

# Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése

II. rész: Történelem és szabadalmak. A tömörítési folyamat tulajdonságai és a tömörítést követő eljárások

BÁDER Máttyás<sup>1</sup>, NÉMETH Róbert<sup>1</sup>, ÁBRAHÁM József<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faanyagtudományi Intézet

## Kivonat

A tanulmány áttekintést ad a fa rostirányú tömörítésével kapcsolatban megjelent szabadalmakról, a tömörítési folyamat jellegzetességeiről, és a faanyag tömörítését követő kezelési lehetőségekről. 1917 óta számos szabadalomban megjelent a fa rostirányú tömörítése, cikkek és könyvek egyaránt foglalkoznak a technológiával. A plasztifikálás utáni tömörítés során a faanyagot meg kell támasztani az oldalirányú kihajlás megakadályozására, csökkentve eközben a fellépő súrlódási erőknek az egyeneses préselést hosszirányban gátló hatását. Két fő eljárást lehet alkalmazni az eredeti mérethez viszonyított, általában 10–25% mértékű longitudinális irányú tömörítés után, melyek eltérő tulajdonságú termékeket eredményeznek. A nyomást a préselés után megszüntetve a faanyag „visszarugózik”, 3–5% maradandó rövidülés mellett a hajlíthatóságát a kiszáradásig őrzi meg, ezt követően újra merevvé válik. A másik módszer szerint a tömörítés befejeztével a faanyag redukált hosszúságát rögzíteni kell, majd szárítani-hűteni, minek következtében a beállított hosszát megtartva lényegesen nagyobb sűrűségű, és a későbbiekben is hajlékony lesz a faanyag. A tömörített fa kisebb keresztmetszetek esetében kézzel is hajlítható, nagyobb keresztmetszeteknél szerszámokat, vagy célgépeket kell alkalmazni a megfelelő rádiusz eléréséhez, viszont mindenkor lényegesen kisebb erővel, és a repedések-gyűrődések megjelenéséig nagyobb mértékben hajlítható a normál rostlágyított faanyaghoz képest.

**Kulcsszavak:** rostirányú tömörítés, történeti áttekintés, famodifikáció, hajlítás

## Overview of the Theoretical and Practical Issues of Longitudinally Compressed Wood

Part 2: History and patents. The properties of the compression process and the treatments after compression

### Abstract

This study presents an overview of the patents concerning the longitudinal compaction of wood, the characteristics of the compression process and the treatment of wood directly after compression. Several patents, articles and books have been published since 1917 on the longitudinal compression of wood. There are two main methods used after completing the compression process, resulting in products with different properties. One method is eliminating the pressure after 10–25% reduction in length, in which case the wood springs back. There is a residual shortening of 3–5% of the initial length, but the wood is still bendable until dried. After that it will be rigid again. The other method is restraining the longitudinal springback of wood after compression while cooling and drying, resulting in higher density and permanently flexible wood. The compressed wood is bendable by hand for low cross-sections. However bending tools and machines shall be used for large cross sections, even if it can be bent using much less force and to a larger extent, compared to normal softened wood.

**Keywords:** compression in the fibre direction, longitudinal compression, historical overview, wood modification, bending

## Bevezetés

Thonet első szabadalma után 75 évvel, 1917-ben jelent meg az első rostirányú tömörítésen alapuló eljárás, amely új lehetőségeket mutatott a fa hajlításának technológiájában. Azonban ennek a megoldásnak alkalmazásához még sok évtizednyi fejlesztésre és az eredeti szabadalmon alapuló módosított eljárások és találmányok sorára volt szükség, mire 1988-ban piacra került a rostirányú tömörítésen alapuló, ipari célokra alkalmas modern berendezés (Compwood M. Ltd. 2008). A folyamat gyakorlatilag bármilyen keresztmetszetben elsősorban nedvesen, de akár hideg és száraz állapotban is hajlékony alapanyagot eredményez, mely a normál (tömörítetlen) faanyaghoz képest sokkal szélesebb intervallumban felhasználható: kisebb sugárba, alaktartó módon hajlítható, különleges körülményeket nem igénylő módon.

Több tanulmány és szabadalom foglalkozik a longitudinális irányú tömörítéssel (Hanemann 1917a és 1917b; Holzveredelung GmbH. 1926a és 1926b; Magyar–Amerikai Faipari Rt. 1927; Thurn 1932; Thurn és Thurn 1943; Sparke 1989; Thomassen és tsai. 1990a és 1990b; Buchter és tsai. 1993; Deibl és tsai. 1999; Volkmer és tsai. 2001; Szabó 2002; Szabó és tsai. 2005; Kuzsella és Szabó 2006; Ivánovics 2008; Kuzsella 2011a és 2011b; Kuzsella és tsai. 2011; Ivánovics 2012).

A cikksorozatban a fa hosszirányú tömörítésével kapcsolatos tudnivalók, eddigi fontos kutatási eredmények és alkalmazott módszerek, ipari tapasztalatok, valamint a termékek mechanikai tulajdonságai kerülnek bemutatásra, azok kritikai értékelésével. A sorozat előző cikke ismertette a rostirányú tömörítési eljáráshoz alkalmas alapanyagokat, ezek előkészítési módjait és a tömörítés sejt szintű elméletét (Báder 2015). E rövid áttekintés a longitudinális préselés innovációjának történelméről kíván információt nyújtani. Egyúttal a tömörítési folyamat tulajdonságai és a faanyag tömörítését követő kezelési lehetőségek tudományos szinten is bemutatásra kerülnek, míg a következő rész a tömörítés hatására bekövetkező mechanikai változásokkal, a megmunkálási tulajdonságokkal és a termékek felhasználási lehetőségeivel foglalkozik.

## A rostirányú tömörítés története, szabadalmak

E fejezet nem tér ki a faanyag hajlításával kapcsolatos történelem áttekintésére, mely az időszámítás kezdete előtti évezredekbe nyúlik vissza, csupán a rostirányú tömörítéssel foglalkozik, a cikksorozat tematikájának megfelelően. A tömörítés történelme a XX. század elejétől indul, mely időszakban már a modern kor követelményeinek megfelelően voltak dokumentálva fejlesztések, szabadalmak, könyvek, esetleg tanulmányok formájában. Ezáltal lehetséges az időrendet követve a tömörítés fejlődésének irodalomhű bemutatása.

1841 után, amikor Michael Thonet német születésű, az Osztrák–Magyar Monarchiában tevékenykedő bútortaláló és gyártó jogot kapott, hogy bútoralkatrészeket a módszerének megfelelően hajlított fából készítsen, a tervezők és a gyártók felfedezték ezen új termék konstrukciós és gazdasági előnyeit. A korabeli, fahajlításon alapuló bútorokra világszerte növekvő igény mutatkozott, aminek hatására kutatásokat kezdtek, hogy jobb (olcsóbb és egyszerűbben kivitelezhető, sorozatgyártásba jobban illeszkedő) megoldásokat találjanak a tömörfa ipari hajlítására. A hajlítás folyamata, amely során gőzöléses melegítéssel a tömörfa időlegesen rugalmassá tehető, évezredek óta ismert. Hajlításkor a belső, kisebb íven nyomás alá kerül a fa, míg a külső oldalon a feszültségmentes réteg (semleges szál) elhelyezkedésétől függően húzásnak lehet kitéve. A repedés- és törésmentes hajlítás elve szerint a semleges szál minél közelebb kell vinni a húzott oldalhoz, például acél húzószalag alkalmazásával, mert húzás hatására a fa alig tud megnyúlni, inkább szakadnak a rostjai (Hanemann 1917b). Ez adhatta az ötletet a longitudinális irányú tömörítésre: a fát összenyomva a későbbi hajlításkor a húzott oldalon eredeti állapotához képest nem, vagy csak kis mértékben lesz nyújtásnak kitéve a faanyag, tehát az a repedéstörés megjelenéséig kisebb sugárba hajlítható. Nem mellékes, hogy a fa rugalmassági modulusa is jelentősen csökken, tehát a tömörítés következtében könnyebben alakítható alapanyag áll rendelkezésre.

1917-ben jelent meg az első szabadalom a fa rostirányú tömörítésére vonatkozóan. A későbbiekben a döntő áttörést egy tömörítő gép hozta meg, amely megfelelő minőségben volt képes tömöríteni a természetes faanyagot, és így lehetővé vált az egyszerű és jó minőségű hajlítás. A longitudinális irányban préselt fa nagymértékű alakváltozásokra képes, bármely irányban kis repedés és törés miatti veszteséggel hajlítható. A hajlítás egyszerű eszközökkel és sablonokkal megoldható, melyek használatát könnyű megtanulni (Anssary 2006), de ezek taglalása jelen cikkben terjedelmi korlátok miatt nem megoldható. Mára a fa tömörítésével és tömörítés utáni hajlításával kapcsolatosan tudományos publikációk, szabadalmak és élő szaktudás is rendelkezésre állnak. Magyarországon szakkönyvben először Szabó (2002) ismertette a tömörítéses hajlítással kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat,

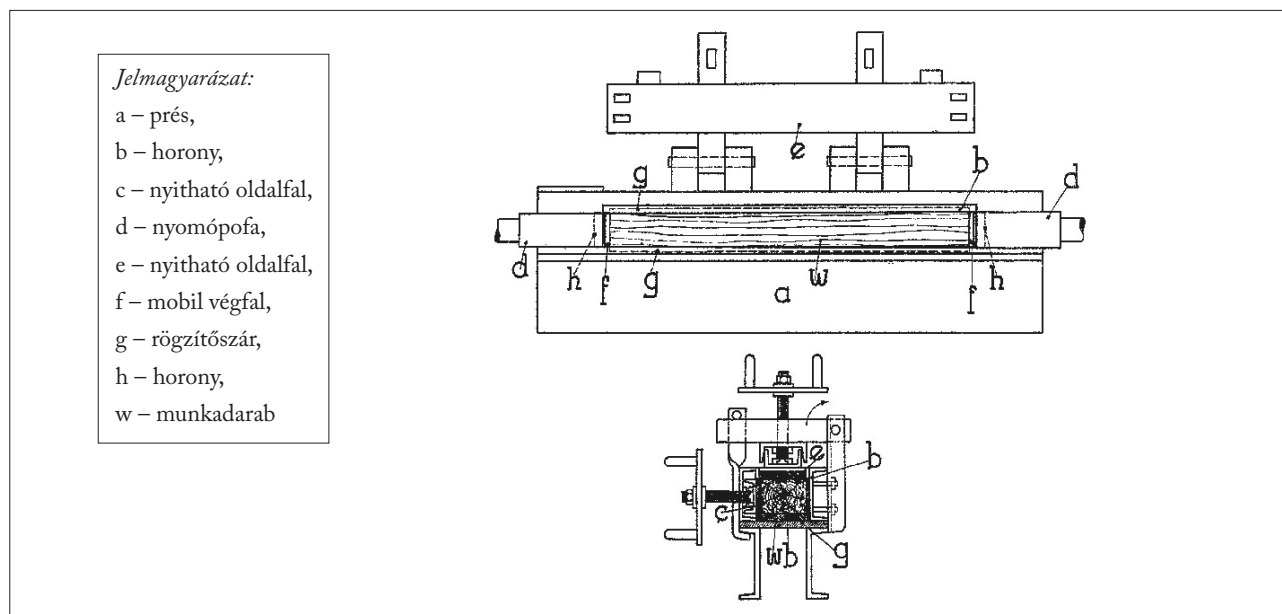
tudományos és ipari eredményekre egyaránt támaszkodva. A következő, időrendben felsorolt ismertető a fa rostirányú tömörítésével közvetlenül kapcsolatban álló újításokat, szabadalmakat mutatják be.

A fa rostirányú tömörítésén keresztüli hajlíthatóvá tételével kapcsolatos első szabadalmat 1917-ben a Deutsches Reich Reichspatentamt (Német Birodalmi Szabadalmi Hivatal) jegyezte be a Max Hanemann (1917a) által benyújtott fejlesztés alapján. E szerint a fát először főzni vagy gőzölni kell, majd forró és nedves állapotban a présbe helyezni, ahol a munkadarabokat a kihajlás megakadályozása végett egy vastag burkolat, a préhüvely veszi körbe a folyamat során. A nyomópofákkal a fát szálirányban összepréselve, majd szárítva és lehűtve a faanyag fűrészeltető és megmunkálható, egyúttal hajlítható lesz. Az előkészítési eljárás legfőbb jellemzője, hogy a fa nincs deszkákra vágva, hanem nagyobb méretekben főzés vagy gőzölés útján úgy van lágyítva és a rostok irányában tömörítve, hogy lehűtés és kiszáritás után nem nyeri vissza újra a régi hosszát, következésképpen tartósan hajlékony marad. A munkadarabok a későbbiekben tetszőleges alakban előállíthatóak lesznek.

Az első szabadalom beadása után néhány hónappal készült egy kiegészítő dokumentum is, melyben a tömörítő berendezésnek egy termelékenyebb változata kerül bemutatásra, valamint szó esik a rostirányra merőleges tömörítésről, mert előtte csak szálirányban történő préselés szerepelt. A nyomás fenntartása a szárítás és lehűtés idejére jobban alakítható faanyagot eredményez. A végtermékhez megfelelő méretűre előkészített fát egy kihajlást megakadályozó, kiegészítő fémszalagokkal ellátott erős hüvelybe kell helyezni. A megfelelő mértékű préselés után a fejlapok egymáshoz rögzíthetőek az előzetesen behelyezett fémszalagokkal, és utána a nyomópofákat vissza lehet húzni. Így a tömörített fadarab rögzített hosszúsággal kivehető a préhüvelyből, szárítható és lehűthető lesz, majd a rögzítő készülék levétele után megmunkálható. A kísérletek szerint a rostirányú és a rostirányra merőleges tömörítés egy időben megtörténhet és szintén hajlítható fát ad, de ekkor igénybevétel esetén a lehetséges törésvonal a rostirányban fekszik (Hanemann 1917b). A fenti megállapításból következően a kombinált tömörítés hatására a rostelválás veszélye megnövekszik – hiába kapunk könnyen hajlítható faanyagot, valamint a szálszakadás esélye hiába csökken le – nem lehet elfogadható kihozattal a céloknak megfelelő félkész- vagy készterméket létrehozni. Az előzőek miatt a rostirányra merőleges irányú tömörítéssel hajlítás céljából nem érdemes foglalkozni, csupán a rostirányú tömörítésnek van létjogosultsága.

A későbbiekben újabb szabadalmak, technológiák jelentek meg, melyek Hanemann kísérleteinek gyakorlati alkalmazását, tökéletesítését, továbbfejlesztését célozták. Elsőként a Holzveredelung GmbH. (1926a) az előzőekben felvázolt szabadalom téziseinek megfelelően üzemelő, ipari körülmények között alkalmazható gépet mutatott be, a berendezés felépítésére vonatkozó jellegrajzokkal kiegészítve. A gépet használták az akkori Német Birodalom területén, tehát a rostirányban tömörített hajlékony fa ipari előállításának kezdete az 1920-as évek második felére tehető. A leírtak szerint a cél hajlítható fadarabok készítése főzés vagy gőzölés utáni szálirányú tömörítéssel úgy, hogy a készülék tevékenysége a nedvesség eltávolítása előtt befejeződjön. A tömörítő berendezés olyan kialakítású, hogy – bár a tömörítés során megnövekedő keresztmetszetű egy vagy több munkadarab oldalai a présfalnak nekifeszülnek – ennek ellenére elcsúsztathatók annak mentén (1. ábra). A rögzítő készülék a présformán belül a munkadarabot nyomó préslap alatt fekszik, tömörítés után a munkadarabra erősíthető és így a présformából kivéve tömörített állapotban tartja a fát a gyors szárítás érdekében (2. ábra). A szabadalom kiterjed a félkész termékek megmunkálására is. Ahhoz, hogy a munkadarab egy kívánt formát tartósan megőrizzen, sablonra kell hajlítani, majd a teljes kiszáritást követően a fa tetszőleges ideig a beállított alakját megtartja (Holzveredelung GmbH. 1926a).

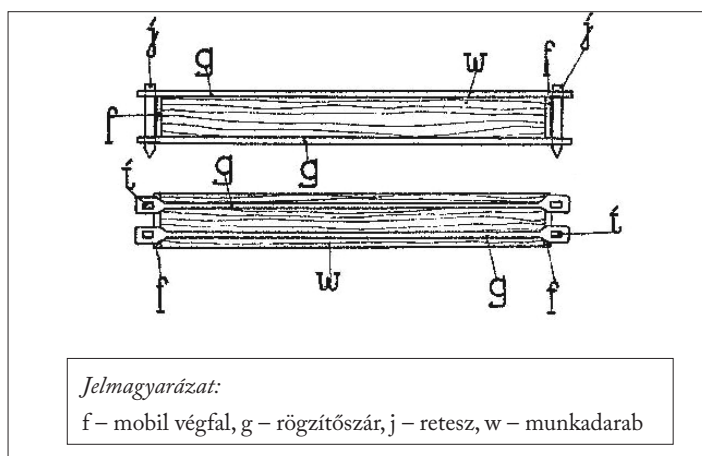
A rostlágyítás a fa tömörítést megelőző előkészítésének egyik kritikus pontja. Megfelelő lágyítás hiányában nem lesz egyenletes a tömörítés, ebből következően a hajlíthatóság sem lesz egyenletes a munkadarab hossza mentén. A szintén 1926-ban bemutatott eljárások a rostlágyítás gyorsítására, tökéletesítésére és a faanyag szerkezeti különbségeiből adódó tömörítési egyenlenségek kiküszöbölésére lettek megalkotva. A tömörítési folyamat előtt a fát jól ismert módon főzni vagy gőzölni kell. Csökkentett légnyomáson gőzölve a fűrészárut, vagy még inkább víz jelenléte mellett gőzölve, esetleg légritka térbe csupán forró vizet engedve a normál lágyítási időnek csak a töredéke szükséges. A cikksorozat első részében részletesebben megtalálhatók az említett módszerek (Báder 2015), melyekkel a fa normál lágyítási idejének jelentős része további kezelés nélkül elhagyható, és a tömörített faanyag egyenletesebben és nagyobb méretben hajlítható lesz. A művelet bármilyen szivattyúhoz csatlakoztatható tartályban vagy helyiségben megvalósítható, és a fát rakatokba rendezve is lehet plasztifikálni (Holzveredelung GmbH. 1926b).



**1. ábra** Az első ipari tömörítő gép metszeti rajzai (forrás: Holzveredelung GmbH. 1926a)

**Figure 1** Longitudinal and cross-sections of the first compressing machine (source: Holzveredelung GmbH. 1926a)

A következő évben világszerte bejegyzett magyar találmány (Magyar–Amerikai Faipari Rt. 1927) a hosszú faanyagok egyenes tömöríthetőségének irányában fejlesztette tovább az eddig megismerteket. A bemutatott módszerrel csökkenteni lehet a fa és a préshüvely közötti súrlódást. A másik újító megoldása, hogy a hosszirányú tömörítő erőt a berendezés nem kizárólag a bütüfelületeken, hanem egy részét szükség esetén az oldalfalak mentén is átadhatja. A szabadalom indoklása szerint Max Hanemann fejlesztése hosszabb fahasábok állandó hajlékonyá tételére nem alkalmas, mert a tömörítési munka közben a présforma oldalfalain, bélésein aránytalanul nagy súrlódás keletkezik és ez a tömörítő erő jelentős részét felemészti. A két végén nyitott sajtolóforma belsejét olyan támasztó- és vezetőlapokkal vagy lécekkel burkolva, melyek a formában a fával együtt el tudnak mozdulni, és a fával érintkező felületeiken a finom recézéssel, kiugrásokkal és mélyedésekkel, hullámvonal vagy kilincsfogazásszerű profilozással vannak ellátva, megoldódik a probléma (3. ábra). A fának a tömörítés irányában való mozgását megengedik, viszont az ellenkező irányba való elmozdulását gátolják. Lehetséges a tömörítés folyamán a préselő erő irányában a támasztó- és vezetőlapokat is elmozgatni, melyek ebben az esetben, mint szerszámok, ad-dicionális tömörítő erőt adnak át a fa végeitől távolabb eső szakaszokon. A bemutatott rendszer hátránya, hogy a kialakításából adódóan a munkadarabok felületét roncsolja.

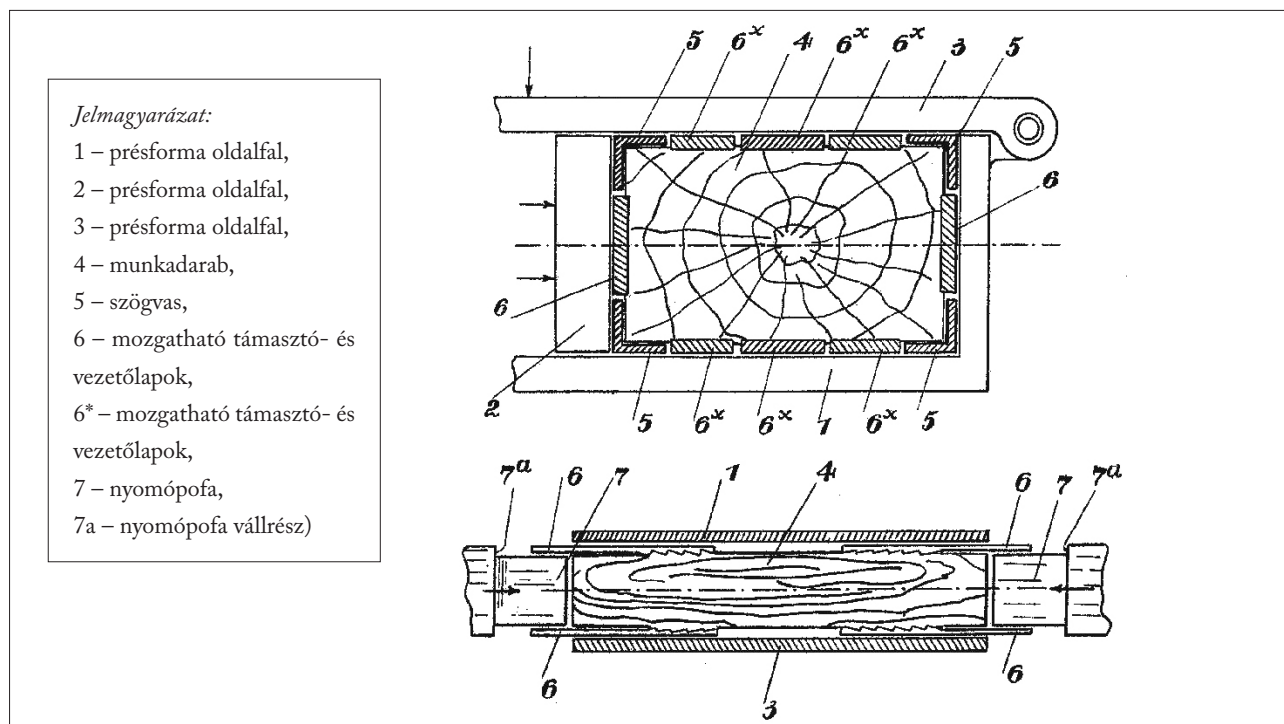


**2. ábra** A rögzítő készülék rajzai (forrás: Holzveredelung GmbH. 1926a)

**Figure 2** Sketches of the clamp (source: Holzveredelung GmbH. 1926a)

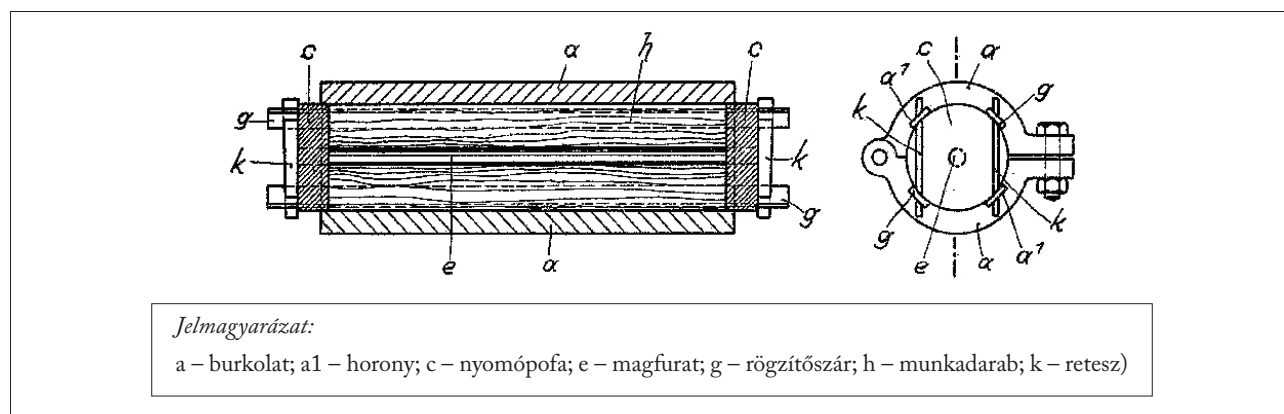
A tömörítésnek egy egészen más megközelítését mutatta be August Thurn (1932), a technológiai részletek kidolgozása nélkül. Korábban a kizárólag hibamentes, szögletes keresztmetszetű tömörített faanyag előállítása nagy anyagvesztéssel jelentett, mert az alapanyagként szolgáló hengeres fából leeső, szintén jó minőségű részek hulladékká váltak. Kör keresztmetszetű faanyag használata esetén a szálszerkezetet zavaró hibák kevésbé befolyásolják a tömörítés minőségét. A hengeres vagy kúpos fa alapanyagot egy kihajlást megakadályozó burokba kell helyezni, melyben akár különböző átmérőjű rönkfák is tömöríthetők megfelelő vastagságú helykitöltő köpenyvel körbevéve (4. ábra). A rostlágítás és a későbbi szárítás felgyorsítható a belet is tartalmazó gesztrész eltávolításával, ami keményebb a többi farésznel, és így a tömörítés során megbontaná a faanyag egységét.





**3. ábra** A tömörítő gép metszetei (forrás: The Anglo European Comp. Ltd. 1928)

**Figure 3** Compressing machine sections (source: The Anglo European Comp. Ltd. 1928)



**4. ábra** Hengeres faanyagot hosszirányban tömörítő gép metszetei (forrás: Thurn 1932)

**Figure 4** Sketches of the clamp (source: Holzveredelung GmbH. 1926a)

Tömörítéskor ezt helyettesíteni kell egy nyomásálló fém magrésszel, hogy ne maradjon üreg, ahová a körülötte lévő fatest roncsolódva benyomódhat, a művelet után pedig el kell azt távolítani. A szárítási folyamat gyorsítása érdekében a bél helyén található lyukon is forró sűrített levegő keringethető. A szabadalomban megadott módon előállított tömörített fa előállítási költsége a leírtak szerint körülbelül a negyedére csökken, ezen felül nagyobb terhelhetőséget lehet elérni a korábban előállított kisebb keresztmetszetű prizmatikus termékekhez képest. Lehetségessé válik tömörített fából hámozott furnér előállítása is.

A leírt újítási lehetőségeknek csak utóbbi tétele tűnik érdemlegesnek, mert a faipar hajlítható fával foglalkozó területein jellemzően fűrészárura van igény, ami nagyon leszűkíti a hengeres választék felhasználási lehetőségeit.

Az August Thurn nevével fémjelzett, de halála után megjelent dokumentumban egy minden tömörített faanyagra vonatkozó leírás található a fa szárítás utáni hajlíthatóságának beállítására vonatkozóan. Az elérhető legnagyobb hajlékonyság nem mindig szükséges, de a kézenfekvő módszer, mellyel kisebb mértékű tömörítés mellett ugyan kevésbé, de a célnak megfelelően hajlítható anyagot kívántak előállítani, nem bizonyult megvalósíthatónak. A szerzők valószínűleg a kis tömörítési arány miatti kevésbé egyenletes préselés és hajlíthatóság okán jutottak erre a következtetésre. Normál tömörítés után a fának összepréselt állapotban tartása közben

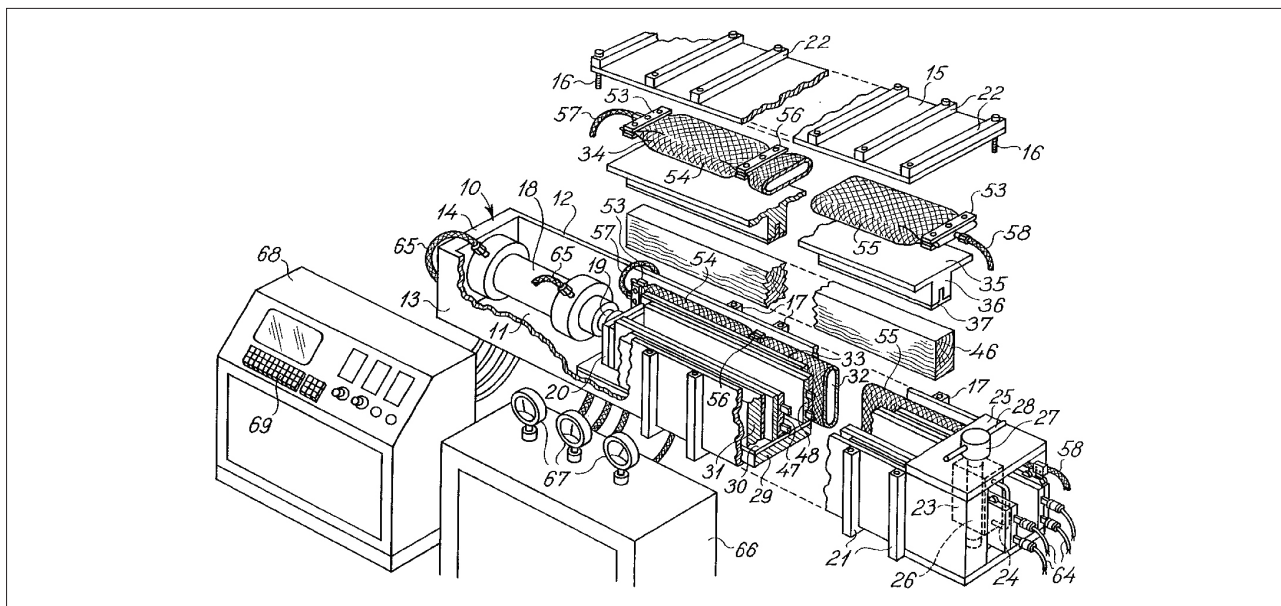
végzett hűtése és szárítása nagyon hajlékony faanyagot eredményez. Ez fordítva is igaz: a tömörítést követően a fát hosszirányú visszarugózása után hűtve-szárítva az kevésbé lesz hajlítható. A normál tömörítés utáni rostirányú nyúlás szabályozásával tehát a hossz mentén egyenletes rugalmasság mellett kívánt hajlékonyságú faanyag állítható elő a mindenkor felhasználati céloknak megfelelően (Thurn és Thurn 1943).

Kollmann (1936) fatechnológiával foglalkozó könyvében a rostirányban tömörített fa jellemzése már éppúgy helyet kap, mint a Thonet-technológiával készülő hajlított faanyagé. A tömörített fát Schneider (1939) is említi repülőgépekkel és repülőgép alkatrészekkel foglalkozó könyvében, mint alapanyag-beszerzési és -felhasználási lehetőség. Egy amerikai szabadalomban Curtis (1948) a szövőszék-alkatrészként hiánycikknek számító, és más akkoriban elérhető anyagokkal nem megfelelően helyettesíthető somfa pótlására törekszik, speciálisan tömörített juhar, bükk és nyír alapanyagot felhasználva. A 12% alatti nedvességtartalmú fát 2 órán keresztül kell főzni kőolajszármazékokban a könnyebb préselés, a lignin lágyítása érdekében, majd 2 nap száradási idő szükséges. Hosszabb főzési idő esetén az igényelt nyomóerő jelentősen megnövekszik a faanyag telítődése miatt, tehát a fa nem érheti el a rosttelítettségi állapotot. A fűtött présformába rostirányban belenyomva a legalább 100 °C hőmérsékletűre előmelegített fatömböt annak szélessége 84%-ra tömörödik össze, míg a vastagsága változatlan marad. A technológiából kifolyólag a hossza is lecsökken. A 41 cm hosszúságú lécs tömörítése körülbelül 2 percet vesz igénybe és 23–46 MPa nyomóerő szükséges hozzá. Nincs szó a fa hajlíthatóvá tételéről, a fenti művelet csupán a somfa mechanikai tulajdonságának beállítását célozza, egyéb fafajokból, egy adott technológia kiszolgálására, melyet a lágyítás utáni hosszirányú és keresztirányú tömörítés együttes alkalmazásával ér el.

Az egymás utáni kétszeri rostirányú tömörítés száraz állapotban is megmaradó, plasztikus állapothoz közeli állandó rugalmasságot ad a fának Sparke (1989) szerint, és akár 4 méter fölötti hosszúságban is megvalósítható. A megfelelő lágyítás után a fát rostirányú nyomásnak kell kitenni egy erre a célra fejlesztett présben, amit hűtés és legalább részben szárítás követ, miközben a fa a présbe van szorítva. Ezután újra rostlágyítás következik, majd ismételt tömörítés. Ennek az a hatása a fa szerkezetére, hogy a rostok kötőanyagaként szolgáló lignin-hemicellulóz közléplemez és a sejtfal közötti kötés gyengül, vagy a sejtfal maga roncsolódik, így biztosítva a fa állandó rugalmasságát. Hűvös helyen, száraz állapotban, normál páratartalom mellett is megmarad ez a tulajdonsága. A másik lehetőség az első folyamatban 20%-ban tömörített fa fokozatos tehermentesítése lassú nyomáscsökkentéssel. Ebben az esetben a kezelés második részében a fát változó nyomásnak, vagy szakaszos tömörítő hatásnak kitéve a sejtelcsúszás, vagy deformáció gyorsítására a tömörítés változó oldalnyomással történik. További lehetőségek, hogy a második kezelés folyamán a fa nyomás alatt marad a préselés után, amíg le nem hűl, és a hossza a tömörítésnek megfelelő marad, vagy a második kezelés végén, a tömörítés után a présnyomás hirtelen megszűnik. A szerző a felsorolt tömörítési változatok fizikai, mechanikai eredményére és előnyeire-hátrányaira nem tér ki, csupán mint a kétlépcsős tömörítési folyamat lehetséges kiviteli változatait mutatja be.

Thomassen és tsai. (1990a és 1990b) tömörítő berendezést állítottak össze. A szövegezés jellegrajzokkal kiegészítve került levédésre, mely a megelőző bejegyzett találmányokat és a kor technológiai újdonságait is felhasználja az eredeti, 1989.08.24-i dán szabadalom elsőbbségére hivatkozva. A berendezésben a hidraulikus dugattyú által az ellentétes irányú tömörítő erők nem csak a fatömb végein hatnak, hanem az oldalfelületeken is, mint súrlódási erők. A fát az oldalfal alkatrészekkel körülvett tömörítő formába kell helyezni, melyek együttesen elmozdíthatók a forma hossza mentén. Az oldalfal alkatrészeket hozzá kell nyomni a fatömbhöz, például egy felfújható tömlő segítségével (5. ábra). Ilyen módon súrlódásos kapcsolatba kerülnek, és a fának hosszirányú tömörítő erőket tudnak továbbítani. Együttal a munkadarab kihajlása megelőzhető a keresztirányú erőknek az oldalfelületekre történő rugalmas alkalmazásával oly módon, hogy a fa a hossz tengelyére merőleges irányban bizonyos mértékig kitérjen. A fatömb oldalfelületeire gyakorolt keresztirányú erők változtathatók, és a hossz mentén akár különböző értékűek is lehetnek. Legelőnyösebb az ellenkező irányú összenyomó erőket a fatömb oldalfelületeire és végeire egyaránt kifejteni, így akár egy, a végektől távolabb elhelyezkedő szakasz kizárólagos tömörítése is megoldható, mert a dugattyú a bütök nyomásával egyidejűleg elmozdíthatja az oldalfal alkatrészeket is. Napjainkban e szabadalom elvén működő tömörítő berendezések üzemelnek számos országban.

Az előkészítés és a tömörítés szokásos folyamatát adott keresztmetszetű faanyag felhasználásával mutatják be, és a rostirányban tömörített faanyag előnyeit, felhasználási lehetőségeit taglalják Deibl és tsai. (1999). A gyártási idő és a hajlításhoz szükséges fizikai erőfeszítések csökkentéséhez a fa tulajdonságait úgy kell módosítani, hogy az alkalmas legyen például fémek hajlítására használt gépeken való alakításra. A tömörített fa a sok



**5. ábra** Tömörítő gép elvi összeállítása (forrás: Thomassen és tsai. 1990a)

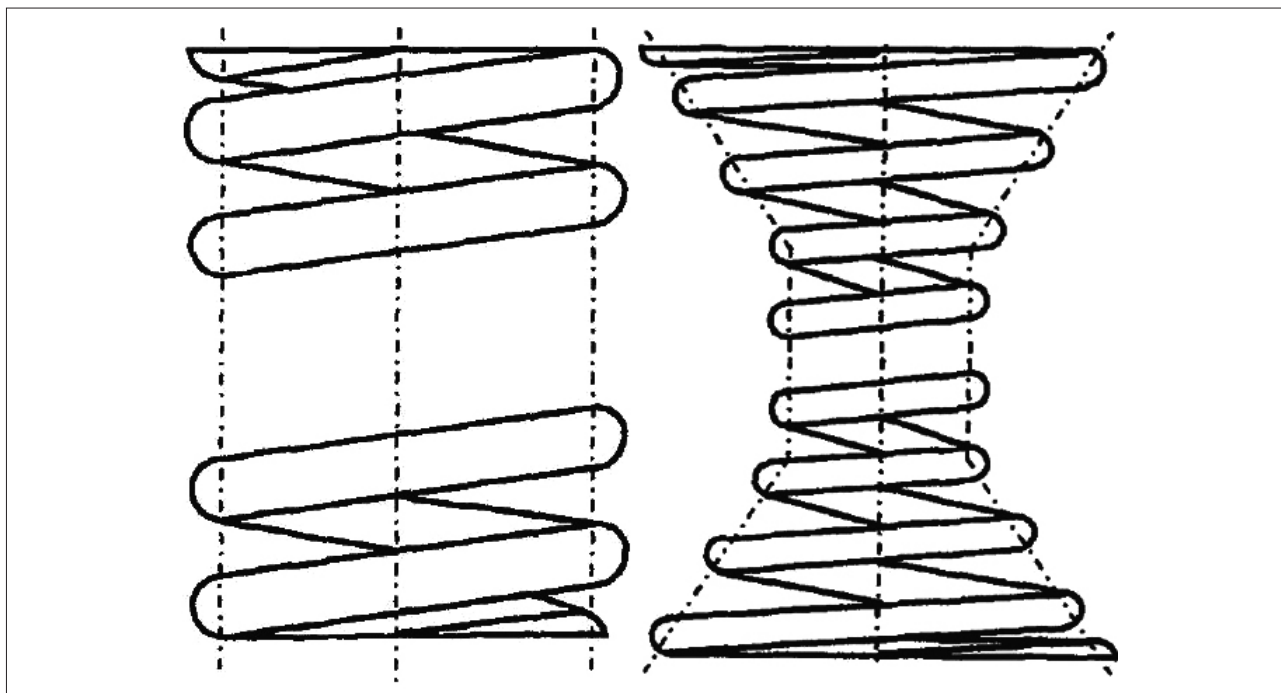
**Figure 5** Theoretical scheme of a compressing machine (source: Thomassen et al. 1990a)

esetben alkalmazott többretegű hosszitoldott íves alkatrészek helyett felhasználható, és akár nagyobb méretekben is elérhető. Tömörítés után a hajlítást követően alacsony rugalmasságának köszönhetően megtartja a formáját, és ragasztva vagy mechanikusan rögzítve is felhasználható. Beépítéskor lehetőség van kis korrekciókra, például a hajlítási sugár módosítására a pontos helyszíni beállításhoz.

Volkmer és tsai. (2001) továbbfejlesztették a XX. században alkalmazott módszereket. A cél náluk is olyan eljárás és berendezés megalkotása volt, mellyel egyenletesen lehet hosszirányban tömöríteni prizmatikus, kör, vagy ovális keresztmetszetű faanyagot. Az első munkamenetben a rostlágtyítás után előtömörítést kell végezni a munkadarab teljes keresztmetszetében két, a kihajlást, elmozdulást és keresztirányú méretnövekedést megakadályozó befogás között szabadon maradó szakaszon, mely a teljes hossz 10–20%-át teszi ki. A szabad rész mindig egy szakasznyival arrébb kerül, ennek végül egy teljes hosszában előtömörített munkadarab lesz az eredménye. Célszerű legfeljebb 5% tömörítési arányt alkalmazni, és ehhez fafajtól függően egy maximális nyomóerőt meghatározni, amit elérve az aktuális szakasz tömörítése leáll. Minden szakasz préselése után pihentetni kell a fát, ami ekkor kissé visszarugózik. A második ciklusban a korábbi szabadalmakból megismert módon az előtömörített fát teljes hosszában rögzíteni kell a kihajlás megakadályozására úgy, hogy a fa a berendezésben rostirányban el tudjon mozdulni. Így az előre meghatározott hosszúságúra préselhető lesz, a dokumentum szövegezése szerint a kétlépcsős tömörítési eljárásnak köszönhetően eredeti hosszának akár a felénél is kisebbre. Ha a fát egy pontos végleges hosszra szükséges beállítani, akkor tömörítés után a hosszúságát rögzítve (nyomás alatt tartva) kell szárítani. A fát a kívánt végső méretnél kb. 10%-kal rövidebbre préselve, a nyomás alatti szárításhoz szükséges rögzítő eszközök elhagyhatóak. Az előzőek szerint tömörített és szárított faanyag 5%-os hosszirányú nyújtásával a merevség tovább csökken, így a hajlítás még könnyebbé válik.

Bár ez a fejezet a tömörítés különböző kivitelezési lehetőségeivel foglalkozik, mindenképpen említést érdemel egy magyar szabadalom, melyben tömörített fából készíthető különböző különleges termékek és ezek mechanikai adatai szerepelnek. A korábban ismertetett tömörítési technológia fő paramétereit írja le, miszerint a fa nedvességtartalma 20–25% kell legyen, a tömörítés mértéke 10–30%, miután a fa visszarugózva 3–10% maradandó hosszirányú alakváltozást szenved. Újdonságként tárgyalja a találmány szerinti tömörített fából készült farugót, ami megfelelő rugógeometria mellett képes az energiatárolási- és leadási, ebből következően csillapítási műveletekre (6. ábra). Elsősorban gépészeti, gyógyászati, esetleg bútort- vagy játékszerkezetekbe építve használható fel, valamint irányított mozgáshoz, rugalmas tehermentésre, esetleg rezgéscsillapításra lehet alkalmas (Szabó és tsai. 2005).

Amint a bemutatott találmányi leírásokból kitűnik, a rostirányú tömörítés fejlődése során számos felhasználói igényrel, és sok, a technológiával kapcsolatban felmerült problémával kellett megküzdeni az elmúlt közel



**6. ábra** Néhány, fából készíthető spirálrugó forma (forrás: Szabó és tsai. 2005)

**Figure 6** Some spring shapes can be made from wood (source: Szabó et al. 2005)

száz évben. Ezek kiküszöbölésére több megoldást kidolgoztak, így napjainkban már lehetséges a jó minőségű tömörített faanyag előállítása. A fejlesztések célja a mai napig a korábbiaknál jobb kihozatal elérése az előre meghatározható és egyenletes terméktulajdonságok beállítása mellett, miközben a gyengébb minőségű alapanyag felhasználhatóvá tételére is igény mutatkozik gazdaságossági és környezetvédelmi okokból.

#### **A tömörítés aránya, tömörítési nyomás, és a tömörítés utáni közvetlen kezelés**

A sorozat előző cikkében (Báder 2015) bemutatásra került a fa rostirányú tömörítésének elmélete a szükség-szerűen bekövetkező mikroszkopikus és makroszkopikus elváltozásokkal együtt, valamint az elengedhetetlenül szükséges rostlágnyítás. E fejezet a tömörítés módját, körülményeit, véghezvitelét és a műveletet közvetlenül követő eljárásokat ismerteti.

Ivánovics (2012) leírása alapján a fa plasztifikált állapotban kerül a présbe, ahol a hosszának megfelelően 10–25%-kal összenyomják. A legnagyobb tömörítési arány legfeljebb 25–28% lehet, utána egy vagy több helyen tönkremegy a présben a faanyag. Komáromy (1999), Szabó (2002), Szabó és tsai. (2005), valamint Sőregi (2007) munkáikban tömörítési aránynak 10–30%-ot adnak meg. Sőregi (2007) szerint a napjainkban használatos technológiával a 3 m hosszúságú faanyagot első lépésben 2,4 méterre zsugorítják, majd engedik visszarugózni 2,8 méteres méretig, így javítva a félkész termék szilárdsági értékeit. A lágnyított faanyag tömöríthetőségi aránya legnagyobb részben a fafajtól és a végtermékkel szemben támasztott követelményektől függ (Thomassen és tsai. 1990a), a legáltalánosabban alkalmazott 20% mértékű tömörítés mindegyik fenti megállapításnak megfelel. A plasztifikálás hőmérsékletéhez közeli hőfokot a teljes tömörítési folyamat alatt tartani kell a sorozat előző cikkében tárgyaltak szerint.

A 15–30 perc alatt az eredeti hossz 75–85%-ára tömörített fát két fő módon lehet tovább kezelni. Egyrészt rövid pihentetés és a tömörítő erők megszüntetése után az anyag mindössze 3–5% maradandó rövidülést szenved, és amíg 20% fölött van a nedvességtartalma, megtartja alakíthatóságát. Szárítás és hűtés után rögzül a forma. Ez a nedvesen hajlítható tömörített fa. Komáromy (1999) és Szabó és tsai (2005) megfogalmazásában nedvesen hajlítható fa előállításakor a nyomás csökkenésével a faanyag 'visszarugózik'. A maradandó hosszcsökkenés a tömörítési fok, mely az összenyomás nagyságától függően 3–10%.

Másik esetben a tömörítő erők fenntartásával szárítva és hűtve a teljes rövidülés maradandó lesz, minek következtében a szárazon hajlítható, nagymértékben tömörített fa mindig hajlékony marad (Thomassen és tsai. 1990a, Deibl és tsai. 1999, Compwood M. Ltd. 2001, Kovács és tsai. 2006).



Egyenletes intenzitást feltételezve, az előzőekben megadott időhöz tartozó tömörítési arány körülbelül 0,6–2,0%/min préselési sebességnek felel meg. A Rasmussen Eng. Aps. (2014) ismertetője szerint a 20–25% nedvességtartalmú faanyag 80%-ra történő tömörítése 9–10 percet vesz igénybe. Az ismertetőben bemutatott gép teljes kihasználtságával számolva 2–2,2%/min (60–66 mm/min) sebességgel tömörít a berendezés. Dienes (2013) szerint a préselési idő 15–30 perc, mely során 5–20%-os hosszcsökkenés történik. Ez maximummal 0,67%/min sebességet jelent, ami 3 méteres alapanyaggal számolva 20 mm/min értéket eredményez. Sőregi (2007) 80 mm/min tömörítési gyorsaságot ad meg, amely szintén 3 méteres hosszúságú alapanyaggal 2,67%/min relatív sebességet jelent.

Az olasz Candidus P. Sas. cég (2013) adatai alapján a tömörítés során a bükk sűrűsége 730 kg/m<sup>3</sup> értékről 890 kg/m<sup>3</sup> értékre, átlagosan 21,9%-kal növekedett. A 20%-os tömörítési arányt figyelembe véve a különbség azzal magyarázható, hogy a présformából csak szobahőmérsékletűre hűtés és 12% nedvességtartalomra való szárítás után lett kivéve a faanyag, tehát a maradandó hosszcsökkenése 20%-os volt, és ezzel együtt a fatömb keresztmetszeti méretei a tömörítés hatására kissé növekedtek, majd a szárítás során csökkentek, de összességében kisebb mértékben, mint a tömörítetlen fa szárítása esetében.

Kuzsella (2011a) szerint a különböző fokú tömörítések után visszarugózott hasábok hosszának és keresztmetszetének módosulása megközelítőleg kiegyenlíti egymást, minek következtében a sűrűség változása nem nevezhető szignifikánsnak. A Compwood M. Ltd. (2008) tömörítő gépeket gyártó cég a sűrűség 5%-os átlagos növekedéséről számol be. A szintén 20%-os tömörítés hatására tapasztalható jelentős különbség annak tulajdonítható, hogy a préselést követő rövid pihentetés után szüntették meg a nyomóerőt, így a visszarugózás miatt lényegesen kisebb lett a fa maradandó hosszcsökkenése, ezzel együtt a sűrűsége is. A visszarugózott faanyag kismértékű maradandó rövidülést szenved, míg a tömörített állapotában szárított-hűtött anyag hossza megfelel a présben beállított tömörítési aránynak. A szárítási idő 5%-kal csökken a gőzöletlen faanyagéhoz képest a rostlágýtásnak köszönhetően. A félkész termék a szárítás után megmunkálható (Deibl és tsai. 1999). Thomassen és tsai. (1990a) megállapítása alapján a dugattyú által kifejtett nyomás értéke elérheti a 35 MPa értéket, míg Dienes (2013) munkájában 25 MPa nyomásérték található.

Kidolgoztak többféle megoldást a technológia termelékenyebbé tételére is. Merev rögzítő készüléket lehet alkalmazni, melyet a tömörített fára erősítve és a présből kivéve megtartja a beállított hosszúságot és a szárítás-hűtés ideje alatt a prés dolgozhat tovább, vagy ennek a rögzítő készüléknek egy flexibilis változatában a tömörítés után, szárítás alatt már egy kívánt formára, sablonra alakítható a termék (Holzveredelung GmbH. 1926a). A préselés utáni visszarugózás szabályozásával a fa elérhető legkisebb rugalmasságánál bármilyen nagyobb maradandó érték beállítható a normál faanyag rugalmassági határáig (Thurn és Thurn 1943). Volkmer és tsai. (2001) szerint a körülbelül 5%-ban előtömörített faanyagot az eredeti hosszúsághoz képest 20–30%-kal, de akár 50% mértékben újból tömörítve a hajlíthatóság tovább növekszik. Egyúttal célszerű a fát a kívánt végső méretnél kb. 10%-kal rövidebbre tömöríteni, az utókezelési folyamatot egyszerűsítve és gyorsítva. A kétszer tömörített faanyag 5%-os megnyújtásával a hajlítás még könnyebbé válik.

Sparke (1989) arra az eredményre jutott, hogy a fát két egymást követő hosszirányú tömörítési folyamatnak kitéve az eljárás képlékeny állapothoz közeli rugalmasságot biztosít a rostoknak hűvös, száraz körülmények között is. Speciális hajlítási igényekhez a szakaszos tömörítés szintén megoldható. Minden rostirányban tömörített fa a szokásos faipari műveletekkel megmunkálható az eljárás befejezése után akár azonnal, vagy szükség esetén tárolást követően. E kérdéskört a sorozat következő cikke tárgyalja.

## Összefoglalás

A cikk áttekintést ad a fa rostirányú tömörítésével kapcsolatban megjelent szabadalmakról, a tömörítési folyamat jellegzetességeiről, és a faanyag tömörítését követő kezelési lehetőségekről.

A XX. század eleje óta foglalkoztak a Thonet-technológiát leegyszerűsítő fahajlítási módszer létrehozásával. A rostirányú tömörítés bizonyult járható útnak e téren. 1917-ben született meg német nyelvterületen az első szabadalom ezzel kapcsolatosan, aminek alapelveire épül az azóta létrehozott összes többi fejlesztés. Az 1990-es évektől már elérhető az ipari célokra alkalmas technológia sorozatgyártás szintjén, a modern kor egyes vívmányait is felhasználva. A tömöríteni kívánt fát plasztifikált állapotban kell a berendezésbe helyezni, mely meggátolja a rostirányú nyomás hatására létrejövő kihajlítást. Eleinte nehézséget jelentett a présforma oldalfalainak nekinyomódó faanyag súrlódása, mely gyengítette, vagy akár meg is szüntette a tömörítési erőt az

anyag hossza mentén annak közepe felé haladva, ezért a végekhez közel eső részek sokkal nagyobb mértékben összenyomódtak, mint a közbülső szakasz. Mára ezt a problémát elfogadható módon sikerült kiküszöbölni, így 2,5 méteres hosszúság felett is hozzá lehet jutni tömörített faanyaghoz.

A plasztifikált faanyag a napjainkban alkalmazott technológiával – legnagyobb részben a fafajtól és a végtermékkel szemben támasztott követelményektől függően – 10–30%-ban tömöríthető. Általában a 20% mértékű tömörítési arány megfelelő. A nedvesen hajlítható tömörített fa préselés után visszarugózik, és 3–10%-os marandó rövidülést szenved. Amíg 20% fölött van a nedvességtartalma, megtartja alakíthatóságát és szárítás-hűtés után rögzül a forma. A tömörített állapotában szárított és hűtött anyag hossza a présben beállított tömörítési aránynak megfelelő. Ezzel az eljárással a szárazon hajlítható tömörített fa mindig hajlékony marad.

Egy merev rögzítő készüléket erősítve a tömörített fára, az a présből kivéve megtartja a beállított hosszúságot és a szárítás-hűtés ideje alatt a prés tovább dolgozhat, így lényegesen termelékenyebbé válik a folyamat. Kétlépcsős longitudinális irányú összenyomással a korábban említett 10–30%-os tömörítési arány tovább növelhető, nyújtással kombinálva megközelíthetőek a plasztikus állapotú faanyag tulajdonságai szobahőmérsékleten is.

A tömörített fa a normál tömörítetlen alapanyagnál hajlékonyabb, feldolgozható a szokásos faipari műveletekkel és az eredeti alapanyag minden egyéb jellemzőjével rendelkezik. A hosszirányban préselt fatömb sokkal könnyebben hajlítható, alakítható formailag, mint egy hasonló, de tömörítetlen faanyag. A tömörített fa lényegesen kisebb sugárba hajlítható repedésmentesen, valamint a többirányú hajlítást és csavarást is jobban tűri, mint a normál plasztifikált faanyag.

A longitudinális irányú tömörítés mikroszkopikus és makroszkopikus aspektusainak áttekintése után a sorozat következő cikke a tömörítés hatására bekövetkező mechanikai változásokkal, megmunkálási tulajdonságokkal és a termékek felhasználási lehetőségeinek bemutatásával foglalkozik majd.

## Irodalomjegyzék

- Anssary E. A. (2006) An Approach to Support the Design Process Considering Technological Possibilities. Doktori értekezés, University of Duisburg-Essen, Department of Art and Design, Essen, Németország, 207 o.
- Báder M. (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése 1. rész. Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. Faipar 63. évf. 1. szám - <http://dx.doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.1.8>
- Buchter J., J. Adelhoej, J. Ljoerring, O. Hansen (1993) Introducing Compressed Wood. Danish Technological Institute, Department of Wood and Furniture, Taastrup, Dánia, 2–32. o.
- Candidus P. Sas. (2013) Bendywood - 1st Time User Guide. Candidus Prugger Sas, Bressanone, Olaszország, 3. o.
- Compwood M. Ltd. (2001) Advanced wood bending technology – Compressed hardwood for easy and cold bending. Compwood Machines Ltd., Slagelse, Dánia, 2–3. o.
- Compwood M. Ltd. (2008) English Manual. <http://www.compwood-eng.dana8.dk/data/images/man%20eng.pdf> Megtekintve: 2008.09.14.
- Curtis J. R. (1948) Method of Making Shuttle Blocks. United States Patent Office, 2586308 sz. szabadalmi leírás, 1–4. o.
- Deibl H.-J., J. Illhardt, H.-J. Walter (1999) Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen aus biegbarem Holz. Deutsches Patent- und Markenamt, DE19913775 A1 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Dienes Zs. (2013) Terméktervezés tömörített faanyag felhasználásával. Szakdolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 58 o.
- Hanemann M. (1917a) Holzaufbereitungsverfahren. Deutsches Reich Reichspatentamt, 318197 sz. szabadalmi leírás, 1. o.
- Hanemann M. (1917b) Holzaufbereitungsverfahren - Zusatz zum Patent 318197. Deutsches Reich Reichspatentamt, 321629 sz. szabadalmi leírás, 1. o.
- Holzveredelung GmbH. (1926a) Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von weichbiegsamen Holz. Deutsches Reich Reichspatentamt, 458923 sz. szabadalmi leírás, 1–3. o.
- Holzveredelung GmbH. (1926b) Verfahren zum Biegsammachen von Holz. Deutsches Reich Reichspatentamt, 488765 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.

- Ivánovics G. (2008) Fatömörítő célgép tervezése. *Gép*, 59(10–11): 56–59.
- Ivánovics G. (2012) Nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat, Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2–6. o.
- Kollmann F. F. P. (1936) *Technologie des Holzes*. Springer Verlag, Berlin, Németország, 690–691. o.
- Komáromy G. (1999) A fa hajlításának elméleti alapjai és néhány gyakorlati kérdése. Szakdolgozat, Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 41 o.
- Kovács Zs., J. Süveg, T. Papp (2006) Mechanikai megmunkálás II. – A fa hajlítása. Kézirat, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 57–68. o.
- Kuzsella L., I. Szabó (2006) A fa tömörítésének hatása a mechanikai tulajdonságokra. In: Konferencia kiadvány, Bitay E. szerk. XI. Fial Műszaki Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006.03.24–25., 233–236. o.
- Kuzsella L. (2011a) Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira. Doktori értekezés, Miskolci Egyetem Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Miskolc, 151 o.
- Kuzsella L. (2011b) Rostirányú tömörítés hatása a bükk logaritmikus dekrementumára. In: Konferencia kiadvány, XVI. Fial Műszaki Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2011.03.24–25., 173–176. o.
- Kuzsella L., P. Bárczy, I. Szabó (2011) Ősi anyag új feldolgozása, avagy tömörített fából energiátároló rugó. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 144(2): 40–41.
- Magyar–Amerikai Faipari Rt. (1927) Eljárás és berendezés hosszabb fahasábok állandó hajlékonya tételére. *Magyar Királyi Szabadalmi Bíróság*, 96736 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Rasmussen Engineering Aps. (2014) Bendwood Engineering. <http://bendwoodengineering.com/> Megtekintve: 2014.02.13.
- Schneider H. (1939) *Flugzeug-Typenbuch, Handbuch der deutschen Luftfahrt- und Zubehör-Industrie*. Hermann Beyer Verlag, Leipzig, Németország, 596. o.
- Sőregi R. (2007) Vitorláshajó kabinbelső kialakítása tömörített fa alkalmazásával. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 55 o.
- Sparke B. (1989) Fremgangsmåde til fremstilling af træ med blivende fleksibilitet, især til anvendelse som kantlister, møbeldele og lignende formål, hvor der stilles s tore krav til træets bøjelighed (Eljárás tartósan rugalmas faanyag előállítására részben élzáró anyagnak, bútoralkatrésznek és ahol igény van a fa hajlíthatóságára). *Danmark Patentdirektoratet*, 170364 sz. szabadalmi leírás, 1–6. o.
- Szabó I. (2002) A fa hajlítása. In: Molnárné Posch P. szerk. *Faipari kézikönyv II.*, Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 60–61. o.
- Szabó I., L. Eckhardt, Gy. Czél (2005) Energiátároló tömörített farugó. *Magyar Szabadalmi Hivatal*, 226783 sz. szabadalmi leírás, 2–5. és 9. o.
- The Anglo European Company Ltd. (1928) Verfahren und Einrichtung zum ständigen Biagsammachen von langen Holzscheiten. *Deutsches Reich Reichspatentamt*, 516801 sz. szabadalmi leírás, 4. o.
- Thomassen T., J. Ljorring, O. Hansen (1990a) Eljárás és berendezés fatömb összenyomására. *Magyar Szabadalmi Hivatal*, HUT63087A sz. szabadalmi közzétételi példány, 2–19. és 25–26. o.
- Thomassen T., J. Ljorring, O. Hansen (1990b) Method and Apparatus for Compressing a Wood Sample. *United States Patent Office*, 5190088 sz. szabadalmi leírás, 1. o.
- Thurn A. (1932) Verfahren zur Herstellung dauernd biegsamen Holzes. *Deutsches Reich Reichspatentamt*, 636232 sz. szabadalmi leírás, 1–3. o.
- Thurn A., A. Thurn (1943) Verfahren zum Herstellen von weichbiegsamen Holz. *Deutsches Patentamt*, 946479 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Volkmer T., A. Wagenführ, B. Buchelt (2001) Verfahren zur Herstellung von dauernd weichbiegsamen Holz sowie Einrichtung hierzu. *Deutsches Patent- und Markenamt*, 10141391 C1 sz. szabadalmi leírás, 1–4. o.