beégési mélységek átlaga alapján a dinátrium-tetraborát bizonyult a leghatékonyabbnak és a minták szórása ebben az esetben a legkisebb. A kezeletlen minták szórása a legnagyobb.



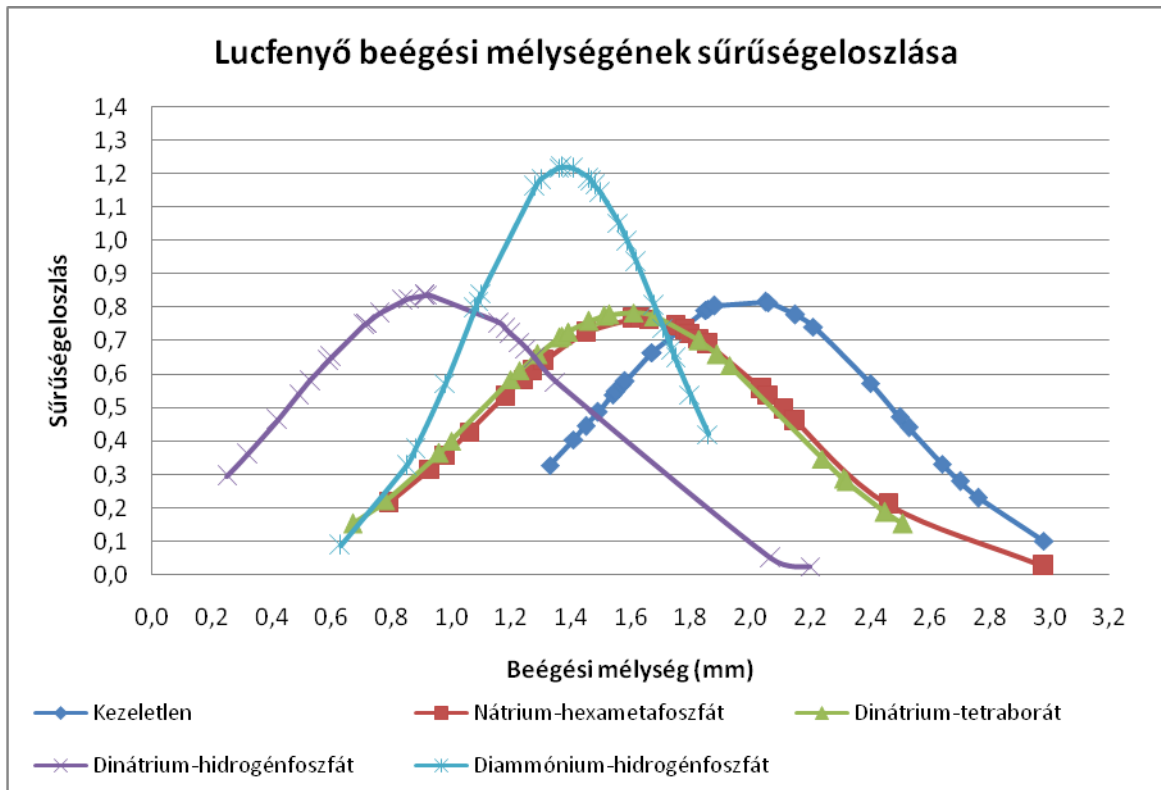
**6. ábra. Bükk faanyag beégési mélységének sűrűségeloszlása**

A bükk beégési mélységét a dinátrium-hidrogénfoszfát csökkentette a legnagyobb mértékben (6. ábra). A másik három vegyszer nem javította, sőt növelte a beégési mélységet. A kezeletlen minták szórása a legnagyobb és a nátrium-hexametafoszfáttal kezelt bükk szórása a legkisebb.

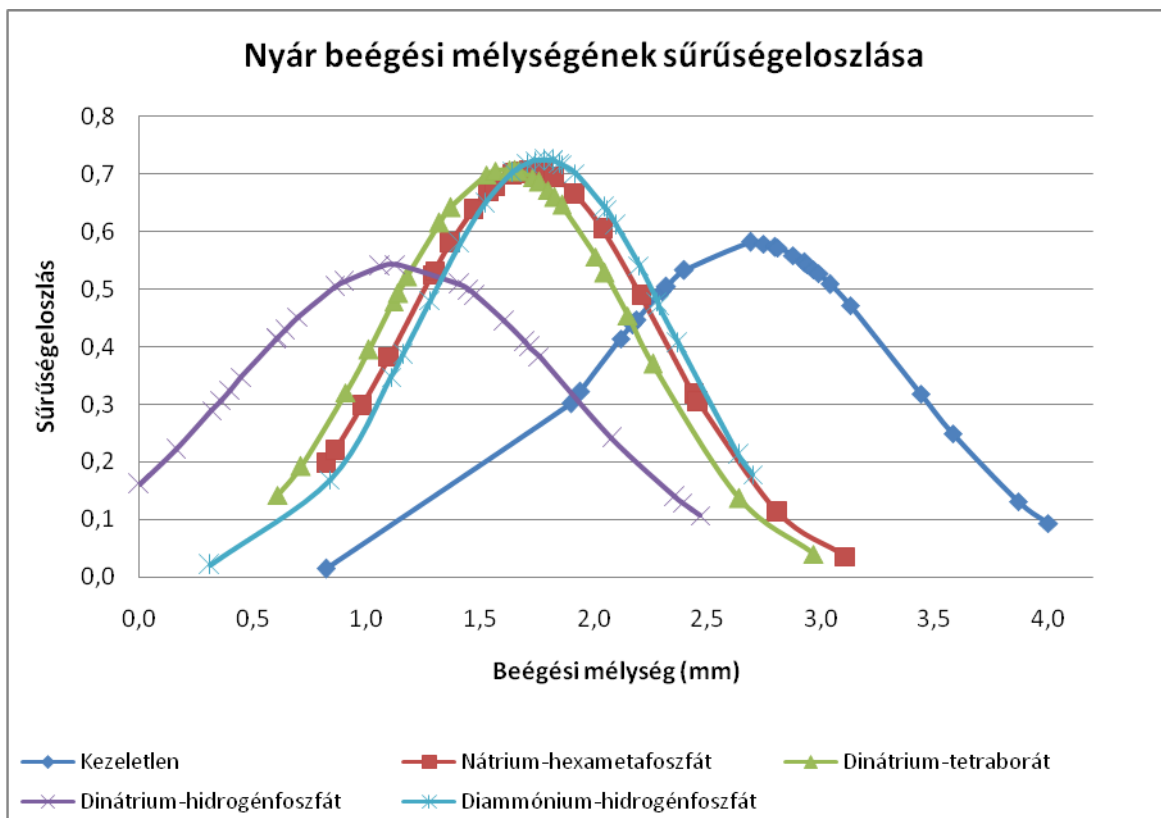
A lucfenyő beégési mélységét mindegyik vegyszer javította a kezeletlenhez képest (7. ábra). A leghatékonyabb a dinátrium-hidrogénfoszfát volt. A diammónium-hidrogénfoszfáttal kezelt minták szórása a legkisebb. Figyelemre méltó a nátrium-hexametafoszfáttal és dinátrium-tetraboráttal kezelt minták szórása és átlaga közel azonos.

A nyár esetében is a dinátrium-hidrogénfoszfát volt a leghatékonyabb, bár ezzel a vegszerrel kezelt minták szórása a legnagyobb (8. ábra). A többi három vegyszer hasonló mértékben javította a beégési mélységet és szórásuk is közel azonos.

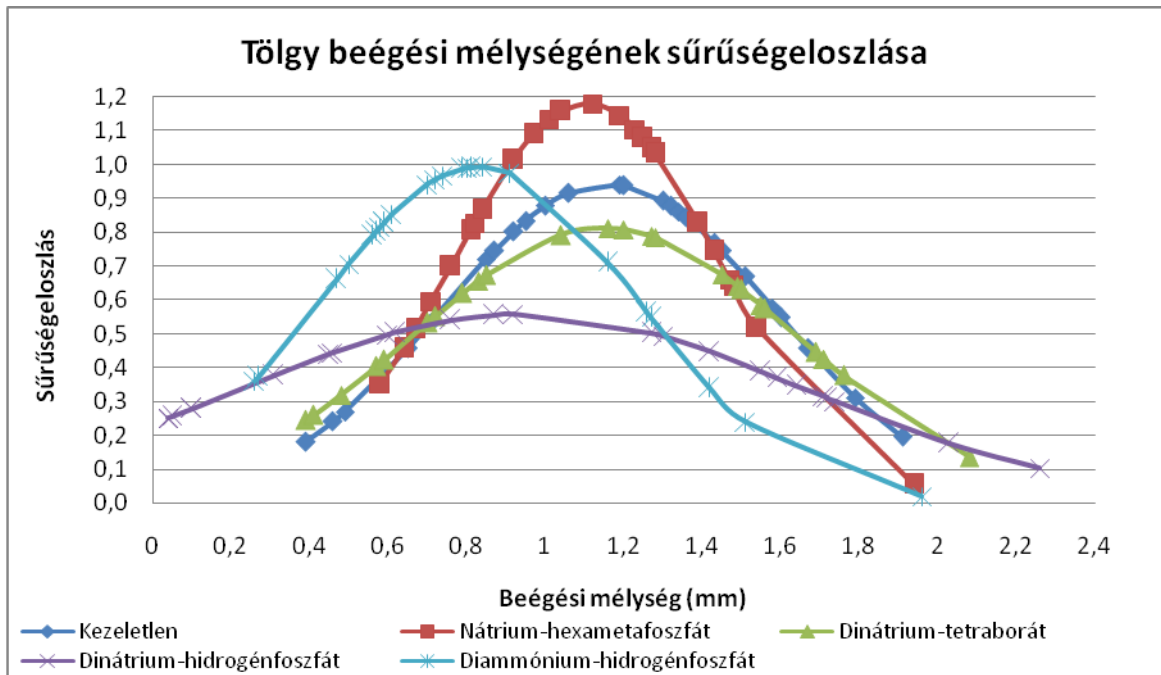




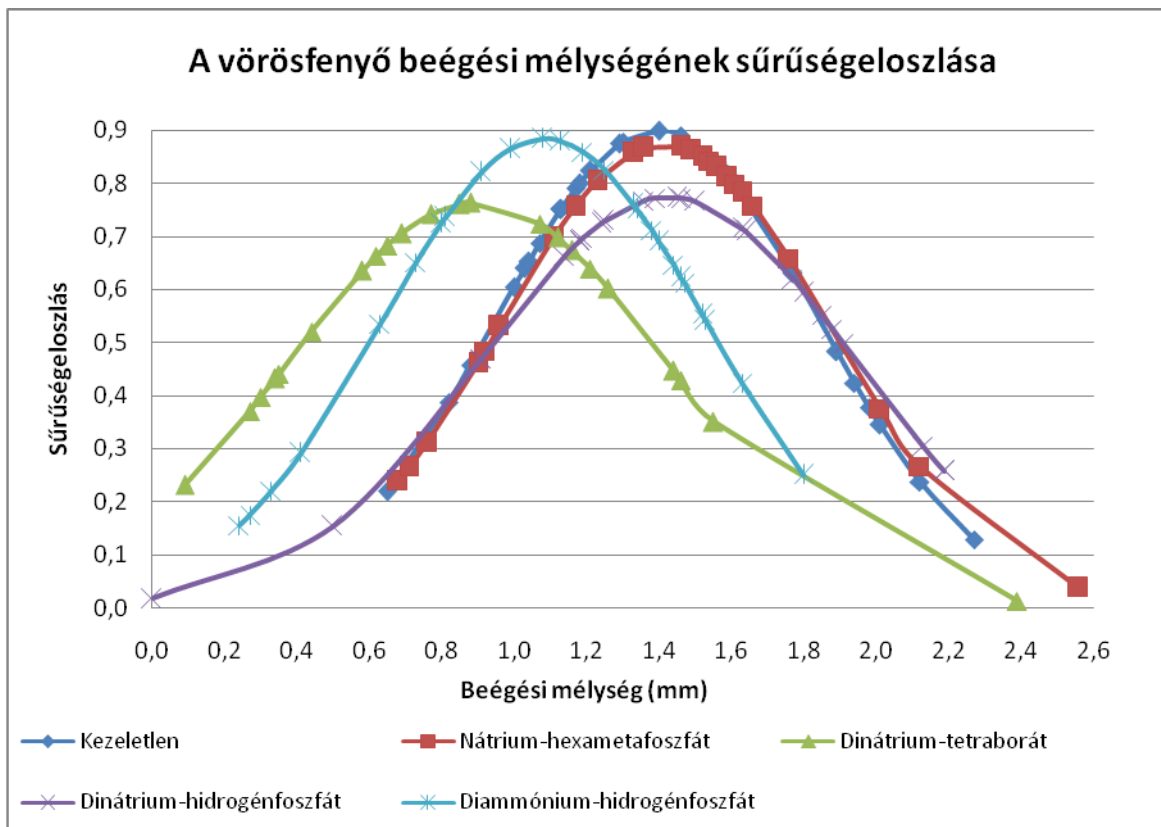
7. ábra. Lucfenyő beégési mélységének sűrűségeloszlása



8. ábra. Nyárfa beégési mélységének sűrűségeloszlása



**9. ábra.** Tölgy beégési mélységének sűrűségeloszlása



**10. ábra.** A vörösfenyő beégési mélységének sűrűségeloszlása

A kezeletlen tölgyhöz képest mindegyik vegyszer javította a tűzzel szembeni ellenálló képességet, a legjobban a diammónium-hidrogénfoszfát (9. ábra). A dinátrium-

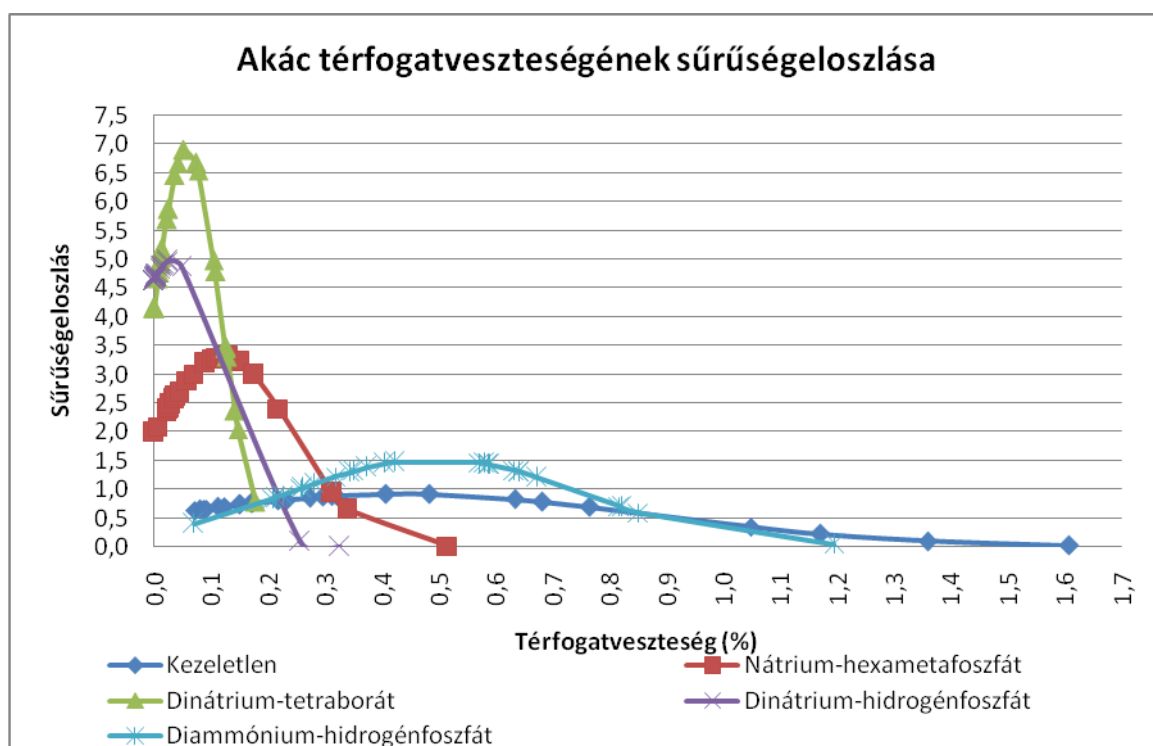
hidrogénfoszfát ennél a fafajnál is jó hatékonyságú, de a minták szórása ennél a vegyszernél a legnagyobb.

A vörösfenyő esetén a kezeletlen faanyag szórása kisebb a vegyszerekkel kezelt faanyagéhoz képest (**10. ábra**). A dinátrium-tetraboráttal kezelt vörösfenyő beégési mélységének átlaga a legkisebb, bár a szórás itt a legnagyobb.

A dinátrium-hidrogénfoszfát három fafajnál csökkenti a legnagyobb mértékben a beégési mélységet, viszont a tölgy és vörösfenyő esetén egyáltalán nem bizonyul jó égésgátló vegyszernek.

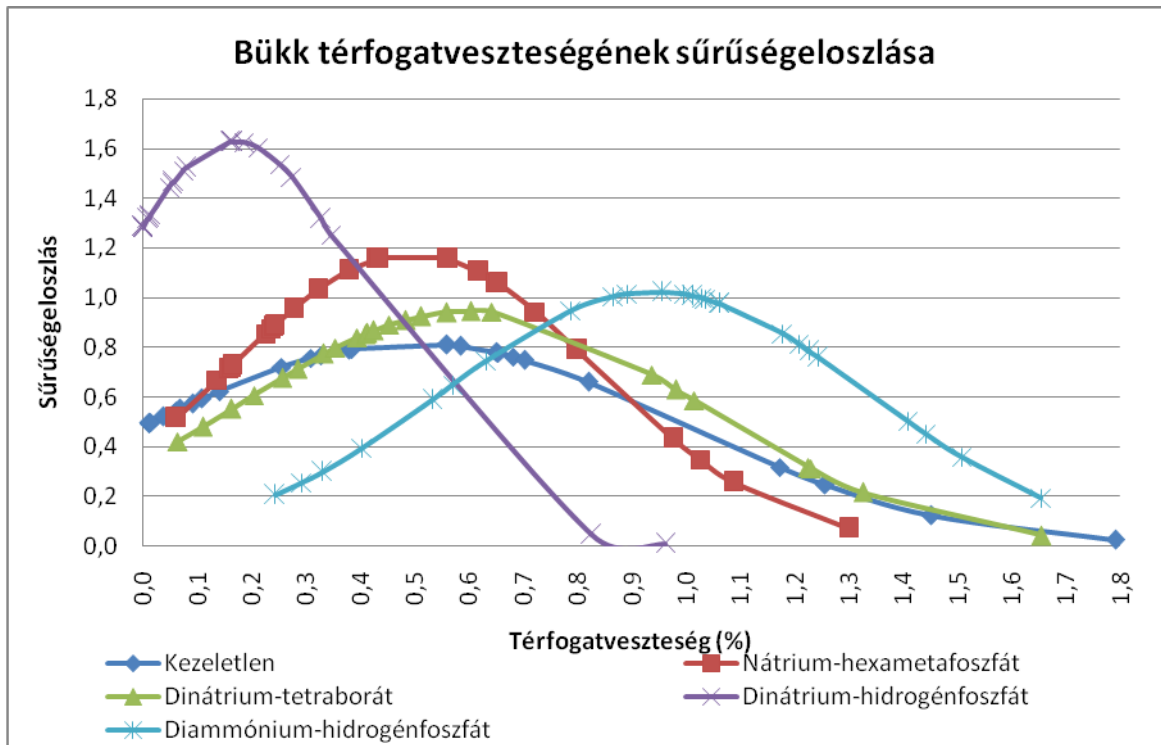
## 5.2. Térfogatvesztés

A tűz gömb alakban terjed, ha a tűzforrás egy pont. Az elszenesedett térfogat gömbszeletnek felel meg. A beégési mélységből és az átmérőből meghatároztuk az elszenesedett térfogatot, majd ezt kifejeztük százalékos formában. A térfogatvesztés eloszlás függvényeit diagramban hasonlítottuk össze.



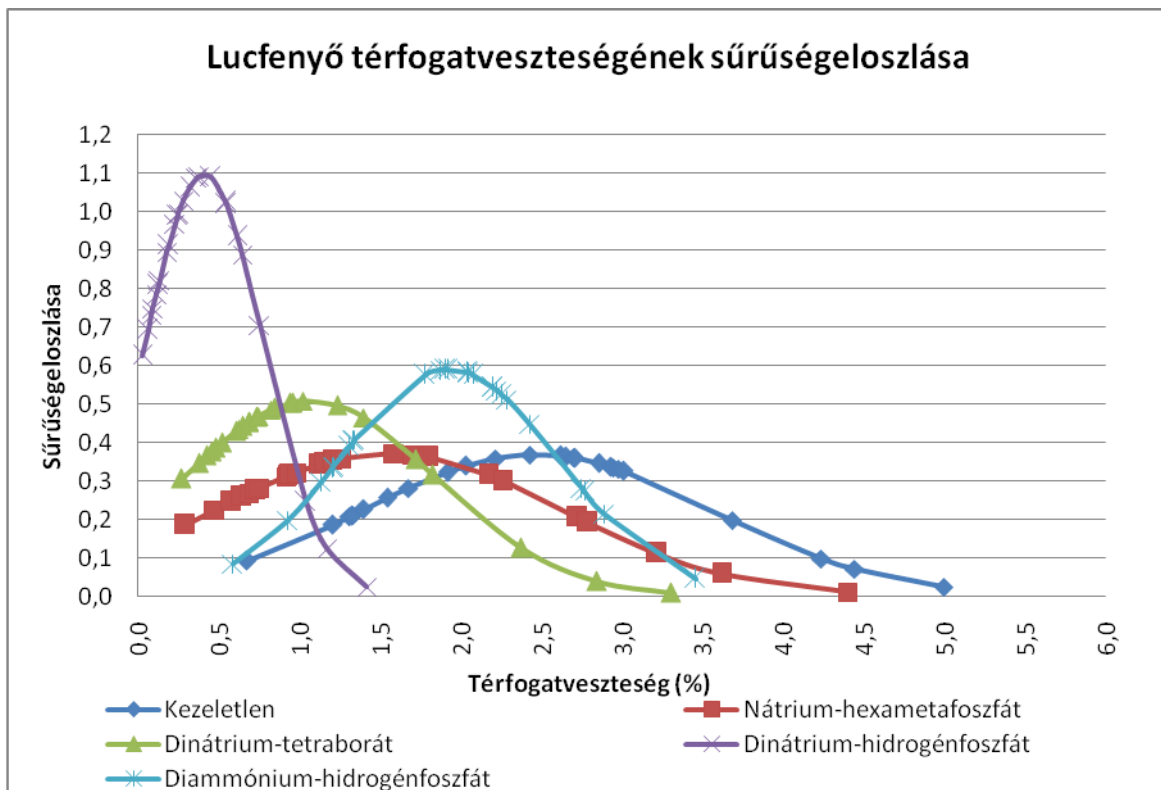
**11. ábra. Akác térfogatvesztésének sűrűségeloszlása**

A dinátrium-hidrogénfoszfáttal kezelt akác térfogatvesztése a legkisebb és a minták szórása is kisebb a többi vegyszerrel kezelt mintához képest (**11. ábra**). A kezeletlen és diammonium-hidrogénfoszfáttal kezelt minták szórása nagy.



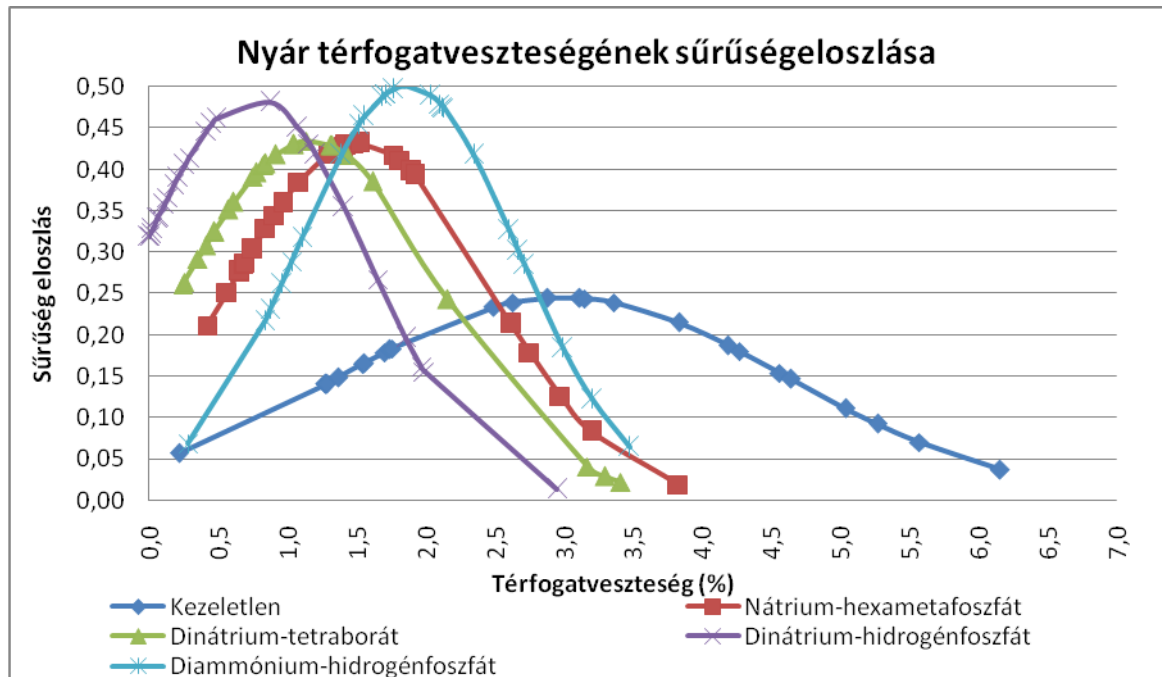
**12. ábra.** Bükk térfogatvesztésének sűrűségeloszlása

A bükknél a leghatékonyabb a dinátrium-hidrogénfoszfát volt és a szórás mértéke is kicsi (12. ábra).



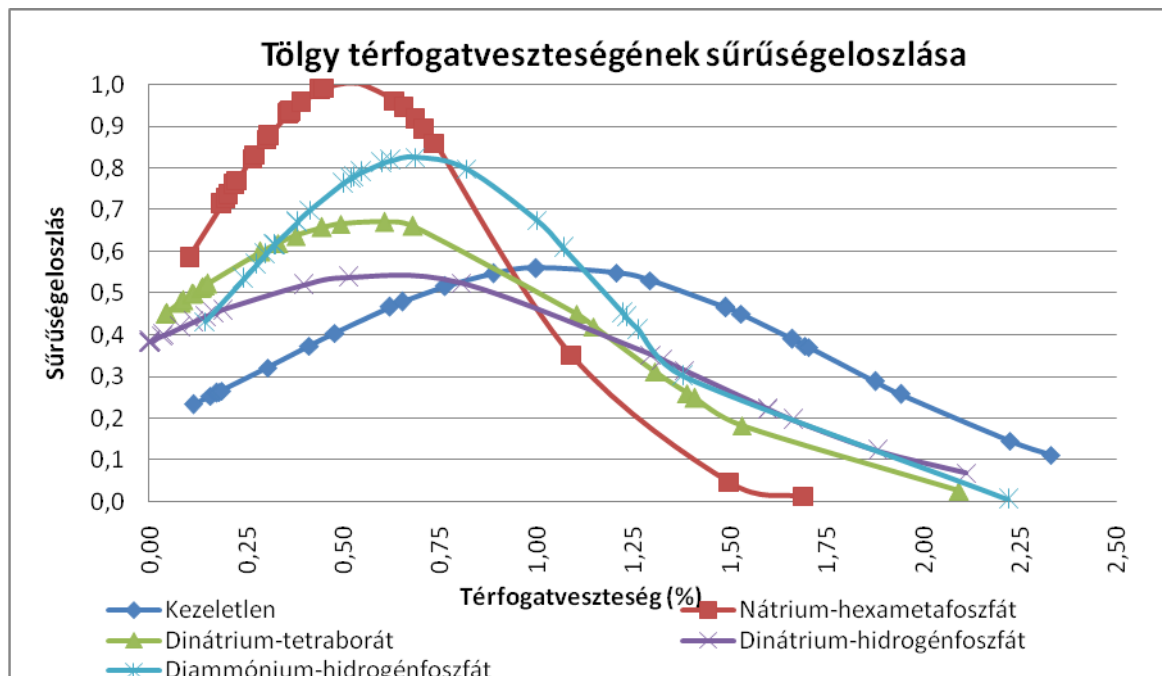
**13. ábra.** Lucfenyő térfogatvesztésének sűrűségeloszlása

A lucfenyő esetén a beégési mélységet és a térfogatvesztést figyelembe véve is a dinátrium-hidrogénfoszfát kimagaslóan a leghatékonyabb (13. ábra).



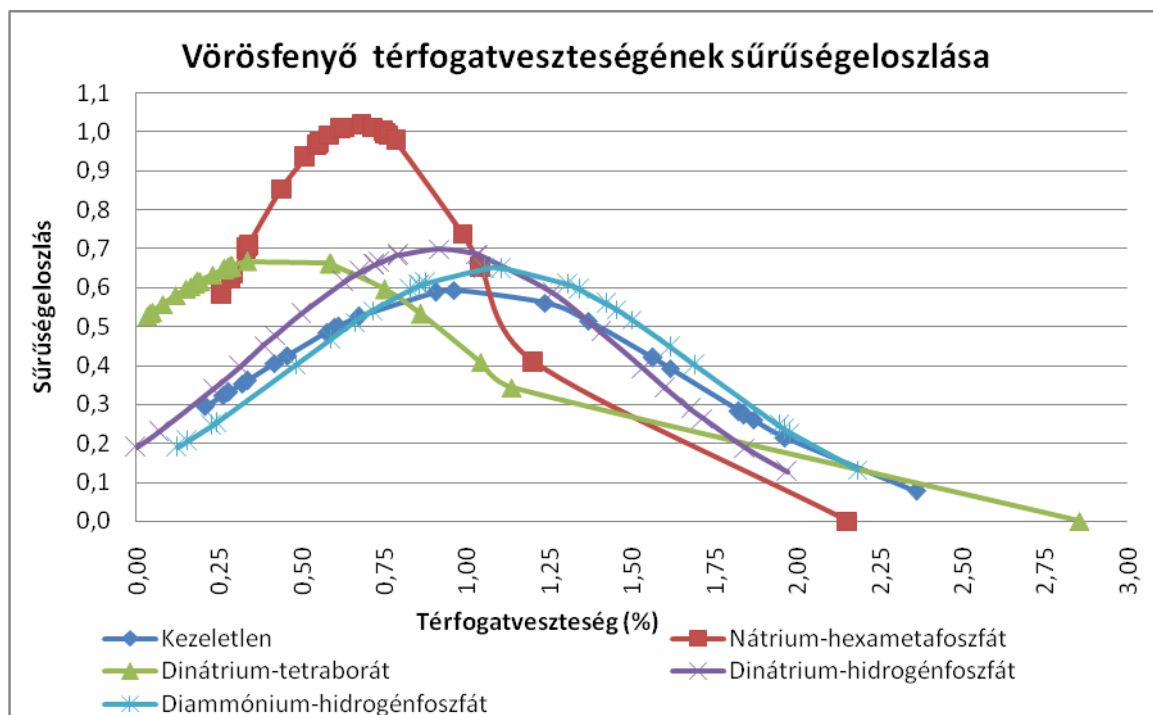
14. ábra. Nyár térfogatvesztésének sűrűségeloszlása

A nyár is azokhoz a fajokhoz tartozik, ahol a legnagyobb mértékű javulást a dinátrium-hidrogénfoszfát okozza (14. ábra).



15. ábra. Tölgy térfogatvesztésének sűrűségeloszlása

A nátrium-hexametafoszfáttal kezelt tölgy minták térfogatvesztésének szórása mind a beégési mélységet mind a térfogatvesztés tekintve kicsi (8. és a 15. ábra). A térfogatvesztés esetében ez a vegyszer a legmegfelelőbb tölgy fafajnál.



16. ábra. Vörösfenyő térfogatvesztésének sűrűségeloszlása

A beégési mélység és térfogatvesztés esetében is a dinátrium-tetraborát a leghatékonyabb vörösfenyőnél (10. és a 16. ábra). Nagy a minták szórása, de valószínű mérési hiba történt az utolsó próbatestnél, mert annak adatai nagy mértékben eltérnek a többiétől.

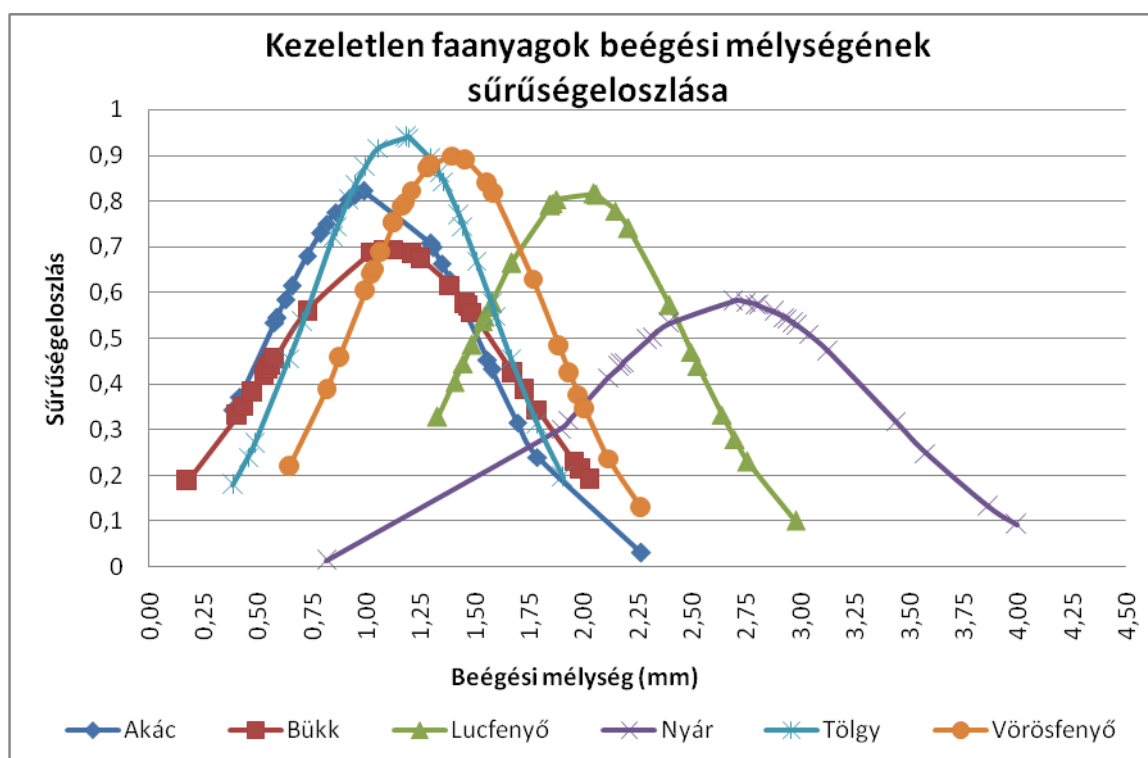
A vegyszerek különböző hatásmechanizmussal védik a fát, ezért is kapunk eltérő eredményeket a vegyszerek hatékonyságát illetően egy-egy fafajnál, hiszen valamelyik vegyszer a beégési mélységet tudja csökkenteni azáltal, hogy jobban bejut a fa szerkezetébe, míg másik vegyszer a faanyag felületén próbálja kifejteni hatását. A térfogatvesztés ezt a két befolyásoló tényezőt egyszerre veszi figyelembe. A gyakorlatban a faanyag térfogatvesztését próbáljuk lecsökkenteni, hiszen ez okozhatja a szerkezeti tönkremenetelt. Így célszerű a térfogatvesztések által meghatározott vegyszert alkalmazni. Jól kitűnik, hogy a dinátrium-hidrogénfoszfát akác, bükk, lucfenyő és nyár fafajoknál nagy mértékben javítja a tűzállóságot, de ez a vegyszer tölgy és vörösfenyő esetén nem alkalmazható. Tölgynél a nátrium-hexametafoszfát, a vörösfenyő esetén a dinátrium-tetraborát az optimális vegyszer. Valószínű ennél a két fafajnál a

szöveti szerkezetnek van ekkora befolyásoló szerepe, hiszen a vörösfenyő több mint 90 %-a tracheidákból áll és a tölgy szerkezetének több mint 55 %-a farost.

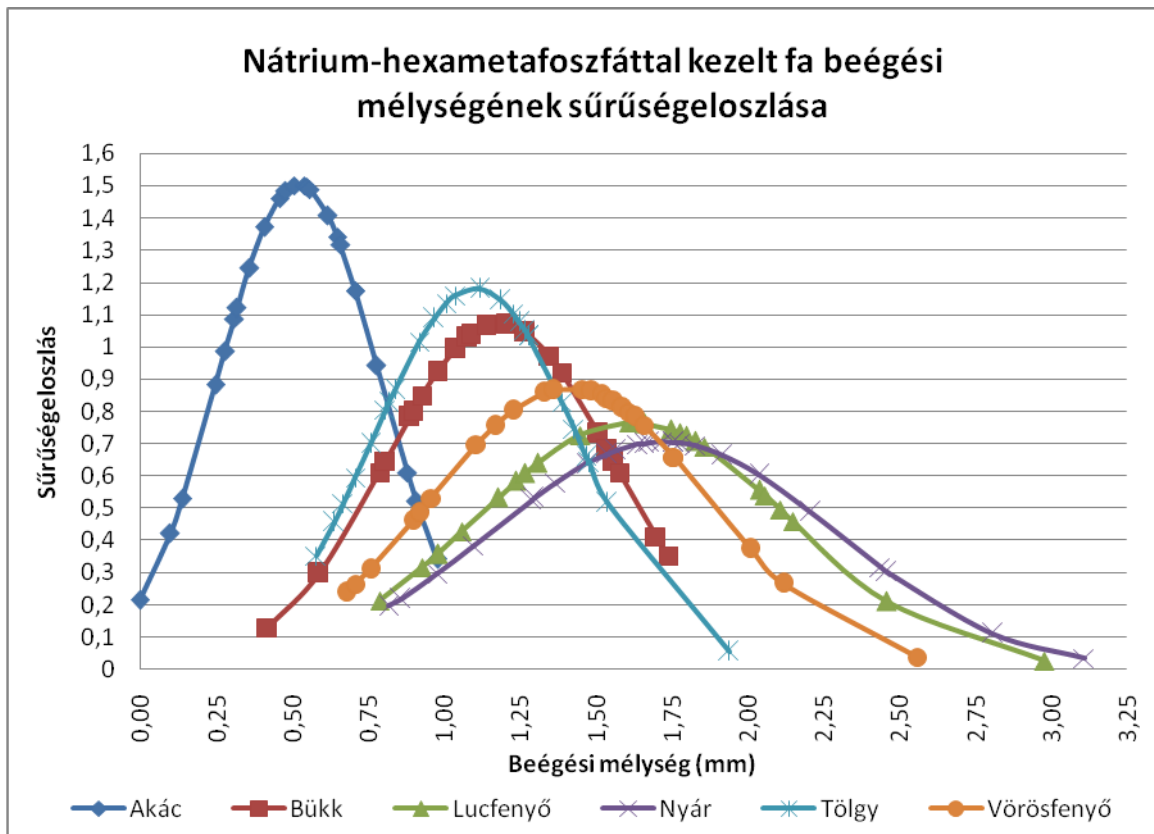
### 5.3. Fafajok beégési mélységének és térfogatveszteségének összehasonlítása

Az előzőekben említésre került a fa szerkezetének befolyásoló hatása a fa éghetőségére. Mivel pontosan nem tudjuk meghatározni, hogy a szöveti szerkezet milyen mértékű befolyással bír. Tudjuk, hogy nagyobb késői pászta arány megnöveli a tűzzel szembeni ellenálló képességet, de minden egyes próbatestben meghatározni a késői és korai pászták arányát nehéz feladat. Éppen ezért csak a fafajokat tudjuk összehasonlítani, amik közel azonos szerkezeti tulajdonsággal rendelkeznek.

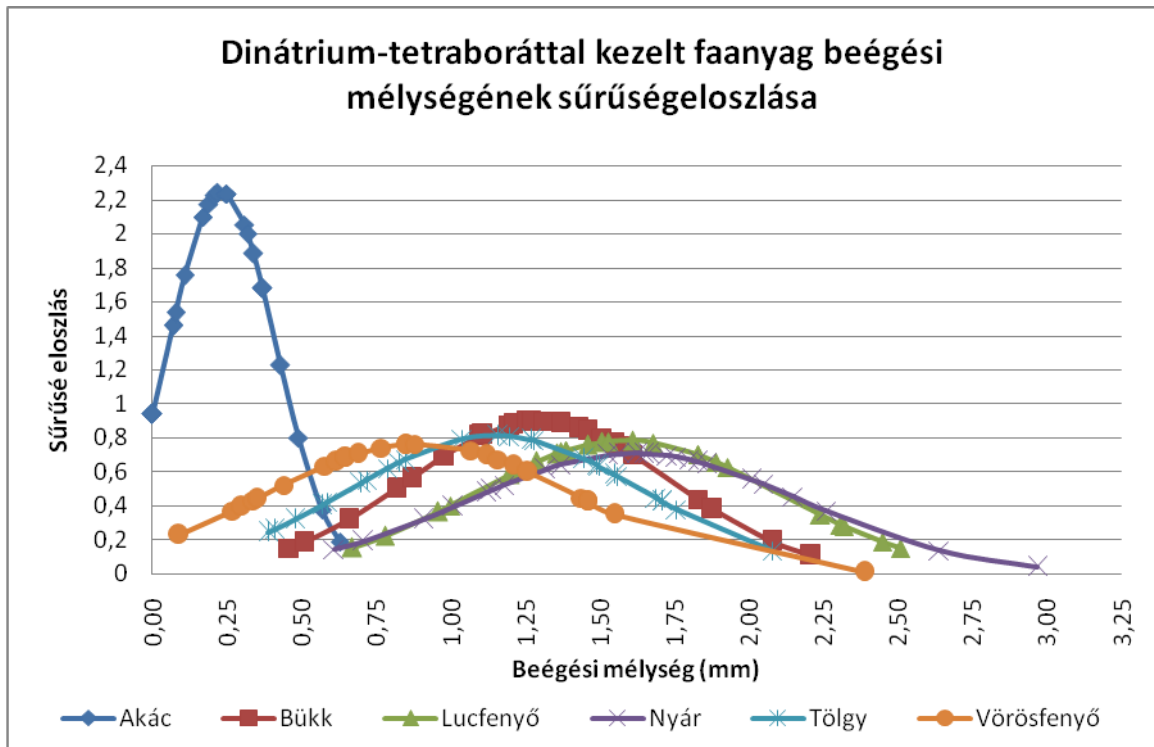
A beégési mélység és térfogatveszteség eloszlásait ábráztuk vegyszerenként. A kezeletlen faanyagoknál nagy eltérést mutatnak a beégési mélységek (17-21. ábra). Míg a vegyszerrel kezelt minták esetén a beégési mélységek közelítenek egymáshoz. Az akác beégési mélysége szembetűnően kisebb a többi fafajhoz képest, minden vegyszer esetében, és a szórás is kisebb a többi fafajéhoz hasonlítva. A térfogatveszteségeknél is ez a jelenség megfigyelhető (22.-26. ábra). Az akác után a bükk a legellenállóbb.



17. ábra. Kezeletlen faanyagok beégési mélységének sűrűségeloszlása

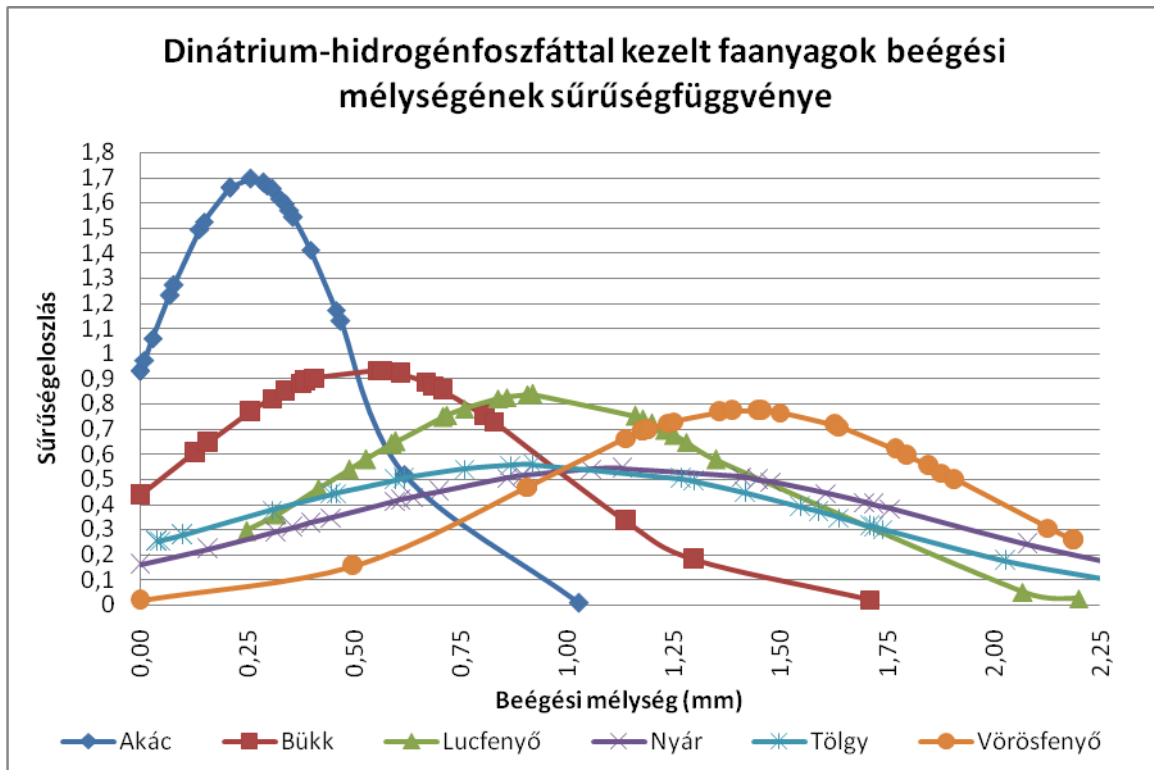


18. ábra. Nátrium-hexametafoszfáttal kezelt fa beégési mélységének sűrűségeloszlása

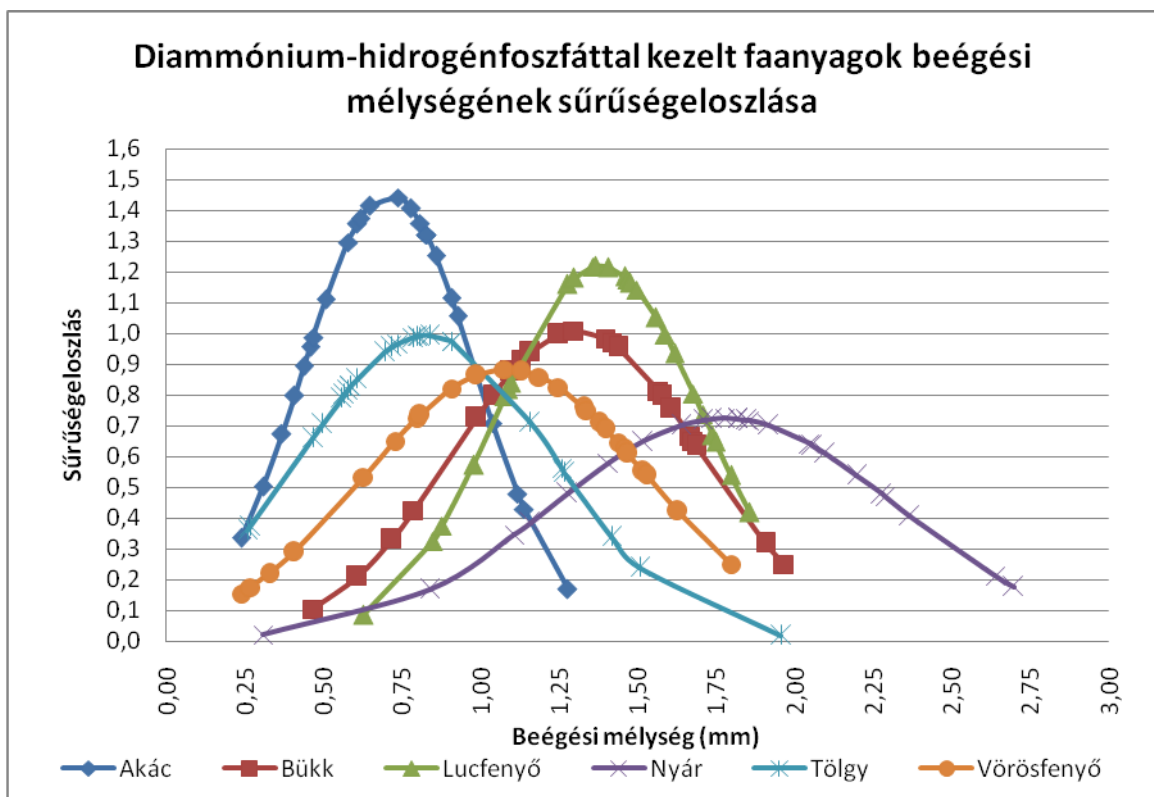


19. ábra. Dinátrium-tetraboráttal kezelt faanyag beégési mélységének sűrűségeloszlása

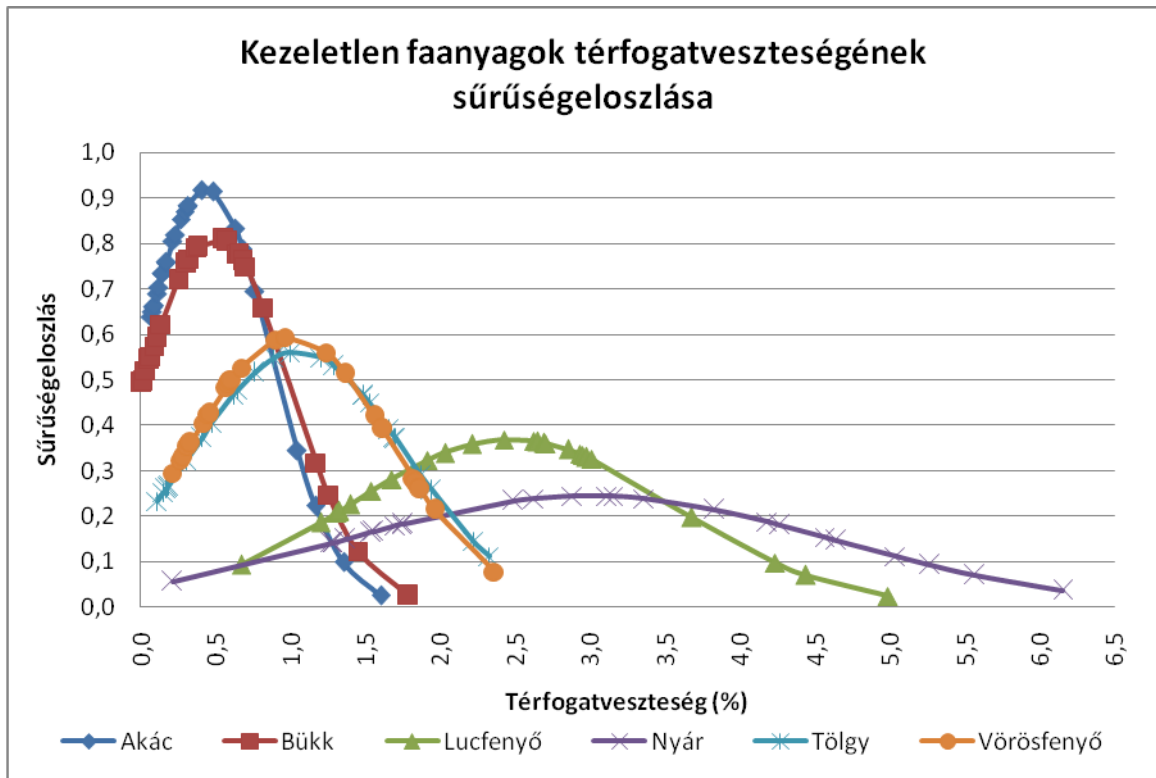




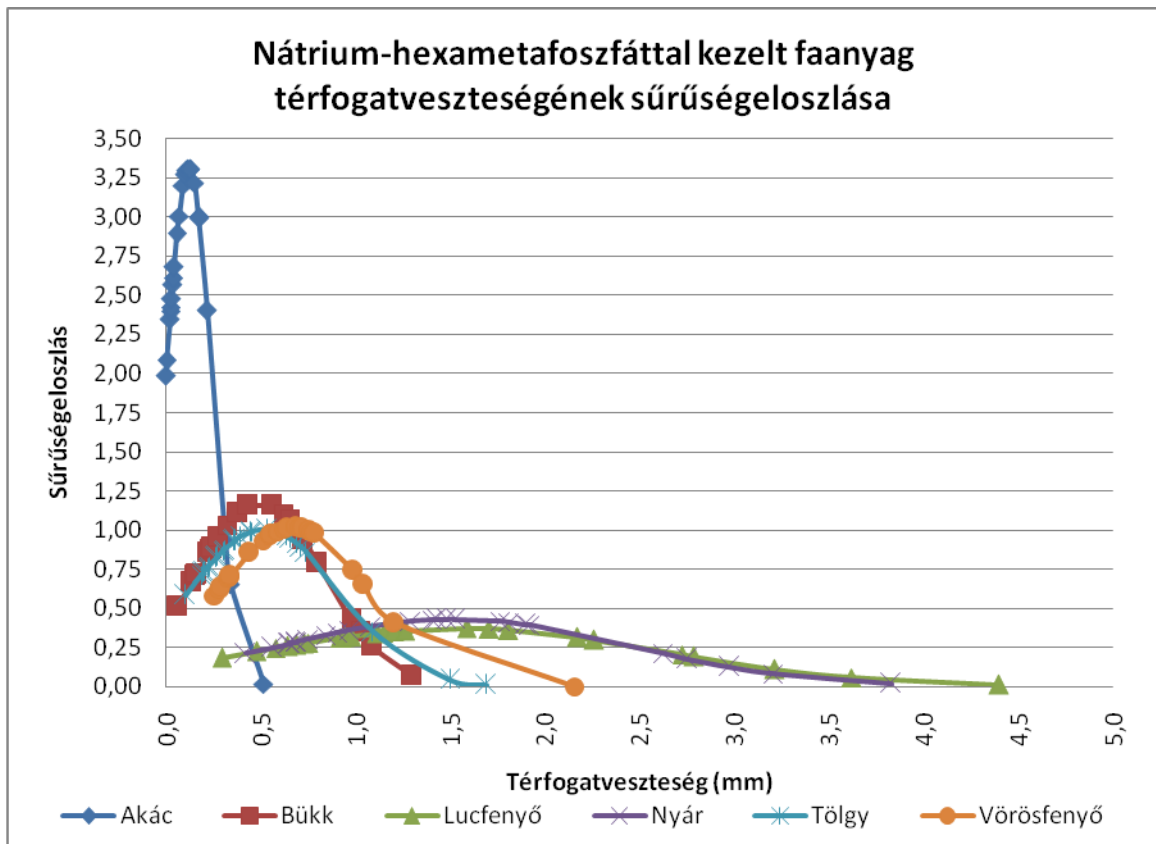
20. ábra. Dinátrium-hidrogénfoszfáttal kezelt faanyagok beégési mélységének sűrűségfüggvénye



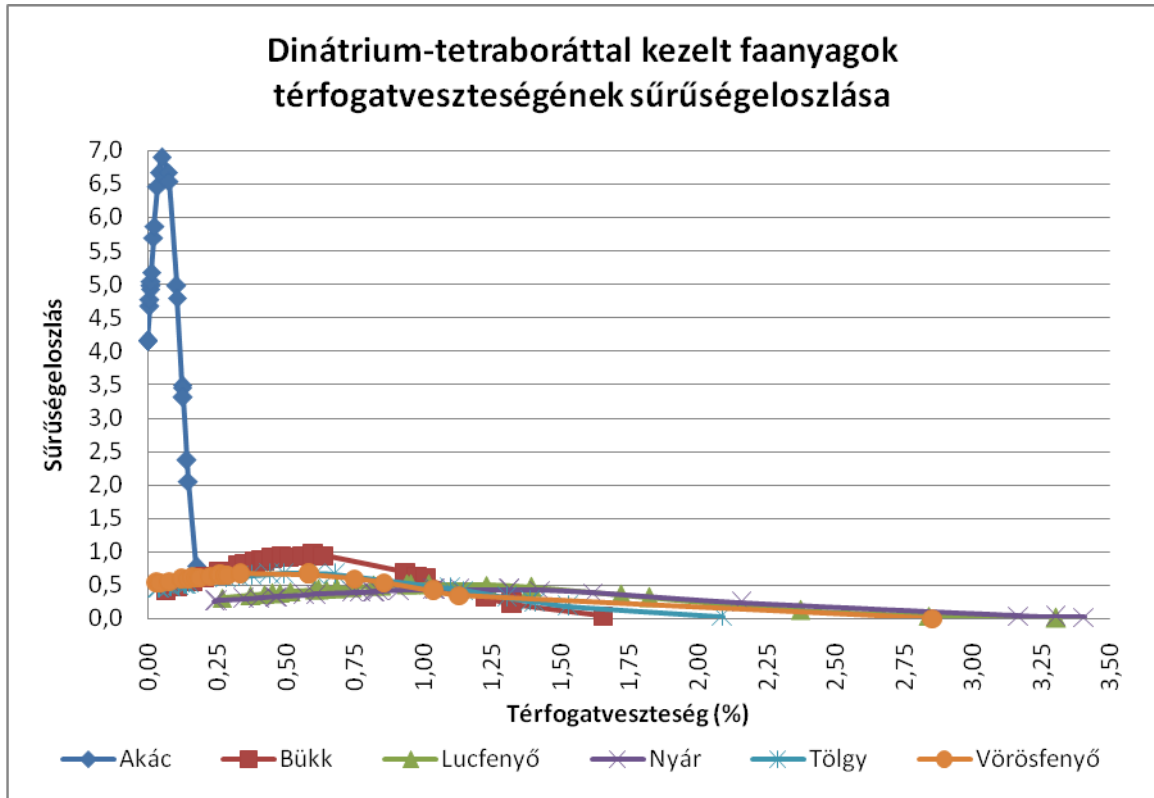
21. ábra. Diammónium-hidrogénfoszfáttal kezelt faanyagok beégési mélységének sűrűségeloszlása



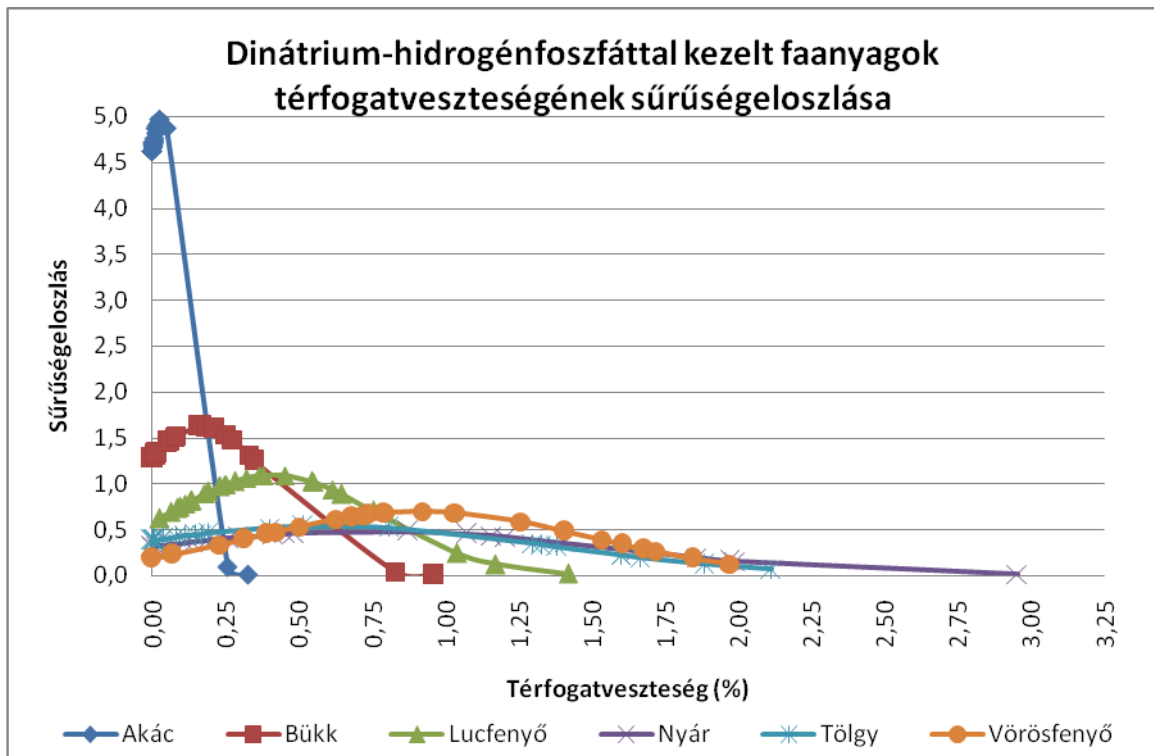
22. ábra. Kezeletlen faanyagok térfogatvesztésének sűrűségeloszlása



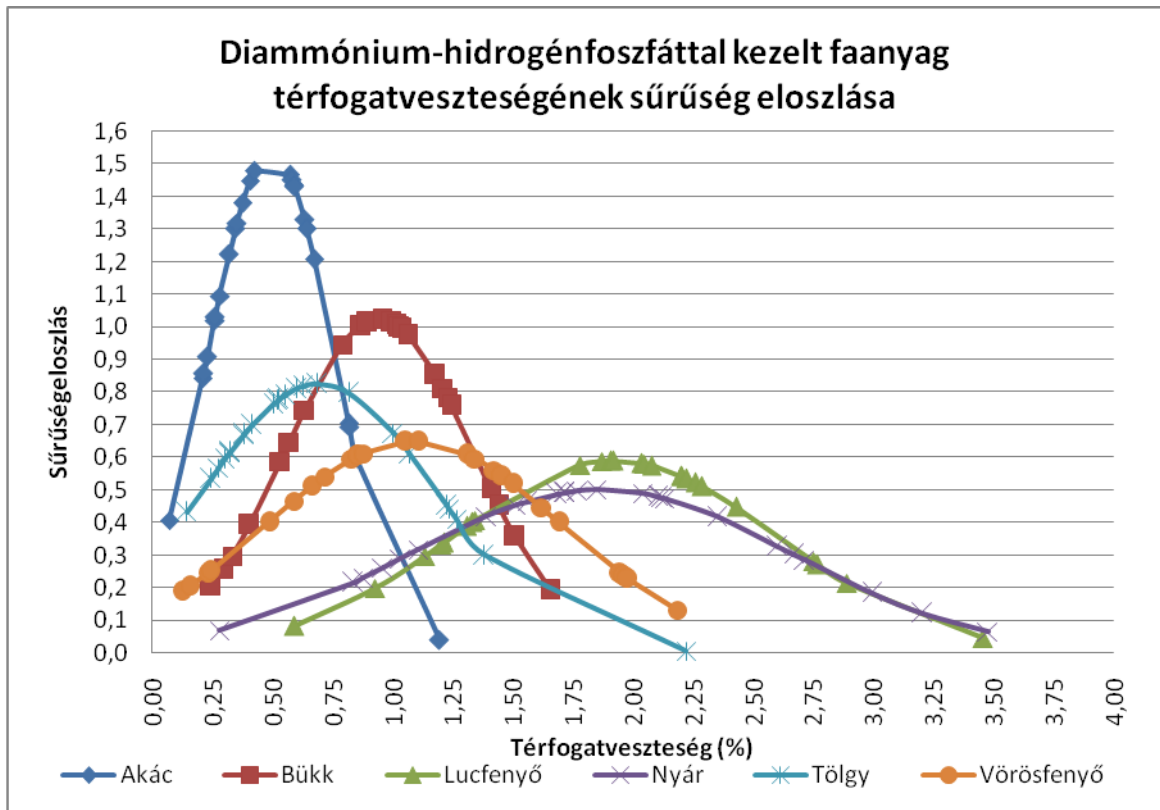
23. ábra. Nátrium-hexametafoszfáttal kezelt faanyagok térfogatvesztésének sűrűségeloszlása



**24. ábra.** Dinátrium-tetraboráttal kezelt faanyagok térfogatveszteségének sűrűségeloszlása



**25. ábra.** Dinátrium-hidrogénfoszfáttal kezelt faanyagok térfogatveszteségének sűrűségeloszlása.



**26. ábra. Diammónium-hidrogénfoszfáttal kezelt faanyagok térfogatveszteségének sűrűségeloszlása**

## ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérlet célja a faanyagok tűzállóságának vizsgálata volt, hogy a különböző hatásmechanizmussal rendelkező tűzvédő bevonatok milyen mértékben javítják a leírt módon kezelt faanyagok beégési mélységét a kezeletlen faanyaghoz képest, és miként befolyásolja a fafaj a tűzállóságot.

A beégési mélységet erősen befolyásolja a faanyag szerkezete és a felhasznált vegyszer hatásmechanizmusa. A térfogatvesztéséget a beégési mélység és a faanyag felszínén való terjedés határozza meg, ezt a két tulajdonságot tudja javítani egy-egy vegyszer. A vegyszerek közül általánosságban véve a dinátrium-hidrogénfoszfát bizonyult a leghatékonyabbnak, de fontosnak tartom, hogy a gyakorlatban fafajnak megfelelő vegszerrel dolgozzunk.

A vizsgálat bővíthető lenne a vizsgálati módszeren való javítással:

- A Lindner-féle módszer elvégezhető lenne más mennyiségű hexametilén-tetramin égetésével, melyből megállapítható lenne, hogy a beégési mélység hogyan változik a hőhatásnak kitett időtől.
- Vizsgálható, hogy a próbatestek miként reagálnak a különböző forrásból létrejövő tűzre, így megállapítható lenne a legveszélyesebb tűzforrás.

Későbbiekben szeretnénk vizsgálni a faanyaghoz kémiai úton kötött vegyszerek tűzálló hatását és kimosódásának mértékét.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Balogh, F. (1998): Tűzvédelem a faiparban.  
Országos Asztalos- és Faipari Szövetség.
- [2] Forest Products Laboratory , Forest Service U.S. Department of Agriculture:  
Fire Retardant Treatments for Wood. Website, [www .fpl.fs.fed.us/documnts/](http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/)
- [3] Gelecsényi, Gy. (1977): Tűzvédelmi ismeretek kézikönyve I.  
Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest
- [4] Gelecsényi, Gy. (1977): Tűzvédelmi ismeretek kézikönyve II.  
Építésügyi Tájékoztatói Központ, Budapest
- [5] Holmes, C. A. (1977): Effect of Fire-Retardant Treatments on Performance  
Properties of Wood. Forest Products Laboratory,  
Forest Service U.S. Department of Agriculture. Website, [www.fpl.fs.fed.us](http://www.fpl.fs.fed.us).
- [6] Janik, B.-Konfár, R.-Kovács, K.-Horváth, Á.-Stipta, J. (2007): A faanyagok  
tűzállóságának vizsgálata, XIII. Nemzetközi Vegyészkonferencia, Kolozsvár 2007.  
november 8-11. pp. 217-221.
- [7] Kompolthy, T., Szalay, L. (1990): Tűz- és robbanásvédelem.  
Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [8] Konfár, R.- Janik, B.-Kovács, K.-Horváth, Á.-Stipta, J. (2007): Égéskezelés  
vizsgálata Lindner-módszerrel, fenyő fafajok esetén, XIII. Nemzetközi  
Vegyészkonferencia, Kolozsvár 2007. november 8-11. pp. 226-229.
- [9] Molnár, S. (2000): Faipari kézikönyv I., Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron.
- [10] Molnár, S. –Bariska, M. (2002) Magyarország ipari fája, Szaktudás Kiadó Ház,  
Budapest
- [11] Molnár, S. (2004): Faanyagismeret 2. kiadás.  
Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- [12] Németh, K. (1998): A faanyag degradációja.  
Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- [13] Németh, L. (2003): Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban,  
Agroinform Kiadó, Budapest
- [14] White,R.H., Dietenberg, M. A.: Fire Safety. Website, [www.cdcc.sc.usp.br](http://www.cdcc.sc.usp.br).
- [15] [www.hik.hu/tankonyvtar/site/books](http://www.hik.hu/tankonyvtar/site/books)

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

- Hálával tartozom szüleimnek és kedvesemnek megértésükért és türelmükért.
- Köszönöm Stipta József konzulensemnek segítőkészségéért, biztató szavait és legfőképpen türelmét.
- Köszönetet szeretnék mondani Csóka Leventének és a Fa- és Papíripari Technológiák Intézetének dolgozóinak, hogy a vizsgálatokhoz szükséges laboratóriumi körülményeket lehetővé tették számunkra.
- Köszönöm évfolyamtársam, Márton Zsolt segítségét.
- Végül, de nem utolsó sorban köszönöm Kovács Eszter szobatársam és barátnőm türelmét, kedvességét.



A kísérleti munka és a dolgozat elkészítése a

## **Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal**

által meghirdetett

### **Öveges József Program**

anyagi támogatásával történt.





# Mellékletek