

Soproni Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Faanyagtudományi Intézet



Diplomamunka

Faanyagok mikroszkópos szövetszerkezetének és nedvesíthetőségének változása gombabontás során

Konzulensek:

Dr. Horváth Norbert, egyetemi docens
prof Dr. Csóka Levente, egyetemi tanár

Készítette: Korózs József, KGLDW8, faipari mérnöki MSc hallgató

2017.

Diplomamunka feladat

Diplomamunka készítő neve:	Korózs József faipari mérnök MSc. hallgató
A diplomamunka címe:	Faanyagok mikroszkópos szövetszerkezetének és nedvesíthetőségének változása gombabontás során
A diplomamunka kódja:	SKK-FATI-12-2017-D
Intézeti konzulens:	Dr. Horváth Norbert egyetemi docens Faanyagtudományi Intézet
Társkonzulens:	Prof. Dr. Csóka Levente egyetemi tanár Papíripari Kutatóintézet

A feladat részletes leírása:

1. Végezzen irodalomkutatást az alkalmazott faanyagok gombaállóságáról, a nedvesíthetőség elméletéről, különös tekintettel a gravitáció hatásáról.
2. Végezzen 2 féle faanyagon (fenyő, lombos) egyenként 1-1 gombafajjal minimum, a szabvány szerinti 16 hetes gombaállósági vizsgálatot. A gombaállósági vizsgálat során meghatározott időközönként vegyen ki mintát a gombabontás folyamatának vizsgálata céljából.
3. Végezzen a gombabontott faanyagon peremszög mérést nyugvó csepp módszerrel, készítsen SEM felvételeket és vizsgálja azok nedvességfelvételét.
4. A peremszög mérés elméletét felhasználva határozza meg a nedvesíthetőséget úgy, hogy a gravitáció hatását kiküszöböli.
5. Mutassa be SEM felvételek alapján a faanyag szerkezetének degradációját.
6. Ábrázolja a nedvességfelvétel-leadás közben tapasztalt hiszterézis alakulását a gombabontás során.
7. Végezze el az eredmények komplex értékelését minden alkalmazott vizsgálati módszer eredményeinek figyelembe vételével.

Beadási határidő: 2017. december 1.

Sopron, 2017. szeptember 18.

.....
Dr. Alpár Tibor
dékán

.....
Prof. Dr. Németh Róbert
intézetigazgató egyetemi tanár



SOPRONI EGYETEM

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és
Művészeti Kar

H-9401 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4. Pf.: 132.

Tel: +36 (99) 518-101 Fax: +36 (99) 518-259



NYILATKOZAT

Alulírott (név) **Korózs József** (neptun kód: **KGLDW8**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Faanyagok mikroszkópos szövetszerkezetének és nedvesíthetőségének változása gombabontás során** című (megfelelő rész aláhúzendó)

házi dolgozat;

diplomadolgozat;

szakdolgozat/diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam *a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait*, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Hivatkozások és idézések szabályai:

Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.)

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg.**

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.**

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2017.12.07.

.....

hallgató

„Ne sikeres ember próbálj lenni, hanem értékes.”

Albert Einstein

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés -----	2
2.	Irodalmi összefoglaló-----	3
2.1.	Alkalmazott fajok jellemzése -----	3
2.1.1.	Közönséges erdeifenyő (Pinus sylvestris) -----	3
2.1.2.	Közönséges bükk (Fagus sylvatica)-----	5
2.2.	Alkalmazott korhasztó gombák jellemzése -----	7
2.2.1.	Pincegomba (Coniophora puteana) -----	7
2.2.2.	Lepketapló (Trametes versicolor) -----	8
2.3.	Mérési módszerek -----	10
2.3.1.	Páztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscope) -----	10
2.3.2.	Peremszög meghatározása nyugvó csepp módszerrel-----	13
2.4.	A nedvesíthetőség elmélete-----	14
2.4.1.	A fajlagos határfelületi energia termodinamikai definíciója-----	14
2.4.2.	A fajlagos határfelületi energia mechanikai definíciója-----	15
2.4.3.	A peremszög-----	16
2.4.3.1.	Young-egyenlet levezetése a Gibbs-elmélet alapján -----	17
2.4.3.2.	Young-egyenlet levezetése a Young-Laplace-elmélet alapján -----	20
2.4.4.	A fajlagos határfelületi energia új értelmezése-----	21
2.4.5.	A Young-egyenlet új értelmezése -----	22
2.4.6.	A gravitáció hatása a nedvesíthetőségre-----	24
3.	A téma kidolgozása -----	28
3.1.	A peremszög értelmezésének kiterjesztése, a kapilláris emelkedés levezetése erővektorokkal -----	29
3.2.	A gombaállósági vizsgálat-----	32
3.3.	Egyensúlyi fanedvesség meghatározása-----	34
3.4.	Gombabontott próbatestek SEM képe bütümentszeten -----	36
3.5.	Gombabontott próbatestek nedvesíthetősége-----	44
4.	Összegzés -----	45
5.	Irodalomjegyzék-----	46

1. Bevezetés

Diplomamunkám elkészítésének elméleti háttere nem volt kérdéses számomra az elejétől, hiszen ezzel a témával már évek óta foglalkozom. Sok Tudományos Diákköri és Országos Tudományos Diákköri munka készült, továbbá BSc szakdolgozat, országos konferencia előadás. Így ezt a témát elég jól körüljártam.

Faanyagvédelmi tanulmányaim során feltűnt, hogy a gombabontással, mint folyamattal a nemzetközi irodalmak nem foglalkoznak jellemzően, pedig hatalmas potenciál van benne. Hiszen ahhoz, hogy a fakárosító gombákkal szemben hatékonyan védekezni tudjunk, szükséges a károsítási folyamat minél jobb megismerése.

Dolgozatomnak nem célja, hogy hiánytalanul, és messzemenően kidolgozza a témát hiszen a szükséges mérések sokasága időkorlátokba ütközik. Dolgozatommal szeretném megteremteni egy későbbi, sokkal nagyobb volumenű kutatás alapjait, amelybe az általam használt mérési eszközökön kívül még számtalan műszer bevonása lenne szükséges.

A dolgozatban szereplő méréseket kisebb-nagyobb segítségekkel mind magam végeztem, ami nem volt egyszerű feladat ilyen mintadarabszám esetén. Igyekeztünk konzulenseimmel úgy kialakítani a vizsgálati paramétereket, hogy összehasonlíthatóan, és minél tágabban lefedjék a tématerületet.

2. Irodalmi összefoglaló

2.1. Alkalmazott fajok jellemzése

2.1.1. Közönséges erdeifenyő (Pinus sylvestris)

Elterjedése

„Az erdeifenyők nemzetségének 120 faja ismert. Ezek közül Euráziában a közönséges erdeifenyőnek (Pinus sylvestris) kiemelkedő a szerepe. Kiválóan tűri a szélsőséges termőhelyi viszonyokat, így megtalálható a Földközi-tengertől az Északi sarkig, a síkvidéki homoktájakon és a középhegységekben egyaránt. Hazánkban őshonos és a legelterjedtebb fenyőfaj. Erdőterületünk 9%-át foglalja el, éves fakitermelése eléri a 400 ezer m³-t. A fatermesztésben, faipari gyakorlatban az erdei fenyőt „borovi fenyőnek” hívják.” [1]

Szöveti jellemzői

„Szijácsa inkább széles, nyers állapotban fehér, később sárgás, gesztje vörösbarna színű és az átmérőnek mintegy kétharmad részét teszi ki. Számos és a keresztmetszeten szabad szemmel is látható gyantajárata van. Ferriklorid vizes oldatával kezelve a fa színe világoszöld színeződést mutat szemben a vörösfenyővel, ami erre a reagensre sötét árnyalatú lesz. A geszten belül a bél körüli „juvenilisfa” 13-15 évgyűrűt foglal magába. A késői pászta aránya cca. 30%. A tracheidák mennyiségi részaránya 92-94%.

Rétegelt vörösbarna kérgének egyes rétegei szürkésbarna kéregrésszel válnak el egymástól. Kérgé a törzs felső részében vöröses-barnás, vékony, sima, melyen a felső réteg vékony hártyarétegekben leválik. A szabályos ágörvek erősen göcsös fatestet eredményeznek. Gyakorlati fahiba a vaseresség (reakciófa). Az erdeifenyőt célszerű télen kitermelni, hogy a hengeresfa legkésőbb áprilisra feldolgozásra kerüljön. Így előzhető meg legkönnyebben a faanyag kékülése. A homoki fenyőültetvények fája rendkívül laza szövetű, inhomogén, ez részben összefügg a tőkorhasztó gomba (Heterobasidion annosum) járványszerű fellépése miatt előrehozott véghasználati korról (a tervezett 70-80 év helyett 35-45 éves korban kitermelésre kerülnek az ültetvények).” [1]

Műszaki jellemzői

„Az erdei (borovi) fenyő átlagosan sűrűbb, szilárdabb, mint a luc-, jegenye- és simafenyők. Meg kell azonban hegyezni, hogy az erdeifenyő tulajdonságai rendkívül nagy

változékonyságot mutatnak. A bemutatott értékek közül a kisebbek a síkvidéki erdeifenyőt, a középérték pedig a hegyvidéki erdeifenyőt reprezentálják. Az erősen elgyantásodott faanyag különösen nagy sűrűségi és szilárdsági jellemzőkkel rendelkezhet, de nehezen megmunkálható.

1. táblázat A közönséges erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) műszaki jellemzői [1]

Sűrűsége:		Szilárdsága (rostokkal párhuzamosan):	
ρ_0	300-490-860 kg/m ³	-nyomó	35-55-94 MPa
ρ_{12}	330-510-890 kg/m ³	-hajlító	41-80-205 MPa
ρ_{nedv}	750-820-850 kg/m ³	-húzó	35-104-196 MPa
Pórustérfogat:	67 %	-nyíró	6,1-10-14,6 MPa
Zsugorodása:		-ütő-hajlító	1,5-4-13 J/cm ²
-húr	7,5-7,7-8,7 %	-hasító	0,2-0,5 MPa
-sugár	3,3-4,0-4,5 %	Rugalmassági modulusz (hajlító):	
-rost	0,2-0,4 %	6900-12000-20100 MPa	
Keménysége (Brinell):			
-bütü	35-40-95 MPa	-oldal	13-19-24 MPa

, ahol ρ_0 a faanyag 0%-os nedvességtartalmán mért testsűrűség $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

ρ_{12} a faanyag 12%-os nedvességtartalmán mért testsűrűség $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

ρ_{nedv} a faanyag élőnedves testsűrűsége $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Cellulóztartalma elmarad a lucfenyőétől (41,9%), de szintén kiváló papírfa. Nagy gyantatartalma miatt (2-10%) fája tartósabb a luc- és jegenyefenyőknél. Fája jól telíthető, ragasztható és felületkezelhető. ” [1]

Felhasználása

„Az erdei (borovi) fenyő dekoratív rajzolata miatt a bútorgyártás és a belsőépítézet keresett fajtája. Tartóssága, szilárdsága miatt az északi országokban faházgyártás legfontosabb fája. Előnyösen használják a magas- és mélyépítésben, valamint az épületasztalos-iparban is. Használja a hajógyártás, bányászat és a vasút (telített talpfa). Jó telíthetősége miatt keresett vezetékoszlop. Nagy mennyiségben alkalmazzák rakodólapok és

ládák gyártására. Fontos felhasználási területe a farost- és forgácslemez-, valamint a cellulózgyártás. Sajnos a homoki ültetvényeink fája – főleg a göcsösség miatt – elsősorban csak papírfaként és rostfaként hasznosul. ” [1]

A közönséges erdeifenyő gombaállóságát szabvány rögzíti, amely az MSZ EN 350-2:1998. Eszerint a *Pinus sylvestris* szíjácsa az 5-ös osztályba sorolható, tehát „nem tartós”, a gesztje pedig a 3-4-esbe, tehát „tartós”. [2]

2.1.2. Közönséges bükk (*Fagus sylvatica*)

Elterjedése

*„A bükkök az északi mérsékelt égövben honosak. 13 fajuk ismert. Európában elsősorban a közönséges bükknek (*Fagus sylvatica*) kiemelkedő a faipari jelentősége. Megemlítjük még az Európában is előforduló keleti bükköt (*Fagus orientalis*), az Észak-Amerikában elterjedt amerikai bükköt (*Fagus grandifolia*) és a japán bükköt (*Fagus crenata*). E bükk fajoknál a faanyag minősége között gyakorlati különbség nincsen. Részletesen csak a hazai erdők 6,6%-át (103 ezer ha) elfoglaló közönséges bükkel kell foglalkoznunk. A bükk a domb- és hegyvidék fája. Főleg a páradús, csapadékos északi oldalakat kedveli. Hazánkban az Északi-középhegységben, a Mecsekben, Zalában, Zselicségben, a Bakonyban, a Kőszegi és Soproni hegységekben alkot állományokat. Éves bruttó fakitermelése 500-600 ezer m³.” [1]*

Szöveti jellemzői

„Színes geszt nélküli, fájának színe száraz állapotban enyhén vörösbe hajló fehér. Az idősebb (100 év körüli) fák igen gyakran álgesztesednek. A barna, egészséges ún. „vörös geszt” iparilag még felhasználható. A gombafertőzött sötétszürke csillagos álgeszt már nem. Szórt likacsú fafaj, de az évgyűrűhatárok élesen láthatók. Vastag és vékony bélsugarai vannak. A keresztmetszeten a vastag bélsugarak szabad szemmel is jól láthatók, edényei azonban csak nagyítóval. Évgyűrűn belül a két pászta nem különül el, de a késői rész sötétebb a korainál, ezért az évgyűrűhatár éles. Sugármetszeten a bélsugarak 1-5mm széles tükröcskék alakjában jól láthatók. Húrmetszeten a bélsugarak orsó alakú, sötét színű rajzolatokként (0,5-1,5mm) láthatók. A bükk kiváló szilárdsága elsősorban az igen vastag falú libriform rostoknak köszönhető. A kérge sima, vékony, hamuszürke színű.” [1]

Műszaki jellemzői

„A bükk fája kemény, sűrű, szilárd és rugalmas. Figyelmet igényel nagy zsugorodási, vetemedési hajlama, és elsősorban alacsony tartóssága, fülledékenysége. A színes geszt nélküli bükk kémiailag inaktív. Gőzölés hatására színe húsvörössé válik, javul a megmunkálhatósága, kevésbé válik láthatóvá az egészséges álgeszt. Mindamellett a mai bútordivat elsősorban a gőzölésmentes „fehér bükköt” igényli. Az atmoszférikus (100°C alatti) gőzölésnek a faanyag műszaki tulajdonságaira csak közvetlenül a gőzölést követően van hatása (a fa így válik hajlíthatóvá, hasíthatóvá, hámozhatóvá). A bükk faanyag fontosabb műszaki jellemzői a következők.” [1]

2. táblázat A közönséges bükk (*Fagus sylvatica*) műszaki jellemzői [1]

Sűrűsége:			Szilárdsága (rostokkal párhuzamosan):		
ρ_0	490-680-880	kg/m ³	-nyomó	41-62-99	MPa
ρ_{12}	540-720-910	kg/m ³	-hajlító	74-123-210	MPa
ρ_{nedv}	820-1070-1270	kg/m ³	-húzó	57-135-180	MPa
Pórustérfogat:	55	%	-nyíró	6,5-8-19	MPa
Zsugorodása:			-ütő-hajlító	3-10-19	J/cm ²
-húr	11,8	%	-hasító	0,4-0,5	MPa
-sugár	5,8	%	Rugalmassági modulusz (hajlító):	10000-16000-18000	MPa
-rost	0,3	%	Keménysége (Brinell):		
- térfogati	14-17,9-21	%	-bütü	72	MPa
			-oldal	34	MPa

Felhasználása

„Európa egyik legkeresettebb hasznófája. Fűrészipari feldolgozását – az erős fülledékenysége miatt – biztosítani kell a téli, kora tavaszi időszakban. A hazai furnér- és rétegeltlemez gyártás legfontosabb fafaja. A bútoriparban furnér- és tömörfa formájában egyaránt felhasználják. A hagyományos székgyártás mellett ma a korpusz bútoroknál is népszerű. Fontos parketta-, épület- és szerkezeti fa. Felhasználják vagongyártásra, szerszámnyelek, gépalkatrészek, telített talpfák, mezőgazdasági eszközök, kefetestek készítésére. Alkalmazza a forgács-, farostlemez-, papír- és faszéngyártás. Értékes tűzifa (kandallófa).” [1]

A közönséges bükk gombaállóságát szabvány rögzíti, amely az MSZ EN 350-2:1998. Eszerint a *Fagus sylvatica* szíjácsa az 5-ös osztályba sorolható, tehát „nem tartós”, a gesztje pedig szintén az 5-ösbe, tehát úgyszintén „nem tartós”. [2]

2.2. Alkalmazott korhasztó gombák jellemzése

2.2.1. Pincegomba (*Coniophora puteana*)

A pincegomba, tudományos nevén *Coniophora puteana* más néven is felbukkan az irodalmakban. Tudományos névként létezik a *Coniophora cerebella*, németül Brauner Kellerschwamm-nak nevezik. A pincében előforduló gombák leggyakoribb képviselője a pincegomba (*Coniophora puteana*). Micéliumai gyökér-szerűen szétterülnek, melyek színe a sötétbarnától a feketéig terjed. Termőteste szemölcsös, széle halványsárga. Ez különbözteti meg a többi barna, pincében előforduló gombától. Erőteljes barnakorhadást okoz. Zavaró lehet, hogy eleinte a micéliumok hófehérek, csak később lesznek barnák és végül feketék. [3]



1. ábra Pincegomba, régi micéliumszálak egy pincefalon, tipikus sötétbarna és gyökérszerűen szétterülő. [3]



2. ábra Pincegomba micéliumai fiatal, fehér állapotban. Itt egy padlóburkolat alatt, egy faforgácslapon fejlődött ki. [3]

A nevével ellentétben a pincegomba nem csak a pincékben fordul elő, ugyanúgy megtalálható az épület magasabb szintjein is. Például a vízcsövek szivárgásánál, vagy tartósan beázó tetőn. A könnyező házigombával ellentétben a pincegombának jóval magasabb fanedvességre van szüksége, lehetőleg 50-60%-kal magasabbra. Megállapították, hogy a pincegomba elpusztul, ha a fanedvesség tartósan 20% alá csökken. [3]



3. ábra Friss pincegomba a padló alatt. A színátmenet felismerhető a krémfehértől a sötétbarnáig. [3]



4. ábra Friss pincegomba. Fent felismerhető a majdnem fehér növekedési tartomány, majd alatta a krémszínűtől a barnás szálakig. [3]



5. ábra Pincegomba termőtest [3]

2.2.2. Lepketapló (*Trametes versicolor*)

A lepketapló, tudományos nevén *Trametes versicolor* több más néven is fellelhető az irodalomban, melyek mind ugyanazt a fajt jelölik. Ilyenek a *Boletus versicolor*, *Coriolus azureus*, *Coriolus versicolor*, *Polyporus versicolor*, *Polyporus azureus*, *Polystictus azureus*, *Polystictus versicolor*, *Trametes azurea*. A lepketapló mindenhol előfordul a mérsékelt övben és a szubtrópusi öv legtöbb részén. Képes szinte minden keményfa fajtát és sok fenyőfélélt bontani. Ilyenek például a *Quercus* (Tölgy), *Prunus*, az *Abies* (Jegenyefenyő), a *Pinus* (Tűbnyalábos fenyő) és az *Acacia* (Akácia) növénynemzetségek tagjait, de a *Fagus* (Bükk)

nemzetségét is. A lepketapló, együtt más fajokkal az egyik elsődleges fabontó gomba, amely erőteljes fehér korhadást okoz. [4]

A lepketapló képes a lignocellulózok lebontására. Cellobióz-dehidrogenáz-t, laktáz-t, mangán peroxidáz-okat és lignin-peroxidáz-okat termel. A termőtestje attól függően, hogy a faanyag mely részén jelenik meg, változik. Általában legyező alakú és a felső részén koncentrikus zónák figyelhetők meg, alulról pedig pórusok, melyekben a spóra található, több termőtest esetén rozettaszerűen fejlődnek. A lepketapló okozhatja a lignin, a cellulóz és a hemicellulóz egyidejű lebomlását. [4]



6. ábra Lepketapló felső és alsó felülete [4]

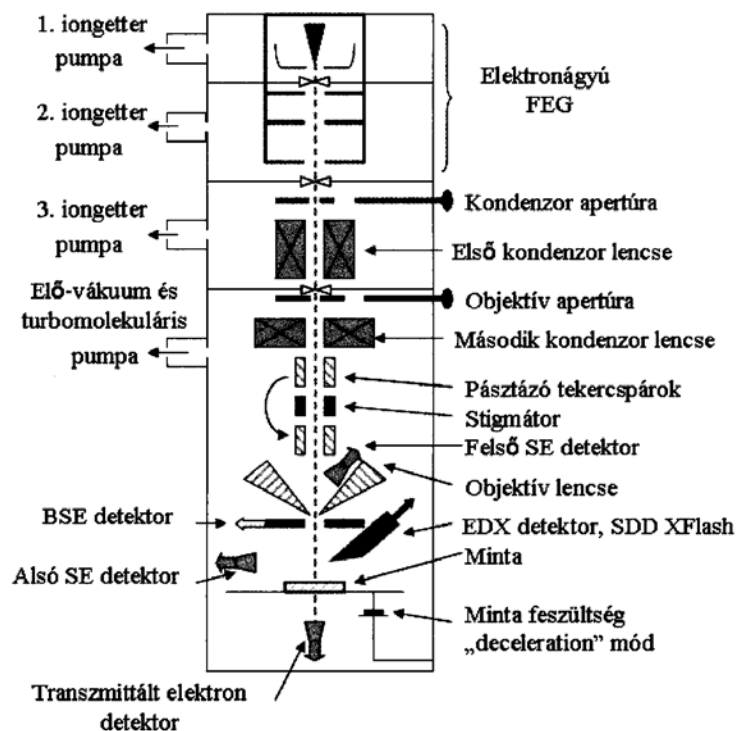


7. ábra A lepketapló károsítása cseresznyefán (*Prunus avium*) [5]

2.3. Mérési módszerek

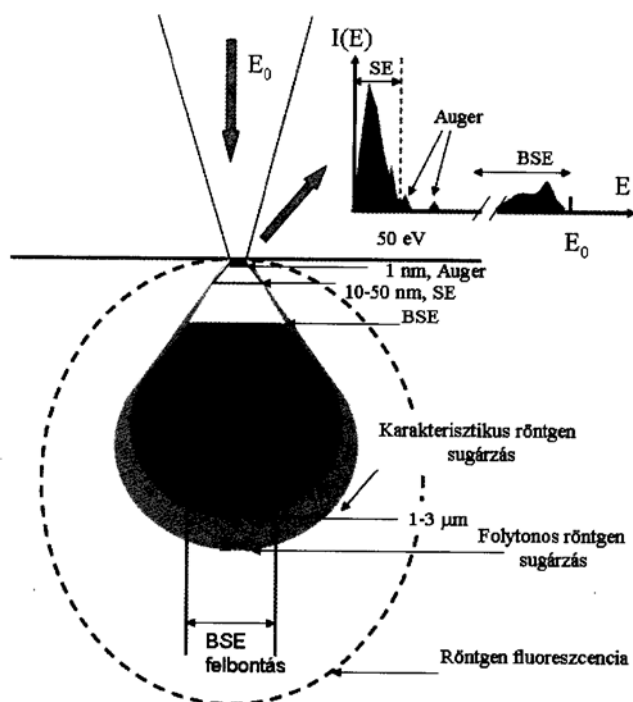
2.3.1. Pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscope)

A pásztázó elektronmikroszkóp (röviden PEM, vagy SEM) az egyik legsokoldalúbban felhasználható elektronmikroszkóp. Bár kronológiailag a transzmissziós elektronmikroszkópot (Transmission Electron Microscope - TEM) előbb fejlesztették ki, azzal szemben a SEM-nek sok előnye van. Első és legfontosabb, hogy sokkal egyszerűbb a mintaelőkészítés. A TEM és a SEM esetén is elérhető hasonló nagyítás, felbontás. Viszont a SEM esetén nincs szükség a minta elvékonyítására. A SEM mintakamrájába behelyezhető pár centiméteres nagyságrendű minta is, míg a TEM esetén pár nanométer vastagságúra kell elvékonyítani.



8. ábra A SEM felépítése [6]

A 8. ábrán látható a SEM felépítése látható, hogy nagyon sokféle detektorral szerelhető fel. Ezek között vannak amelyek hasonló típusú információt képesek detektálni, mások pedig teljesen eltérőeket. Ennek oka a detektált elektronok forrásának különbözősége, és az, hogy milyen gerjesztett térfogatból érkeznek. A diplomamunkám mérési módszeréül az úgynevezett szekunder elektronokkal alkotott képet választottam, hiszen ezek az elektronok hordozzák a felület topológiájára vonatkozó információt.



9. ábra Az E_0 energiájú besugárzó elektronnyaláb hatására kilépő részecskék információs térfogata [6]

Mivel a célom a mérésnél a minta bütönségét, a bomlás folyamata során megfigyelni a faszövet degradációját. Ehhez a legkisebb gerjesztett térfogatra és a legkisebb gerjesztési mélységre van szükségem. A SEM-ek két legelterjedtebb detektorai a szekunder elektron (secunder electron - SE) és a visszaszórt elektron (backscattered electron – BSE) detektorok. A SOE-SKK Faanyagtudományi Intézetében lévő SEM-ben SE detektor van, amely számomra megfelelő volt a mérések elvégzéséhez, hiszen az SE elektronok topológiai információt hordoznak, míg a BSE elektronok rendszámkontrasztos képet eredményeznek. Alacsony gerjesztési térfogattal rendelkező detektálási módszer még az Auger-elektron spektroszkópia, ám ez a felület elemi összetételéről hordoz információt.

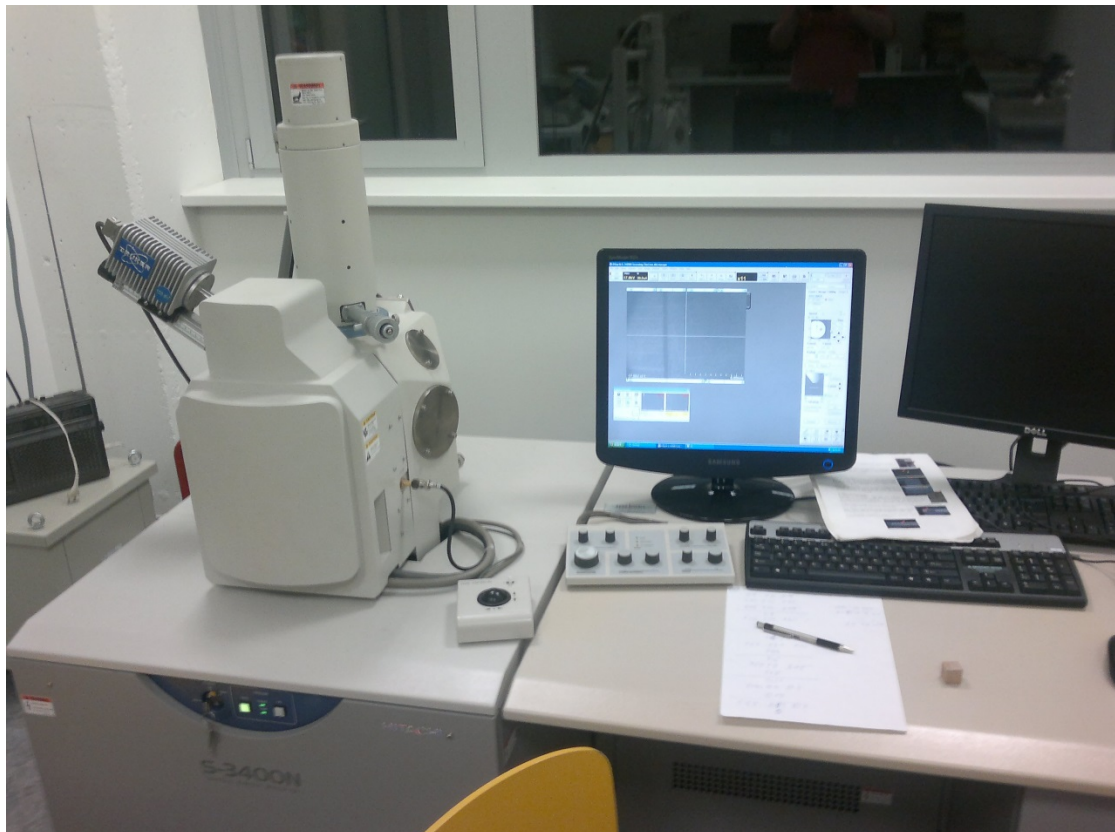
A méréshez a mintákat elő kellett készítenem. A faszöveteket teljesen leszártítottam, mivel a nedves minta a mintakamrába kerülve, ahol 60 Pa-os nyomást kell előállítanunk és az elpárolgó gőz rontaná a nyomásviszonyokat. A SEM mérés során az elektronok gyorsítófeszültség hatására lépnek ki a katódból. Ám ekkor a légtérben található molekulákat ionizálja, amelyek ellentétesen mozdulnak el az elektronokkal. Így azok gyakorlatilag szétbombázzák a katódot. Tehát szükséges a megfelelő minőségű „vákuum”, helyesebb elnevezéssel depresszió előállítása. Hiszen a vízmolekulák is ugyanilyen hatással vannak a katódra.

Továbbá mivel a SEM mérés során az alkalmazott nagyítással csökken a mélységélesség szükséges lehetőség szerint a minél egyenletesebb felület előállítására. Így a mintáim felületét Thermo Scientific HM 430 Sliding Microtommal (10.ábra) egy felületi nedvesítést követően elmetasztottam. Sajnálatos módon azokon a mintákon, amelyeknél a gombabontás előrehaladott ez nehézségekbe ütközött. A faanyag morzsolódott.

A SEM méréseket egy Hitachi S3400-N típusú elektronmikroszkópon végeztem el (11.ábra).



10. ábra Thermo Scientific HM 430 Sliding Microtom



11. ábra Hitachi S3400-N típusú pásztázó elektronmikroszkóp

2.3.2. Peremszög meghatározása nyugvó csepp módszerrel

A peremszög, vagy nedvesítési szög meghatározásának legelterjedtebb módszer a nyugvó csepp módszer, amelynek elméletére a 2.4-es fejezetben térek ki bővebben. A mérési módszer lényege, hogy egy sík felületre folyadékot cseppentünk, a csepről oldalról fényképet készítünk, majd egy szoftver segítségével, amely numerikusan képes modellezni a csepp alakját, kiértékeljük a látható cseppalakot. Ez ugyanis függ a csepp felületi feszültségétől, a peremszögtől, a folyadék sűrűségétől és térfogatától.

A csepp alakjára vonatkozó differenciálegyenletnek sajnos csak numerikus megoldása van, így a peremszöget nem tudjuk megadni a csepp méretének függvényében. Ehhez nyújt segítséget a numerikus megoldás, és a szoftver alkalmazása.

Ehhez a Pocket Goniometer PGX+ nevű peremszögmérő eszközt használtam (12.ábra).



12. ábra Pocket Goniometer PGX+ peremszögmérő

2.4. A nedvesíthetőség elmélete

2.4.1. A fajlagos határfelületi energia termodinamikai definíciója

Josiah Willard Gibbs egyik legfőbb eredménye, hogy a fázis összes energiájára vonatkozó összefüggését kiegészítette a felületi energia taggal (2.401-es egyenlet).

$$G_\alpha = U_\alpha + pV_\alpha - TS_\alpha + \sum_{\alpha/\beta} \sigma_{\alpha/\beta} A_{\alpha/\beta} \quad 2.401$$

, ahol G_α az α fázis Gibbs energiája (szabadentalpiája) [J]

U_α az α fázis belső energiája [J]

p a rendszer nyomása, mint független állapotváltozó [Pa]

V_α az α fázis térfogata [m^3]

T a termodinamikai hőmérséklet, mint független állapotváltozó [K]

S_α az α fázis entrópiája [$\frac{J}{K}$]

$\sigma_{\alpha/\beta}$ az α és β fázisok fajlagos határfelületi energiája [$\frac{J}{m^2}$]

$A_{\alpha/\beta}$ az α és β fázisok határfelületének nagysága [m^2]

Elmélete szerint a felületen lévő atomok magasabb energiaszinten vannak, mint a fázis belsejében lévők. Ezért, ha egy a fázis belsejében lévő atom a felületre kerül, akkor az ezáltal okozott felületi energia (G_s) növekedés és a felület ($A_{\alpha/\beta}$) növekedésének parciális deriváltja (állandó hőmérséklet, térfogat és molszám mellett) adja meg a felületi feszültséget, vagy konzekvensebb elnevezéssel a fajlagos határfelületi energiát. A definíciót a 2.402-es egyenlet mutatja [7, 8].

$$\sigma_{\alpha/\beta} = \left[\frac{\partial G_s}{\partial A_{\alpha/\beta}} \right]_{T, V_\alpha, n_\alpha} \quad 2.402$$

, ahol G_s a rendszer összes felületi energiája [J]

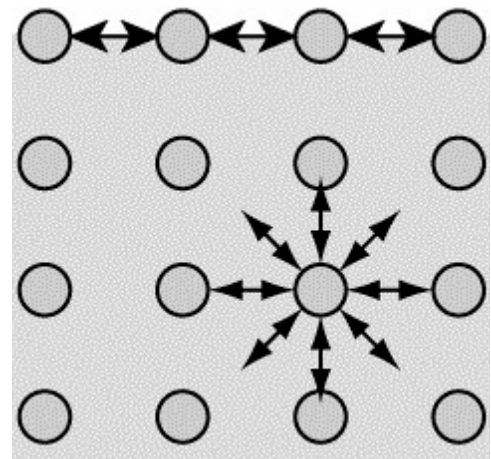
n_α a fázis molszáma [mol]

Ez valójában az az elmélet, amely leginkább megállja a helyét, és ezt használhatjuk ma is sok probléma megoldására kihasználva, hogy egy rendszer mindig energiaminimumra törekszik. Tehát a rendszerben kialakult eredőerő mindig a Gibbs energia gradiensével ellentétes

irányba mutat. Az egyetlen problémája az elméletnek, hogy esetenként igen bonyolult, vagy akár matematikailag kezelhetetlen problémákba is ütközhetünk. Viszont, ha lenne egy megfelelő elméletünk erővektorokkal, akkor ezen komplex problémák parciális megoldásait sokkal egyszerűbben megadhatnánk.

2.4.2. A fajlagos határfelületi energia mechanikai definíciója

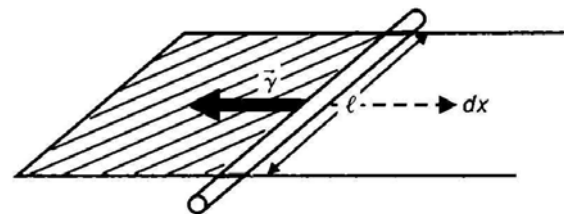
Mivel Thomas Young és Pierre Simon de Laplace mint fizikus gondolkodtak, ezért ők a felületi feszültséget erő szempontból írták le. A határfelületet egy különálló rétegnek fogták fel, mint egy buborék esetében, amelynek van egy bizonyos vastagsága és deformálódni képes. Ez a deformáció a határfelületi rétegben feszültséget hoz létre, amelyet felületi feszültségnek (surface tension) neveztek. A feszültség a felületi rétegben lévő atomok egymástól viszonyított távolságából adódik. Tehát az az erő, amit ez a feszültség indukál a felülettel párhuzamos [7, 9, 10].



13. ábra A felületen és a fázisban lévő atomokra ható erővektorok [9]

Kísérletileg a 14. ábra mutatja be Young és Laplace elképzelését.

Ha egy fix keretre egy szabadon mozgó rudat helyezünk úgy, hogy azok egy folyadékhártyát határolnak, akkor a folyadék felületi feszültsége összehúzza a hártyát. Ezt szokás határfelületi összehúzó erőnek is nevezni, vagy a felületi feszültség definícióját szemléltetik vele Young után.



14. ábra A felületi feszültség Young és Laplace szerinti definíciója [7]

A definíciót a 2.403-as egyenlet mutatja.

$$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}}{2l} = -\frac{1}{2l} \cdot \frac{dW}{d\vec{x}} \quad 2.403$$

, ahol $\vec{\gamma}$ a felületi feszültség vektor $\left[\frac{N}{m}\right]$

\vec{F} a határfelületi összehúzó erő vektora $[N]$

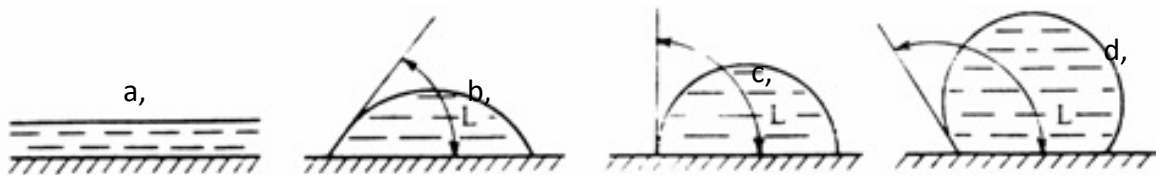
l a mozgó rúd hossza [m]
 W a felületi munka [Nm]
 \vec{x} az irányvektor [m]

Az elmélet problémája, hogy a fázisban lévő atomok egymáshoz viszonyított helyzetét állandónak, de legalábbis statisztikailag állandónak feltételezi, és nem veszi figyelembe, hogy a felületen lévő (surface) atomok aránya a felület belsejében lévő (bulk) atomokhoz képest változik a fázis alakjától függően.

2.4.3. A peremszög

Ha egy folyadék szilárd, sík felülettel kontaktusba lép, akkor ott felveszi a minimál energiához tartozó alakot. A kontaktfelület határát, ahol a 3 fázis találkozik hármasonalnak (triple line) nevezzük. A peremszög (más néven kontakt szög, érintkezési szög, vagy nedvesítési szög) ezen hármasonal egyik pontjában a sík felület és a folyadék határfelületéhez húzott érintők által bezárt szög a folyadék fázison keresztül.

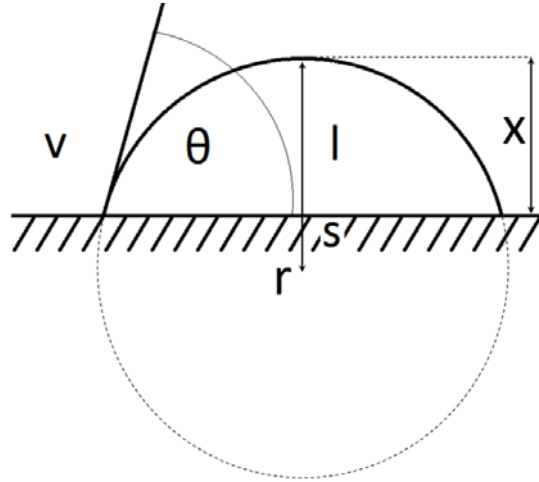
Az alakokat a felület nedvesíthetősége szerint több csoportba sorolhatjuk be, melyet a 15. ábra mutat.



15. ábra a, teljesen nedvesítő, b, nedvesítő, c, átmeneti állapot, d, nem nedvesítő folyadékcsepp [16]

Az Euler-Lagrange differenciálegyenlet alapján meghatározható, hogy ez az alak gömbsüveg minden esetben, ha a gravitáció hatását elhanyagoljuk. Most, hogy ismerjük a minimálfelület alakját, a Young-egyenlethez több módon is eljuthatunk, mely megmutatja a peremszög nagyságát. Ezeket a módszereket a következőkben ismertetem, ahol tisztán a határfelületi erők egyensúlyát keressük, és egyelőre a gravitáció hatását nem vesszük figyelembe.

2.4.3.1. Young-egyenlet levezetése a Gibbs-elmélet alapján



16. ábra Gravitáció mentes térben sík lapon nyugvó csepp geometriája (fázisok: v - gőz, s - szilárd, l - folyadék, paraméterek: r - gömbcsüveg sugara, x - gömbcsüveg magassága, Θ – egyensúlyi peremszög)

A levezetéskor a cseppre ható gravitációs erőt el kell hanyagolnunk, ezért a csepp alakját gömbcsüvegnek feltételezzük, majd fel kell írunk a Gibbs által definiált felületi többlet energiát a 2.404-es egyenlet alapján [8, 9, 11, 12, 13, 14, 15].

$$G_s = \sigma_{l/v}A_{l/v} + \sigma_{s/l}A_{s/l} + \sigma_{s/v}A_{s/v} \quad 2.404$$

, ahol $\sigma_{l/v}$ a folyadék-gőz fajlagos határfelületi energia $\left[\frac{J}{m^2}\right]$

$\sigma_{s/l}$ a szilárd-folyadék fajlagos határfelületi energia $\left[\frac{J}{m^2}\right]$

$\sigma_{s/v}$ a szilárd-gőz fajlagos határfelületi energia $\left[\frac{J}{m^2}\right]$

$A_{l/v}$ a folyadék-gőz határfelület nagysága $[m^2]$

$A_{s/l}$ a szilárd-folyadék határfelület nagysága $[m^2]$

$A_{s/v}$ a szilárd-gőz határfelület nagysága $[m^2]$

A határfelületekre vonatkozó paramétereket kifejezhetjük a 2.405-ös, 2.406-os és 2.407-es egyenletek szerint.

$$A_{l/v} = A_{l/v}^o + A_{l/v}(x, r) \quad 2.405$$

$$A_{s/l} = A_{s/l}^o + A_{s/l}(x, r) \quad 2.406$$

$$A_{s/g} = A_{s/v}^o + A_{s/v}(x, r) \quad 2.407$$

, ahol $A_{\alpha/\beta}^o$ a megfelelő határfelületnek a gömbcsüveg magasságától és sugarától nem függő komponense $[m^2]$

$A_{\alpha/\beta}(x, r)$ a megfelelő határfelületnek a gömbcsüveg magasságától és sugarától függő komponense $[m^2]$

A magasságtól függő komponensek kifejtésénél fel kell használnunk a gömbsüveg felületére (2.408-as egyenlet) és a körmetszet területére (2.409-es és 2.410-es egyenlet) vonatkozó összefüggéseket.

$$A_{l/v} = A_{l/v}^o + 2r\pi x \quad 2.408$$

$$A_{s/l} = A_{s/l}^o + \pi x(2r - x) \quad 2.409$$

$$A_{s/g} = A_{s/v}^o - \pi x(2r - x) \quad 2.410$$

, ahol r a gömbsüveg sugara [m]

x a gömbsüveg magassága [m]

π a pí szám (3, 14159265358979...) [$-$]

Behelyettesítve a 2.404-es egyenletbe a geometriai paraméterek felhasználásával kapott összefüggéseket (2.408, 2.409 és 2.410-es egyenletek), a 2.411-es egyenlethez juthatunk.

$$G_s = \sigma_{l/v}(A_{l/v}^o + 2r\pi x) + \sigma_{s/l}(A_{s/l}^o + \pi x(2r - x)) + \sigma_{s/v}(A_{s/v}^o - \pi x(2r - x)) \quad 2.411$$

Most megkeressük a 2.411-es kifejezés minimumát a geometriai méretek (x, r) szerint, viszont a két paraméter nem független egymástól. Közöttük a térfogat teremt kapcsolatot, tehát állandó térfogaton kell keresnünk a minimumot. Ennek módszere a feltételes szélsőérték keresés (2.413, 2.414 és 2.415-ös egyenletek). Ehhez a G_s kifejezést módosítani kell egy, a térfogattal arányos mennyiséggel és ezt szorozni az úgynevezett Lagrange-multiplikátorral (λ) (2.412-es egyenlet), amely tetszőleges értéket vehet fel, mivel a szorzótényezője nulla (a gömbsüveg térfogatára vonatkozó összefüggésből kivonjuk a térfogatot, mint paramétert és így ez nulla lesz).

$$G_s = \sigma_{l/v}(A_{l/v}^o + 2r\pi x) + \sigma_{s/l}(A_{s/l}^o + \pi x(2r - x)) + \sigma_{s/v}(A_{s/v}^o - \pi x(2r - x)) + \lambda \left(\pi x^2 \left(r - \frac{x}{3} \right) - V \right) \quad 2.412$$

, ahol V a csepp térfogata [m^3] ($V = \pi x^2 \left(r - \frac{x}{3} \right)$)

λ a Lagrange-multiplikátor, amely tetszőleges értéket vehet fel

$$\frac{\partial G_s}{\partial x} = 2r\pi\sigma_{l/v} + 2\pi(r - x)(\sigma_{s/l} - \sigma_{s/v}) + \pi\lambda x(2r - x) = 0 \quad 2.413$$

$$\frac{\partial G_s}{\partial r} = 2\pi x\sigma_{l/v} + 2\pi x(\sigma_{s/l} - \sigma_{s/v}) + \pi\lambda x^2 = 0 \quad 2.414$$

$$\frac{\partial G_s}{\partial \lambda} = \pi x^2 \left(r - \frac{x}{3} \right) - V = 0 \quad 2.415$$

Az egyenletrendszer megoldásakor a Lagrange-multiplikátort kell eliminálnunk az első két egyenletből, a harmadik egyenletből pedig visszkapjuk a térfogatot. Az eliminálás, egyszerűsítés és átrendezés (egy oldalra a geometriai, másokra a fizikai paramétereket) után a következő összefüggéshez jutunk:

$$\frac{r - x}{r} = \frac{\sigma_{s/v} - \sigma_{s/l}}{\sigma_{l/v}} \quad 2.416$$

Most a peremszög és a 2.416-os egyenlet kapcsolatához meghatározzuk a hármaspontban a csepp görbéjéhez húzott érintő és a sík felület által bezárt szöget. Ezt a 2.417-es és 2.420-as egyenletekből határozhatjuk meg:

$$y(x) = \sqrt{x(2r - x)} \quad 2.417$$

, ahol $y(x)$ a csepp kontaktkörének sugara a magasságának függvényében [m]

$$\frac{d y(x)}{dx} = ctg \theta^o = \frac{r - x}{\sqrt{x(2r - x)}} \quad 2.418$$

, ahol θ a peremszög [°]

Valamint felhasználva a 2.419-es trigonometrikus azonosságot megkapjuk a 2.420-as egyenletet, amely kapcsolatot teremt a peremszög és a fajlagos határfelületi energiák között.

$$\cos \theta^o = \frac{ctg \theta^o}{\sqrt{1 + (ctg \theta^o)^2}} \quad 2.419$$

$$\cos \theta^o = \frac{r - x}{r} \quad 2.420$$

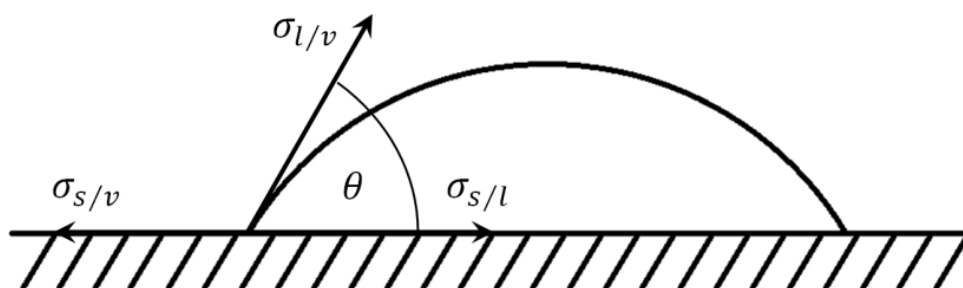
A 2.416-os és a 2.420-as egyenletekből megkapjuk a Young-egyenletet (2.421-es egyenlet).

$$\cos \theta^o = \frac{\sigma_{s/v} - \sigma_{s/l}}{\sigma_{l/v}} \quad 2.421$$

Így vezethetjük le a termodinamikai definícióból a nedvesíthetőségre vonatkozó összefüggést.

2.4.3.2. Young-egyenlet levezetése a Young-Laplace-elmélet alapján

A Young-egyenlet levezetéséhez ebben az esetben az első elméletnek megfelelően fel kell írunk a fajlagos határfelületi energia vektorokat a rendszer metszetén lévő hármaspontban, minden határfelületre. Ekkor a 17. ábrán látható vektorábrához jutunk.



17. ábra Vektorábra a peremszög levezetéséhez (a csepp alakja egy jelleggörbe)

Ahhoz hogy eredményre jussunk, fel kell írunk a vízszintes erőkomponensek egyensúlyát, melyet a 2.422-es egyenlet mutat.

$$\sigma_{s/v} = \sigma_{s/l} + \cos \theta \cdot \sigma_{l/v} \quad 2.422$$

Ha a 2.422-es egyenletből kifejezzük a peremszög koszinuszát, akkor megkapjuk az úgynevezett Young-egyenletet (2.423-as egyenlet) [7, 9, 10].

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{s/v} - \sigma_{s/l}}{\sigma_{l/v}} \quad 2.423$$

Ugyan megkapjuk ezzel a módszerrel a Young-egyenletet, de nem szabad megfeledkeznünk a vektorábra függőleges komponenséről. Ha megfigyeljük, csak egyetlen ilyen vektorkomponens van, amelynek az egyensúly biztosításához 0-val kell egyenlőnek lennie. Ez a komponens a felületi feszültség és a peremszög szinuszának szorzata. Tehát vagy a felületi feszültségnek kell nullának lennie, vagy a peremszög szinuszának.

A felületi feszültség a folyadék forráspontjánál válik nullává, tehát csak ebben az esetben magyarázható az egyensúly a felületi feszültséggel.

A peremszög szinusza akkor nulla, ha a peremszög 0° , vagy 180° . A 180° -os peremszög csak elméletben létezik, a valóságban ilyen nincs, tehát ez az eset nem állhat fenn. A másik lehetőség a 0° -os peremszög, amely esetben a vektorábra megállja a helyét.

Tehát összegezve: Ez a vektorábra akkor állja meg a helyét, ha a folyadék a forráspontján van az adott állapotváltozó mellett, vagy ha a peremszög 0° . Viszont a gyakorlat azt mutatja,

hogy a Young-egyenlet az egyéb esetekben is helyes, sőt mint az előző fejezetben láttuk a Gibbs-elmélet alapján is eljuthatunk hozzá.

2.4.4. A fajlagos határfelületi energia új értelmezése [17]

A Young-Laplace-elmélet értelmében a fajlagos határfelületi energiák (felületi feszültség, felületi energia és a szilárd-folyadék határfelületi energia) vektormennyiségek. Ahhoz, hogy ezt igazolni tudjuk, elő kell vennünk a fajlagos határfelületi energia Gibbs-féle definícióját (2.402-es egyenlet). A 2.402-es egyenletben a felületi Gibbs-energiát lecserélhetjük annak az adott határfelületre vonatkozó tagjára, és így a parciális deriválást lecserélhetjük - állandó állapotváltozók esetén - egyszerű osztásra. Továbbá tudjuk, hogy a felület vektormennyiség (hatásvonala a pontbeli érintősíkra merőleges, iránya tetszőlegesen választható, de jelen esetben a görbületi középpontba mutat) és a Young-Laplace-elmélet szerint a fajlagos határfelületi energia szintén vektormennyiség, ezért ezeket vektorként jelölöm (2.424-es egyenlet).

$$\overrightarrow{\sigma_{\alpha/\beta}} = \frac{\Delta G_{s\alpha/\beta}}{A_{\alpha/\beta}} \quad 2.424$$

, ahol $\Delta G_{s\alpha/\beta}$ az α és β fázisokat határoló felület felületi többletenergiaja [J]

$\overrightarrow{A_{\alpha/\beta}}$ az α és β fázisokat határoló felület felületi vektora [m^2]

$\overrightarrow{\sigma_{\alpha/\beta}}$ az α és β fázisokat határoló felület fajlagos határfelületi energia vektora [$\frac{J}{m^2}$]

A 2.424-es egyenlet jobb oldali törtjének nevezőjében lévő felületvektorral ha átszorozunk, és mindkét vektort felírjuk az egységvektorának és abszolút értékének szorzataként, akkor a 2.425-ös egyenlethez jutunk.

$$\sigma_{\alpha/\beta} \overrightarrow{\sigma_{e/\alpha/\beta}} A_{\alpha/\beta} \overrightarrow{a_{\alpha/\beta}} = \Delta G_{s\alpha/\beta} \quad 2.425$$

, ahol $\sigma_{\alpha/\beta}$ az α és β fázisokat határoló felület fajlagos határfelületi energiája [$\frac{J}{m^2}$]

$\overrightarrow{\sigma_{e/\alpha/\beta}}$ az α és β fázisokat határoló felület fajlagos határfelületi energia

vektorának egységvektora [–]

$A_{\alpha/\beta}$ az α és β fázisokat határoló felület nagysága [m^2]

$\overrightarrow{a_{\alpha/\beta}}$ az α és β fázisokat határoló felület felületi vektorának egységvektora [–]

A két egységvektor skaláris szorzatának 1-et vagy -1-et kell adnia, mivel csak így értelmezhető a 2.425-ös egyenlet. Ez abban az esetben lehetséges, ha a két vektor

hatásvonala megegyezik egymással. Ha a két vektor merőleges lenne egymással - mint azt Young és Laplace feltételezte -, akkor a skaláris szorzat nulla lenne, és így nem léteznének határfelületi jelenségek. Tehát ebből következik, hogy a fajlagos határfelületi energia vektor egységvektorának hatásvonala megegyezik a határoló felület felületi egységvektorának hatásvonalával.

A skaláris szorzat abban az esetben 1, ha a két vektor egyazon irányba mutat, tehát a fajlagos határfelületi energia vektor egységvektora a felületi egységvektorral együtt a görbületi középpontba mutat.

Továbbá a skaláris szorzat abban az esetben -1, ha a két vektor ellentétes irányba mutat. Ilyenkor a negatív előjelet a fajlagos határfelületi energia negatív előjele kompenzálja. Ez azt jelenti, hogy a felület negatívabb Gibbs-energiával rendelkezik, mint a fázis belseje, így a határfelület rövid időn belül megszűnik (ilyen a forrás, vagy az oldódás jelensége is).

Ez a legalapvetőbb módja a fajlagos határfelületi energia vektor irányának meghatározására és igazolására.

2.4.5. A Young-egyenlet új értelmezése [17]

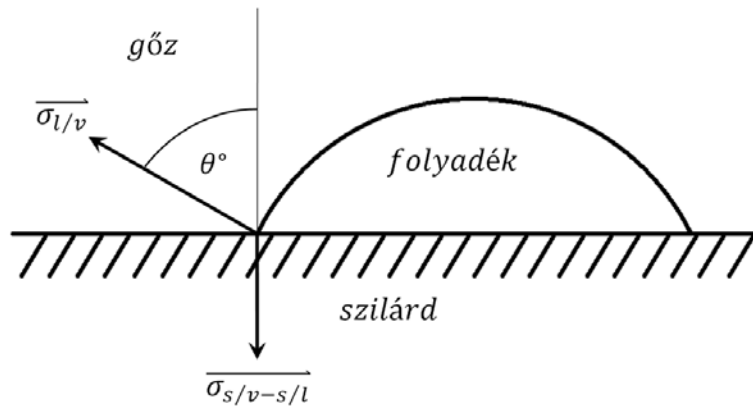
A 2.3.3-as fejezetben bizonyítást nyert, hogy nem nano fázisok (nem kis fázisok) esetén a fajlagos határfelületi energia vektor merőleges a határfelületre. Így az 17-es ábra vektorábráját újra kell értelmeznünk, mivel Young és Laplace megállapítása, hogy ez a vektor párhuzamos a felülettel hibás volt - amit azóta is így használnak.

Az újraértelmezéshez fel kell írunk a hármasonlapon lévő atomra ható erők egyensúlyát [18, 19].

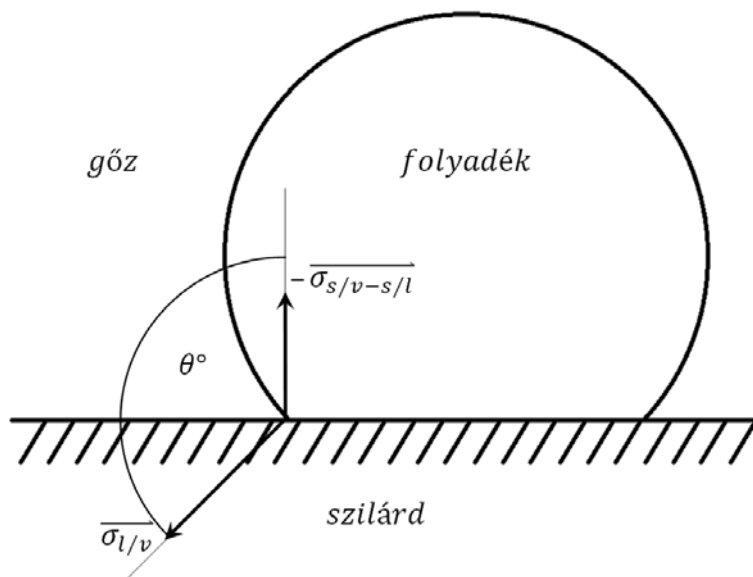
A folyadék-gőz fajlagos határfelületi energia vektora a folyadék fázisból kifelé mutat, mivel a határfelületen az atomok nem a lehető legkisebb energiával rendelkeznek, így a többi atom rá olyan erőhatással lép fel, hogy „kilökje” a felületre (mivel az ő energiaállapotuk sem kedvező a felületen).

A szilárd-folyadék és a szilárd-gőz fajlagos határfelületi energiák irányát ellenben nem tudjuk ilyen egyszerűen meghatározni. Azt tudjuk, hogy hatásvonaluk merőleges a határfelületre. Csakis a különbségvektoruk irányát tudjuk meghatározni, de ez éppen elegendő.

Meg kell különböztetnünk két esetet: amikor a folyadék nedvesíti (18. ábra), és amikor nem nedvesíti (19. ábra) a szilárd felületet.



18. ábra Nedvesítő csepp sík, szilárd felülettel kontaktusban, gravitációmentes térben a fajlagos határfelületi energia vektorokkal



19. ábra Nem nedvesítő csepp sík, szilárd felülettel kontaktusban, gravitációmentes térben a fajlagos határfelületi energia vektorokkal

Nedvesítő esetben (18. ábra) a Young-egyenlet alapján (emlékezzünk vissza, hogy a 2.4.3.1.-es fejezetben bebizonyítottuk, hogy a Young-egyenlet helyes) a szilárd-gőz és szilárd-folyadék fajlagos határfelületi energia vektorok különbségvektora ($\overrightarrow{\sigma_{s/v-s/l}} = \overrightarrow{\sigma_{s/v}} - \overrightarrow{\sigma_{s/l}}$) nagyobb, mint nulla. A szilárd-gőz fajlagos határfelületi energia nagyobb, mint a szilárd-folyadék határfelületi energia, tehát a természet a szilárd-folyadék határfelületet akarja növelni a szilárd-gőz határfelület rovására. Ebből következik, hogy a különbségvektor a szilárd fázis irányába mutat. A folyadék-gőz fajlagos határfelületi energia függőleges irányba eső komponense pedig éppen ellensúlyozza a különbségvektort (2.426-os egyenlet, amiből kifejezhető a Young-egyenlet).

Vízszintes irányban jelen esetben is csak egyetlen vektorkomponens van, de ne feledkezzünk meg arról, hogy ez a vektorábra a hármason minden pontjában érvényes. Itt az egymással

átellenes oldali vízszintes vektorkomponensek ejtik ki egymást (egy vektor a hatásvonal mentén szabadon eltolható), így biztosítva az egyensúlyt (2.427-es egyenlet).

$$\text{függőleges komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \cos \theta^o = \sigma_{s/v-s/l} \quad 2.426$$

$$\text{vízszintes komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \sin \theta^o = \sigma_{l/v} \sin \theta^o \quad 2.427$$

, ahol θ^o az egyensúlyi peremszög [$^\circ$]

Nem nedvesítő esetben (19. ábra) a Young-egyenlet alapján a különbségvektor kisebb, mint nulla. A szilárd-gőz fajlagos határfelületi energia kisebb, mint a szilárd-folyadék határfelületi energia, tehát a természet a szilárd-gőz határfelületet akarja növelni a szilárd-folyadék határfelület rovására. Ebből következik, hogy a különbségvektor a gőz fázis irányába mutat. Mivel ezt figyelembe vettük a vektor irányításánál a különbségvektort negatív előjellel kell használni. A folyadék-gőz fajlagos határfelületi energia függőleges irányba eső komponense ugyancsak ellensúlyozza a különbségvektort (2.428-as egyenlet, amiből ugyancsak kifejezhető a Young-egyenlet).

Vízszintes irányban most is csak egyetlen vektorkomponens marad, amely a kerület mentén átellenesen lévőekkel itt is kiesik (2.29-es egyenlet).

$$\text{függőleges komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \cos(180^\circ - \theta^o) = -\sigma_{s/v-s/l} \quad 2.428$$

$$\text{vízszintes komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \sin(180^\circ - \theta^o) = \sigma_{l/v} \sin(180^\circ - \theta^o) \quad 2.429$$

Ezzel az elmélettel a 2.4.3.2-es fejezetben, a 17. ábrában lévő Young és Laplace elmélete alapján felrajzolt vektorábra problémái kiküszöbölhetőek. Egyáltalán nem szükséges valamilyen másik jelenség ahhoz, hogy megmagyarázhassuk a felmerülő problémákat, egészen egyszerűen csak újra kellett értelmezni a fajlagos határfelületi energia vektor irányát.

2.4.6. A gravitáció hatása a nedvesíthetőségre [17]

Ennek a problémának a felvázolása, és a megoldására tett kísérlet a legjobb módja annak, hogy belássuk a Gibbs-elmélettel nem mindig érünk célt.

A Gibbs-elmélet alkalmazásához le kell vezetnünk a gravitációs térben lévő folyadékcsepp alakját. Ezt még le is tudjuk vezetni kisebb elhanyagolásokkal, de a minimál energiájú állapothoz tarozó peremszög meghatározása már matematikailag nem lehetséges (részben

az elhanyagolás miatt). A rendszer összes felületi energiáját ki kell egészítenünk a csepp súlypontjának magasságához tartozó potenciális energiával, és az itt szereplő integrálokkal már nem tudunk mit kezdeni. Ezért használnak numerikus módszereket erre a problémára (ADSA) [20-33].

A Young-Laplace-elmélet használatával sokáig nem tudtunk semmit elérni, amikor a gravitációt is figyelembe vettük, még hozzá azért nem, mert helytelenül vettük fel a vektorokat. Ha egy, a gravitációs paramétereiktől (csepp mérete, sűrűség, gravitációs állandó) függő fajlagos vektort felvesszünk az 17. ábrán lévő vektorábrához, akkor a különböző eseteket megvizsgálva értelmetlen, logikátlan eredményre jutunk.

Mint tudjuk az erő és az energia koncepciónak egyenértékűnek kell lennie, ha mindkét elmélet helyesen van kidolgozva. A Gibbs-elmélet, még ha csak numerikusan is, de működik, amelyet a gyakorlat igazolt. A Young-Laplace-elmélet ellenben nem akar működni abban a pillanatban, amint a gravitáció is beleszól a jelenségbe. Ez egészen egyszerűen abból adódik, hogy a fajlagos határfelületi energia vektorok helyzetének itt már nem csak egymáshoz képest kell megfelelőnek lenni, hanem a gravitációs erő irányához is. Tehát ha nem helyes koncepció alapján vesszük fel a vektorokat, akkor értelmetlen eredményt kapunk. Ellenben ha az új elméletet használjuk, miszerint a fajlagos határfelületi energia vektorok merőlegesek a határfelületre, és figyelembe vesszük az előző fejezetben leírtakat, akkor valós, használható megoldásra jutunk, ami egy partikuláris megoldása a Gibbs-elmélettel levezethetőnek.

A gravitációt, mint már említettem, egy fajlagos erővektorral adhatjuk hozzá a vektorábrához (20.-21. ábra). Ez a csepp súlyereje osztva a csepp kontaktkörének kerületével (2.430-as egyenlet). Megjegyzem, hogy figyelembe vehetjük a gőztér felhajtóerejét is, amely nem sokban változtatja a végső egyenletet, viszont annál pontosabb. Én most ezt is figyelembe veszem, viszont ez akár el is hagyható, mert a gőz sűrűsége a folyadékhoz képest elhanyagolható mértékű.

$$\vec{F}'_g = \frac{\vec{F}_g}{K} = \frac{(\rho_l - \rho_v)\vec{g}V}{2r\pi} \quad 2.430$$

, ahol F'_g a kerület mentén megoszló gravitációs erővektor $\left[\frac{N}{m}\right]$

\vec{F}_g a gravitációs erővektor $[N]$

K a csepp kontaktkörének kerülete $[m]$

ρ_l a folyadék fázis sűrűsége $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

ρ_v a gőz fázis sűrűsége $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

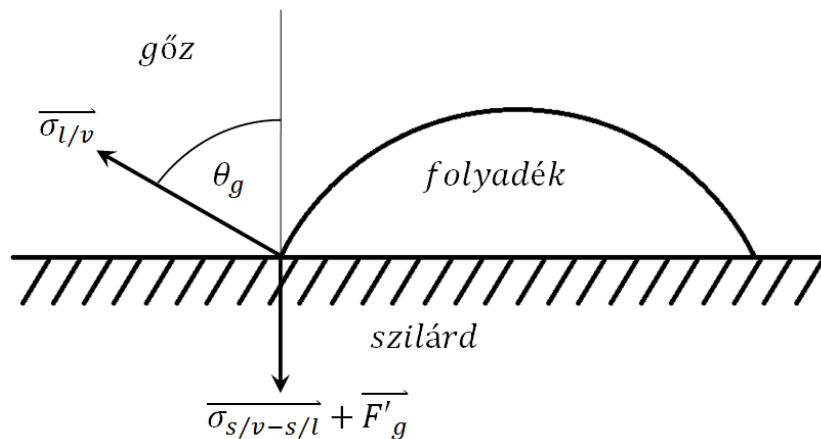
\vec{g} a gravitációs gyorsulás vektor $\left[\frac{m}{s^2}\right]$, Budapesten: $9,81 \frac{m}{s^2}$

V a csepp térfogata $[m^3]$

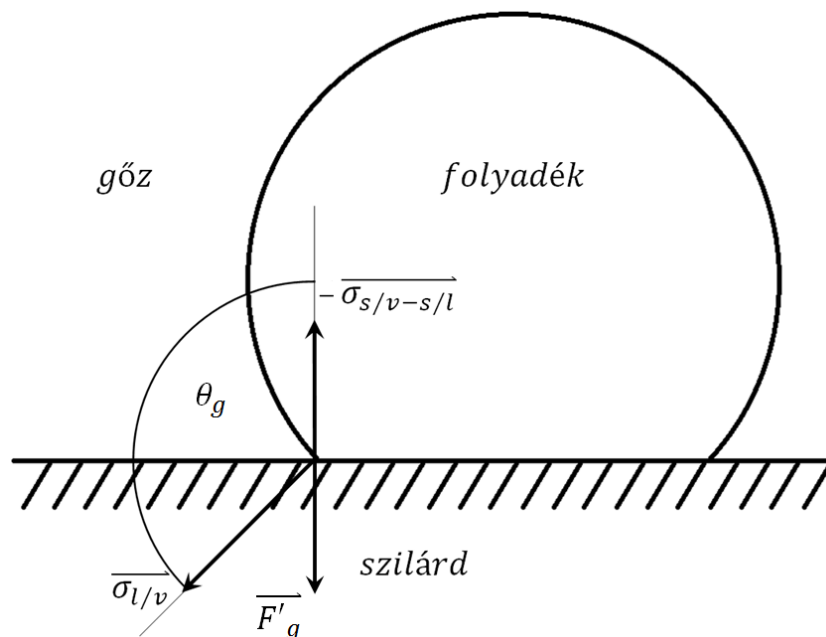
r a csepp kontaktkörének sugara $[m]$

π a pí szám (3, 14159265358979...) $[-]$

A vektorábrát most is szétválasztom a nedvesítő (20. ábra) és a nem nedvesítő (21. ábra) esetre, hogy jobban megérthessük a különbségvektor irányát a többihez képest.



20. ábra Nedvesítő csepp sík, szilárd felülettel kontaktusban, gravitációs térben a fajlagos határfelületi energia és megoszló gravitációs erő vektorokkal



21. ábra Nem nedvesítő csepp sík, szilárd felülettel kontaktusban, gravitációs térben a fajlagos határfelületi energia és megoszló gravitációs erő vektorokkal

A 20. ábra vektorainak egyensúlya:

$$\text{függőleges komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \cos \theta_g = \sigma_{s/v-s/l} + F'_g \quad 2.431$$

$$\text{vízszintes komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \sin \theta_g = \sigma_{l/v} \sin \theta_g \quad 2.432$$

, ahol θ_g a gravitációs peremszög [°]

A 21. ábra vektorainak egyensúlya:

$$\text{függőleges komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \cos(180^\circ - \theta_g) + F'_g = -\sigma_{s/v-s/l} \quad 2.433$$

$$\text{vízszintes komponensek egyensúlya: } \sigma_{l/v} \sin(180^\circ - \theta_g) = \sigma_{l/v} \sin(180^\circ - \theta_g) \quad 2.434$$

A 2.432-es és a 2.434-es egyenletek esetében az egyensúly itt is biztosítva van, mert a kontaktkörön egymással szemben lévő vízszintes erővektorok páronként kiejtik egymást. A 2.431-es és a 2.433-as egyenletekből pedig ugyanarra az összefüggésre jutunk (2.435-ös egyenlet), ha kifejezzük a gravitációs peremszög koszinuszát. Az összefüggés alapján a gravitáció minden esetben növelni fogja a nedvesítést, tehát a peremszög csökkenni fog (elősegíti a terülést).

$$\cos \theta_g = \cos \theta^o + \frac{(\rho_l - \rho_v)gV}{2r\pi\sigma_{l/v}} \quad 2.435$$

Változatlan anyagi állandók mellett, ha csak a csepp méretét vesszük figyelembe, akkor a $\frac{V}{r}$ hányados a meghatározó, és ennek függvényében tudjuk megadni a peremszög függését a csepp méretétől.

3. A téma kidolgozása

Diplomamunkám célja a gombabontott faanyag tulajdonságainak vizsgálata a gombabontás során. A korhasztógomba a faanyagba kerülve enzimeket kezd termelni, amelyek az ott található anyagokat képesek bontani. A bontás eredménye olyan anyag, amellyel a gomba már képes közvetlenül táplálkozni. Az enzimek típusától függően megkülönböztetünk barna- és fehérkorhadást. A barnakorhasztók celluláz, vagyis cellulózt bontó enzimeket termelnek, míg a fehérkorhasztók ligninázt is, amely pedig a lignint bontja. A fehérkorhasztók kezdetben lignináz enzimek termelésére képesek, majd később, amikor megerősödtek már cellulázt is.

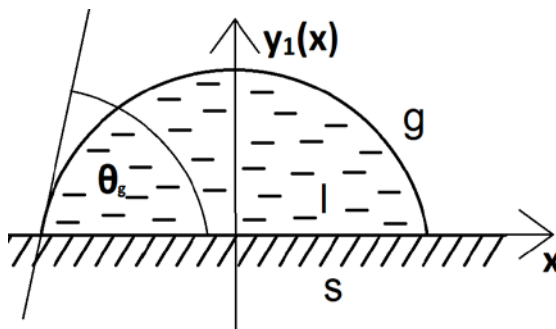
Az korhasztógombák létének egyik feltétele a megfelelő nedvességtartalom, amely természetesen a gombabontás folyamata során változik, hiszen a gombák által termelt enzimek megtámadják a faanyag szerkezetét. Ezt jellemzi a faanyag nedvesíthetősége is [34-41]. A gombabontott faanyag nedvesíthetőségének mérésére az irodalomban nem találtam példát. Az irodalomban elsősorban a termikusan kezelt faanyag nedvesíthetőségére van példa [42-53], ami a modifikálás hatásosságát jellemzi, hiszen kisebb nedvesíthetőség nagyobb gombaállóságot jelent. Illetve a hőkezelt anyag gombaállóságát is vizsgálják [54-57].

Dolgozatomban először az általam kidolgozott felületi feszültség és nedvesíthetőség elméletét fejlesztettem tovább. Majd a továbbiakban az MSZ EN 113:2001-es szabványnak megfelelően gombaállósági vizsgálatot végeztem [58], azzal a különbséggel, hogy bizonyos időközönként levettem a gombákról mintadarabokat, hogy a gombabontás folyamatát az idő függvényében tudjam vizsgálni. A gombabontott mintákon meghatároztam a bontás mértékét. Leszártást követően különböző légnedvességeken megmértem az egyensúlyi fanedvességet. Ezek után mikrotommal kialakítottam a további mérésekhez szükséges sík felületet. Az így előkészített darabokon peremszöget mértem, és a bütümentszetről pásztázó elektronmikroszkópos szekunder elektron felvételeket készítettem, hogy nyomon követhessük a faanyag szerkezetének degradációját.

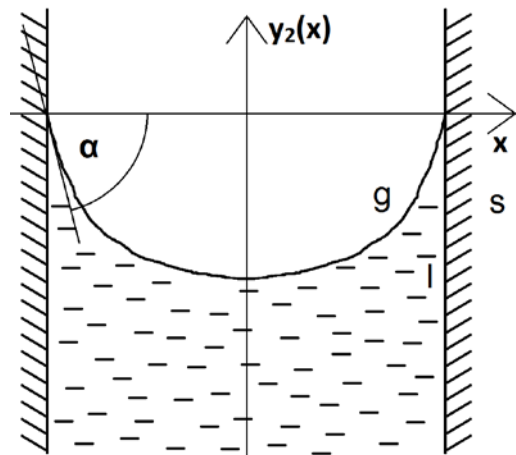
3.1. A peremszög értelmezésének kiterjesztése, a kapilláris emelkedés levezetése erővektorokkal

A sejtésem a kapilláris emelkedés vektorokkal történő levezetésénél az, hogy egy hengeres kapillárisban lévő folyadékfelszín alakját ugyanaz a függvény írja le, mint a sík, szilárd felülettel kontaktusban lévő folyadékcsepp felszínét csak annak mínusz egyszerese, és maximum egy konstansban tér el. Természetesen mindez gravitációs mezőben.

A sejtés bizonyításához fel kell írni az alábbi 2 ábra (22., 23. ábra) alapján a Young-Laplace-egyenletet mind a két esetre (3.001-es, 3.002-es egyenlet).



22. ábra Folyadékcsepp alakja sík szilárd felülettel kontaktusban



23. ábra Folyadékfelszín alakja hengeres kapillárisban

folyadékcsepp	kapilláris
$(\rho_l - \rho_v) g y_1(x) = \sigma_{l/g} \left(\frac{y_1''(x)}{(1 + y_1'^2)^{3/2}} + \frac{1}{ x } \right) \quad 3.001$	$(\rho_l - \rho_v) g y_2(x) = \sigma_{l/g} \left(\frac{y_2''(x)}{(1 + y_2'^2)^{3/2}} - \frac{1}{ x } \right) \quad 3.002$

A sejtés: $y_2(x) = -y_1(x) + c$ 3.003

$$(\rho_l - \rho_v) g (-y_1(x) + c) = \sigma_{l/g} \left(\frac{-y_1''(x)}{(1 + y_1'^2)^{3/2}} - \frac{1}{|x|} \right) \quad 3.004$$

, ahol $y_1(x)$ a 22. ábrán lévő folyadék-gőz határfelületet leíró görbe egyenlete [m]

$y_2(x)$ a 23. ábrán lévő folyadék-gőz határfelületet leíró görbe egyenlete [m]

c a feltételezett esetleges függőleges irányú eltérés a 22-es és a 23-es ábrákon

jelölt függvények között [m]

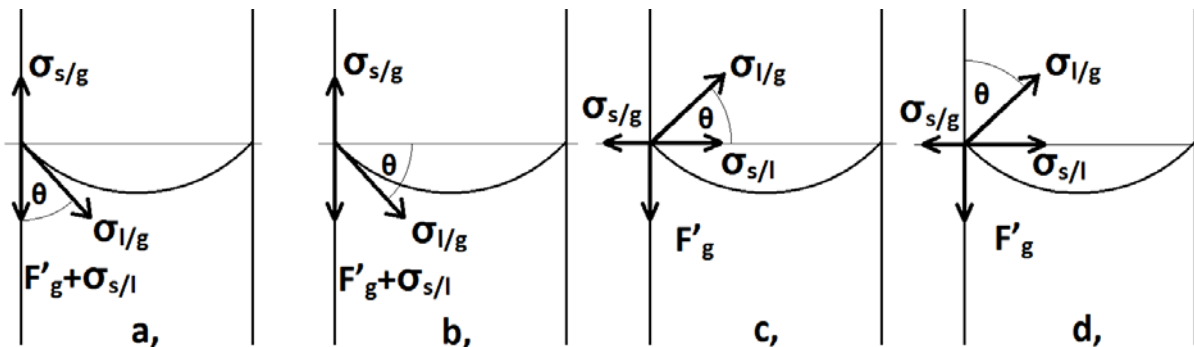
A differenciálegyenletek nem oldhatóak meg egzaktul ellenben tudjuk, hogy az 3.001-es egyenlőség igaz, ezért ezzel egyszerűsíthetjük a 3.004-es egyenletet, és így jutunk a 3.005-as egyenlethez.

$$(\rho_l - \rho_v) g c = 0 \quad 3.005$$

A 3.005-as egyenletből következik, hogy $c = 0$, mivel $(\rho_l - \rho_v)$ és g nem lehet nulla. Ezzel bizonyítottam, hogy a sejtésem helyes.

Tehát a két különböző esetben a felületet leíró függvények egymásnak mínusz egyszeresei. Ennek az is a következménye, hogy a 22-es és 23-es ábrákon már előre felvázolt szögek egymással egyenlők ($\theta_g = \alpha$). Ennek a következménye az, hogy a peremszög, amit eddig mindig a hármason pontjaiba húzott felületi érintőknél, mindig a szilárd-folyadék és a folyadék-gőz határfelületek érintői közé húztunk a folyadékon keresztül, most kiderült, hogy nem igaz. Sík szilárd felületen nyugvó cseppnél igaz, de kapilláris esetében már például nem.

Ugyanezt a sejtést egy másik oldalról is bizonyíthatjuk, ha a 24. ábrán a hármason felírjuk a fajlagos határfelületi energiák, és a fajlagos gravitációs erővektor egyensúlyát.



24. ábra Fajlagos határfelületi energia vektorok a klasszikus és az általam újraértelmezett szerint, valamint a peremszög elhelyezkedése a klasszikus és az általam újraértelmezett szerint

a, hat. fel. .e.:klasszikus, p.szög.: klasszikus

b, hat. fel. .e.:klasszikus, p.szög.: újraértelmezett

c, hat. fel. .e.: újraértelmezett, p.szög.: klasszikus

d, hat. fel. .e.: újraértelmezett, p.szög.: újraértelmezett

Az c, és d, ábrákon a könnyebb láthatóság kedvéért a peremszöggel megegyező nagyságú szögek vannak jelölve, kihasználva a merőlegességeket, és nem a felület érintőjénél.

Továbbá ugyanezeket a vektorábrákat természetesen fel tudjuk írni a kapillárisok mindkét oldalán, tehát ebből következik, hogy a vízszintes erők egyensúlyára azonosságot kapunk, így minden esetben biztosított, a függőleges vektorok egyensúlyában pedig minden tag csak egy kétszeres szorzót kap.

A fajlagos gravitációs erővektort itt is a 2.430-as egyenlettel definiálhatjuk, ahol most a sugár a kapilláris sugara.

3. táblázat A 42. ábra vektoregyensúlyai

tagok egyensúlya	a,	b,	c,	d,
vízszintes	$\sigma_{l/v} \sin \theta$ $= \sigma_{l/v} \sin \theta$ 3.006	$\sigma_{l/v} \cos \theta$ $= \sigma_{l/v} \cos \theta$ 3.007	$\sigma_{s/v} + \sigma_{l/v} \cos \theta + \sigma_{s/l}$ $= \sigma_{l/v} \cos \theta + \sigma_{s/l} + \sigma_{s/v}$ 3.008	$\sigma_{s/v} + \sigma_{l/v} \sin \theta + \sigma_{s/l}$ $= \sigma_{l/v} \sin \theta + \sigma_{s/l} + \sigma_{s/v}$ 3.009
függőleges	$2\sigma_{s/v}$ $= 2\sigma_{l/v} \cos \theta$ $+ 2F'_g + 2\sigma_{s/l}$ 3.010	$2\sigma_{s/v}$ $= 2\sigma_{l/v} \sin \theta$ $+ 2F'_g + 2\sigma_{s/l}$ 3.011	$2\sigma_{l/v} \sin \theta = 2F'_g$ 3.012	$2\sigma_{l/v} \cos \theta = 2F'_g$ 3.013

A 2.430-os egyenletben lévő térfogatot egy henger térfogataként írhatjuk fel, elhanyagolva a kapillárisban lévő folyadék felszínének alakját (2.52-es egyenlet).

$$V = r^2 \pi h \quad 3.014$$

Ha felhasználjuk a 2.430-as és a 3.014-es egyenleteket, valamint a függőleges erőkomponensek egyensúlyából kapott összefüggéseket, és kifejezzük az emelkedési magasságot (h), akkor a következő összefüggésekhez jutunk.

a,	b,	c,	d,
$h = \left(\frac{\sigma_{s/v} - \sigma_{s/l}}{\sigma_{l/v}} - \cos \theta \right) \frac{2\sigma_{l/v}}{(\rho_l - \rho_v)gr}$	$h = \left(\frac{\sigma_{s/v} - \sigma_{s/l}}{\sigma_{l/v}} - \sin \theta \right) \frac{2\sigma_{l/v}}{(\rho_l - \rho_v)gr}$	$h = \frac{2\sigma_{l/v} \sin \theta}{(\rho_l - \rho_v)gr}$	$h = \frac{2\sigma_{l/v} \cos \theta}{(\rho_l - \rho_v)gr}$
3.015	3.016	3.017	3.018

Az előző táblázatban összefoglalt eredményekből megállapíthatjuk, hogy helyesen a d, esetben vettük fel a paramétereket, hiszen ezt az egyenletet tudjuk levezetni a Gibbs-egyenletből is, minimálenergia alapján.

Tehát ezzel egyszerre bizonyítottam azt, hogy a fajlagos határfelületi energia vektorok mindig merőlegesek az adott határfelületre, illetve hogy a peremszöget kapillárisban lévő

folyadék esetén a folyadék-gőz határfelület érintője, és a vízszintes irány közé tudjuk felvenni, vagy folyadék gőz határfelületi energia vektor és a függőleges irány közé.

3.2. A gombaállósági vizsgálat

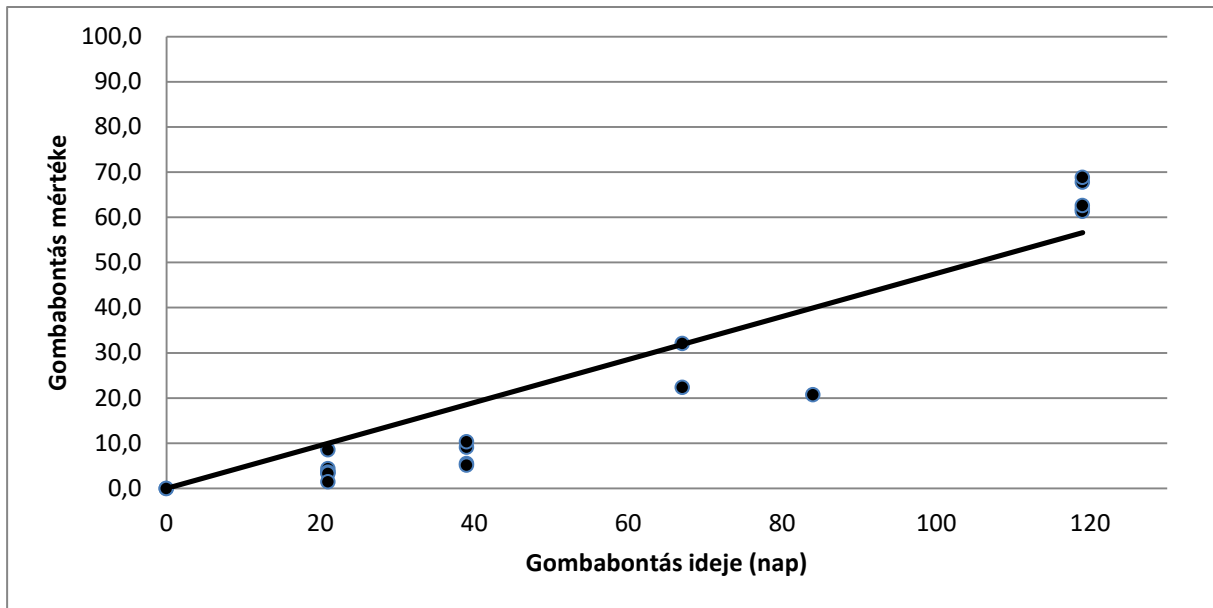
A gombaállósági vizsgálatra a közönséges erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) és a közönséges bükk (*Fagus sylvatica*) szíjácsát választottam, hiszen a faanyagvédelemben mint referenciaanyagok vannak jelen. Ehhez két elterjedt és viszonylag agresszív korhasztó gombát választottam. Egy barna- és egy fehérkorhasztót. Barnakorhasztó gyanánt a pincegombát (*Coniophora puteana*), amely elsősorban fenyőfélét károsít. Fehérkorhasztó gyanánt a lepketaplót (*Trametes versicolor*), amely elsősorban a lombos fák károsítója.

A gombákat törzstenyészetről oltottam Kolle-lombikba helyezett maláta-agaragar táptalajra, amin azt kitenyésztettem, csak ezek után helyeztem rá a 20mm X 20mm X 20mm-es fakockákat (25.ábra).

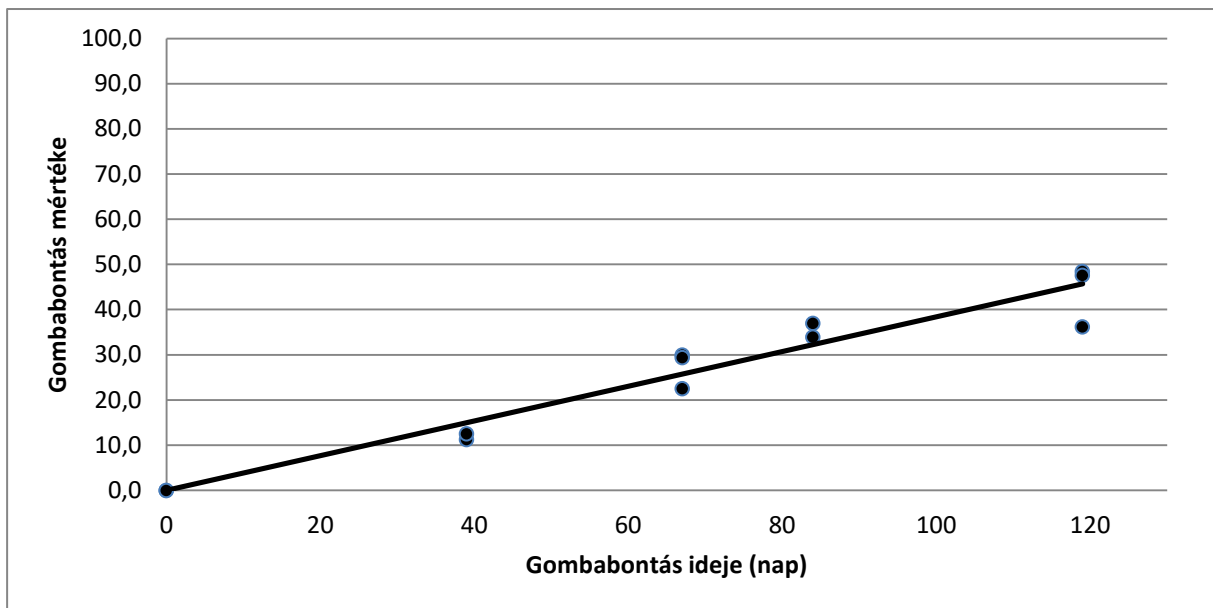


25. ábra Lepketapló (*Trametes versicolor*) tenyésztetre helyezett bükk (*Fagus sylvatica*) próbatetek

A gombára helyezés előtt megmértem a mintadarabok abszolút száraz tömegét, majd a gombabontott kockák abszolút száraz tömegét is. Ebből százalékosan kiszámítottam a bontás mértékeit, amelyek a 26. és a 27. ábrákon láthatók.



26. ábra Pincegomba bontása erdeifenyőn

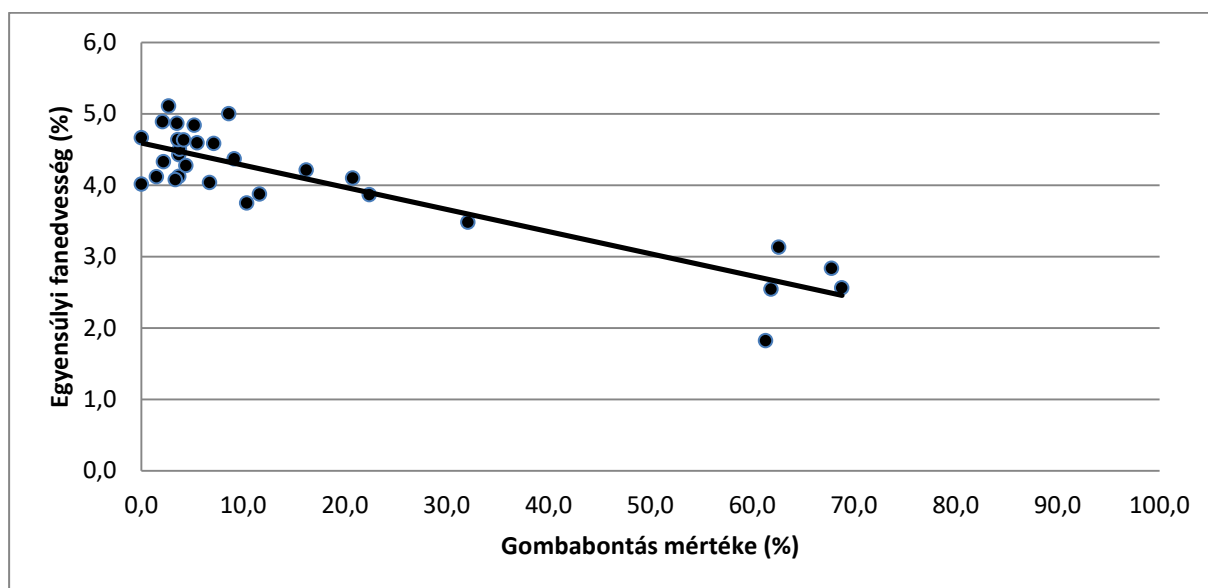


27. ábra Lepketapló bontása bükkön

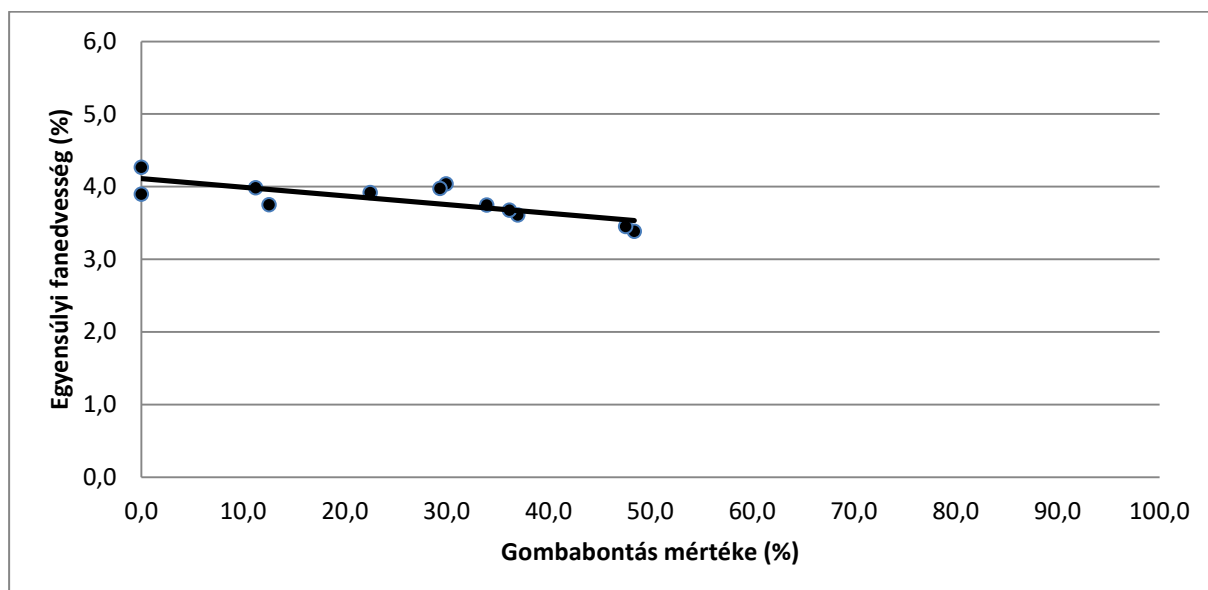
A diagramokból látható, hogy a gombabontás mértéke nagyjából lineárisan változott az időben, ami a teljes idő alatt pincegomba-erdeifenyő párosítás esetén kb. 65% volt, lepketapló-bükk párosítás esetén pedig 45%. Meg kell említenem, hogy néhány lombik bepenészedett, ami meghamisította volna a mérést, ezért ezeket a mintadarabokat nem vettem figyelembe a kiértékelés során.

3.3. Egyensúlyi fanedvesség meghatározása

A fanedvesség meghatározását két klímán végeztem el. Először normál 20°C-os 65% relatív páratartalom mellett (28. és 29. ábra), majd ugyanezen a hőmérsékleten 100%-os relatív páratartalom mellett (30. és 31. ábra). Mivel a mintadarabjaimat le kellett szárítanom ahhoz, hogy biztosítsam a gombák pusztulását, ezért a 0%-os fanedvesség felől nedvesítettem vissza a mintáimat. Így kisebb értékeket kaptam a nedvesség hiszterézis miatt, mintha rosttelítettségéből indultam volna ki.

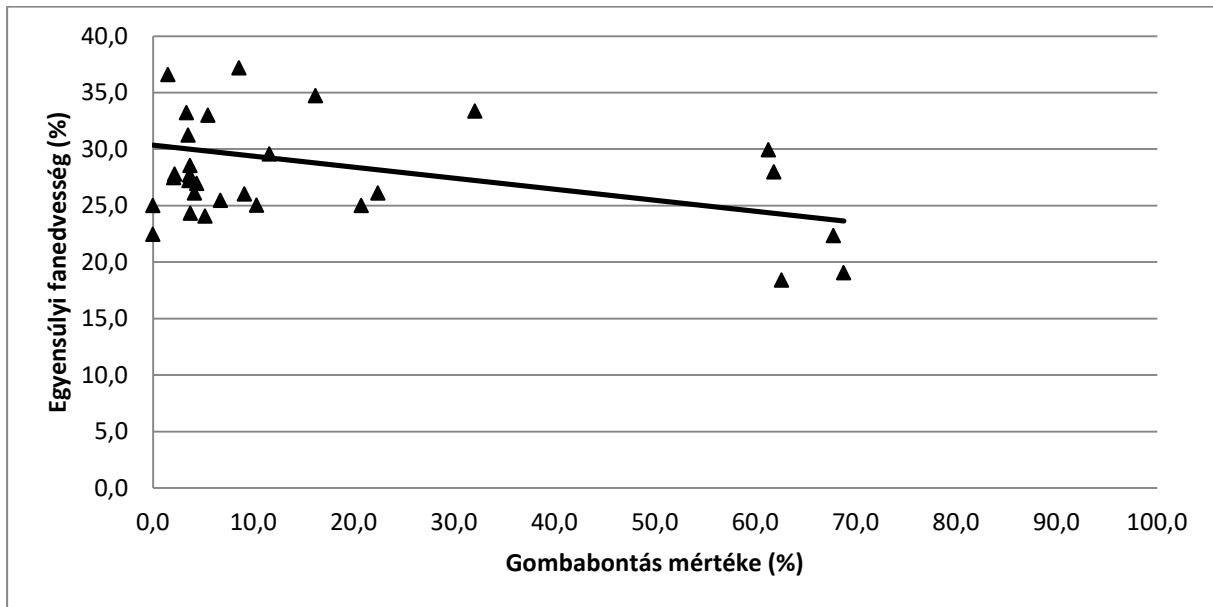


28. ábra Egyensúlyi fanedvesség pincegomba által bontott erdeifenyőn, 65%-os relatív páratartalom és 20°C-on

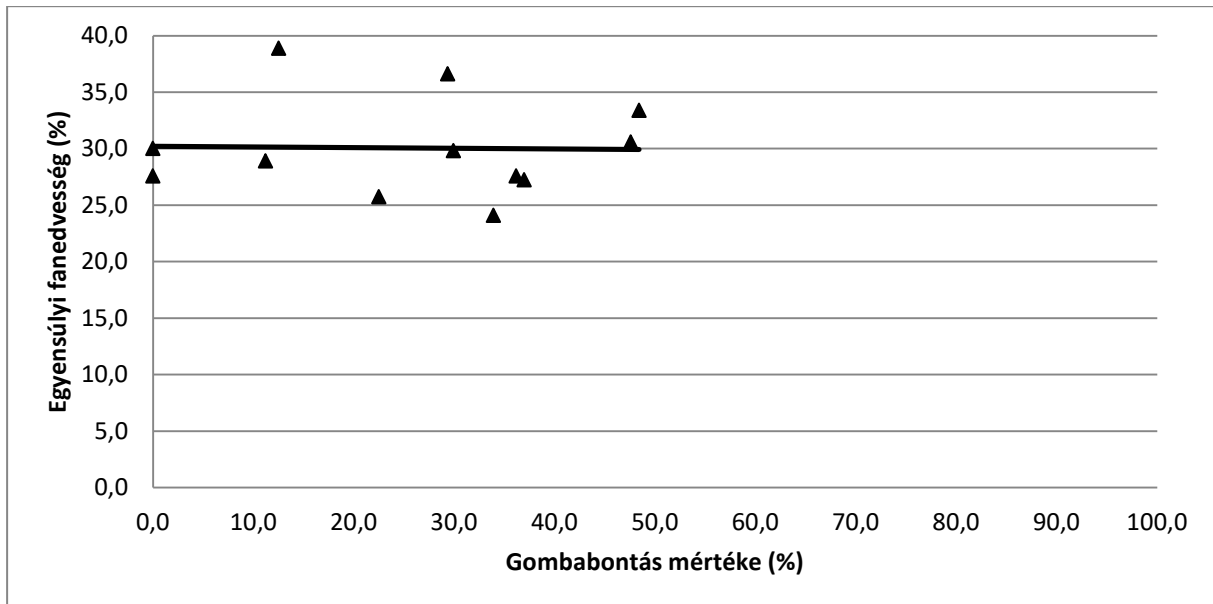


29. ábra Egyensúlyi fanedvesség lepketapló által bontott bükkön, 65%-os relatív páratartalom és 20°C-on

A 28. és a 29. ábráról megállapítható, hogy a gombabontás mértékével a faanyag egyensúlyi fanedvessége a visszanedvesítés irányából kb. felére csökken pincegomba-erdeifenyő párosítás esetén, lepketapló-bükk párosítás esetén szintén csökken, de nem olyan mértékben, mint a másik esetben.



30. ábra Egyensúlyi fanedvesség pincegomba által bontott erdeifenyőn, 100%-os relatív páratartalom és 20°C-on

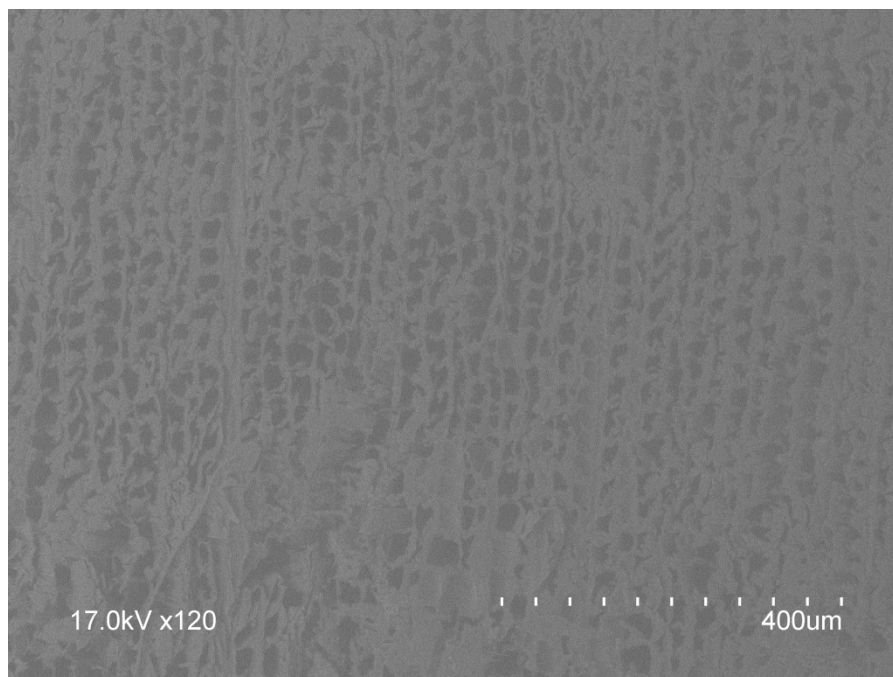


31. ábra Egyensúlyi fanedvesség lepketapló által bontott bükkön, 100%-os relatív páratartalom és 20°C-on

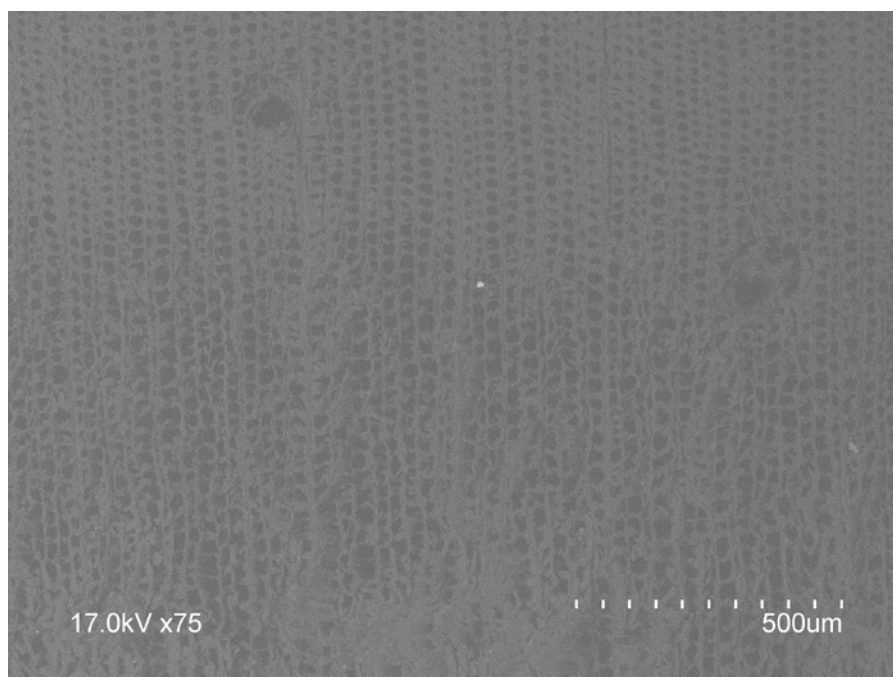
A 30. és a 31. ábrákon a trend már nem látszik ilyen egyértelműen. Ennek valószínű oka, hogy az idő szűkössége miatt nem tudtam elég ideig ezen a klímán tartani. Ezzel magyarázható a mérési adatok sokkal nagyobb szórása is.

3.4. Gombabontott próbatestek SEM képe bütümentszeten

A pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket 15 kV körüli gyorsítófeszültséggel készítettem attól függően, hogy mit kívánt meg a megfelelő kontrasztú kép elkészítése. Az alkalmazott detektor a szekunder elektron detektor volt.



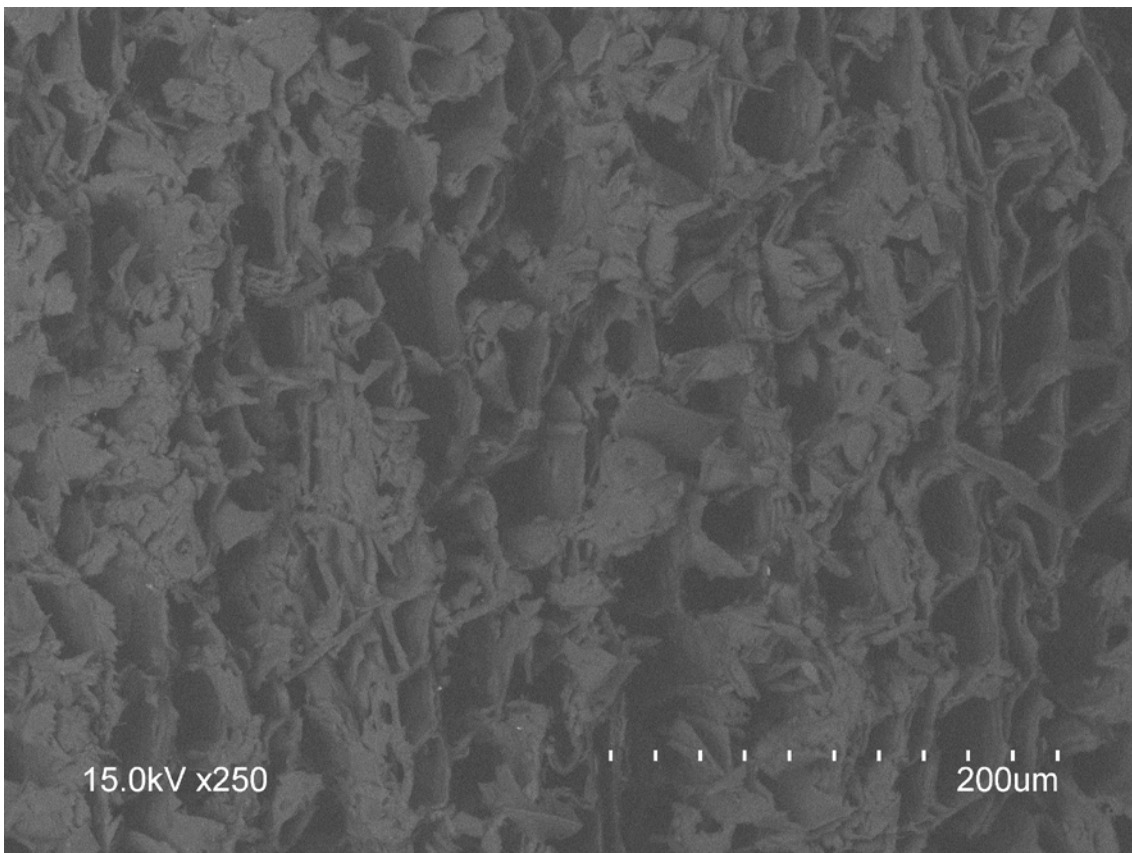
32. ábra Erdeifenyő korai pásztájának bütümentszeten készült SEM-SE kép



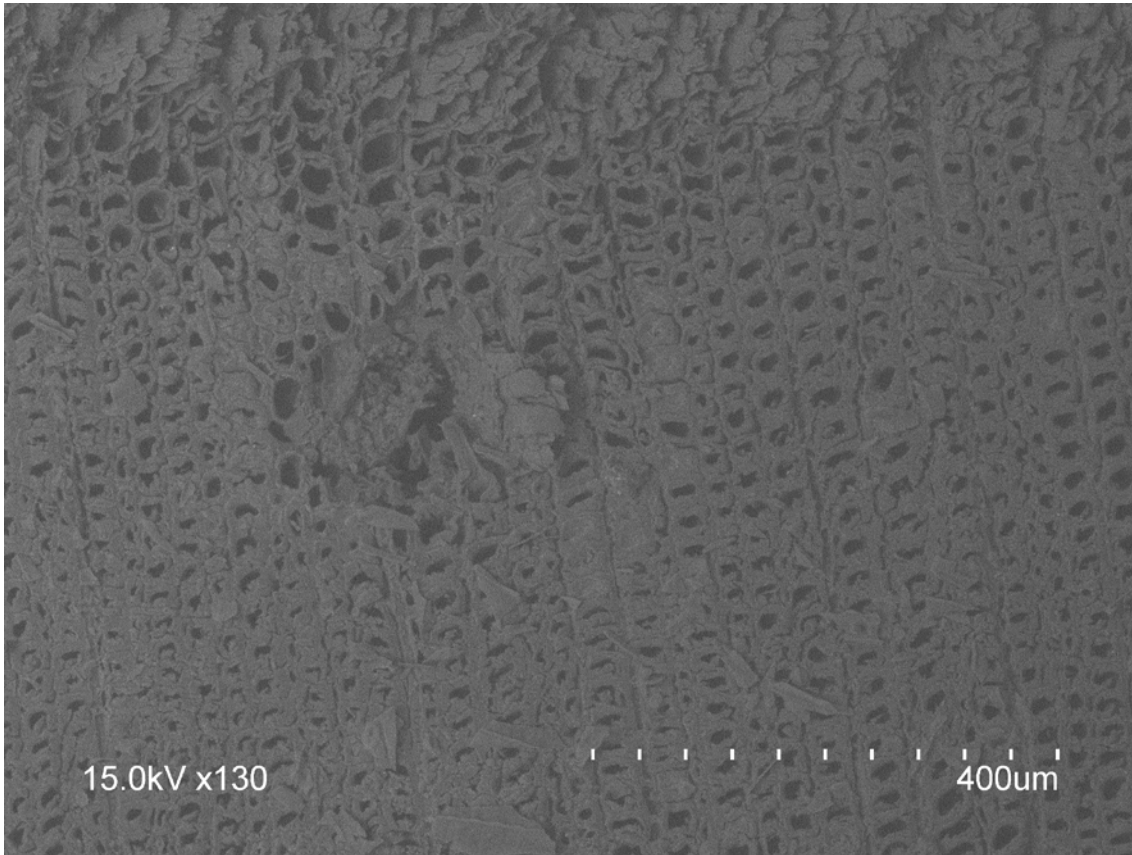
33. ábra Erdeifenyő kései pásztájának bütümentszeten készült SEM-SE kép



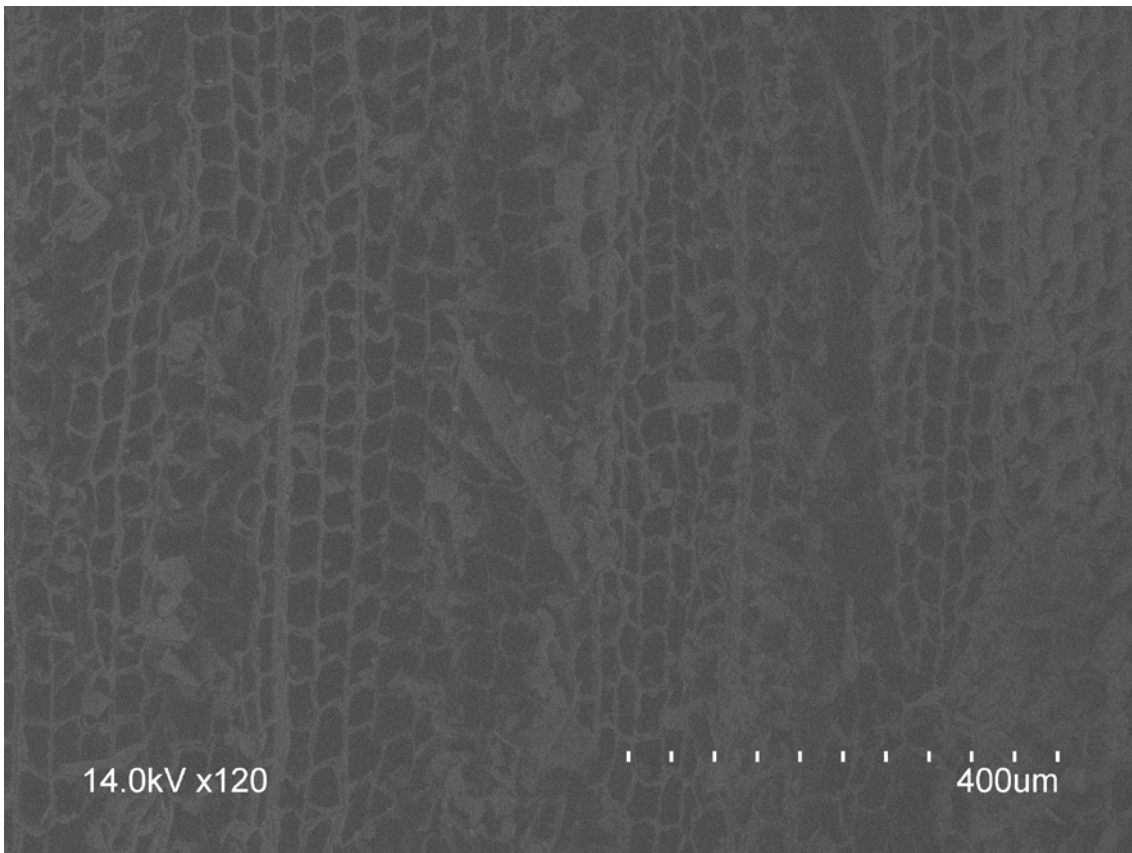
34. ábra Erdeifenyő évgyűrűjének bütümetszetén készült SEM-SE kép, 3-4% körüli gombabontás



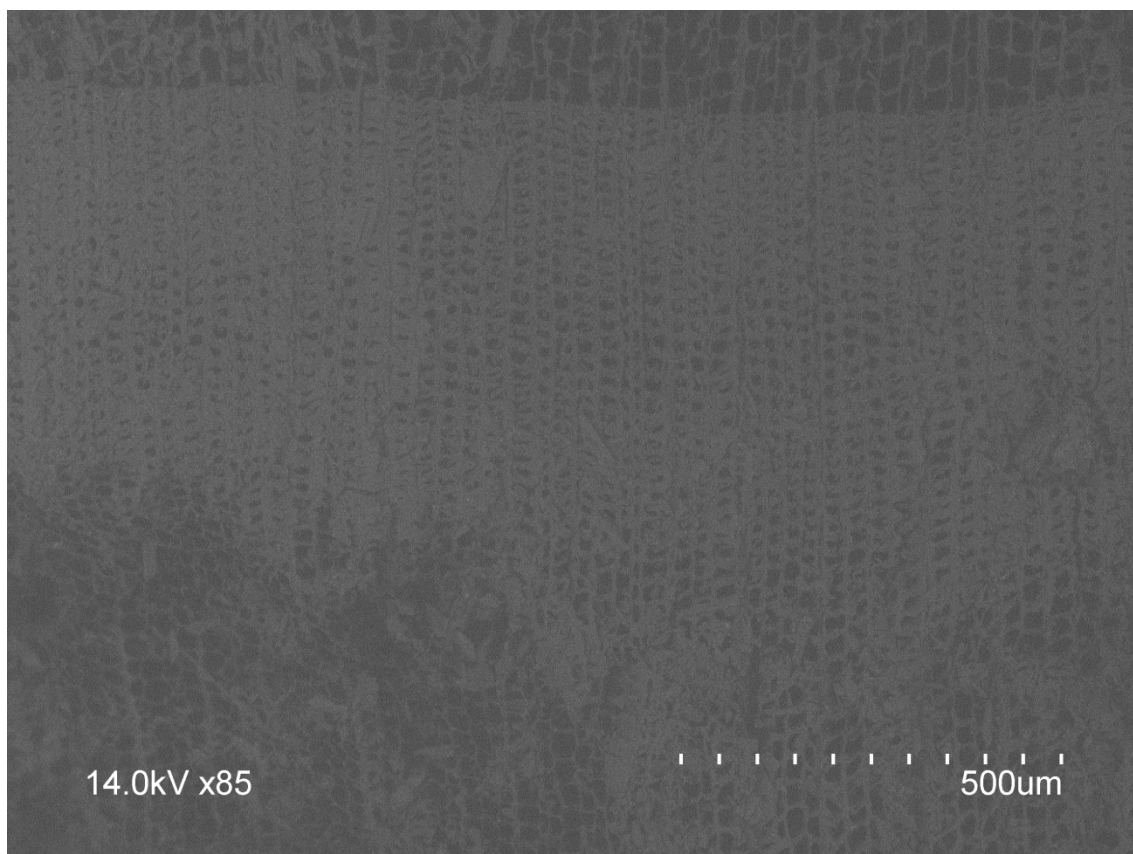
35. ábra Erdeifenyő korai pásztájának bütümetszetén készült SEM-SE kép, 3-4% körüli gombabontás



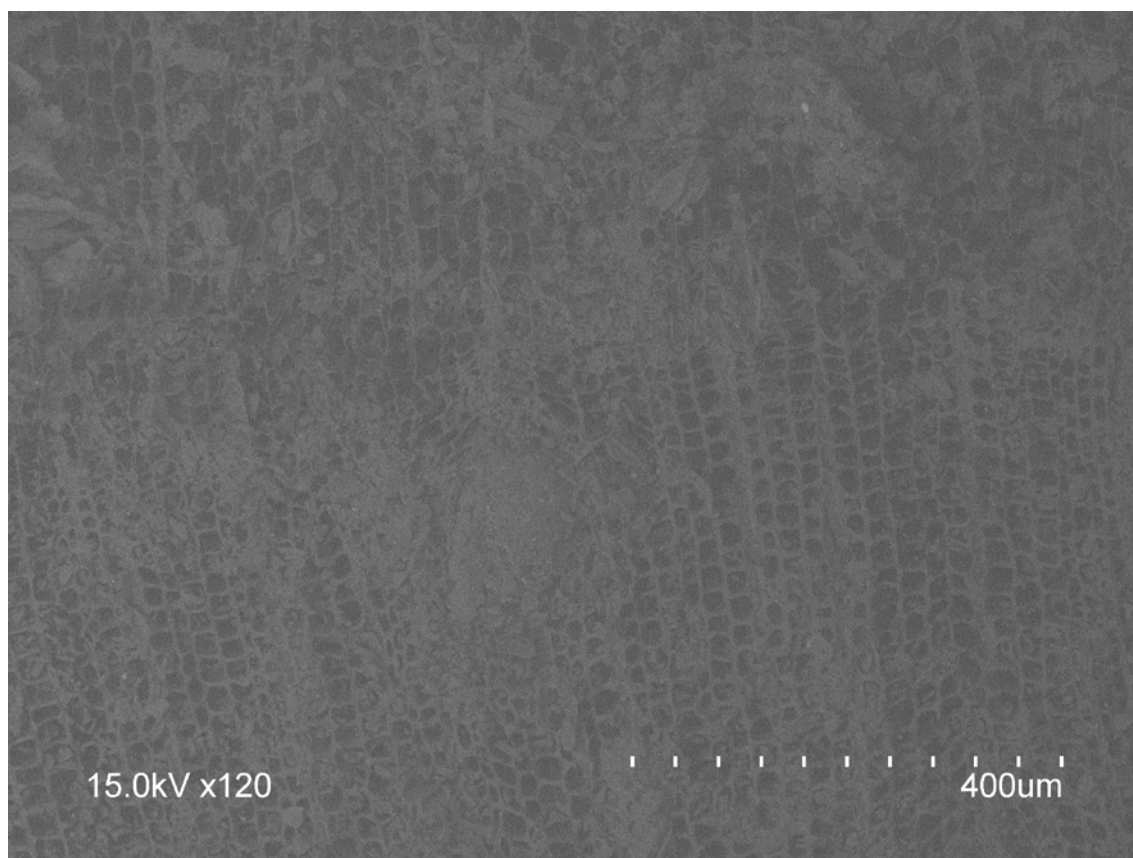
36. ábra Erdeifenyő kései pásztájának bütümetzetén készült SEM-SE kép, 3-4% körüli gombabontás



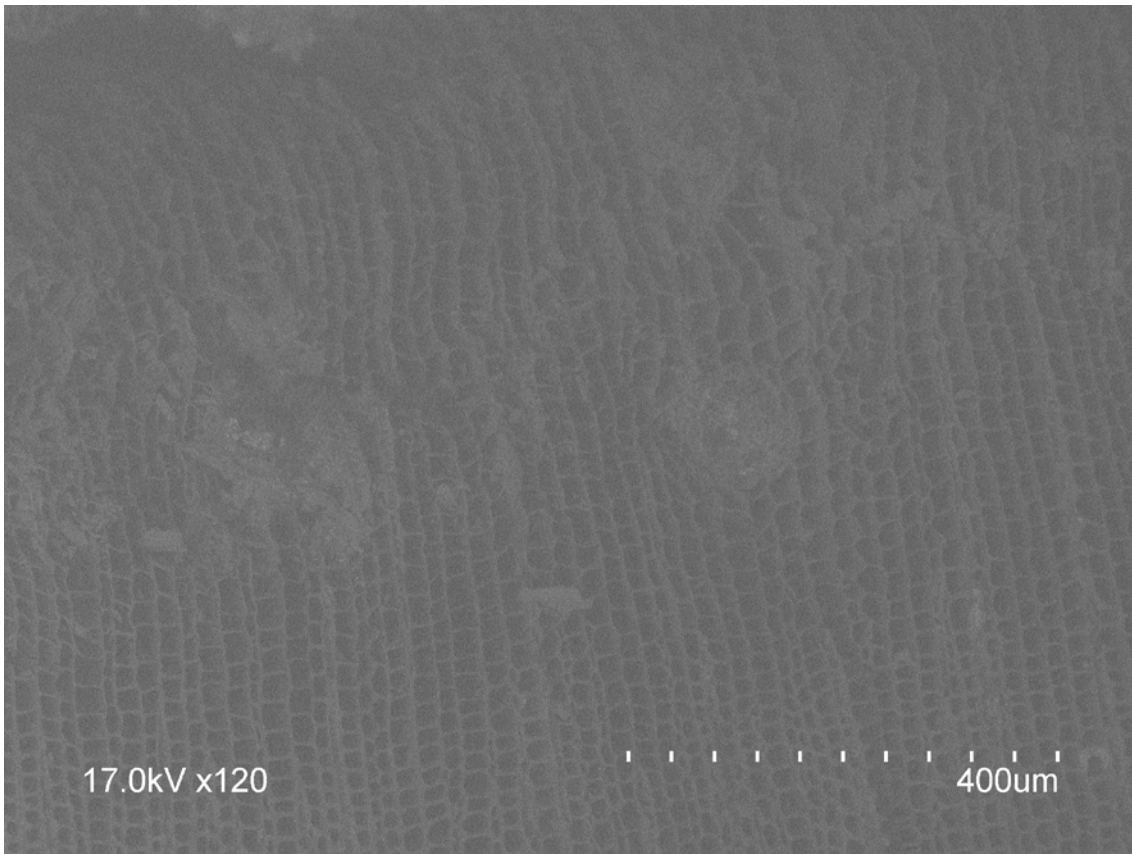
37. ábra Erdeifenyő korai pásztájának bütümetzetén készült SEM-SE kép, 11% körüli gombabontás



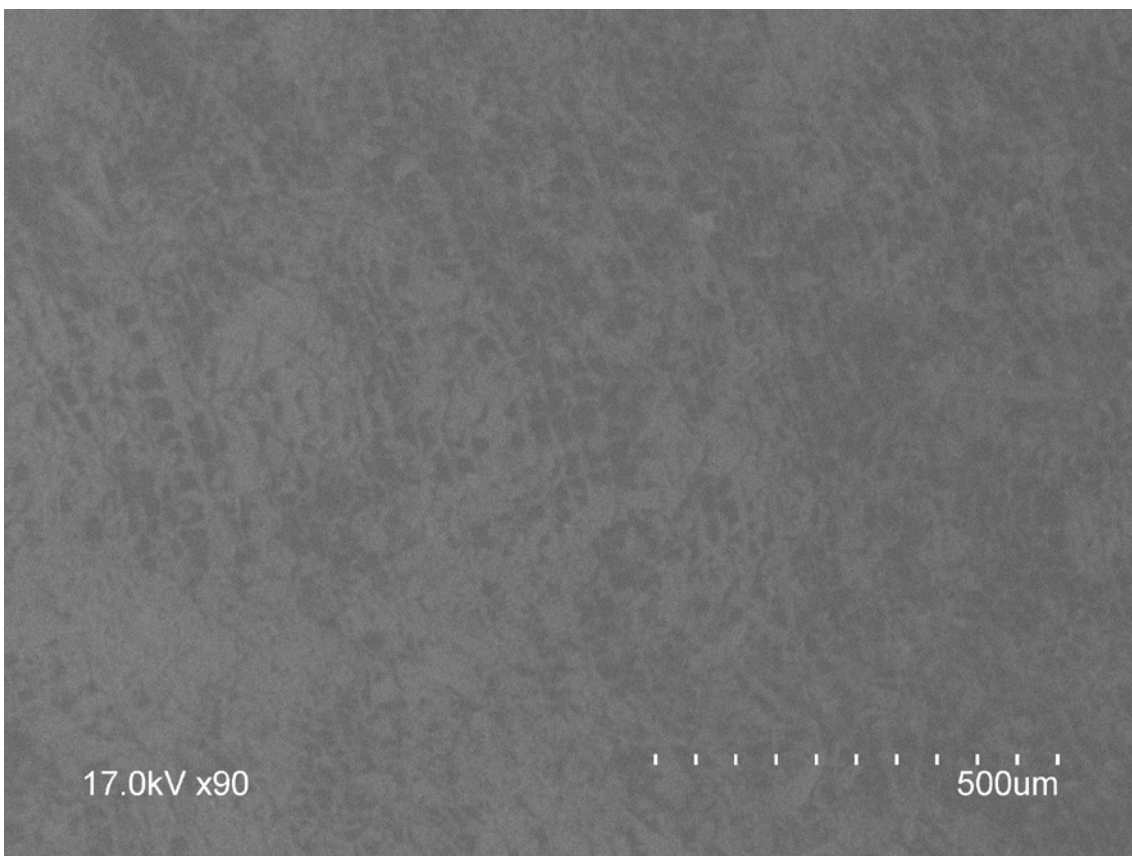
38. ábra Erdeifenyő kései pásztájának bütümentszetén készült SEM-SE kép, 11% körüli gombabontás



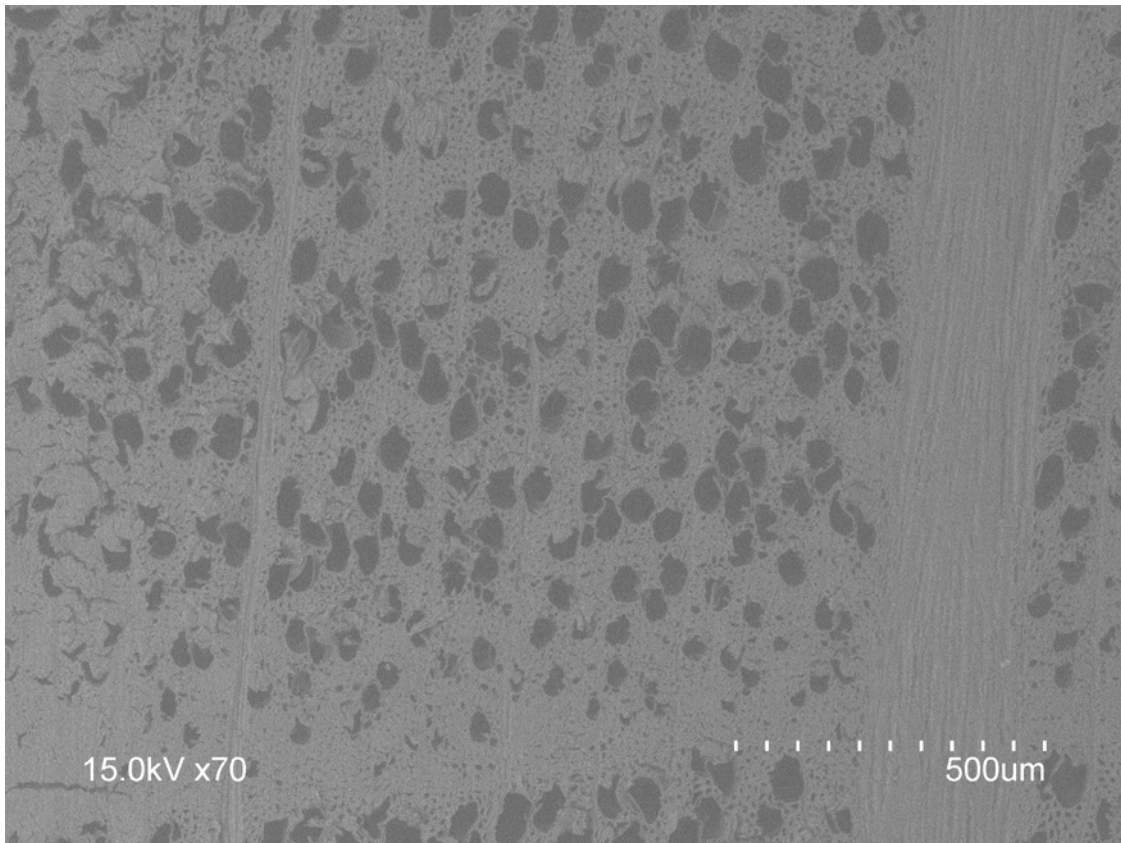
39. ábra Erdeifenyő korai-kései pászta határán, a bütümentszetén készült SEM-SE kép, 22% körüli gombabontás



40. ábra Erdeifenyő korai-kései pászta határán, a bütümentszetén készült SEM-SE kép, 32% körüli gombabontás



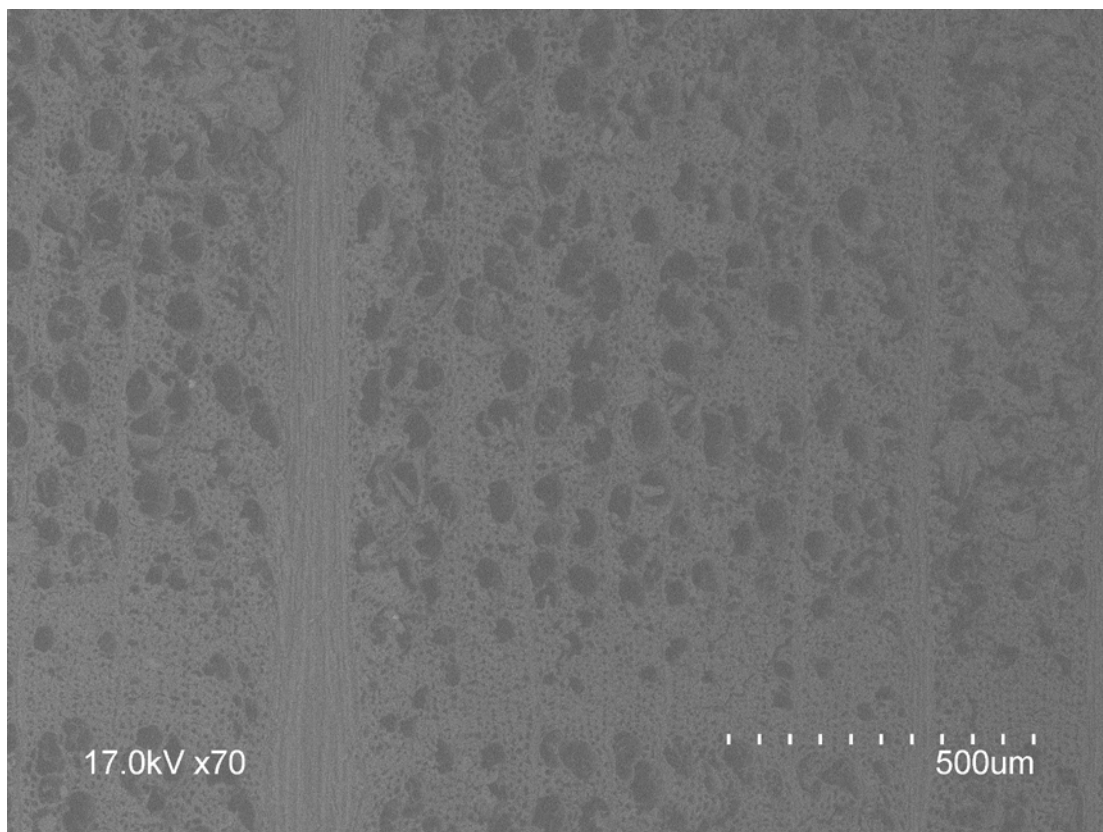
41. ábra Erdeifenyő bütümentszetén készült SEM-SE kép, 62% körüli gombabontás, a pászták már nem különülnek el



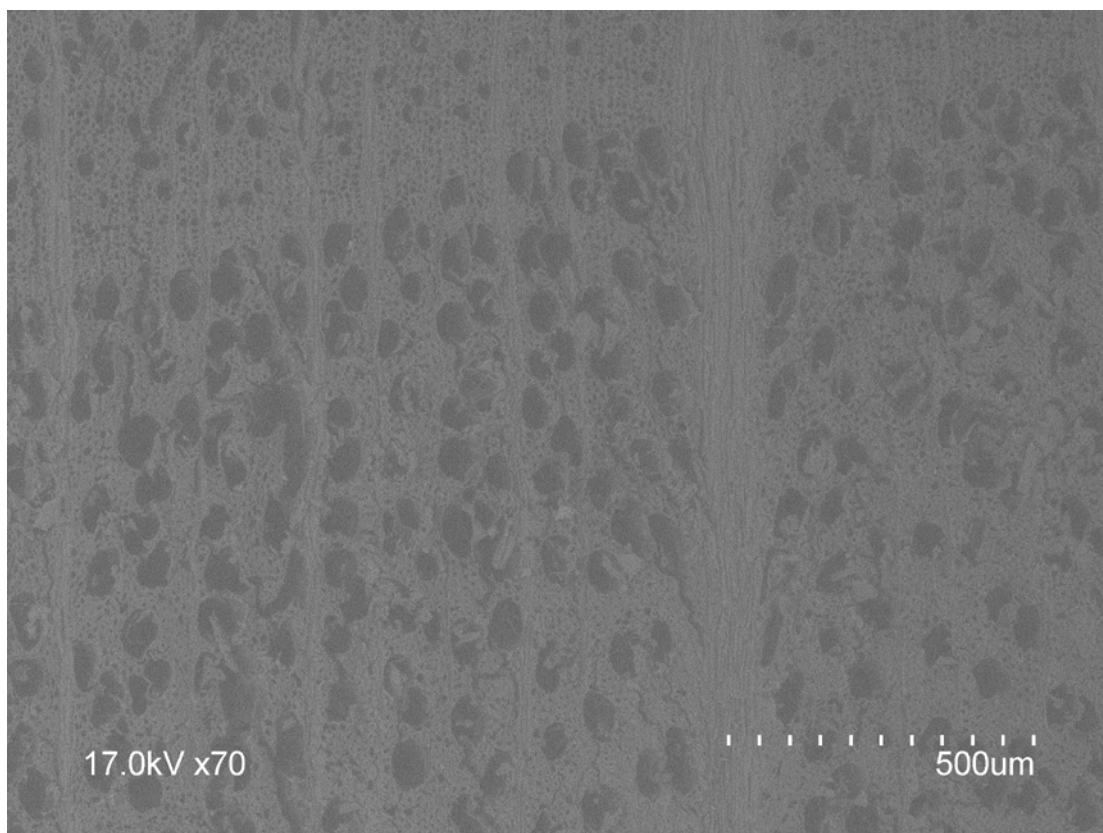
42. ábra Bükk egy évgyűrűjének bütü metszetén készült SEM-SE kép, a pászták nem különülnek el



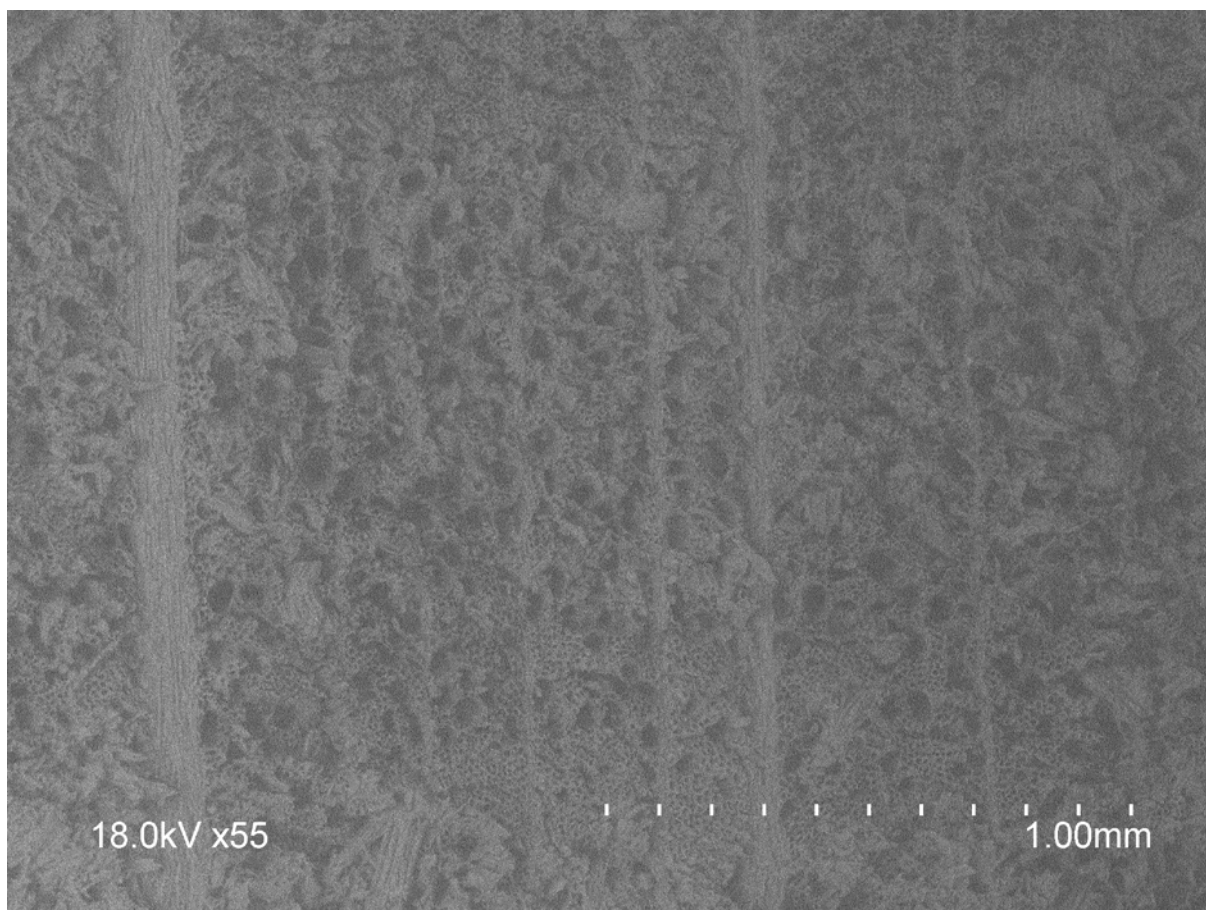
43. ábra Bükk egy évgyűrűjének bütü metszetén készült SEM-SE kép, 11%-os gombabontás, az edényrendszer kezd felbomlani



44. ábra Bükk egy évgyűrűjének bütümentszetén készült SEM-SE kép, 30%-os gombabontás, a nagyobb edények kisebb károsodása



45. ábra Bükk egy évgyűrűjének bütümentszetén készült SEM-SE kép, 36%-os gombabontás, a nagyobb edények további károsodása



46. ábra Bükk egy évgyűrűjének bütümentszetén készült SEM-SE kép, 48%-os gombabontás, a nagyobb edények további károsodása

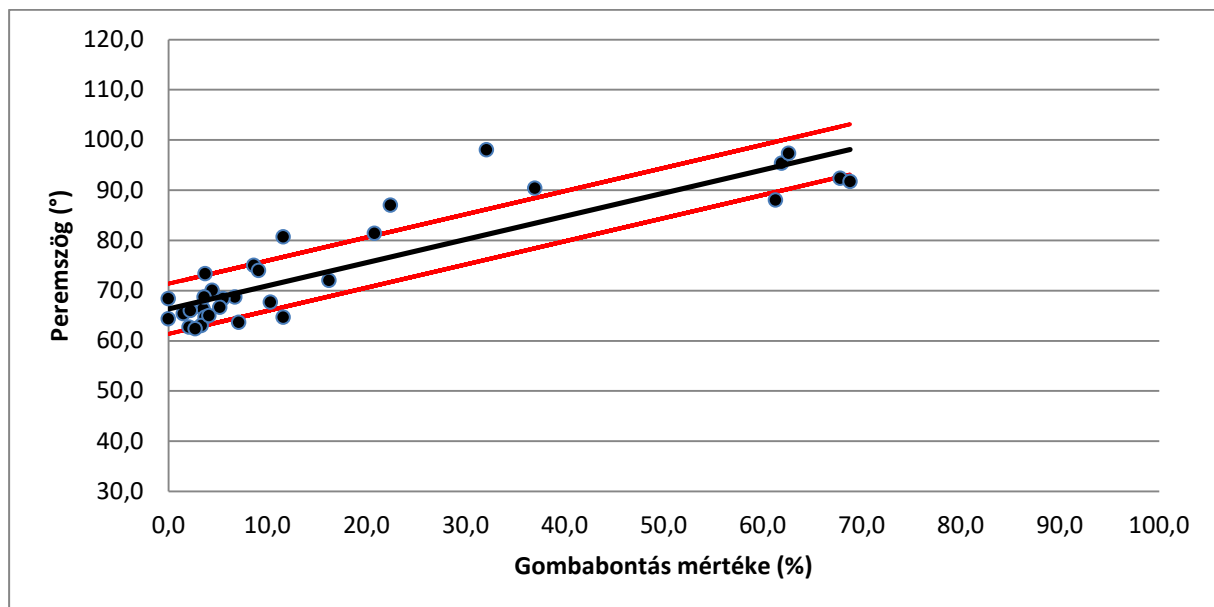
A 32.-től a 41. ábráig az erdeifenyő rostjainak degradációja lehet nyomon követni. A sejtfalak folyamatosan elvékonyulnak. Ez gyakorlatilag a barnakorhadás folyamata, hiszen cellulózt bontó enzimeket termel a gomba, amely a sejtfalak elvékonyulásához vezet. Továbbá megállapítható, hogy 62% körüli gombabontásnál már nem tudjuk elkülöníteni a kései, és korai pásztákat, amelyek kezdetben jól elkülönültek.

A 42.-től a 46. ábráig a bükk edényszerkezetének felbomlását követhetjük nyomon. Itt a rostokat a lignin kapcsolja össze, aminek bontását a fehérkorhadást okozó gombák által termelt lignináz enzimek végzik. A lepketapló ellenben celluláz enzimeket is termel. A 46-os ábrán már a sejtfal vékonyodása is megfigyelhető. Érdekes, hogy a bélsugárt alkotó sejtek még 48%-os gombabontás esetén sem károsodtak jelentősen.

3.5. Gombabontott próbatestek nedvesíthetősége

A peremszög mérését csak az erdeifenyő bütümentszetén tudtam elvégezni, mert bükk esetén a vízcsepp annyira szívódott, hogy mérhetetlenné vált ez a paraméter.

A gravitáció hatásának kiküszöbölését a 2.435-ös egyenlet alapján tudjuk elvégezni. Az eszköz által mért szögérték mellett szükségünk van a csepp térfogatára és kontaktkörének sugarára. Ezeket szerencsére az eszköz ugyancsak képes mérni. Továbbá szükséges még néhány anyagtulajdonság a desztillált vízre vonatkozóan, mint a felületi feszültség és a sűrűség. Ezekből ki tudjuk számolni a Θ° -t. A víz felületi feszültségét $0,72 \frac{J}{m^2}$ -nek vettem a sűrűségét pedig $1000 \frac{kg}{m^3}$ -nek.



47. ábra Erdeifenyő bütümentszetén mért peremszög a pincegomba bontásának mértékében

A 47.ábrán a fekete vonal a mérési pontokra illesztett lineáris görbét jelenti, míg a felső, illetve az alsó piros vonal az illesztett görbe bizonytalanságát hivatott jelezni, ugyanis a mérés és annak kiértékelésének elvéből következően a jelölőkhöz nem tudunk szórást rendelni. A peremszög mérés klasszikusan a tapasztalatok szerint $\pm 5^\circ$ -os szórással rendelkezik.

Ez a mérés is megmutatta, hogy a gombabontott faanyag nedvesíthetősége a gombabontás előrehaladtával jelentősen csökken (a peremszög nő), akár csak az egyensúlyi fanedvességre végzett kísérlet.

4. Összegzés

Diplomamunkám során sikerült az előzőekben már több helyen publikált nedvesíthetőségi elméletemet továbbfejleszteni, ami egy újabb bizonyíték annak érvényességére. Erre az elméleti kutatásra alapozva gombabontott közönséges erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) és közönséges bükk (*Fagus sylvatica*) faanyagokat vizsgáltam. A faanyagokból elkészített 20mm x 20mm x 20mm-es próbatesteket gombatenyészetekre helyeztem, fafajonként különbözőre. Az erdeifenyőt pincegombára (*Coniophora puteana*), a bükköt lepketaplóra (*Trametes versicolor*). Az MSZ EN 113:2001 szabványnak megfelelően gombaállósági vizsgálatot végeztem annyi különbséggel, hogy a próbatestekből a folyamat során vettem ki, így a köztes állapotokról is információt kaptam.

Megállapítható a gombabontás mértékét illetően, hogy időben lineárisan változik. A vizsgálat során az erdeifenyőt kb. 65%-osan bontotta a pincegomba, míg ugyanennyi idő alatt a bükköt a lepketapló 45%-os mértékben bontotta.

Egyensúlyi fanedvességet illetően megállapítható, hogy az erdeifenyő-pincegomba párosítás esetén a nedvességtartalom azonos körülmények között jelentősen csökken, míg a bükk-lepketapló párosítás esetén ez kisebb mértékű. A peremszögmérés eredménye az egyensúlyi fanedvesség változásával összhangban van, hiszen itt is megállapítottam, hogy erdeifenyő-pincegomba párosítás esetén a nedvesíthetőség jelentősen csökken.

Az általam elkészített SEM-SE képek a bütümentszeten megmutatják, hogy a barna- illetve fehérkorhadásnak megfelelően hogyan degradálódik a faanyag szerkezete. A barnakorhadásra jellemző a farostok falának elvékonyodása, a fehérkorhadásra pedig az edényszerkezet összeomlása, csak ennek előrehaladtával kezdődik meg a sejtfalak vékonyodása.

Köszönetnyilvánítás:

A dolgozatom létrejöttében többen szerepet játszottak, akiknek köszönettel tartozom. Dr. Horváth Norbertnek a gombaállósági vizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségért és lehetővé tételéért, prof Dr. Csóka Leventének a műszeres analitikai módszerekhez nyújtott segítségért és lehetőségért, illetve Eső István szaktársamnak, aki távollétemben sokat tett a munka folyamatosságáért. Továbbá a BAY-ENG Nanoanyagok laboratóriumának és a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karának.

5. Irodalomjegyzék

- [1] Molnár Sándor (1999). *Faanyagismeret*. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.
- [2] MSZ EN 350-2:1998, A fa és a fa alapanyagú termékek tartóssága. A tömör fa természetes tartóssága. 2. rész: Egyes jelentős európai fafajok természetes tartósságára és kezelhetőségére vonatkozó útmutató
- [3] Holzfragen.de, http://www.holzfragen.de/seiten/brauner_kellerschwamm.html, Megtekintés dátuma: 2017. november 25.
- [4] Ajay Kumar Gautam, Notes on wood rotting fungi from India (1): *Trametes versicolor* - The Turkey Tail, *Journal on New Biological Reports* Vo. 2, 2013, pp. 67-70
- [5] Treerot.com, <https://www.treerot.com/fungi/trametes-versicolor/>, Megtekintés dátuma: 2017. november 25.
- [6] Hegman Norbert, Pekker Péter, Kristály Ferenc, Váczi Tamás (2011). *Nanometrológia*. Miskolc. Miskolci Egyetem
- [7] Quere, D, de Gennes, PG, Brochard-Wyart, F: *Capillarity and Wetting Phenomena: Drops, Bubbles, Pearls, Waves*. (2004).
- [8] Gibbs, J. W.: On the equilibrium of heterogeneous substances. *American Journal of Science*. (1878).
- [9] Young, T.: An essay on the cohesion of fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 65–87 (1805). doi: 10.2307/107159
- [10] Laplace, P. S.: *Supplément au dixième livre du Traité de Mécanique Céleste, Traité de Mécanique Céleste*, volume 4, Paris, pp. 1–79
- [11] Korózs József, *Összefüggés a pórusméret és a kritikus peremszög között nyílt cellás szilárd habok esetében / Correlation between pore size and critical contact angle at open cell's solid foams*, TDK dolgozat – Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar (2014)
- [12] Langmuir, I: Oil lenses on water and the nature of monomolecular expanded films. *The Journal of Chemical Physics*. (1933)

- [13] Neumann, AW, Good, RJ, Hope, CJ, Sejpal, M: An equation-of-state approach to determine surface tensions of low-energy solids from contact angles. *Journal of colloid and* (1974).
- [14] Kwok, DY, Neumann, AW: Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in colloid and interface science.* (1999).
- [15] Kaptay Gy., A Young-egyenlet levezetése vektorok nélkül, azaz energijellegű mennyiségekként értelmezve a határfelületi energiákat, *Termodinamikai Közlemények* 1996.
- [16] Fajtube.com, http://www.fajtube.com/files/fizica/11_poze/image027.gif Megtekintés dátuma: 2017. november 25.
- [17] Korózs József, Gravitáció hatása a strukturált és heterogén felületek nedvesíthetőségére, Szakdolgozat - Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar (2015)
- [18] Korózs József, Alternatív peremszög mérési módszerek és azok előnyei a nyugvó csepp módszerhez képest / Alternative methods of contact angle measurement and their advantages relative to the sessile drop method. Tudományos Diákköri Konferencia – Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar. (2013)
- [19] Korózs József, Alternatív peremszög mérési módszerek és azok előnyei a nyugvó csepp módszerhez képest / Alternative methods of contact angle measurement and their advantages relative to the sessile drop method. Országos Tudományos Diákköri Konferencia – Óbudai Egyetem. (2014)
- [20] Río, O., Neumann, A.: Axisymmetric Drop Shape Analysis: Computational Methods for the Measurement of Interfacial Properties from the Shape and Dimensions of Pendant and Sessile Drops. *J Colloid Interf Sci.* 196, 136–147 (1997).
- [21] Kwok, D.Y., Vollhardt, D., Miller, R., Li, D., Neumann, A.W.: Axisymmetric drop shape analysis as a film balance. *Colloids Surfaces Physicochem Eng Aspects.* 88, 51–58 (1994).
- [22] Hull, TE, Enright, WH, Jackson, KR: Runge-Kutta Research at Toronto. *Applied numerical mathematics.* (1996).
- [23] Schoel, W.M., Schürch, S., Goerke, J.: The captive bubble method for the evaluation of pulmonary surfactant: surface tension, area, and volume calculations. *Biochimica Et Biophysica Acta Bba - Gen Subj.* 1200, 281–290 (1994).

- [24] Moy, E, Cheng, P, Policova, Z, Treppo, S, Kwok, D: Measurement of contact angles from the maximum diameter of non-wetting drops by means of a modified axisymmetric drop shape analysis. *Colloids and* (1991).
- [25] Schürch, S., Bachofen, H., Goerke, J., Green, F.: Surface properties of rat pulmonary surfactant studied with the captive bubble method: adsorption, hysteresis, stability. *Biochimica Et Biophysica Acta Bba - Biomembr.* 1103, 127–136 (1992).
- [26] Skinner, F., Rotenberg, Y., Neumann, A.: Contact angle measurements from the contact diameter of sessile drops by means of a modified axisymmetric drop shape analysis. *J Colloid Interf Sci.* 130, 25–34 (1989).
- [27] Maze, C., Burnet, G.: A non-linear regression method for calculating surface tension and contact angle from the shape of a sessile drop. *Surf Sci.* 13, 451–470 (1969).
- [28] Miller, R, Sedev, R, Schano, KH, Ng, C, Neumann, AW: Relaxation of adsorption layers at solution/air interfaces using axisymmetric drop-shape analysis. *Colloids and surfaces.* (1993).
- [29] Miller, R, Treppo, S, Voigt, A, Zingg, W, Neumann, AW: Contact angle kinetics of human albumin solutions at solid surfaces. *Colloids and surfaces.* (1993).
- [30] Cheng, P, Li, D, Boruvka, L, Rotenberg, Y: Automation of axisymmetric drop shape analysis for measurements of interfacial tensions and contact angles. *Colloids and Surfaces.* (1990).
- [31] Cheng, P, Neumann, AW: Computational evaluation of axisymmetric drop shape analysis-profile (ADSA-P). *Colloids and surfaces.* (1992).
- [32] Rotenberg, Y., Boruvka, L., Neumann, A.: Determination of surface tension and contact angle from the shapes of axisymmetric fluid interfaces. *J Colloid Interf Sci.* 93, 169–183 (1983).
- [33] Fujii, H., Nakae, H.: Effect of gravity on contact angle. *Philosophical Mag.* 72, 1505–1512 (1995).
- [34] M.. Kalnins, C. Katzenberger, S.. Schmieding, J.. Brooks, Contact angle measurement on wood using videotape technique, *J Colloid Interf Sci.* 125 (1988) 344–346
- [35] G. Mantanis, R. Young, Wetting of wood, *Wood Sci Technol.* 31 (1997) 339–353

- [36] M Wålinder, Wetting phenomena on wood, (2000).
- [37] M. Wålinder, J.-I. Holzforschung, Measurement of wood wettability by the Wilhelmy method. Part 1. Contamination of probe liquids by extractives, Holzforschung. (2001).
- [38] M. Gindl, A. Reiterer, G. Sinn, S. Stanzl-Tschegg, Effects of surface ageing on wettability, surface chemistry, and adhesion of wood, Holz Als Roh- Und Werkstoff. 62 (2004) 273–280.
- [39] KT Hodgson, B.-J. and fiber Science, Dynamic wettability properties of single wood pulp fibers and their relationship to absorbency, Wood and Fiber Science. (2007).
- [40] SQ Shi, G.-D. and fiber science, Dynamic adhesive wettability of wood, Wood and Fiber Science. (2007).
- [41] E. Liptáková, J. Kúdela, Analysis of the wood-wetting process, (1994).
- [42] L Podgorski, B Chevet, L Onic, M.-A. of Adhesion , Modification of wood wettability by plasma and corona treatments, International Journal of Adhesion (2000).
- [43] M Pétrissans, P Gérardin, S.-M. Holzforschung, Wettability of heat-treated wood, Holzforschung. (2003).
- [44] L Podgorski, C Bousta, resin ... S.-F., Surface modification of wood by plasma polymerisation, Pigment & Resin (2002).
- [45] M Petrič, B Knehtl, A Krause, H Militz, P.-M. of Coatings ..., Wettability of waterborne coatings on chemically and thermally modified pine wood, Journal of Coatings.... (2007).
- [46] D Kocaefe, S Poncsak, G Doré, of and Younsi - R, Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water, European Journal of Wood and (2008).
- [47] X Huang, D Kocaefe, Y Kocaefe, science and ... B.-Y., Changes in wettability of heat-treated wood due to artificial weathering, Wood Science and (2012).
- [48] M Hakkou, M Pétrissans, degradation and ... Z.-A., Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis, Polymer Degradation and.... (2005).
- [49] M Hakkou, M Pétrissans, E.I. Bakali, G.-P. Holzforschung, Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood, Holzforschung. (2005).

- [50] P Gérardin, M Petrič, M Petrissans, L.-J. and stability, Evolution of wood surface free energy after heat treatment, ... Degradation and Stability. (2007).
- [51] M Hakkou, M Pétrissans, degradation and ... G.-P., Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood, Polymer Degradation and (2006).
- [52] B Esteves, AV Marques, and ... D.-I., Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood, Wood Science and (2007).
- [53] B Esteves, I Domingos, P.-H. BioResources, Pine wood modification by heat treatment in air, BioResources. (2008).
- [54] M Gindl, G Sinn, A Reiterer, T.-S. Holzforschung, Wood surface energy and time dependence of wettability: A comparison of different wood surfaces using an acid-base approach, Holzforschung. (2001).
- [55] KK Pandey, P.-A. biodeterioration biodegradation, FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi, International Biodeterioration & Biodegradation. (2003).
- [56] S.-O. Progress, Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, causal fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control, Mycological Progress. (2007).
- [57] MG Lomelí-Ramírez, O.-R.-H. International ..., Evaluation of accelerated decay of wood plastic composites by *Xylophagus* fungi, International (2009).
- [58] MSZ EN 113:2001, Faanyagvédő szerek. A farontó bazídiomos gombák elleni megelőző hatásosság meghatározásának vizsgálati módszere. A hatásosság határértékének meghatározása