

Nyugat-magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar

MODIFIKÁLT NYÁR FAANYAG PÁRADIFFÚZIÓS EGYÜTTHATÓJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Konzulens: Dr. habil Németh Róbert
Bak Miklós PhD. hallgató

Készítette: Novák Dániel

Sopron, 2012

A dolgozat elkészítése a TALENTUM – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP – 4.2.2. B – 10/1 – 2010 – 0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	3
1.1. A Nyárfa (<i>Populus</i>) jellemzői.....	3
1.1.1. Makroszkópos tulajdonságok	4
1.1.2. Mikroszkópos tulajdonságok	4
2. Irodalmi áttekintés, szabvány elemzése	5
2.1. Fick első törvénye izotermikus feltételeknél	5
2.2. A sejtfal kötöttvíz-diffúziós együtthatója	7
2.3. A sejtüregekben található levegő vízgőz diffúziós együtthatója	8
2.4. Szabvány elemzése	10
2.4.1. Tömegváltozás sebessége	10
2.4.2. Fajlagos páraáteresztő képesség	10
2.4.3. Pára áteresztés	11
2.4.4. Pára zárás	11
2.4.5. Pára áteresztő képesség.....	11
3. Vizsgálat.....	12
3.1. Vizsgálati anyagok modifikációja	12
3.2. Vizsgálati módszer	12
3.3. A mérés reprodukálásához szolgáló adatok.....	15
4. Vizsgálatok eredményei	16
4.1. A mért és számított adatok	16
4.2. A modifikálás befolyása az azonos anatómiai irányokkal rendelkező faanyagok páradiffúziójára	17
4.3. Az anatómiai irányok befolyása a modifikált faanyag páradiffúziójára.....	18
5. Összefoglalás.....	19
6. Mellékletek.....	20
7. Rövidítések, jelölések, mértékegységek.....	22
8. Köszönetnyilvánítás	23
9. Irodalomjegyzék.....	24

1. Bevezetés és célkitűzés

A faanyag bármilyen területen is nyerjen felhasználást, mindig kapcsolatban áll a lég-nedvességgel. Sok esetben a faanyagból készült tárgyak térelhatároló szerepet töltenek be, illetve feldolgozás során szárítási folyamaton mennek keresztül. Ezekben az esetekben a diffúziós tulajdonságok ismerete kiemelkedő fontosságú. A fenti tényező ismerete elengedhetetlen a nedvességtranszporttal járó folyamatok jobb megértéséhez. Mindezen indokok alapján joggal támadhat igény az egyes fafajok alapvető fizikai tulajdonságainak mélyreható megismerésére, jelen esetben a diffúzió kellő ismeretére. A faanyagok diffúziós tényezői elsősorban a fafajtól és az anatómiai irányoktól függenek, fontos befolyásoló tényező ezen kívül a klimatikus viszonyok.

A faanyagot alkotó sejtek falában lévő ún. kötött víz mennyiségi változása nagy mértékben befolyásolja a faanyag csaknem minden fizikai tulajdonságát, többek között a diffúziót is. Ezen kívül az előbb említett jellemzőre a környező tér (terek - ha a faanyag térelválasztást lát el) relatív páratartalma és hőmérséklete gyakorol alapvető hatást, mivel a faanyag higroszkóposága révén nedvesség tartalmát mindig a környezethez igazodó, egyensúlyi értéken igyekszik tartani. Ha a faanyag két felületének más az egyensúlyi nedvességtartalma (eltérő klímájú levegővel érintkezik) folyadékkoncentráció-különbség alakul ki, ami diffúzióhoz vezet.

A szakirodalmat tanulmányozva a faanyag anatómiai irányaiból és modifikációjából adódó diffúziós értékekre alig találunk adatot. Tehát a dolgozatom fő célja a nyár faanyag diffúziós tényező meghatározása a különböző anatómiai irányok és a modifikáció függvényében.

1.1. A Nyárfa (*Populus*) jellemzői

Hazánk fakitermelésének közel 10%-át kitevő nyár nemzetségnek 35 faja ismert, ebből Magyarország köztermesztésében 16 található meg. Jellemzően az északi mérsékelt éghőv fái, de mára a nagyszámú alfajnak köszönhetően már egyéb helyeken is telepítik.

Hazai fafeldolgozási szempontból a nyárakat két nagyobb csoportba lehet sorolni: a hazai nyárak közé tartozik a fehér, szürke, fekete és a rezgőnyár, míg a nemes nyárak közé a nemesített nyárfajták tartoznak (mint például az óriás nyár, az olasz nyár, vagy a Pannónia nyár). Nagy jelentőségük elsősorban abban rejlik, hogy a leggyorsabb növekedésű, a legnagyobb fatömeget adó fajok. Ezért nemcsak erdősítési, hanem ország fásítási terveinkben is jelentős szerepet töltenek be.

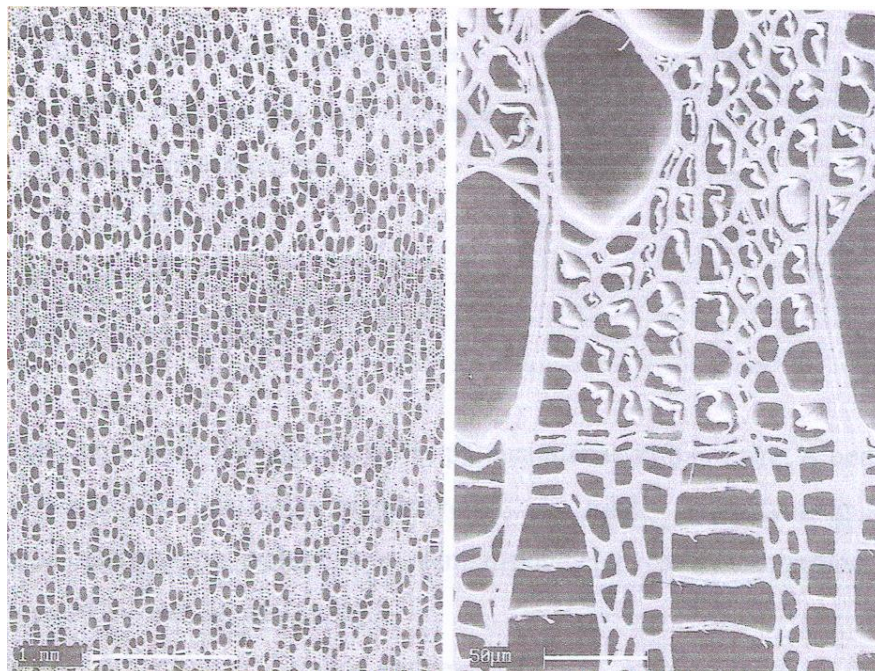
1.1.1. Makroszkópos tulajdonságok

A geszten belül a bél közeli juvenilis fa csak néhány évgyűrűt foglal magában, gyakorlatilag nem különül el. A geszt szijács néhány fajnál, fajtánál szintén határozottan elválik (pl. fehér-szürke nyár, óriás nyár), másoknál nem (pl. rezgő nyár).

Mindemellett a 30 - 40%-nyi szijács rész nedvessége lényegesen kisebb, mint a geszté. A frissen döntött törzseknél a gesztrész 180-200%, a szijácsrész 110-130% nettó nedvességtartalmú. Ez gondot okozhat a vastagabb anyagok szárításakor. Egyebekben a geszt, álgeszt és szijács fizikai jellemzői között jelentős különbséget nem tapasztaltunk. Az évgyűrűn belül a pászták határozottan nem elkülöníthetők, szélességük a fajtától és az éves csapadéktól függően 2-30 mm között változik. Az évgyűrű szélessége és a faanyag sűrűsége között a nyárak esetében nem található összefüggés.

1.1.2. Mikroszkópos tulajdonságok

A nyarak tipikus szórt likacsú fafajok, de az edények átmérője az évgyűrű szélessége mentén némileg csökken. Az egyes nyárfajták mikroszkóposan nem különíthetők el egymástól. A 0,5 mm hosszú edénytagok közötti áttörések egyszerűek. Tilliszesedés (különösen álgesztesedéskor) a nyáraknál is előfordul. A homogén bélsugarak egy sejtsor szélesek és 3-30 sejtnyi magasak. A libriform rostok bő üregűek, vékonyfalúak, átlagos hosszuk 1,0-1,3 mm.



1. ábra A nyár mikroszkópos képe

2. Irodalmi áttekintés, szabvány elemzése

A páradiffúzió lényege, hogy a víz átáramlik a porózus faanyagon gőz formában. Ha a faanyag két felületének más az egyensúlyi nedvességtartalma, akkor diffúzió alakul ki. Az páradiffúzió jelenségével sokan foglalkoztak, de kifejezetten a modifikált faanyagok páradiffúziójával és az ahhoz kapcsolódó tulajdonságokkal nem.

A vizsgálat az EN ISO 12572-es szabvány szerint történt, amelyet hivatalosan 2001-ben adtak ki. Az szabvány sok mindent szabályozott, de a próbatestek méretét nem, ezt később a vizsgálati módszernél (3.2. pont) kifejtem bővebben.

A páradiffúzió létrehozásához kellett egy nedvszívó közeg, amely a vízmentes kalcium-klorid lett. Ennek segítségével létre tudtam hozni a páradiffúziót, de a próbatestek légrés nélküli vizsgálatához kellett egy kitöltő anyag. A légrések kialakulása ellen az oldószer mentes szilikon ragasztót választottam. Így kialakultak a szabványnak megfelelő körülmények, és elkezdhettem mérni a tömegváltozást a próbatesteken. A mérést addig kellett folytatnom, amíg az utolsó két tömegváltozás közötti eltérés kisebb volt mint 5 %.

2.1. Fick első törvénye izotermikus feltételeknél

Diffúzióknak nevezzük a koncentráció gradiens változása által kiválasztott molekuláris tömegváltozást. Ebből következően a statikus nyomásváltozás nem szükséges feltétele a diffúzió kialakulásának. Fick első törvénye - hasonlóképpen a Darcy- és Fourier-törvényekhez - kapcsolatot teremt a fluxus és a koncentráció gradiens között állandósult körülmények mellett.

Ha ezt a fa víz-gőz áramlására írjuk fel:

$$D = \frac{w * L}{\Delta c * t * A}$$

Ahol:

D	a fa víz-gőz diffúziós együtthatója	cm^2/s
w	a t idő alatt átáramlott vízgőz tömege	g
A	áramlási keresztmetszet	cm^2
L	áramlási úthossz	cm
t	áramlási idő	s
Δc	koncentrációkülönbség	g/cm^3

Számtalan lehetőség létezik a folyadékáramlási potenciáljának kifejezésére. A nedves-ségtartalmat mintegy kiegészítve parciális vízgőznyomás és relatív légnedvesség - mindkettő egyensúlyban a faanyaggal, valamint a kémiai-potenciál és a szétterülési nyomás is jelentkezik (Skaar C. - Babiak M., 1982).

Az izotermikus környezetben lezajló nedvességáramlás kiszámítható a fa nedvességtartalmának vagy a parciális gőznyomás gradiensek ismeretében (Skaar C., 1954):

$$J = -D * \frac{dc}{dx} = -K_p * \frac{dp}{dx} = -K_M * \frac{dM}{dx}$$

Ahol:

J	fluxus	g/cm^2*s
D	a fa víz-gőz diffúziós együtthatója	cm^2/s
c	koncentráció	g/cm^3
K_p	a fa parciális vízgőznyomás együtthatója	$g*cm/N*s$
p	parciális vízgőznyomás	N/cm^2
K_M	nedvességtartalom-együttható	$g/cm*s*\%$
M	nedvességtartalom	$\%$

Minden koefficiens kifejezhető a diffúziós együtthatóval is, mivel ennek a használata a leginkább elterjedt:

$$-D * \frac{dc}{dx} = -K_M * \frac{dM}{dx} \Rightarrow K_M = D * \frac{\partial c}{\partial M}$$

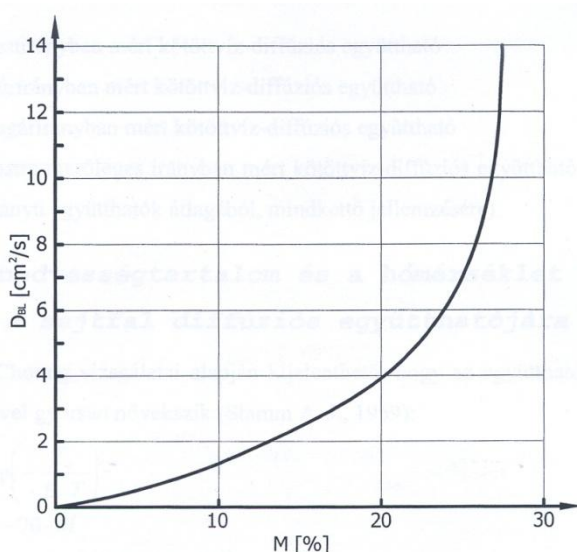
$$\partial c = \frac{G * \rho_w * \partial M}{100}$$

$$K_M = \frac{G * \rho_w * D}{100}$$

Ezek alapján látható, hogy a nedvességtranszport együtthatója meghatározható a nedvességtartalom, parciális gőznyomás és a kémiai potenciál ismeretében is. Az így kapott adatok könnyen átszámíthatók a fa víz-gőz diffúziós együtthatójává.

2.2. A sejtfal kötöttvíz-diffúziós együtthatója

Stamm (1959) 26,7 °C-on mérte a *Picea sitchensis* fafaj sejtfalaiban a rostirányú kötöttvíz-diffúziós együtthatót. A mérések előtt a sejtüregeket alacsony olvadáspontú bizmut-ólóm-ón ötvözzel öntötte fel. A próbatestek vastagsága 2,5mm - 5mm között változott. A mérési módszerének alapjául a nem állandósult állapotú eljárás szolgált, és így összefüggést lehetett teremteni a fa nedvességtartalma és a sejtfal kötöttvíz-diffúziós együtthatója között. Stamm rávilágított arra, hogy a páratartalom emelkedésével megközelítőleg exponenciális mértékben nő a diffúziós együttható értéke is (2. ábra). Ennek oka valószínűleg a légnedves-ség emelkedésével csökkenő kötési energia, mely a sejtfal és a vízmolekulák közötti kapcsolatot tartja fenn.



2. ábra Diffúziós tényező változása a faanyag egyensúlyi nedvességtartalmának függvényében (Siau J. F., 1984)

A kötési energia elvileg nullára csökken a rosttelítettségi határ elérésével, mivel az ezután felvett nedvesség szabadvíz formájában van jelen, és csak a gyenge kapilláris erők tartják. Hasonló eredményeket találunk Simpson magas hőmérsékleten kialakuló egyensúlyi nedvességtartalmakról írott könyvében is. Comstock és Choong állandósult állapotú- és nem állandósult állapotú eljárással végzett mérései igazolják, hogy ugyanazon (12 %-nál magasabb) nedvességnél regisztrált diffúziós együtthatók között különbség van attól függően, hogy az a faanyag adszorpciójához vagy deszorpciójához tartozik. Ezt a fa egyensúlyi nedvességértékeinek szorpció miatti differenciájával indokolta. Az állandósult állapotban történt méréseknél magasabb értékeket kapott (Comstock G. L., 1963 - Choong E. T., 1965).

Stamm ezek mellett a kötöttvíz-diffúziós együtthatók különböző irányokban mért értékei közötti arányokat is meghatározta:

$$D_{BLon} = \left\{ \frac{3 * D_{BTan}}{2 * D_{BRad}} \right\} = 2,5 * D_{BT}$$

Ahol:

D_{BLon}	rostirányban mért kötöttvíz-diffúziós együttható
D_{BTan}	húrirányban mért kötöttvíz-diffúziós együttható
D_{BRad}	sugárirányban mért kötöttvíz-diffúziós együttható
D_{BT}	rostra merőleges irányban mért kötöttvíz-diffúziós együttható (a húr és sugár irányú együtthatók átlagából, mindkettő jellemzésére)

2.3. A sejtüregekben található levegő vízgőz diffúziós együtthatója

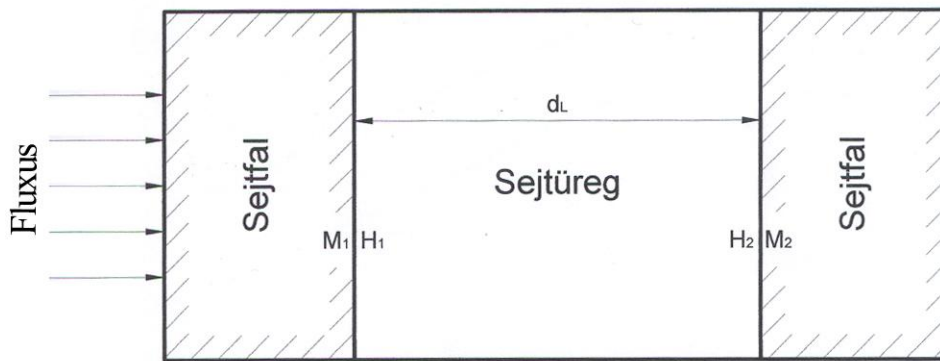
Annak érdekében, hogy a fa egészére kiszámíthassuk az elméleti diffúziós együtthatót, ismernünk kell a vízgőz sejtüregekben történő áramlásának koefficiensét is. Ezt a vízgőzt levegőben tanúsított diffúziós együtthatójának átalakításával nyerhetjük. A diffúziós együttható:

$$D_a = 0,22 * \frac{76}{1333,22 * P} * \left(\frac{T}{273} \right)^{1,75}$$

Ahol:

D_a	vízgőz levegőben tanúsított diffúziós együtthatója	cm^2/s
P	teljes nyomás	Pa
T	hőmérséklet	K

Azért, hogy megfelelően modellezhessük a fában lezajló diffúziót, D_a -t -mely a légnedvesség koncentráció gradiensen alapul- át kell alakítanunk egy a sejtfalra jellemző alapnedvességkoncentráció értéké (mely a levegő térfogatával megegyező sejtfaltérfogathoz tartozik). Ehhez a szorpciós izoterma ismerete szükséges, mivel, feltételezhetően a vízgőz koncentráció a sejtüregekben egyensúlyban van a sejtfalban lévő nedvességkoncentrációval (3. ábra).



3. ábra A diffúziót okozó nedvességekonzentráció különbség a sejtfal és a lumen között (Siau J. F., 1984)

Ha a nedvesség balról jobbra diffundál, akkor:

$$M_1 > M_2$$

$$H_1 > H_2$$

Ebből kifolyólag a sejtüreg relatív légnedvesség-gradiense meg kell, hogy egyezzen a sejtfal anyagát jellemző fanedvesség-gradienssel, melyet a szorpciós izoterma határoz meg.

Amikor D_a -t átalakítjuk, hogy a sejtfalban lévő nedvességekonzentráció gradiense legyen, -új jelöléssel D_v - a fa sejtüregeiben értelmezett vízgőz diffúziós együtthatót kapjuk meg. Definíció szerint mind D_a mind D_v egyenlő a gradiensek által osztott fluxussal.

Mindkét esetben azonos a fluxus, egyedül a gradiensek változnak. Az első esetben a gradiens a relatív légnedvességből és a parciális gőznyomásból számítható az egyetemes gőztörvény-nyel. A D_v -hez tartozó gradiens-érték a sejtfal magasabb nedvességekonzentrációja miatt sokkal nagyobb, a hasonló térfogatú levegő gradienséhez képest (Siau J. F., 1984).

2.4. Szabvány elemzése

2.4.1. Tömegváltozás sebessége

Minden egymást követő mérés után, ki kell számolnunk a tömegváltozást minden próbatestnél. Ehhez a következő képletre van szükségünk:

$$\dot{\Delta m}_{12} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

Ahol:

$\dot{\Delta m}_{12}$	egységnyi idő alatt bekövetkezett tömegváltozás	kg/s
m_1	a tömege a próbatestnek a vizsgált t_1 időpontban	kg
m_2	a tömege a próbatestnek a vizsgált t_2 időpontban	kg
t_1 és t_2	az egymást követő mérési időpontok	s

A mért tömegváltozásokból egy átlagot kell csinálnunk, hogy megkapjuk a tömegváltozási sebességet. A tömegváltozási sebesség jele G , mértékegysége kg/s.

2.4.2. Fajlagos páraáteresztő képesség

A fajlagos páraáteresztő képesség jele a g , amit az alábbi összefüggéssel kapunk meg:

$$g = \frac{G}{A}$$

Ahol:

G	tömegváltozás sebessége	kg/s
A	a felület amin a páradiffúzió végbemegy	m ²

A próbatestek kerületeiből meghatározott számtani középnek tekintjük A -nak.

2.4.3. Pára áteresztés

A pára áteresztés jele a W , amit a következő összefüggéssel kapunk meg:

$$W = \frac{G}{A * \Delta p_v}$$

Ahol:

Δp_v hőmérséklet és a relatív páratartalom alapján számolt érték -

Ha a hőmérséklet nagyobb 0 °C-nál, akkor a Δp_v értéke állandó. Ennek az értéke:

$$p_{sat} = \varphi * 610,5 * e^{\frac{17,269 - \theta}{237,3 + \theta}}$$

2.4.4. Pára zárás

A pára zárás jele a Z , ami a pára áteresztés reciproka. Meghatározása az alábbi módon lehetséges:

$$Z = \frac{1}{W}$$

2.4.5. Pára áteresztő képesség

A pára áteresztő képesség jele a δ , ami a következő összefüggéssel számítható:

$$\delta = W * d$$

Ahol:

d a próbatest vastagsága

m

3. Vizsgálat

Mind a mintatestek kialakítása, mind a diffúzió mérése a Faanyagtudományi Intézet anyagvizsgáló laboratóriumában történt. A vizsgálatok kontrollált légnedvességű és hőmérsékletű helyiségekben zajlott, így a szabványokban rögzített kívánalmaknak eleget tudunk tenni. A vizsgálatok április-május hónapok között került sor. Ez alatt az idő alatt elvégzésre került az anyagok modifikálása és méretre vágása, a próbatestekhez és a méréshez szükséges alapanyagok és technológiák beszerzése, a diffúzió okozta tömegváltozás mérése.

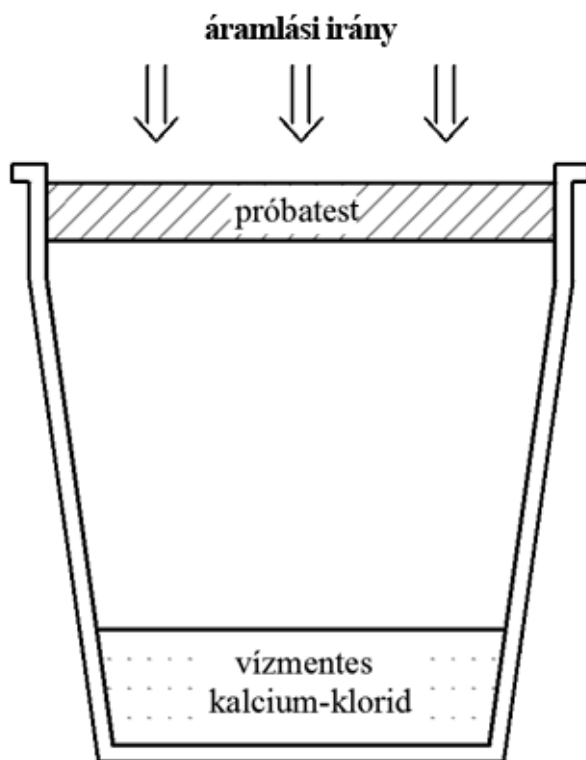
3.1. Vizsgálati anyagok modifikációja

A vizsgálat során három modifikálást hajtottunk végre a próbatesteken. Hőkezelés lenolajban, hőkezelés gőz atmoszférában és száraz hőkezelés. Ezen felül szükség volt kontroll próbatestekre is, de ezen semmilyen modifikációt nem hajtottam végre. A száraz és a gőz atmoszférás hőkezelés 180 °C-on történt, négy órán keresztül ezen a hőfokon tartva. A hőkezelés teljes felülete és kontrollálás alatt zajlott le. A lenolajos hőkezelés hat órán keresztül tartott, felfűtési és kiegyenlítési szakasz nélkül. A száraz és a gőz atmoszférás hőkezelés menetrendje megtalálható a 6.2-es mellékletnél.

3.2. Vizsgálati módszer

A próbatestek kialakításához először a diffúzió áteső faanyagot kellett előkészíteni. Mindegyik modifikált próbatestből kellett biztosítani 6 darabot, illetve a kontrollból is kellett 6 darab. A szabvány minimum 5 darabot írt elő, de a pontosság növelése érdekében inkább egy próbatesttel többel végeztem el a mérést. Ezeket a próbatesteket kellett méretre alakítani. Mivel a szabvány csak a próbatest minimális felületét adja meg (100cm^2), ezért ennek megfelelő méretű befogadó edényt kellett találnunk, amelyben a nedvszívó közeget el tudtuk helyezni. A próbatestek végül 10 mm vastagok és 88 mm átmérőjűek lettek. Kialakításuk tiszta sugár- illetve húrirányú síkkal történt, az anatómiai irányok vizsgálata céljából. Mivel a pontosság nagyon fontos a mérés során, ezért az átmérőt háromszor mértem le, és később a három adat átlagával számoltam tovább. A mérés itt két tizedes jegy pontossággal zajlott, tolómérő segítségével. A nedvszívó közeget befogadó edény végül egy műanyag cserép lett, amely tökéletesen ellátta a feladatát. A cserép adatai a mérés szempontjából elhanyagolhatóak. A cserépbe behelyeztem a nedvszívó közeget a szabványban megadott mennyiségben. Nedvszívó közegnek a vízmentes kalcium-kloridot választottam, a szabvány javaslata alapján.

Amikor ez a folyamat végbement, akkor rögtön be kellett tenni a próbatesteket a cserépbe, a tömítő anyaggal együtt, mert a nedvszívó közeg azonnal reakcióba lépett a levegővel. A tömítő anyagot a cserép belső oldalára vittem fel, hogy ezzel megakadályozzam a légrés lehetőségét. A próbatestek pontosan illeszkedtek a cserép belső falához, és a tömítő anyag tökéletesen ellátta a feladatát. Légrést és hibát nem találtunk egyik próbatesten sem.



2. ábra A próbatest végleges formája

A kész próbatestek tömegét lemértem három tizedes pontossággal az analitikai mérleggel. Ez lett az első mérés eredménye, ehhez a méréshez képest vizsgáltam a tömegváltozást. A próbatesteket 20 °C-on és 65 %-os páratartalom mellett tároltuk egy klímakamrában, hogy eleget tegyünk a szabványban leírt kívánalmaknak. A próbatesteket feljegyzett időpontokban mértük le, általában egy nap volt a mérések között, de a hétvégék miatt néhányszor előfordult, hogy két nap is eltelt a mérések között. A próbatestek mérésének időpontjai a 6.1-es mellékletnél megtalálható.



3. ábra A méréshez használt digitális analitikai mérleg

Mind a 4 fajta próbatestet ugyanabban a klímakamrában tároltuk, és a méréseket egyszerre végeztük mindegyik fajtán. A méréseket addig kellett folytatni, míg a két utolsó tömegváltozás közötti különbség nem volt kisebb, mint 5 %.

3.3. A mérés reprodukálásához szolgáló adatok

A próbatestek méretei, jelölések:

$d=10\text{mm} \pm 0,3\text{mm}$ (vastagság)

$\varnothing=88\text{mm} \pm 0,4\text{mm}$ (átmérő)

első betű : „K” - kontroll; „O” - olajos; „G” - gőzölt; „Sz” - száraz;

második betű : „h” - húr; „s” - sugár;

számozás : indexelt számok 1-től 6-ig

pl.: Oh₃ : Olajos kezelés, húrirányú anyag, harmadik próbatest

Mérési pontok:

Mindhárom modifikálásánál és a kontrollnál is húr - és sugárirányú vizsgálat történt. Mind-egyik próbatest fajtából 6 darabot vizsgáltam, így összesen 48 próbatestet állt vizsgálat alatt. A próbatestek méreteit két tizedes jegy pontossággal, míg a tömegüket három tizedes jegy pontossággal határoztam meg.

Vizsgálati hőmérsékletek és páratartalmak:

A próbatesteket 20°C hőmérsékletű, 65% páratartalmú klímán tároltuk és vizsgáltuk. Klíma-kamra biztosította az állandó hőmérsékletet és páratartalmat.

4. Vizsgálatok eredményei

A mérési eredmények ismeretében mindenekelőtt a vizsgált modifikált faanyagok diffúziós együtthatójának meghatározása volt a feladatom. Az eredmények értékelése és elemzése a következő szempontok szerint célszerű:

1. A modifikálás befolyása az azonos anatómiai irányokkal rendelkező faanyagok páradiffúziójára
2. Az anatómiai irányok befolyása a modifikált faanyag páradiffúziójára

4.1. A mért és számított adatok

A próbatestek tömegének változása diagramokon megtalálható a mellékletekben. A diagramok bizonyítják, hogy nem történt hiba a mérések során. Egyenletes a tömegnövekedés, kiugrás nem tapasztalható. A tömegváltozások segítségével meghatároztam a tömegváltozási sebességet, és ebből számítottam ki a többi eredményt. Az irodalmi áttekintésnél leírtam a szabvány alapján történő számítási elvet.

1. táblázat A mért és számított eredmények a különböző anatómiai irányokkal és modifikálásokkal

	átlag Δm [kg/s]	g [kg/(m ² *s)]	W [kg/(m ² *s*Pa)]	Z [m ² *s*Pa/kg]	δ [kg/(m*s*Pa)]
Kontrol húr:	3,22E-09	1,32E-07	3,36E-10	2,98E+09	3,56E-12
Kontrol sugár:	3,97E-09	1,62E-07	4,13E-10	2,42E+09	4,46E-12
Száraz húr:	9,52E-10	3,93E-08	1,00E-10	9,99E+09	1,04E-12
Száraz sugár:	5,24E-10	2,18E-08	5,55E-11	1,80E+10	5,68E-13
Olajos húr:	9,29E-10	3,84E-08	9,79E-11	1,02E+10	1,01E-12
Olajos sugár:	8,04E-10	3,34E-08	8,50E-11	1,18E+10	8,93E-13
Gőzölt húr:	1,50E-09	6,23E-08	1,59E-10	6,30E+09	1,60E-12
Gőzölt sugár:	7,17E-10	2,97E-08	7,57E-11	1,32E+10	7,68E-13

Δm – tömegváltozás sebessége

g – fajlagos pára áteresztő képesség

δ - pára áteresztő képesség

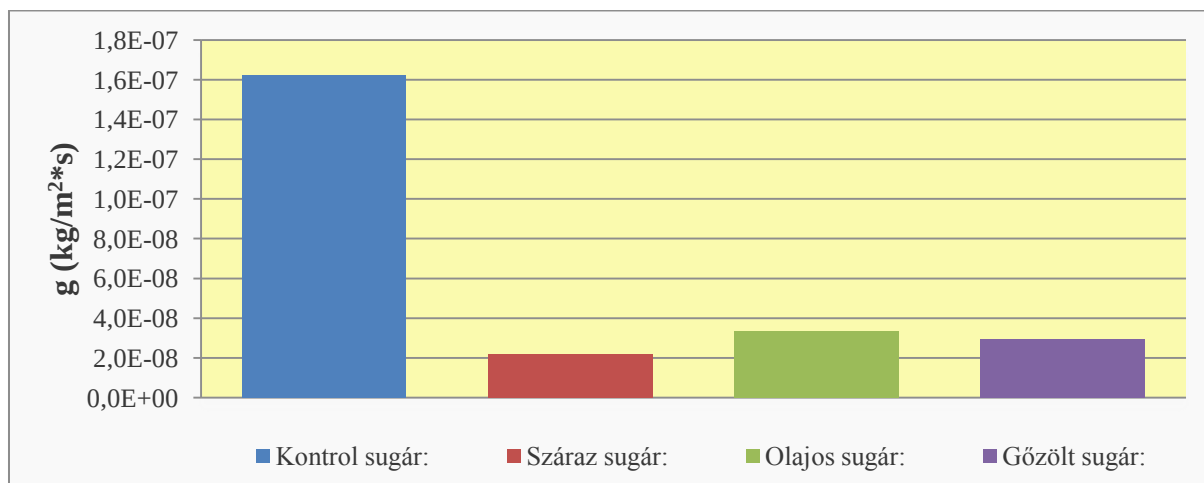
W – pára áteresztés

Z – pára zárás

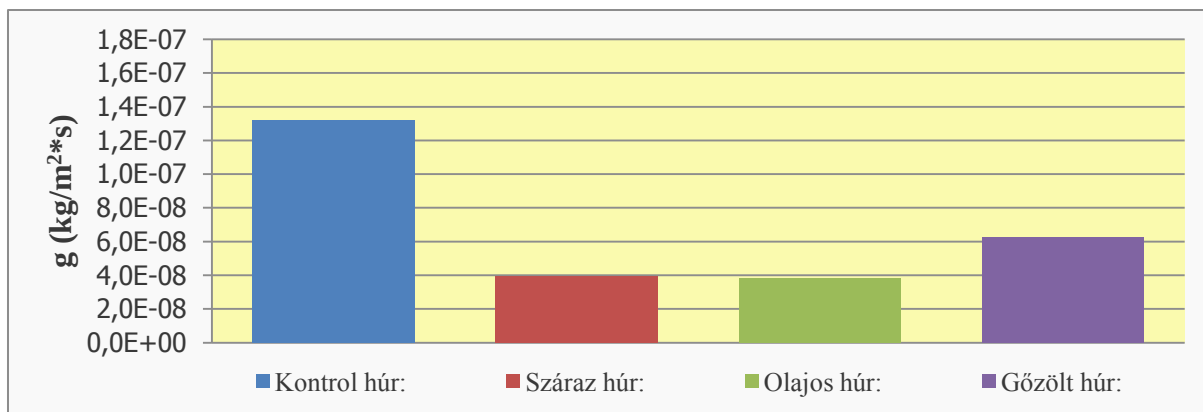
A hőkezelés hatására a faanyagok különböző képen reagáltak. Megfigyelhető, hogy a modifikált faanyagok pára zárása sokkal jobb, mint a kezeletlen faanyagé. A modifikálás, beszéljünk bármelyikről, igen sok fizikai tulajdonságot változtat meg. A hőkezelő eljárások segítségével növeltük a pára zárást, és csökkentettük a pára áteresztést a faanyagoknál.

4.2. A modifikálás befolyása az azonos anatómiai irányokkal rendelkező faanyagok páradiffúziójára

Az 1-2. diagram segítségével, jobban átlátható a páradiffúzió jelenségének mértéke. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a kezeletlen faanyag páradiffúziója sokkal magasabb, mint a modifikált faanyagoknak, függetlenül az anatómiai iránytól. Megfigyelhető, hogy a modifikált faanyagok közül a húr irányúak magasabb értékeket mutatnak, mint a sugár irányúaké. Ez az eltérés viszont minden modifikált faanyagnál más-más mértékű. Kijelenthetjük, hogy a modifikálás segítségével a páradiffúzió körülbelül 65 %-al csökkent húr irányban, míg sugár irányban 80 %-al. Érdekes jelenség, hogy az olajban végzett hőkezelés hatására a faanyag felületén kialakult olajréteg szemmel láthatóan nem volt hatással a páraáteresztő képességre. A várakozással ellentétben nem vált jelentősen párazáróbbá a faanyag a vékony felületi olajréteg hatására. A hőkezelő közeg hatását azonban jól tükrözi a szárazon és a gőzmoszférában hőkezelt anyag közti eltérés, hiszen a két eljárást teljesen azonos menetrenddel hajtottam végre, egyedüli eltérés a kezelő közeg volt.



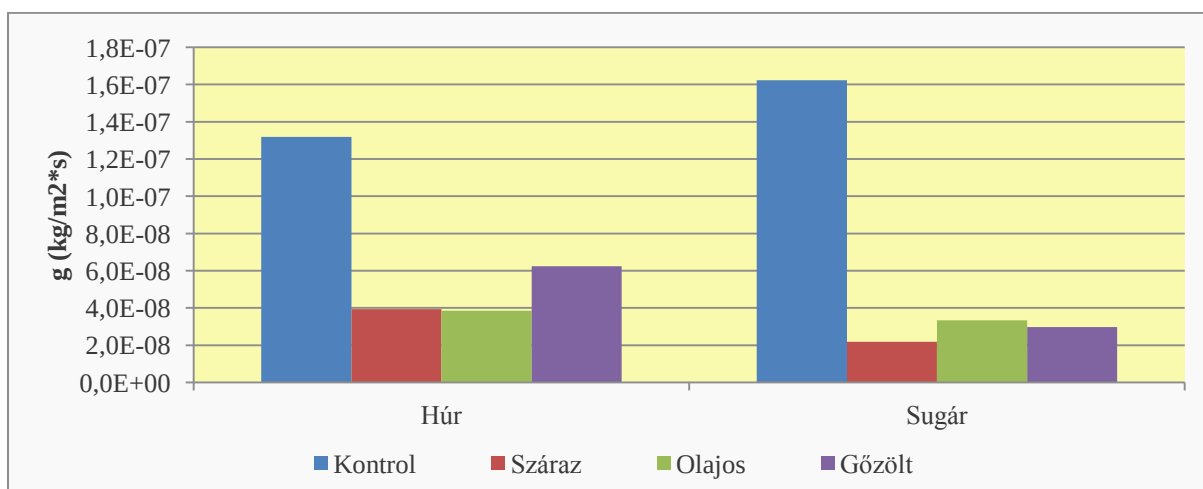
1. diagram Fajlagos pára áteresztő képesség sugár irányban



2. diagram Fajlagos pára áteresztő képesség hús irányban

4.2. Az anatómiai irányok befolyása a modifikált faanyag páradiffúziójára

A faanyag fajlagos páraáteresztő képességének fontos tényezője a faanyag anatómiai iránya. A mérések bebizonyították, hogy sokban befolyásolja, ugyanúgy mint a modifikálás. A hús - és sugárirányú faanyagok páradiffúziójának mértékét láthatjuk a diagramon. Megfigyelhető, hogy a sugár irányú modifikált anyagok kevésbé engedik át a nedvességet, mint a hús irányúak. Viszont egy ellentétet lehet észrevenni itt. A kezeletlen faanyag pont ellenkezőleg viselkedik, mint a modifikáltak, mivel a sugárirányú páradiffúzió értékei magasabbak. Valószínűsíthető, hogy a nyár bélsugarai nagymértékben roncsolódnak vagy elzáródnak a hőkezelés hatására, így páraáteresztő képességük lecsökken. A faanyag párazáróbbá válásának oka lehet egyrészt, hogy a hőkezelés hatására csökken a higroszkóposság és a faanyag egyensúlyi nedvességtartalma, ami csökkenti a faanyag két felülete közti nedvességtartalom különbséget. Ez önmagában lassíthatja a páradiffúziót. Másrészt a faanyag szerkezete zártabbá válik (Horváth 2008), ami szintén nehezíti a nedvességáramlást a faanyagon keresztül.



3. diagram Fajlagos pára áteresztő képesség

5. Összefoglalás

Egy alapkutatás keretén belül a mindennapos felhasználás számára nehéz alkalmazható javaslatot tenni. Mégis néhány, a mérés során meghatározott összefüggés alapján a gyakorlat számára is használható diffúziós-tulajdonságot lehet meghatározni.

Az elvégzett vizsgálat alapján kitűnik, hogy a három modifikálás és a kontrol között eltérés található a nedvességáramlás tekintetében. A kontrol, kezeletlen faanyag többszöröse a modifikált faanyagok értékeinél. Ez valószínűleg a szórta elhelyezkedő tiszta edények miatt lehet. Ezeket az edényeket a modifikálás során elzártuk, roncsoltuk, ami gátolta a nedvesség áramlást. Ennek a bebizonyításához további vizsgálatok elvégzése szükséges. A felhasználás szempontjából kifejezetten fontos, hogy a faanyag milyen modifikáláson esik át, mivel velejárója a faanyag páradiffúzió változása is.

A faanyag diffúziós tulajdonságainak megismerése több okból is szükséges. Egyrészt az értékek tájékoztatást adnak, hogy a felhasználás során jelentkező kívánalmaknak (pl. ablak párazárása) az adott körülmények között a fafaj képes-e kielégíteni, másrészt segítséget nyújthat az egyes megmunkáló eljárások során alkalmazott technológiák paramétereinek helyes megválasztásához.

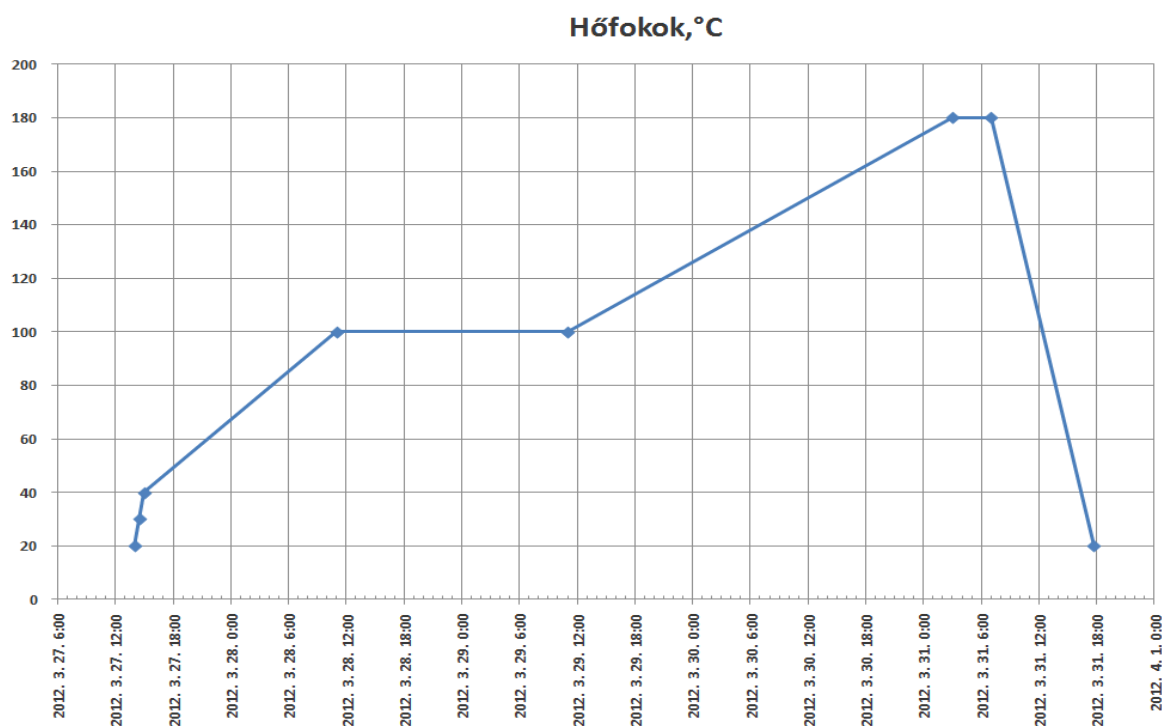
A faalapú termékek mindig érintkeznek a nedvesség valamely formájával, és ha térelhatároló vagy szigetelő szerepet tölt be, elengedhetetlen az egyes fafajok nedvesség áteresztő képességének helyes ismerete.

6. Mellékletek

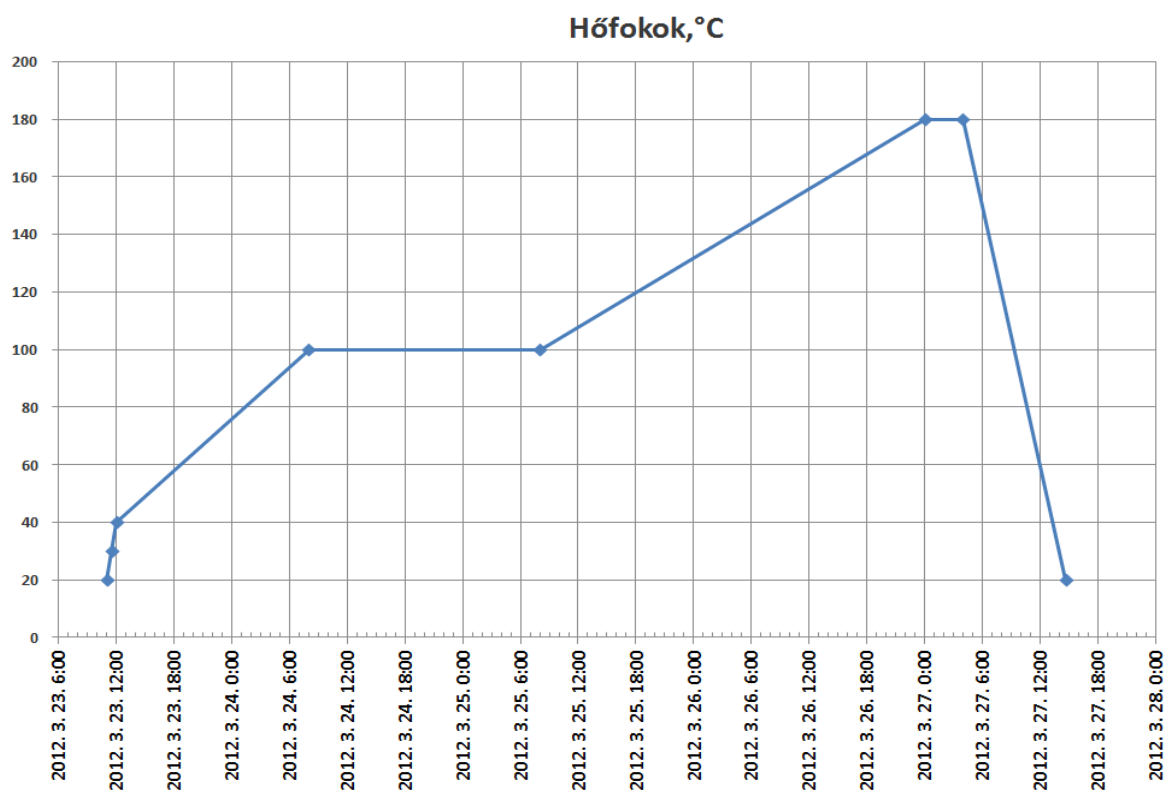
6.1. A mérések időpontjai

Mérési adatok sorszáma	Napok számozása	Dátum
1.	1. nap	Május 4.
2.	2. nap	Május 5.
3.	4. nap	Május 7.
4.	5. nap	Május 8.
5.	6. nap	Május 9.
6.	7. nap	Május 10.
7.	8. nap	Május 11.
8.	9. nap	Május 12.
9.	11. nap	Május 14.
10.	12. nap	Május 15.
11.	13. nap	Május 16.
12.	14. nap	Május 17.
13.	15. nap	Május 18.
14.	16. nap	Május 19.
15.	18. nap	Május 21.
16.	19. nap	Május 22.
17.	20. nap	Május 23.
18.	21. nap	Május 24.
19.	22. nap	Május 25.

6.2. A hőkezelések menetrendje és időpontjai



6.2.1. ábra. Gőzölt próbatestek hőkezelési menetrendje



6.2.2. ábra. Száraz próbatestek hőkezelési menetrendje

6.3. A próbatestek adatai

Megnevezés		d [mm]	Ø1 [mm]	Ø2 [mm]	Ø3 [mm]	Ø átlag [mm]
Kontrol húr:	Kh1	10,46	89,08	88,25	88,17	88,50
	Kh2	10,66	88,25	88,53	88,13	88,30
	Kh3	10,60	88,28	88,40	86,50	87,73
	Kh4	10,43	87,92	88,25	87,86	88,01
	Kh5	10,30	88,49	88,94	88,63	88,69
Kontrol sugár:	Ks1	10,77	88,71	87,89	88,90	88,50
	Ks2	10,69	88,70	89,38	88,90	88,99
	Ks3	10,80	88,44	88,34	88,66	88,48
	Ks4	10,65	87,71	88,03	87,39	87,71
	Ks5	10,69	87,82	88,00	87,74	87,85
Száraz húr:	Sh1	10,36	87,29	88,24	85,96	87,16
	Sh2	10,21	88,30	88,19	87,18	87,89
	Sh3	10,35	88,06	87,95	88,17	88,06
	Sh4	10,28	88,10	88,47	87,88	88,15
	Sh5	10,54	89,01	88,22	86,42	87,88
Száraz sugár:	Ss1	10,28	87,24	88,24	87,76	87,75
	Ss2	10,36	88,08	87,23	86,22	87,18
	Ss3	10,24	87,95	88,32	87,40	87,89
	Ss4	10,37	87,96	87,78	86,96	87,57
	Ss5	10,30	87,79	87,05	86,68	87,17
Olajos húr:	Oh1	10,44	87,97	87,51	87,43	87,64
	Oh2	10,45	87,67	88,39	88,27	88,11
	Oh3	10,34	87,36	87,91	87,44	87,57
	Oh4	10,56	87,47	87,15	87,42	87,35
	Oh5	10,35	87,60	88,40	88,26	88,09
Olajos sugár:	Os1	10,39	88,60	87,62	86,70	87,64
	Os2	10,45	88,00	87,06	86,98	87,35
	Os3	10,50	87,81	87,76	87,79	87,79
	Os4	10,48	87,63	87,90	88,06	87,86
	Os5	10,40	86,48	86,95	88,35	87,26
Gőzölt húr:	Gh1	10,05	88,07	87,67	87,34	87,69
	Gh2	10,32	87,38	88,43	86,64	87,48
	Gh3	10,06	87,64	87,61	87,19	87,48
	Gh4	10,18	87,84	87,71	86,35	87,30
	Gh5	10,14	88,30	88,24	87,56	88,03
Gőzölt sugár:	Gs1	10,36	87,87	86,01	86,13	86,67
	Gs2	10,30	88,07	87,90	87,77	87,91
	Gs3	10,15	88,71	87,78	87,64	88,04
	Gs4	10,38	88,41	88,19	87,30	87,97
	Gs5	10,23	88,18	87,49	87,11	87,59

6.4. A próbatestek tömegváltozása

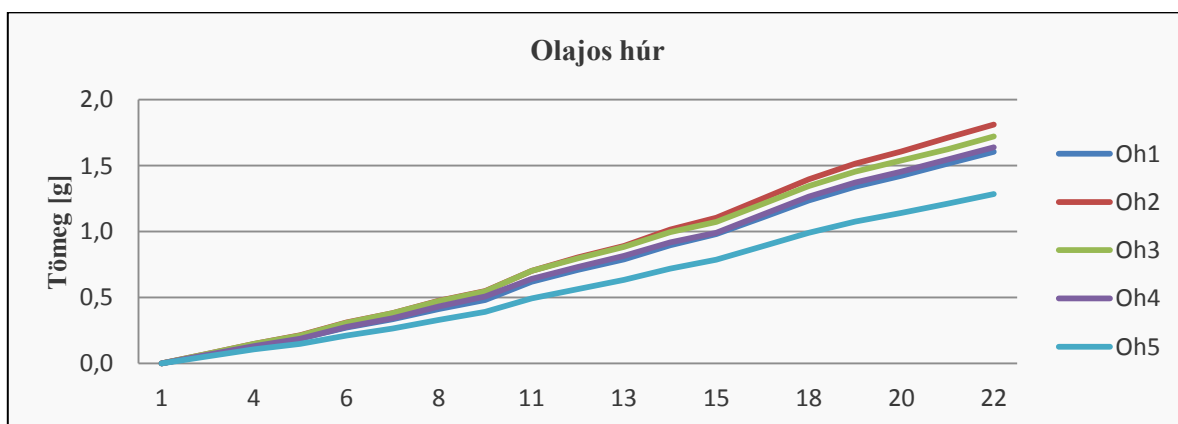
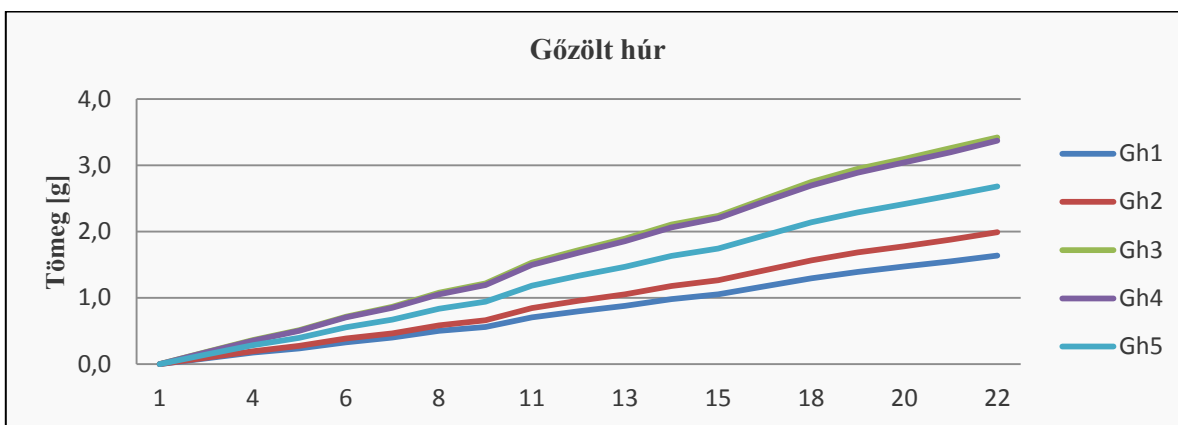
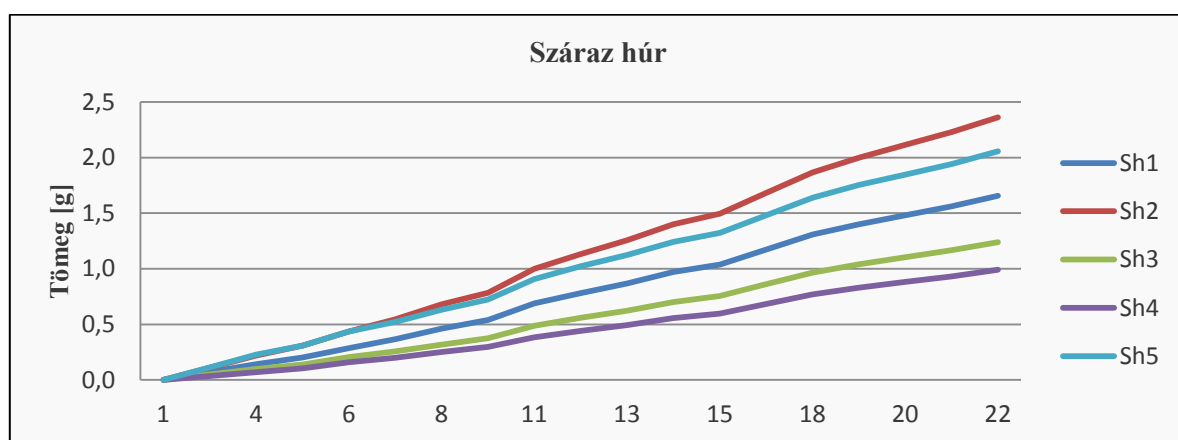
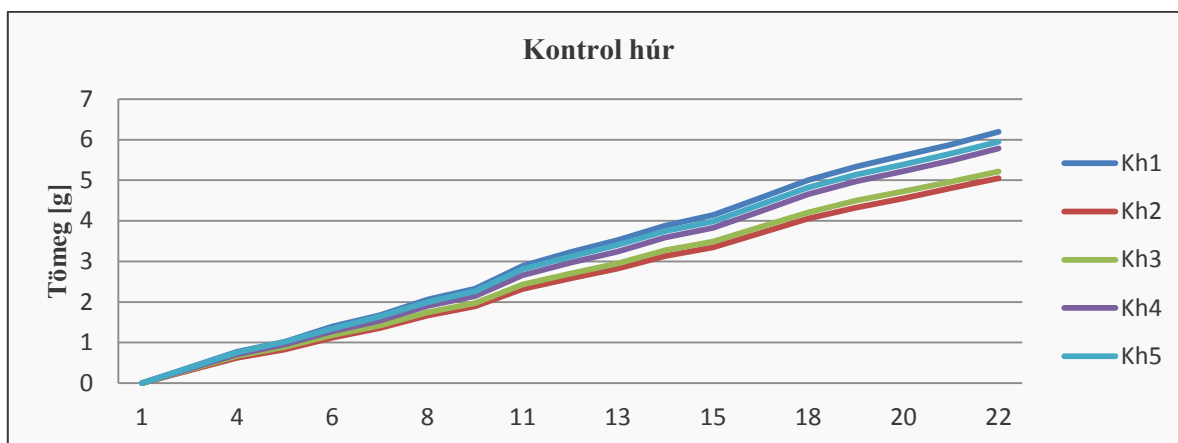
6.4.1. táblázat A kontrol és a száraz próbatestek tömegváltozása

Nev/[g]	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22
Kh1	0	0,386	0,771	1,020	1,393	1,669	2,056	2,331	2,888	3,231	3,526	3,886	4,139	4,572	5,005	5,332	5,609	5,879	6,192
Kh2	0	0,312	0,624	0,827	1,117	1,360	1,666	1,890	2,323	2,580	2,826	3,133	3,343	3,699	4,055	4,328	4,556	4,803	5,053
Kh3	0	0,336	0,672	0,888	1,181	1,422	1,747	1,972	2,432	2,695	2,954	3,276	3,484	3,847	4,209	4,495	4,726	4,964	5,219
Kh4	0	0,356	0,711	0,955	1,278	1,539	1,901	2,150	2,658	2,969	3,245	3,588	3,830	4,241	4,652	4,968	5,226	5,486	5,785
Kh5	0	0,380	0,759	1,017	1,345	1,643	1,997	2,261	2,808	3,118	3,405	3,749	3,988	4,404	4,819	5,134	5,391	5,655	5,951
Ks1	0	0,394	0,788	1,060	1,437	1,729	2,102	2,373	2,939	3,277	3,581	3,959	4,226	4,675	5,124	5,463	5,752	6,043	6,375
Ks2	0	0,434	0,867	1,178	1,618	1,945	2,375	2,677	3,325	3,714	4,059	4,480	4,771	5,272	5,773	6,152	6,475	6,797	7,168
Ks3	0	0,413	0,826	1,127	1,552	1,863	2,280	2,569	3,191	3,564	3,899	4,310	4,593	5,077	5,560	5,932	6,246	6,555	6,914
Ks4	0	0,461	0,921	1,241	1,657	2,000	2,442	2,747	3,405	3,812	4,174	4,624	4,925	5,446	5,967	6,367	6,698	7,030	7,408
Ks5	0	0,431	0,862	1,157	1,528	1,859	2,258	2,549	3,166	3,555	3,884	4,290	4,569	5,051	5,532	5,898	6,207	6,511	6,864
Sh1	0	0,072	0,143	0,201	0,286	0,365	0,462	0,538	0,690	0,781	0,866	0,970	1,038	1,173	1,307	1,400	1,481	1,562	1,657
Sh2	0	0,110	0,219	0,308	0,435	0,545	0,681	0,784	1,000	1,133	1,255	1,400	1,496	1,682	1,867	2,000	2,115	2,228	2,361
Sh3	0	0,050	0,099	0,139	0,205	0,256	0,317	0,376	0,486	0,558	0,622	0,701	0,755	0,861	0,966	1,039	1,102	1,167	1,240
Sh4	0	0,035	0,070	0,103	0,160	0,198	0,251	0,297	0,383	0,441	0,492	0,556	0,598	0,684	0,769	0,831	0,882	0,932	0,990
Sh5	0	0,114	0,228	0,310	0,435	0,523	0,630	0,722	0,907	1,022	1,124	1,241	1,322	1,481	1,640	1,753	1,847	1,941	2,056
Ss1	0	0,050	0,099	0,138	0,197	0,237	0,296	0,347	0,437	0,491	0,538	0,603	0,644	0,725	0,806	0,863	0,909	0,955	1,016
Ss2	0	0,034	0,068	0,097	0,141	0,169	0,212	0,219	0,322	0,367	0,407	0,463	0,498	0,570	0,641	0,690	0,730	0,770	0,824
Ss3	0	0,036	0,071	0,099	0,142	0,166	0,209	0,241	0,300	0,338	0,374	0,421	0,451	0,513	0,575	0,618	0,652	0,685	0,732
Ss4	0	0,051	0,101	0,141	0,196	0,234	0,290	0,329	0,410	0,461	0,509	0,573	0,607	0,679	0,750	0,809	0,855	0,900	0,946
Ss5	0	0,051	0,102	0,146	0,210	0,254	0,316	0,362	0,456	0,515	0,569	0,639	0,678	0,760	0,841	0,906	0,957	1,007	1,061

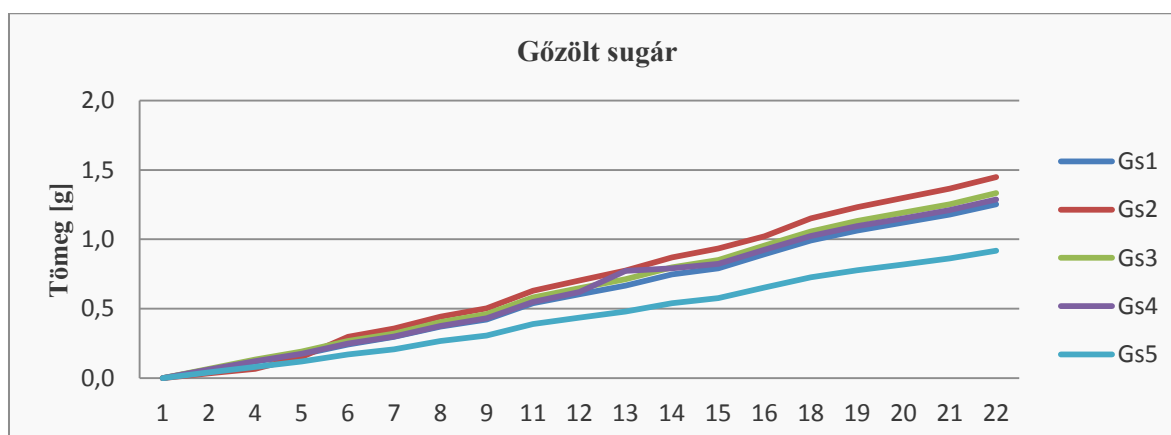
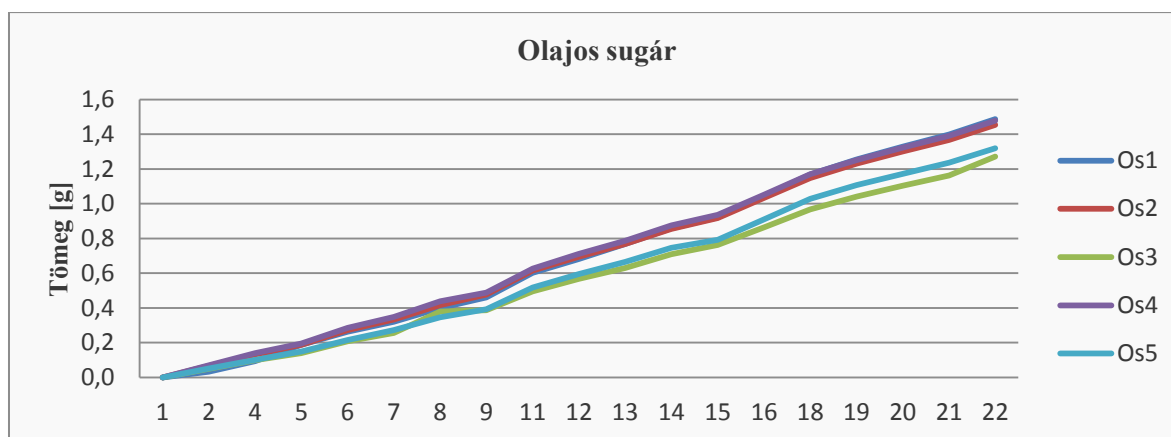
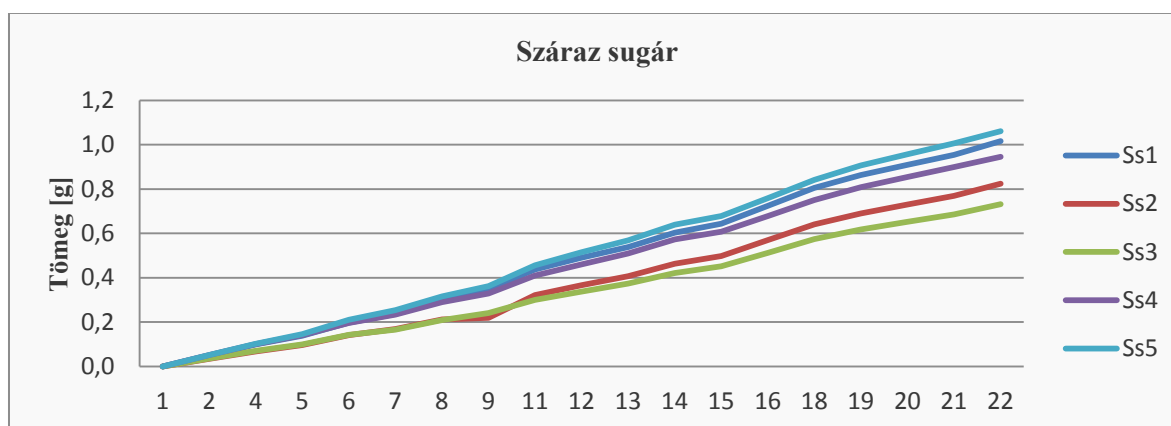
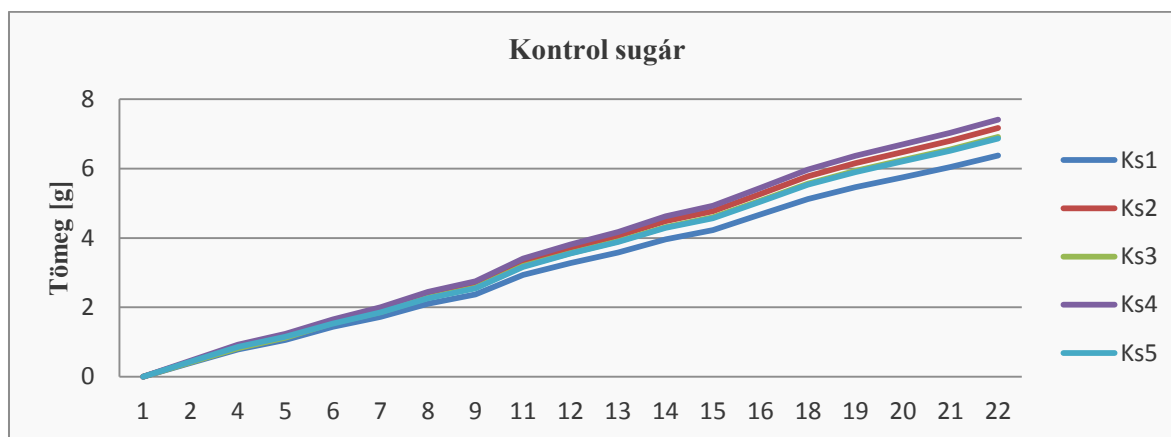
6.4.2. táblázat Az olajos és a gőzölt próbatestek tömegváltozása

Nev/[g]	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22
Oh1	0	0,067	0,133	0,190	0,273	0,335	0,413	0,482	0,619	0,710	0,790	0,897	0,980	1,108	1,236	1,339	1,422	1,514	1,604
Oh2	0	0,075	0,149	0,214	0,312	0,383	0,477	0,550	0,703	0,805	0,892	1,016	1,104	1,250	1,396	1,514	1,607	1,710	1,810
Oh3	0	0,075	0,150	0,213	0,309	0,381	0,473	0,546	0,702	0,797	0,885	0,995	1,074	1,210	1,345	1,455	1,539	1,625	1,721
Oh4	0	0,067	0,133	0,188	0,278	0,344	0,432	0,508	0,642	0,731	0,815	0,918	0,991	1,128	1,264	1,371	1,455	1,545	1,639
Oh5	0	0,054	0,107	0,149	0,213	0,265	0,332	0,392	0,494	0,564	0,634	0,718	0,787	0,889	0,991	1,076	1,142	1,211	1,285
Os1	0	0,033	0,093	0,188	0,263	0,320	0,400	0,461	0,603	0,681	0,769	0,859	0,921	1,045	1,168	1,255	1,328	1,398	1,488
Os2	0	0,067	0,133	0,187	0,272	0,333	0,416	0,478	0,615	0,695	0,768	0,856	0,917	1,033	1,149	1,232	1,301	1,367	1,455
Os3	0	0,050	0,100	0,139	0,208	0,256	0,380	0,386	0,496	0,568	0,631	0,709	0,762	0,865	0,968	1,041	1,104	1,163	1,272
Os4	0	0,070	0,139	0,195	0,285	0,348	0,438	0,489	0,626	0,711	0,786	0,875	0,936	1,053	1,170	1,252	1,323	1,391	1,478
Os5	0	0,051	0,102	0,149	0,215	0,272	0,347	0,392	0,517	0,595	0,665	0,747	0,793	0,911	1,029	1,107	1,173	1,237	1,320
Gh1	0	0,086	0,171	0,236	0,329	0,399	0,501	0,559	0,706	0,797	0,877	0,981	1,051	1,172	1,293	1,391	1,470	1,550	1,637
Gh2	0	0,096	0,191	0,274	0,385	0,463	0,581	0,661	0,845	0,955	1,052	1,177	1,263	1,413	1,562	1,683	1,779	1,880	1,988
Gh3	0	0,180	0,359	0,509	0,716	0,863	1,075	1,215	1,529	1,718	1,891	2,103	2,237	2,492	2,747	2,945	3,097	3,258	3,420
Gh4	0	0,176	0,352	0,499	0,705	0,848	1,054	1,190	1,496	1,681	1,856	2,062	2,204	2,451	2,697	2,890	3,044	3,198	3,371
Gh5	0	0,142	0,284	0,397	0,554	0,669	0,834	0,939	1,182	1,331	1,467	1,630	1,742	1,940	2,138	2,291	2,415	2,543	2,682
Gs1	0	0,059	0,118	0,170	0,241	0,297	0,370	0,422	0,540	0,604	0,665	0,747	0,790	0,891	0,992	1,063	1,121	1,179	1,251
Gs2	0	0,033	0,066	0,152	0,296	0,357	0,442	0,503	0,629	0,703	0,774	0,869	0,933	1,022	1,151	1,231	1,299	1,364	1,448
Gs3	0	0,066	0,132	0,190	0,267	0,320	0,402	0,460	0,580	0,648	0,712	0,798	0,850	0,954	1,057	1,132	1,193	1,252	1,332
Gs4	0	0,061	0,121	0,175	0,248	0,299	0,376	0,431	0,548	0,620	0,772	0,791	0,824	0,924	1,023	1,095	1,151	1,210	1,287
Gs5	0	0,040	0,079	0,119	0,169	0,207	0,266	0,306	0,388	0,436	0,480	0,540	0,577	0,651	0,725	0,777	0,818	0,861	0,917

6.5. A próbatestek hús irányú tömegnövekedése



6.6. A próbatestek sugár irányú tömegnövekedése



7. Rövidítések, jelölések, mértékegységek

d	próbatestek vastagsága	m
Ø	próbatestek átmérője	m
G	tömegváltozás sebessége	kg/s
A	áramlási keresztmetszet	m ²
Δm ₁₂	egységnyi idő alatt bekövetkezett tömegváltozás	kg/s
m ₁	a tömege a próbatestnek a vizsgált t ₁ időpontban	kg
m ₂	a tömege a próbatestnek a vizsgált t ₂ időpontban	kg
t ₁ és t ₂	az egymást követő mérési időpontok	s
Δp _v	hőmérséklet és a relatív páratartalom alapján számolt érték	
m ₀	kezdő tömeg	kg
Δm	tömegek közötti különbség	kg
g	fajlagos pára áteresztő képesség	kg/(m ² ·s)
W	pára áteresztés	kg/(m ² ·s·Pa)
Z	pára zárás	(m ² ·s·Pa)/kg
δ	pára áteresztő képesség	kg/(m·s·Pa)

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni konzulenseimnek, Dr. Németh Róbertnek a szakmai és a technikai segítséget, és Bak Miklósnak, aki nélkül nem valósult volna meg ez a dolgozat. A dolgozattal kapcsolatos kritikák és segítő javaslatok sokszor lendítették előre a munkámat.

Külön szeretném megköszönni barátomnak és segítő társamnak, Gulyás Péternek, aki akkor is segített a mérésben, amikor én nem tudtam elvégezni.

9. Irodalomjegyzék

Horváth, N. (2008) : A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. *PhD értekezés, NymE-FMK, Sopron*, pp. 48-50.

Dr. Molnár Sándor (2000) : Faipari kézikönyv I. , Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron

Skaar, C. - Babiak, M. (1982): A model in bound-water transport in wood. *Wood Science and Technology* 16. pp.123 - 138.

Skaar, C. (1954) : Analysis of methods for determining the coefficient of moisture diffusion in wood. *Forest Products Journal*, 4, pp. 403-410.

Choong, E. T. (1965) : Diffusion coefficients of softwoods by steady-state and theoretical methods. *Forest Products Journal*, 15(1), pp. 21-27.

Comstock, G. L. (1963) : Moisture diffusion coefficients in wood as calculated from adsorption, and steady-state data. *Forest Products Journal*, 13, pp. 93-103

Siau, J. F. (1984) : Transport Processes in Wood. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo. pp.151-174.

Stamm, A. J. (1959) : Bound-water diffusion into wood in the fiber direction. *Forest Products Journal*, 9(1), pp. 27-32