

Hazai lombos faanyagok tartósságának és dimenzióstabilitásának javítása termikus modifikációval

Zárójelentés

2010

A kutatómunka célja: hazai lombos faanyagokra olyan hőkezelési eljárások kidolgozása, melyek jelentős mértékben javítják a faanyag fizikai-mechanikai, esztétikai jellemzőit és biológiai tartósságát.

A vizsgálatba bevont fafajok: bükk, gyertyán és cser (nyár)

1. Szakirodalom feldolgozása, mintaanyagok begyűjtése

A témához kapcsolódó szakirodalmat feldolgoztuk. A kutatási projekt kulcsszavait hatalmas számú publikáció tartalmazza. A kutatómunkánkhoz a legfontosabb 115 nemzetközi és hazai szakirodalmat dolgoztuk fel.

2. Kísérleti berendezés (autokláv) összeállítása, termikus modifikációs eljárások végrehajtása

A kísérleti autoklávot üzembe helyeztük és végrehajtottuk a tervezett hőkezelési eljárásokat. A kezeléseket 140°C, 160°C, 180°C és 200°C hőmérsékleten végeztük el. Az elő kísérletek alapján egyértelművé vált, hogy a 140°C-os és 160°C-os hőkezelés nem hoz jelentős tulajdonságjavulást, ezért a vizsgálatainkat a 180°C és a 200°C-os tartományra fókuszáltuk. A kezeléseket időtartama 2h, 4h, és 6h volt, így 3*2=6 különböző menetrenddel kezeltük a faanyagainkat.

3. Mesterséges öregítési (szimulált klimatikus kitettségi) vizsgálatok végrehajtása kamrában. Kültéri kitettségi vizsgálatok.

3.1. Mesterséges öregítés

A mesterséges öregítés folyamata: 24 óráig víz ($t=20^{\circ}\text{C}$) alatti tárolást követte egy 24 órás 100°C-on szárítókamrában történő szárítás, a nedvesítés és szárítás folyamatát 3x ismételtük meg.

Megfigyeltük, hogy a növekvő hőkezelési időhöz és növekvő hőmérsékletekhez rendre nagyobb szilárdságcsökkenés tartozott. A kontroll anyagokhoz viszonyított csökkenés mértéke fafajtól és kezeléstől függően 12 és 34% között változott. A mesterséges öregítés (klímakezelés) csökkenti a nyomószilárdság értékét. A hőkezelés szilárdságcsökkentő hatásán kívül így további szilárdságcsökkenések várhatók, melynek értéke fafajtól és kezeléstől függően 8 és 16% között változik.

3.2. Kültéri kitettségi és színmérési vizsgálatok

A vizsgálatok célja a hőkezelt faanyagok időjárás-állóságának meghatározása volt a kezeletlen faanyaghoz képest. A faanyag színe fontos esztétikai tényező a felhasználás során, így nem hagyható figyelmen kívül a változása kültérben. A hőkezelés (OHT) által a

faanyagok színe előnyösen változik, azonban ez a javulás hiábavaló, ha a természetes faanyagnál jóval gyorsabban kifakul, szürkül a környezeti hatások által.

A próbatestek színét a CIELab színrendszer szerint határoztuk meg a kiindulási állapotban, majd innen számítva minden 30. napon, fél éven keresztül. A próbatesteket déli fekvésű keretekre rögzítettük, 45°-os dőlésszöggel, egész nap árnyékmentes helyen.

A kezelt bükk próbatestek L* színekoordinátája az első három hónapban növekedést mutatott, vagyis világosodást. Az ezt követő periódusban ez a színekoordináta nem változott, vagy gyenge csökkenést mutatott. Az egyes menetrendek próbatestjeinek L* színekoordinátája azonos mértékben változott a vizsgálati időszak alatt. A kezeletlen bükk próbatestek L* színekoordinátája folyamatos csökkenést mutatott, így a kezelt és kezeletlen próbatestek L* koordinátája közel azonos értéket vett fel az időszak végére.

A kezelt bükk próbatestek a* (vörös színezet) színekoordinátája egy hónap kitétség után növekedést mutatott, azaz erősödött a vörös színezet. A második hónapban azonban csökkenő tendencia kezdődött, a vörös színezet fokozatosan egyre gyengült. Az egyes menetrendek próbatestei közötti különbség a vörös színezet tekintetében kiegyenlítődött az időszak végére. A kezeletlen próbatestek vörös színezetének változása ugyanilyen tendenciát mutatott, végül a kezelt próbatestekével azonos értéket vett fel.

A kezelt bükk próbatestek b* (sárga színezet) színekoordinátája az első hónap növekedése után folyamatos, enyhe csökkenést mutatott. Az egyes menetrendek próbatestei közötti különbség a sárga színezet tekintetében kiegyenlítődött az időszak végére. A kezeletlen próbatestek sárga színezete folyamatosan, erőteljesen gyengült, az időszak végére a kezelt próbatestek értékei körül állt be.

A bükk próbatestek színinger különbsége (ΔE) az első három hónapban növekedett, később már csak kis mértékben változott. Már az első hónap végére megközelítette vagy elérte a szabad szemmel jól látható értéket (>12). Az alacsonyabb hőfokon kezelt próbatestek színinger különbsége kisebb mértékben változott, mint a magasabb hőmérsékleten kezeltéké vagy a kezeletleneké.

A kezelt gyertyán próbatestek L* színekoordinátája az első hónap gyenge növekedése után fokozatos gyengülést mutatott. Az egyes menetrendek próbatestei közötti különbség az L* színekoordináta tekintetében kiegyenlítődött az időszak végére. A kezeletlen próbatestek L* színekoordinátája fokozatosan csökkent, így közelített a kezelt próbatestek értékei felé.

A kezelt gyertyán próbatestek a* (vörös színezet) színekoordinátája fokozatosan gyengült az időszak alatt. A kezeletlen próbatestek vörös színezete szintén gyengült, de a kezeltékhez képest kisebb mértékben.

A kezelt gyertyán próbatestek b* (sárga színezet) színekoordinátája az első hónap növekedése után folyamatos, erőteljes csökkenést mutatott. Az egyes menetrendek próbatestei közötti különbség a sárga színezet tekintetében kiegyenlítődött az időszak végére. A kezeletlen próbatestek sárga színezete kezdettől fogva gyengült, az időszak végére a kezelt és a kezeletlen próbatestek értékei megközelítették egymást.

A gyertyán próbatestek színinger különbsége (ΔE) az első két hónapban nem változott, később növekedésnek indult. A harmadik-negyedik hónap végére megközelítették vagy elérték a szabad szemmel jól látható értéket (>12) az alacsonyabb hőfokon kezelt és a kezeletlen próbatestek. A magasabb hőfokon kezelték ezzel szemben a vizsgált ciklus végén is többnyire csak megközelítették ezt a szintet.

A vizsgálatok során a különböző mértékben hőkezelt próbatestek hasonlóan viselkedtek. A kezelt próbatestek színe kisebb, vagy közel azonos mértékben változott a vizsgált időszak alatt, mint a kezeletleneké. Ez alapján elmondható, hogy a hőkezelt faanyag kültéri színtartóssága nem romlott a kezeletlen faanyaghoz képest, a szín hosszú távú megőrzéséhez azonban szükséges valamilyen felületkezelő anyag használata. Valamint szükséges a vizsgálat

további folytatása, a kezelt faanyagok hosszabb távú viselkedésének felméréséhez kültéri viszonyok között.

4. Szilárdsági, sűrűségi, zsugorodás-dagadási és egyensúlyi nedvességi, gombaállósági vizsgálatok végrehajtása.

A **nyomószilárdság** minden fafajnál nőtt a kezelések hatására, minden menetrend esetén. A kapott eredmények azonban változóak voltak fafajonként. Az elért javulás mértéke 4-25% között mozgott, fafajtól és menetrendtől függően. A 180°-os menetrendek általában nagyobb mértékben növelték a nyomószilárdságot, bükk esetében azonban azonos kezelési idő mellett a 200°C-os menetrendeken kezelt faanyagok értek el magasabb szilárdságot.

A faanyag nyomószilárdsága nagymértékben függ a sűrűségétől, ami a hőkezelés hatására kis mértékben nő, de magasabb hőmérsékleten ez kevésbé érvényesül a hőbomlás miatt. Ehhez még hozzájárul, hogy csökken az egyensúlyi fanedvesség, ami szintén a szilárdság növekedésével jár azonos klíma mellett. A nyomószilárdsági vizsgálatok során a hőkezelt próbatestek gyakran több darabra estek szét a rostok mentén a maximális teherbírás elérésekor, ellentétben a kezeletlen próbatestekkel, amelyek a hagyományos törésképeket mutatták (elnyíródás, zúzódás, hasadás). Ez is azt támasztja alá, hogy hőkezelés hatására a faanyag ridegebb lesz, veszít rugalmasságából.

A **hajlítószilárdság** minden fafajnál azonos tendenciát követett, azaz a kezelési idő és hőmérséklet növelésével egyre kisebb értékeket mutattak a próbatestek. A 180°C-os és a 200°C 2 órás menetrendeken kezelt faanyagok hajlítószilárdsága nőtt, vagy szinte változatlan maradt, a 200°C-os 4 és 6 órás menetrendek a gyertyán kivételével viszont már alacsonyabb értékeket mutattak a kezeletlen faanyaghoz képest. A vizsgált faanyagok közül a gyertyán volt az egyetlen, amelynek minden menetrend hatására nőtt a hajlítószilárdsága.

Ennek oka feltehetően a vízfelvétel csökkenésének és a sűrűség növekedésének szilárdságnövelő hatása (azonos klíma mellett véve), valamint a faanyagszerkezet kémiai leépülésének szilárdságcsökkentő hatása közti arányban keresendő. Az intenzívebb menetrendek esetén (magasabb hőmérséklet, hosszabb kezelési idő) a hőbomlás gyengítő hatása egyre inkább kioltja a csökkent nedvességtartalom és az egyre kevésbé növekvő sűrűség szilárdságnövelő hatását.

A **zsugorodás/dagadás** jelensége az egyes fafajokon belül sugár és hűrirányban általában közel azonos mértékben csökkent. A 180°-os kezelések hatására 20-25% körüli, a 200°C-os kezelések hatására 30-50% körüli mértékben. A magasabb kezelési hőmérséklet minden esetben kisebb zsugorodás/dagadást eredményezett. Kimagasló eredményt mutatott a bükk ebben a tekintetben, hiszen sugár és hűrirányban 180°C-os kezelési hőmérséklet hatására 50-55%-kal csökkent a zsugorodás/dagadás, 200°C-os hőmérsékleten pedig 55-70%-kal.

A magasabb kezelési hőmérsékleten elért jobb eredmény a faanyagban magas hőmérsékleten lejátszódó folyamatokkal magyarázható. A faanyagban lejátszódó pirolízis során a vízfelvételért felelős cellulóz- és hemicellulóz-molekulák láncai töredeznek, a víz megkötésének alapját képező szabad hidroxil-csoportok (-OH) pedig leépülnek. Ez utóbbi jelenség hatására a faanyag kevesebb vizet tud megkötni, így csökken a sajtfalak méretváltozása, a zsugorodás-dagadás jelensége.

Az **egyensúlyi fanedvesség** jelentősen csökkent a kezelések hatására minden fafajnál. A 180°C-os menetrendek esetében a kezelési időnek nem volt jelentős befolyása az egyensúlyi fanedvességre, 200°C-os menetrendek esetén azonban többnyire jelentős eltérés volt az egyes

kezelési idők okozta változásokban. A legnagyobb csökkenést minden esetben a 200°C 6 órás menetrend eredményezte, bár csertölgy és gyertyán esetében a 200°C 4 órás menetrend is ugyanakkora csökkenést eredményezett.

Hőkezelés hatására a fát alkotó cellulóz és hemicellulóz molekulák szabad hidroxil-csoportjai degradálódnak, lebomlanak. Ennek hatására a faanyag kevesebb vizet tud felvenni és megkötni, így csökken az egyensúlyi fanedvesség. Minél nagyobb arányú a hidroxil-csoportok degradációja, annál inkább csökken a vízfelvétel. Ez a jelenség jól nyomon követhető a vizsgált faanyagok egyes menetrendjeihez tartozó szorpciós izotermákon.

A **gombaállósági vizsgálatok** keretében célul tűztük ki a hőkezelések gombaállóságra gyakorolt (várhatóan kedvező) kedvező hatásának egzakt kimutatását.

A próbatestek mérete: 50x25x15 mm, melyek egyenletes rostlefutásúak, tillisztól, álgesztől és elszíneződéstől mentesek. A gombákkal szembeni ellenálló képességet a próbatest tömegcsökkenésével fejezzük ki. A vizsgálatba bevont farontó gombák:

-*Poria placentea*(Fries) Cooke sensu J. Eriksson

Törzs: FPRL 280 (Bildung Research Establishment-Garston-Watford-Herst-WD2 7JR-UK)

- *Coniophora puteana* (Schumacher ex Fries) Karsten

Törzs: BAM Ebw.15 (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, D-12205 Berlin).

- *Coriolus versicolor* (Linnaeus)

Törzs: CTB 863 A (Központi Erdészeti Intézet, 10, avenue de Saint-Mandé, F-75012 Paris).

Megfigyeltük, hogy a hőkezelt minták tömegcsökkenése kisebb volt, mint a kezeletleneké, fafajtól és kezeléstől függően 8-86%. Megállapítottuk, hogy a kezelés jelentősen javítja a gombaállóságot mindegyik vizsgált fafaj esetében. A hőmérséklet és a kezelési idő emelkedésével csökken a gombabontás mértéke.

A kapott eredmények alapján a hőkezelt faanyagok több jellemzője is javult, azonban tartószerkezetek alapanyagaként nem javasolható a felhasználásuk, mivel ridegebbé válásuk ezt hátrányosan befolyásolná. A bükk és az álgesztes bükk hőkezelése során nem jelentkeztek repedések az intenzív hőközlés ellenére sem, gyertyán és csertölgy 200°C-os kezelése során azonban néhány esetben kialakultak belső repedések. Ezeket a repedéseket az intenzív hőközlés hatására hirtelen megnövekvő belső gőznyomás hozta létre, ami a gyengébb sejtfalú bélsugarakat szétszakította. Ennek kiküszöbölésére további vizsgálatként javasolható az alacsonyabb kiindulási nedvességtartalom a hőkezelés során (~6-8%), valamint a próbatestek kíméletesebb felmelegítése.

Felhasználási területként elsősorban a kültéri alkalmazások javasolhatók, mint például kerti bútorok, kerítéselemek, kültéri burkolatok (pl. zajvédő falak, rámpák). Azonban mindezek mellett beltéri felhasználásra is javasolható az így előállított faanyag, hiszen rendkívül dekoratív színárnyalatok állíthatók elő a kezeléssel, ami megnövekedett méretstabilitással párosulva a parketta és egyéb faburkolatok kialakítása során lehet kedvező választás.

5. Publikációk összeállítása

Kutatási eredményeinket több lektorált tudományos folyóiratban, és számos konferencia-kiadványban megjelent cikkben publikáltuk.