

## A hpl próbatest magasságának hatása az ECT értékre.

Zsoldos Benő

### ECT vizsgálat végpontjának detektálása

A FEFCO No 8. szabvány az ECT méréséhez szükséges próbatest magasságát  $25 \pm 0,5$  mm méretben határozza meg. A FEFCO No. 8.-cal azonosan a 25 mm magas próbatest használatát írja elő a SCAN P 33, DIN 53149, ISO 3037. Ez a FEFCO módszer Európában széles körben terjedt el.

### Életörés, gerincroppanás

Az ECT mérésekor életörésen azt értjük, amikor a nyomóerő hatására a próbatest nyomófelülettel való érintkezésénél a hpl a belső vagy a külső fedőréteg irányában „pásztorbotszerűen” kihajlik. Ez a kihajlás a próbatest magasságában csupán 1-2 mm. Mint a továbbiakban látni fogjuk, a hpl élszilárdságának (ECT) mérésekor ez rendszerint a 25 mm magas ( FEFCO No. 8) próbatest méretnél következik be.

Gerincroppanáson értjük, ha a próbatest a nyomóerő hatására úgy válaszol, hogy minta a magassága szerint középen, sokszor 1/3-ában a test hosszával párhuzamos irányban megtörik.

Sajnos szakmai körökben is kevesen tudják, hogy eltérő ECT eredményt kapunk, ha a próbatesten a vizsgálatkor a minta élének letörése következik be, vagy a próbatest gerincben roppan meg. A próbatesten a vizsgálat végpontját jelző gerincroppanást a próbatest felső élének életörésével szemben azért tartjuk fontos feltételnek, mert a gyakorlatban a terhelés alatti dobozok élettartama is az esetek többségében az oldalapokon bekövetkező gerincroppanással fejeződik be. Az ECT vizsgálat életörés szerinti végpontja és a gerincbetöréses végpont eltérő értéket ad, és emiatt a számított BCT ( $BCT_{sz}$ ) is különbözik egymástól.

Ami különös, hogy az idézett FEFCO szabvány nem is említi, hogy az életöréses vizsgálat eltérő eredményt ad attól, mint amikor a próbatesten a vizsgálat végpontját a gerinc betörése jelenti. A FEFCO csak arra tér ki, hogy az ECT eredmények nagymértékben függnek a próbatest párhuzamosságától, de hogy ez milyen mér-

tékben befolyásolja a mérési eredményeket, arról nem tesz említést. A hpl élszilárdságával foglalkozó irodalom szerint 25 mm magas próbatest adja a legnagyobb ECT értéket. Szakmai körökben az is ismert, hogy a TAPPI módszer (TAPPI T-811 és T-823), amelynél a 26 mm magas próbatest alsó és felső élét 6-6 mm mélységben parafinnal megerősítik, és az FPL módszer, amelynél a 60 mm magas próbatest két oldalát 12,5 mm sugarú kör mentén kigyengítik, azonos eredményeket ad.

### Az FPL eljárás

Az FPL (Forest-Product-Laboratories) eljárással előkészített próbatest – az irodalmi közlések szerint, – kizárólag csak gerinctörést produkál a vizsgálat alatt. A kigyengítésnek az a szerepe, akár kör (FPL) akár V alakú (JIS-0401 szabvány), hogy ezzel biztosítsák, hogy **minden vizsgálat végpontját gerincbetörés jelezze**. A FEFCO és az FPL módszer szerint előkészített próbatesttel kapott eredmények ezért jelentősen eltérnek egymástól. Az ECT közötti különbség kb. 30%, a nagyobb ECT értéket adó FPL javára, aminek a gerincbetöréses vizsgálati végpont az oka.

Hangsúlyozzuk, hogy a FEFCO szerinti 25 mm magas próbatest – a nyomóerő hatására – közel minden vizsgálati esetben az élén szenved törést (életörés) és ezzel egyáltalán nem szimulálja a valóságban a dobozok terhelés miatti öszszeroppánásból származó gerincroppanást.

Az FPL, TAPPI, JS, FEFCO módszerek közül a FEFCO-féle próbatesttel mért ECT a legkisebb a próbatestéletörése miatt.

### Kutatás a BCT pontosabb becslése érdekében

A kutatásnak az ad jelentőséget, hogy célkitűzésünk szerint a laboratóriumi ECT vizsgálatlal lehetőleg a legjobban megközelítsük a dobozokra vonatkozó gyakorlati igénybevételt. Ennek megfelelően

- Az ECT vizsgálat végeredménye a gerincroppanáshoz és ne az életöréshez tartozzon

- Mivel az élettörés szerinti és a gerincroppanással járó vizsgálati végpont eltérő ECT értéket ad, a számított BCT is különbözik egymástól. A BCT becslésének pontatlanságát emellett tovább növeli, ha figyelembe vesszük, hogy a BCT vizsgálat ismételhősége egy gyártott tételen belül 15-20%-os ingadozást mutat.

### 2001. évi Hullámtermékgyári vizsgálatok

A 3 rétegű hpl-re vonatkozó korábbi vizsgálataink, valamint a 2001. évi öt rétegű (31 CB) hpl-re vonatkozó vizsgálatok eredménye azt mutatta, hogy a FEFCO szabvány szerinti próba-test-magasságnál a nyomóerő hatására a vizsgálatok számának nagy részében a próbatest éle törik meg és nem a gerinc sérül, mint ahogyan ez a gyakorlatban a dobozok terhelésénél a kihajló oldalapoknál bekövetkezik. A Hullámtermékgyár a Széchenyi Egyetem Csomagolásvizsgáló Laboratóriumával együttműködve több év óta arra keresi a választ, hogy az ECT próbatestek eltérő magasságaival kapott értékek milyen mértékű eltéréseket okozhatnak a BCT becslésénél.

A 31 CB hpl próbatesten 25 mm magasságnál mért ECT 8,47 kN/m. A próbatest növekvő magasságával az ECT értéke az alábbiak szerint csökken:

Próbatest magassága, mm	ECT változás, %
25	100
50	98
75	94
100	79

Az ECT csökkenése a legnagyobb mértékben a 75 mm-ről 100 mm-re történő magasságnövekedésnél következik be. A próbatest 100 mm magasságánál *valamennyi vizsgált esetben* a vizsgálati végpontot a gerincbetörés jellemezte, míg a 75 mm magasságnál a vizsgált esetek 40%-ában élettörés fordult elő. A vizsgálat eredménye szerint, ha a vizsgálati mintán minden mérés esetén gerincbetörést kívánunk elérni, úgy a 100 mm magasságú mintát kell választanunk.

Vizsgálataink szerint a hpl választéktól függetlenül az ECT vizsgálat alatt egyes választékok kizárólag élettöréssel, mások gerincroppanással, ismét mások mindkét eset előfordulásával

jelzik a végpontot. Az eltérő végpontok természetesen egymástól jelentősen eltérő ECT értéket szolgáltatnak.

### A próbatest magasságának hatása az ECT nagyságára

22C hpl választékkal végzett vizsgálatokban a próbatest magasságát 25 mm-től 200 mm-ig változtattuk 25 mm nagyságú lépcsőben. A vizsgálatok szerint a nagyobb próbatest-magasságoknál a kisebb szilárdságú fedőréteg felé (T3 135) következett be a kihajlás. A 22C hpl választékra vonatkozóan a próbatest magassága az ECT értéket az alábbi összefüggés szerint befolyásolta:

$$y = -0,5x + 4,7 \quad \text{ahol } y - \text{ECT kN/m}$$

$$x - \text{próbatest magassága, m}$$

A próbatest magasságának meghatározása széles körben foglalkoztatta a kutatókat, de igazán egységes és pozitív vélemény egy adott magasságra sem alakult ki **1 táblázat**.

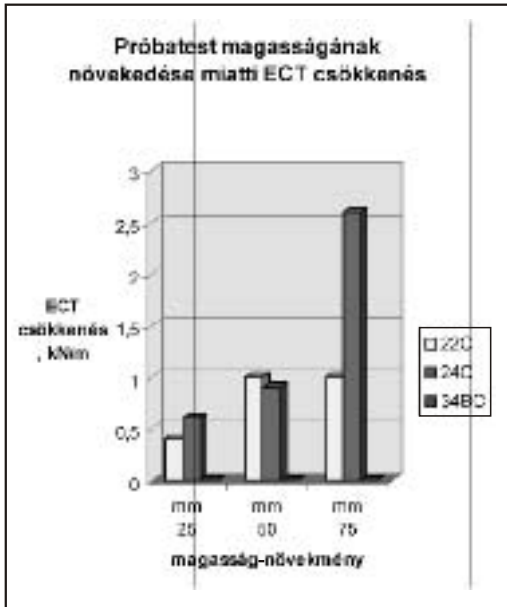
1. táblázat

Próbatest mérete ECT vizsgálatra	
Méret, mm	Irodalmi hivatkozás
76,2×63,5	Little J.R. Paper Tr. J. 116 (24) 31-34 /1943/
50,8×31,8	Tappi 811, ASTM D 2808
152×25,4	Kellicut K. Q. Packag. Eng. 4 (9) 92-94 /1959/
101,6×76,2	38,1 mm kigyengített McKee Paperboard Packag. 46. (1) 70-76 /1961/
50,8×38,1	25,4 mm kigyengített Tappi 81 és ASTM D 2808 Koning J. W. For. Res, Note FPL 0109 /1965/
50,8×50,8	A, AB, BC hpl-nél USA
50,8×38,1	C hpl-nél USA
100×25	Stott R.A. Appita 29 (1) 29-32 /1975/
50×50	12,5 mm kigyengített FPL
50×60	"V" kigyengített JIS 0401

A 22C, 24C, 34BC hpl választékok 2002. évi ECT vizsgálati eredményei alapján az alábbiak állapíthatók meg:

- A gerincroppanás (Gr) előidézésére 25 mm-enként növelt próbatest-magasságok az ECT csökkenését eredményezték, anélkül azonban, hogy a minta valóban gerincroppanással jelezte volna az ECT végpontját. Ez azt jelenti, hogy az ECT csök-

kenése a próbatetest növekvő magasságának a következménye és nem a gerincroppanásé, hiszen ez nem is történhetett meg, mivel a vizsgálat élettöréssel fejeződött be. A próbatetest magasságának növekedésétől függő ECT csökkenést az **1. és 2. ábra** szemlélteti. A FEFCO szerinti 25 mm



1. ábra

próbatetest-magasságot zéró magasságú alaphelyzetnek tekintettük és ehhez viszonyítva növeltük 25 mm-enként a vizsgálati minta magasságát. Az ECT-nek a minta magasságától függő csökkenése választékonként eltérő volt. A 34 CB hpl ECT értéke azonban a próbatetest-magasság növelésére nem csökkent. Ez arra mutat, hogy a nagyobb szilárdságot képviselő 5 rétegű lemez ECT-je 125 mm próbatetest-magasságig nem érzékeny a magasság növekedésére.

- A próbatetest magasságának növelésével azt kívántuk elérni, hogy az ECT végpontját ne az élettörés, hanem a gerincroppanás jelezze. Ezen szándékunk ellenére a magasság növelése csökkentette az ECT-t, noha nem ez volt a cél. Más szóval, ha a magassággal elérjük a próbatetest gerincroppanását, az így kapott ECT érték magában hordozza a ma-

gassgyváltozás és a gerincroppanás hatását. A Gr által okozott ECT csökkenést tisztán megkapjuk, ha egy adott magassághoz tartozó élettöréses ECT ( $ECT_{\text{él}}$ ) értékéből az ugyanezen magassághoz tartozó Gr ECT ( $ECT_{\text{Gr}}$ ) értéket kivonjuk, vagyis

$$= G_r = ECT_{\text{él}} - ECT_{\text{Gr}}$$

Vizsgálatunk szerint ez a  $G_r$ :

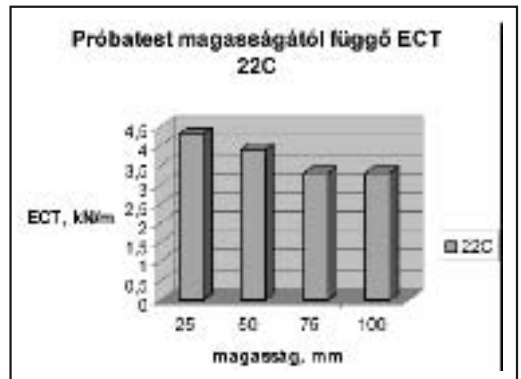
$$22C \quad G_r = 3,3 - 2,8 = 0,5$$

$$34 BC \quad G_r = 9,8 - 8,9 = 0,7$$

vagyis a gerincroppanással járó ECT 0,5-0,7 kN/m-rel kisebb, mint az élettöréses. A 25 mm mintamagasságot tekintjük nulla magasságértékű alaphelyzetnek, aminek az ECT értéke 4,3 kN/m. Ennek végpontját azonban élettörés jelezte. Korrigáljuk ezt az értéket a  $G_r = 0,5$  kN/m-rel és így megkapjuk azt az ECT értéket, mintha a 25 mm magas próbatetest gerincroppanással jelezte volna az ECT végpontját, vagyis

$$ECT_{\text{Gr}} = ECT_{\text{él},25} - G_r$$

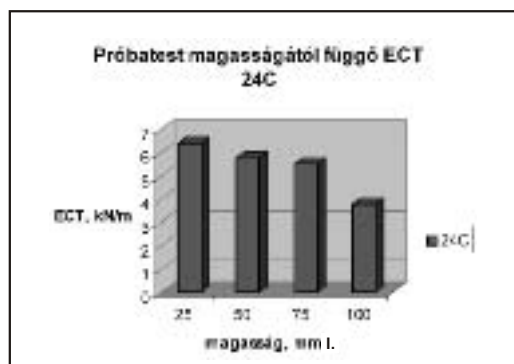
$$\text{A } 22C \text{ példáján: } ECT_{\text{Gr}} = 4,3 - 0,5 = 3,8 \text{ kN/m}$$



2/a. ábra

### A $G_r$ módon mért ECT hatása a $BCT_{\text{sz}}$ értékre

A 22C hpl választék példájánál maradv a 25 mm magas próbatetest élettöréssel jelzett ECT végpontja 4,3 kN/m. Ezzel az értékkel számolt  $BCT_{\text{sz}} = 1440$  N. Az  $ECT_{\text{Gr}} = 3,8$  kN/m-el számolva,



2/b. ábra

a  $BCT_{sz} = 1270$  N. A mért BCT ( $BCT_M$ ) = 1760 N. A mért és a számított BCT aránya a kisebb ECT miatt előnytelenül tovább nő:

$$BCT_M / BCT_{sz} = 1760 / 1440 = 122\% \quad \text{ill. } 1760 / 1240 = 142\%$$

Látható, hogy a  $BCT_M$  és a  $BCT_{sz}$  egymástól mért távolsága még nagyobbá vált, vagyis az ECT mérés technikai korrekciója nem oldja meg a mért és számított BCT közötti eltérést. Ennek megoldását tehát nem az ECT vizsgálatoknál kell keresni.

### A próbatest magasságától függő ECT értékek szórása

Eddigi vizsgálataink szerint az ECT értékeknek legkisebb a szórása a 25 mm próbatest-magasságnál ( $v=5,4\%$ ) és legnagyobb a 100 mm magasságnál ( $v=10,9\%$ ). Ez azzal magyarázható, hogy amíg a 25 mm magas minta vizsgálata minden esetben élettöréssel zárult, addig a 100 mm-es minta minden esetben gerincroppanással jelezte a végpontot. Az élettörésű végpontjelzés a dolog természetéből fakadóan kisebb ingadozású, mint a gerincroppanás, amelynek helye a próbatest magasság szerint is eltérő. A gerincroppanással járó ECT értékek szórása közel megegyezik a BCT értékek szórásával, nevezetesen: a BCT ismételhősége 8,5%, reprodukálhatósága 11,3% (ASTM D 642).

### A kétféle magasságú próbatest ECT értéke és az ebből számítható BCT

A 31 CB hpl választék FEFCO szerinti 25 mm magas próbatestén mért ECT 8,47 kN/m, míg a 100

mm magas próbatest 6,7 kN/m ECT értéket adott. Ez utóbbi 21%-kal kisebb a FEFCO eljárással kapott értéknél. Ez azt jelenti, hogy azonos dobozjellemzők esetén a BCT érték is 21%-kal lesz kisebb, vagyis az előbbi esetben a BCT számított ( $BCT_{sz}$ ) = 3,65 kN, az utóbbinál csupán 2,88 kN. Amennyiben a gerincroppanás miatti kisebb ECT érték a helyes, úgy ez a felismerés azzal a gazdasági hátránnyal jár, hogy erősebb hpl felhasználásával kell a dobozt gyártani ahhoz, hogy a gyakorlatban a terhelést egy adott ideig kibírja. A 100 mm magas próbatesten mért ECT értékekből számított BCT akkor lenne azonos a jelenleg is használt FEFCO módszerrel (25 mm magas mintán mért) meghatározott ECT-vel számított BCT értékkel, ha a McKee egyenlet konstans értékét, amely 25 mm magasságú próbatestre vonatkozik,  $m=5,3$  helyett  $m=6,7$  értékben állapítanánk meg, vagyis

$$BCT = 6,7 ECT \times (T \times Z)^{0,5}$$

$T$  = doboz kerülete, mm

$Z$  = hpl vastagsága, mm

A cél azonban a gerincroppanással kapott kisebb ECT érték hasznosítása az BCT becslésére. A további feladat annak vizsgálata volt, hogy a 31 BC választékra vonatkozó megállapításaink más választékokra is kiterjeszhető-e. Ennek megfelelően az ECT próbatest magasságának hatását vizsgáltuk különböző hpl választékok esetében.

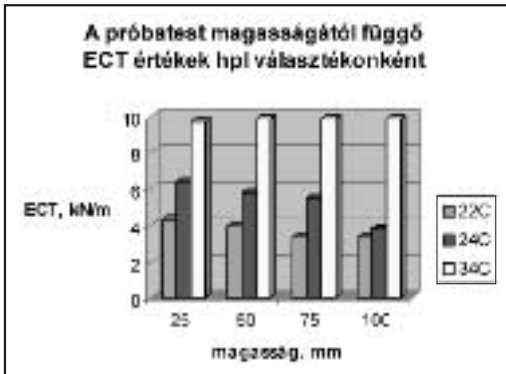
### 2002. évi kísérletek és eredményeik

A kísérletben vizsgált választékok a következők voltak: 22C, 24C, 34BC.

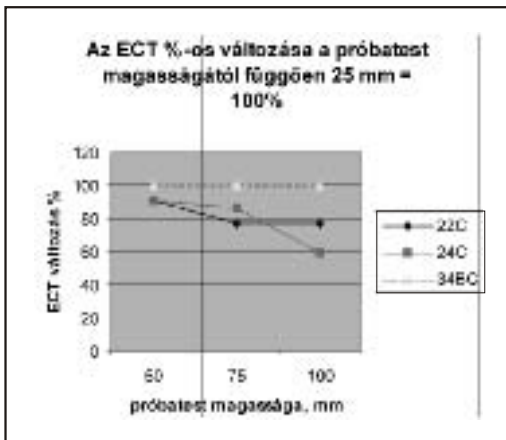
Az ECT meghatározására kivágott próbatestek magasságának növelése azt a célt szolgálta, hogy a kedvezőtlen élettörés helyett a minta a gerincroppanásával jelezze a nyomóerővel szembeni ellenállás végét.

### Megállapítások (3.-5. ábra):

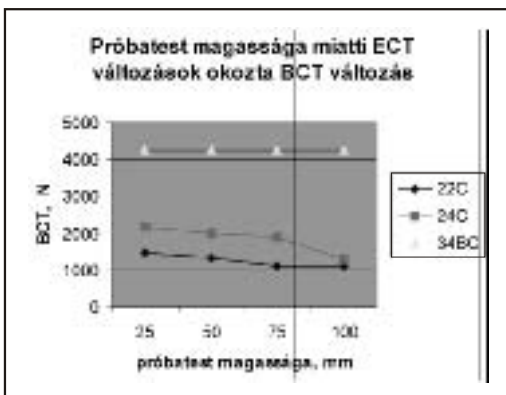
- **25 mm magasság** (FEFCO No.8.): A vizsgálat körébe tartozó, mind a háromféle választék esetében a vizsgálat végpontját az élettörés jelezte. Nem állapítható meg az élettörés jellemző iránya, mivel mind a külső, mind a belső fedőréteg felé irányult
- **50, 75 mm magasság:** Mind a három vizsgált választék esetén az ECT-t élettörés jellemezte.



3. ábra



4. ábra



5. ábra

• **100 mm magasság:**

**22C** minta: A vizsgált próbatest 30%-a gerincroppanással jelezte az ECT értéket.

**24C** minta: Élettörés volt valamennyi mintán. Gerincroppanás csak a 125 mm magas mintáknál fordult elő

**34 BC** minta: A vizsgált próbatest 30%-a gerincroppanással jelezte az ECT értéket. Gerincroppanás szerinti végpontjelzés a 125 mm magas próbatestre volt jellemző

**Következtetések**

» A vizsgálatok szerint még 75 mm magasságnál sem volt elérhető a kívánt gerincroppanás. Ennek valószínű oka, hogy a relatív kis magasság nem teszi lehetővé a próbatest kihajlását a nyomóerő hatására. A kihajlás elmaradása miatt a próbatest válasza a nyomóerőre, hogy a próbatest élén a fedőrétegek 1-2 mm mélységben megtörve kihajlanak (élettörés, „pásztortorbot effektus”). Ez a hatás valószínűleg azonos az alappapírra vonatkozó LCT ill. CCT vizsgálatnál fellépő igénybevétellel. Az élettöréssel bekövetkező vizsgálatkor valószínűleg a réteg-összetartó erőt (ragasztási szilárdságot) is mérjük. Gyengébb kötőerő esetén ugyanis a fedőréteg és a hullámosított réteg könnyebben szétválik, nagyobb lehetőséget adva ezzel a fedőrétegnek az élettörésre. 100 mm próbatestmagasságnál a gerincroppanással jelzett ECT végpont már kb. 30% gyakoriaságú volt, de jellemzően csak a 125 mm magasságnál következett be. Ez is azt igazolja, hogy a gerincroppanás erősebb hpl esetében a nagyobb minta-magasságoknál, gyengébb (kisebb ECT-jű) lemezeknél már kisebb próbatest-magasságnál is bekövetkezik.

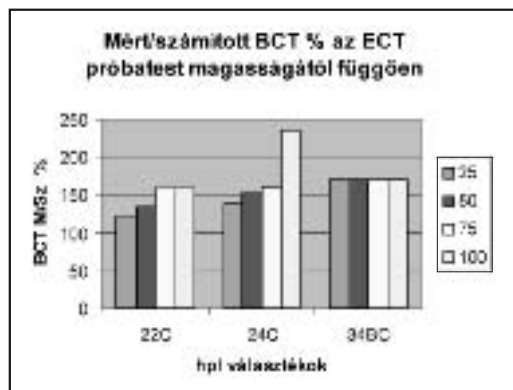
A gerincroppanás elérése a kisebb ECT értékű hpl-nél egyre gyakoribb lehet. A növekvő ECT azonban egyre inkább kizárja a gerincroppanást, ezért ennek elősegítése csak a minta magasságának további növelésével (pl.: a 125 mm magasságnál) érhető el kisebb előfordulási gyakorisággal, majd ha a próbatest magasságát vélhetően tovább növelnénk, a gerincroppanással végződő vizsgálat egyre nagyobb részarányúvá válik. Ez is azt igazolja, hogy a próbatest erő hatására történő kihajlását kell elérni, ami nagyobb szilárdságú lemez esetén csak a minta magasságának növelésével biztosítható. Kisebb ECT-jű lemezeknél a kihajlás – és ezzel egyidejűleg bekövetkező gerinc-

roppanás – már alacsony minta-magasságoknál is előfordul.

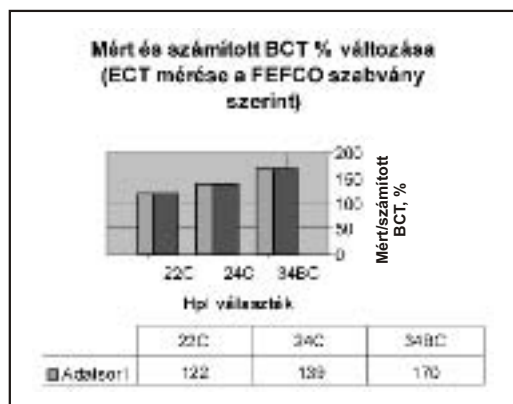
» A próbatest magasságának növelésével a 22C és a 24C választékoknál az ECT csökken (1. és 2. ábra), a 34BC esetében az ECT a vizsgált próbatest-magasság tartományban nem változik (3. ábra). Az ECT próbatest-magasságtól függő %-os változását a 4. ábra szemlélteti.

» A próbatest magasságának növekedése miatti ECT változás a számított BCT ( $BCT_{sz}$ ) értékek csökkenését vonja maga után (5. ábra).

» Egy adott választékon belül a próbatest magasságának növelésével az ECT csökken, ezért a 22C és 24C választékoknál a  $BCT_M/BCT_{sz}$  arány megnő. A 34 BC esetében az ECT változatlan ezért az előbbi arány konstans. (6. ábra)



6. ábra



7. ábra

» Észre kell vennünk azonban, hogy a FEFCO No.8. szerinti ECT vizsgálattal kapott ECT sem

eredményezi a mért és számított BCT azonosságát. A  $BCT_{sz}$  növekedésével ugyanis a  $BCT_M/BCT_{sz}$  %-os változása egyre nagyobb (7. ábra).

## Összefoglalás

1./ Az ECT vizsgálathoz használt próbatest- méretek a nemzetközi gyakorlatban jelentősen eltérnek egymástól.

2./ Nemzetközi összehasonlításban a FEFCO No.8. előírása szerinti próbatest magassága a legkisebb.

3./ A próbatest kis magassága okozza az életörést, az általunk elnevezett „pásztorbot” effektust. A dobozok azonban a gyakorlati terhelés alatt nem életöréssel, hanem az oldallapok gerincroppanásával mennek tönkre. Ebből következőleg a FEFCO szabvány szerinti ECT vizsgálat többek között ezért sem szimulálja a gyakorlati igénybevételt.

4./ A japán szabvány (JIS-0401) szerinti vizsgálat, valamint az FPL eljárás a próbatest kigyengítésével éri el a kívánatos gerincroppanást. A Tappi módszer a próbatest élleinek viasszal történő kezelésével kerüli el az életörést és kényszeríti ki a gerincroppanást.

5./ Vizsgálataink szerint a próbatest magasságának növelésével elérhető a minta gerincroppanása, ami az ECT vizsgálat végpontját jelenti. A kisebb ECT értékű választékok (vizsgálatunkban a 24C ill. az ennél gyengébb szilárdságú hpl) 100 mm próbatest magasságnál 30% gyakorisággal már gerincroppanással válaszolt a nyomóerőre. 125 mm magasságnál pedig valamennyi vizsgált minta mérési végpontját a gerincroppanás idézte elő. Azonosan viselkedett a 34 BC hpl választék is.

6./ A dobozok terhelés alatti viselkedését szimuláló gerincroppanásos ECT vizsgálat a 125 mm magas próbatestnél következik be, ami a vizsgálatok számának nagy részére jellemző. Ez azonban a 25 mm magassághoz viszonyítva az ECT 30-40%-os csökkenését jelenti. A legkisebb ECT csökkenés (10%) a 34 BC választéknál volt.

7./ A FEFCO szerinti vizsgálathoz viszonyítva kisebb ECT értékkel számítjuk ki a BCT-t. A linearitás miatt a  $BCT_{sz}$  is arányosan kisebb lesz.

8./ A kisebb  $BCT_{sz}$  miatt az eddigiekben tapasztalt és kedvezőtlen  $BCT_M/BCT_{sz}$  arány tovább romlik.

**9./ Az elmondottak miatt további vizsgálatok szükségesek a ECT vizsgálat körülményeinek végleges meghatározására.**

#### Irodalom

1. Zsoldos B.: ECT vizsgálat korszerűsítése a pontosabb BCT becsléshez; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat 2002. 03. 06. 1-3 old.*
2. Zsoldos B.: A BCT becslésének pontosságát befolyásoló tényezők; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat. 2002. 03. 18. 1-4 old.*
3. Zsoldos B.: Az ECT próbatest magasságának hatása a BCT értékre; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat. 2002. 01. 05. 1-3 old.*
4. Zsoldos B.: A hpl dobozok gazdaságosabban elérhető jobb terhelhetősége; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat 2002. 01. 13. 1-4 old.*
5. Zsoldos B.: Eltérjen-e az ECT vizsgálat hpl próbateste a FEFCO No. 8. előírásától?; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat. 2002. 01. 15. 1-3 old.*
6. Zsoldos B.: ECT méréshez a próbatest helyes megválasztása; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat. 2002. 01. 16. 1-4 old.*
7. Zsoldos B.: A próbatest élettörését elkerülő ECT vizsgálati módszerek a jelenlegi FEFCO Number 8. szabvány kiváltására; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár Kézirat. 2002. 01. 17. 1-3. old.*
8. Zsoldos B.: Különböző ECT vizsgálati módszerekkel kapott eredmények összehasonlítása; *Dunapack Rt. Hullámtermégyár. Kézirat. 2002. 01. 19. 1-3 old.*

Keywords: pectines, enzyme degradation

## A pektinek jellemzői és enzimes degradációja

*Losonczi Anita, Csiszár Emília*

### 1. Pektin

#### 1.1. A pektin előfordulása

A pektin kifejezéssel a különböző mennyiségű metil-csoportot tartalmazó poligalakturonsavakat jelöljük. A pektinsavak a kis észterezettségi fokú pektineket jelentik és sóik a pektátok. A pektin a cellulózzal, a hemicellulózzal és a ligninnel együtt a növényi sejtfal legfontosabb építőanyaga. Leginkább a növényi sejt primer falában, illetve a sejtközi állományban fordul elő. A sejtfalban a pektin a cellulóz rostok között, mint vízben oldhatatlan töltőanyag van jelen. A szomszédos sejteket összekötő közpamellában a ragasztó szerepét tölti be [1]. A növény a pektint teljesen észterezett formában szintetizálja, mivel így vízzeloldható és szállítható. A megfelelő helyre eljutva, az észterektörések egy része enzimkatalizált hidrolízis során bomlik és így alakul ki a végső metil-észter tartalom [2, 3].

A textilipari felhasználásra kerülő növényi eredetű természetes szálanyagok is tartalmaznak

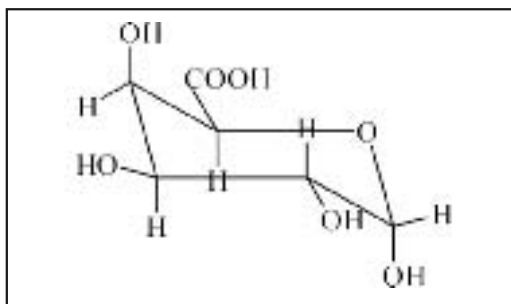
pektint. A pamutban a pektin a kutikulában helyezkedik el és a szál tömegének átlagosan 0,7-1,2 %-át teszi ki. A lenben ennél nagyobb mennyiségben található és mint ragasztóanyag, feladata a hancsrétegben lévő rostkötegek elemi szálainak összeragasztása, továbbá a rostkötegeknek egyéb sejtekhez való rögzítése [4].

#### 1.2. A pektin kémiai szerkezete

A pektin D-galakturonsavból (1. ábra) (1-4)-es kapcsolással létrejött polimer, amelyben a karboxil-csoportok egy része metil-észterezve van. Blokk-kopolimernek tekinthető, ahol észterezett és nem-észterezett galakturonán láncok váltják egymást. Ha a polimer nem tartalmaz elágazásokat, homogalakturonánnak nevezzük (2. ábra). A C<sub>1</sub> konformáció (1. ábra) következtében a glikozidos kötések axiálisak, ami lehetővé teszi a láncmolekula megnyúlását és feltekeredését (3. ábra) [1, 2, 3].

A polimerlánc L-ramnóz egységeket is tartalmazhat. Ekkor a D-galakturonsav és az L-ramnóz (1-2), az L-ramnóz és a D-galakturonsav pedig (1-4) kötéssel kapcsolódik össze.

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Műanyag- és Gumiipari Tanszék

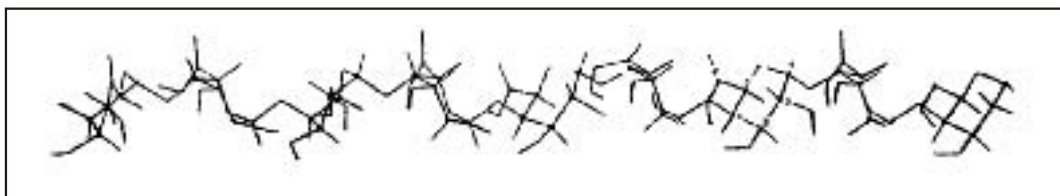


1. ábra. -D-galakturonsav

arabinóz egységekből áll. Az öttagú gyűrűt alkotó arabinóz (1 5) kötésekkel kapcsolódik össze. Az arabinogalaktán oldallánc – az arabinánhoz hasonlóan – elágazó poliszaharid, amely az arabinózon kívül kismennyiségben galaktózt is tartalmaz. A galaktóz a lánc végén nem redukáló, a láncban elhelyezkedő pedig 3-as és/vagy 6-os helyzetben szubsztituált. Az arabinóz (pentóz) többnyire 3-as vagy 5-ös helyzetben szubsztituált. A galaktán oldallánc lineáris, a D-galaktóz (hexóz) egységek (1 4) kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. A lánc kismértékben elágazó, az oldalláncok arabinóz-tartalmuak [1, 2].



2. ábra. A homogalakturonán szerkezete  
(MeGalUA=metil-galakturonsav; 1 4 kapcsolódási mód; Rha=ramnóz)



3. ábra. Poligalakturonsav polimerlánc

A ramnózban gazdag pektint ramnóz-galakturonánnak nevezzük. A ramnóz egységekhez gyakran oldalláncok csatlakoznak. Mivel a pektinben a ramnóz eloszlása változó, a főláncon belül megkülönböztethetünk sűrűn elágazó és enyhén elágazó részeket [1]. Az elágazásokat tartalmazó blokkok az oldalláncok miatt nehezen hozzáférhetőek, ezért a pektinészteráz enzim által katalizált észterhidrolízis ezeken a részekon nehezen megy végbe [2].

A ramnóz-galakturonán két szerkezettel írható le: ramnóz-galakturonán I (RGI) és ramnóz-galakturonán II (RGII). A ramnóz-galakturonán II viszonylag kis molekulájú, de nagyon összetett szerkezetű poliszaharid. Elsősorban a növényi sejt primer falában található meg.

A ramnóz-galakturonán I főként olyan oldalláncokat tartalmaz, amelyek semleges cukrokból épülnek föl. Szerkezetük alapján az oldalláncok három típusát különböztethetjük meg: arabinán, arabinogalaktán és galaktán. A pektin-arabinán oldallánc elágazásokat tartalmaz és kizárólag L-

### 1.3. A pektin kölcsönhatása más sejtalkotókkal

A növényi sejt primer falában a pektin kovalens kötéssel kötődik a hemicellulózhoz és a cellulózhoz, valamint hidrogén-kötéssel más sejtfalalkotókhoz. Bizonyos mértékig önmagával is kölcsönhatásba lép, ugyanis kalcium ionokkal keresztkötés létesítésére képes. A keresztkötés a negatív töltésű – tehát nem észterezett vagy kevésbé észterezett – homogalakturonán domének és a kétértékű pozitív kalcium ionok közötti elektrosztatikus vonzás útján jön létre. Az észter-csoportok és az oldalláncok gátolják a kalcium keresztkötések kialakulását. A lánc ezen részei rugalmasak és a szegmensek bizonyos mértékig mozgékonyak. Megfelelő mennyiségű kalcium keresztkötés kialakulása után a vízoldható pektin gélesedik és hálós szerkezet kialakulásával bizonyos mennyiségű vizet is képes magába zárni (4. ábra). A keresztkötések tényét igazolják azok a kísérletek, melyek során a kalcium ionokat komplexképzővel kivonták a



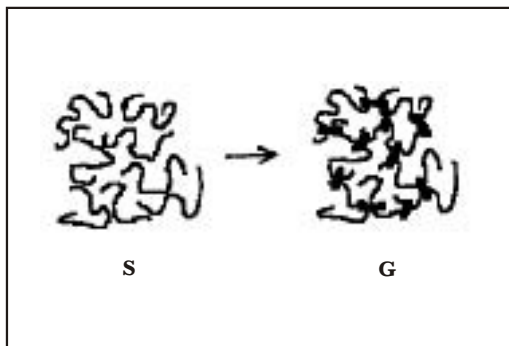
rendszerből, ami a sejttal jelentős gyengülését eredményezte [1, 2, 5].

A kalcium ionok nemcsak a pektin polimerláncait képesek összekötni, hanem a pektin és más poliszaharidok között is létesíthetnek kapcsolatot. Ilyenkor a kalcium például a poliszaharid hidroxil-csoportjával koordinatív kötést, míg a pektin karboxilát-ionjával ionos kötést hoz létre [6]. A pektin polimerláncai között más típusú keresztkötések, mint például észter-kötés, vagy a fenolos szubsztituensek közötti keresztkötés is előfordulnak. Ez utóbbi meglehetősen ritka, mivel csak kevés pektin tartalmaz fenolos szubsztituenseket [1].

A pektin a kalcium tartalmú gél mellett képes úgynevezett savas gél kialakítására is. A savas gélben a láncok hidrogén-kötéseken, illetve a metil-csoportok között lévő diszperzós kötésekön keresztül kapcsolódnak össze. Mindkét gél típus esetén a galakturonán lánc hélikus szerkezetű és egy körbefordulásra 2-3 galakturonsav egység jut. A hélixek nem tudnak létrehozni dupla-hélixet, hanem egymás mellett helyezkednek el és közöttük nem-kovalens jellegű kötések alakulnak ki [2, 6]. A két gél-típus szerkezetét az 1. táblázat mutatja. A kalcium tartalmú gél esetén a lánckonformációt és a láncok számát illetően a kutatók álláspontja eltérő.

	Kalcium tartalmú gél		Savas gél
Észterezettség	alacsony	alacsony	magas
Lánc konformáció	3, hélix	2, hélix	3, hélix
Láncok száma	kb. 4	2	kb. 3-10
Lánc elrendeződés	anti-parallel	anti-parallel	parallel

1. táblázat. A pektin gélek jellemzői [2]



4. ábra. A pektin gélesedése. S-polimer molekula oldatban, G-keresztkötések a gélben

## 2. Pektinbontó enzimek

### 2.1. Az enzimek csoportosítása

A pektin bontását több, különböző aktivitással rendelkező enzim katalizálja. Az enzimrendszer tagjaira jellemző a szinergizmus. A pektinázoq felosztása a 2. táblázatban látható.

Nem-depolarizáció	Depolimerizáció			
Pektin-észteráz	Poligalakturonáz (hidroláz)		Transzelimináz	
	endo-	exo-	endo-	exo-

2. táblázat. A pektináq enzimek csoportosítása

### 2.2. Nem-depolimerizáló enzimek

A pektinbontó enzimrendszerben egy nem-depolimerizáló enzim, a pektin-észteráz található. Ez az enzim a poligalakturonán észterkötést hasítja és hatására csökken a pektin észterezettségi foka. A hasításnál szabad karboxil-csoport és metil-alkohol keletkezik. Az enzimaktivitás meghatározható a karboxil-csoportok titrálásával, vagy a felszabaduló metanol kolorimetriás/gázromatográfiás meghatározásával [7, 8].

### 2.3. Depolimerizáló enzimek

#### 2.3.1. Poligalakturonáz (hidroláz) enzimek

A poligalakturonázok a galakturonsav egységek közti (1-4) kötésekét hasítják vízfelvétel és redukáló csoport keletkezése mellett. Az exo-poligalakturonáz a molekulalánc végéről hasítja le monomer vagy oligomer egységeket és aktivitása a redukáló csoportok keletkezése alapján jellemezhető. Az endo-poligalakturonáz a láncban belüli hasítást végzi, így a megfelelő szubsztrát oldat viszkozitásának csökkenéséből határozhatjuk meg az enzimaktivitást [7, 9].

#### 2.3.2. Transzelimináz enzimek

A láznak is nevezett transzelimináz a poligalakturonán (1-4) kötéseit vízfelvétel nélkül hasítja úgy, hogy a 4-es és 5-ös szénatom között kettős kötés keletkezik. Az endo- és exo-enzimek a poligalakturonázokhoz hasonlóan a láncban belül, illetve a lánc végén preferáltn működnek. A keletkezett kettős kötés abszorbanciája 232-235 nm-nél van, mérésével tehát az enzimaktivitás meghatározható [10].

### 3. A pektin enzimes degradációjának ipari alkalmazásai

#### 3.1. Enzimes pamutelőkészítés

A pektináz enzimeket a textiliparban a pamutkikészítés első fázisában, az előkészítés során alkalmazzák, melynek feladata a szálanyagok természetes és mesterséges kísérőanyagainak az eltávolítása. Az enzimes kezeléssel kombinált vagy azzal helyettesített pamutelőkészítés előnye, hogy a hagyományos lúgos főzés vegyszer- és energiaigénye, valamint a lúgos kezelést követő öblítő lépések nagy vízigénye jelentősen csökkenthető.

A pamut kísérőanyagai közül a pektin és a fehérjék mennyisége a legnagyobb, a szál tömegének 1,3 %, illetve 1,4 %-át teszik ki. *Aspergillus niger* eredetű pektináz enzimes kezeléssel a pektin kb. 30 %-a eltávolítható. Ezzel párhuzamosan a viasz mennyisége is csökken, mivel a viasz kémiai kötéssel kapcsolódik a pektinhez. A kezelés hatására a szövet szakítószilárdsága és világossága nem változik, a tömegvesztés kismértékű. A hagyományosan főzött szövetekkel azonos nedvesedőképeség eléréséhez 2-6 órás enzimes kezelésre van szükség. A pektináz enzimek hatékonysága fokozható celluláz kísérőenzimmel, vagy a pektináz és celluláz enzimes kezelések kombinálásával. A celluláz ugyanis megbontja a primer falban található cellulózt, amely összetartja a szál felületén elhelyezkedő nem cellulóz típusú anyagokat, és ezáltal megnyitja a pektináz számára a pektinhez vezető utat. A kombinált kezelés esetén számítani kell a celluláz enzim okozta kismértékű szakítószilárdság-csökkenésre [11, 12, 13].

Pamutszövet rövid forróvizes előkezelésével szintén fokozható a pektináz enzimes kezelés hatékonysága. Az előkezelés során a viaszok megolvadnak, majd diszpergálódnak a vízben. A szövet világossága nő, ami a színes szennyezőanyagok eltávolozására utal. Az előkezelést követő pektináz enzimes kezelés a szövet színét és szakítószilárdságát tovább már nem változtatja meg, a vízvisszatartás és a nedvesedőképeség pedig nagymértékben nő [12]. A pektináz enzimerendszerből tisztítással elkülönített pektinészteráz és transzelimináz önmagában nem elég hatékony, a nedvesedőképeséget egyáltalán nem, vagy csak kismértékben képes javítani [12].

#### 3.2. Háncsrostok enzimes feltárása

A háncsrostok (len, kender) hagyományos harmatáztatással történő feltárása időjárásfüggő, nehezen kontrollálható és időigényes folyamat, amely változó rostminőséget eredményez. A len textilipari felhasználásának növekedése miatt szükségessé vált olyan új eljárás kidolgozása, amellyel kiváló és állandó minőségű rostok állíthatók elő. Az enzimes feltárás kidolgozásának ez volt az elsődleges célja. Sikeresült azonosítani a harmatáztatásban résztvevő gomba törzseket, amelyek a pektin degradációját katalizáló enzimeket termelik.

A pektináz enzimek a len feltárását többnyire enyhén savas közegben, 40-50 °C-on végzik. A kezelés hatására a rostkötegek elválnak a kutikulától és a fás részekről. Az enzim számára nehezen hozzáférhető részekben a feltárás nem elég hatékony. A pektináz enzimek működését komplexképzőkkel (EDTA, oxálsav) segítik, mivel a keresztkötésben résztvevő kalcium ionok kivonásával a pektin egyrészt az enzim számára hozzáférhetőbbé, másrészt vízdoldhatóvá válik. Mechanikai előkezeléssel szintén fokozható a pektináz enzimek aktivitása. Ilyenkor a kutikulát mechanikai úton megbontjuk és így tesszük hozzáférhetőbbé az enzim számára [14, 15].

### 4. Összefoglalás

**A pektin a cellulózzal, a hemicellulózzal és a ligninnel együtt a növényi sejt legfontosabb építőanyaga. Leginkább a primer falban, illetve a sejtközi állományban fordul elő. A szomszédos sejteket összekötő középlamellában a ragasztó szerepét tölti be. A növényi eredetű szálanyagok (pamut, len, kender) előkészítő műveletei során a pektin részleges eltávolítása szükséges, amely ma már környezetbarát biotechnológiai eljárással megvalósítható. A pamut enzimes előkészítése során a pektináz enzimes kezelés hidrophil szálfelületet eredményez. Kiváló minőségű háncsrostok nyerhetők enzimes feltárás segítségével.**

### 5. Irodalomjegyzék

1. Dey, P. M., Harborne, J. B.: Plant Biochemistry, Academic Press, San Diego, London, Boston, New York, 1997
2. Jarvis, M. C.: Structure and Properties of Pectin Gels in Plant Cell Walls, *Plant, Cell and Environment*, 7, 153-164 (1984).

3. *Pilnik, W., Zwiker, P., Lohmann, R.*: Pektine, *Gordian*, **5**, 202-204 (1970).
4. *Lewin, M., Pearce, E. M.*: Handbook of Fiber Chemistry, Marcel Dekker, Inc., New York, 1998
5. *Jarvis, M. C.*: Control of Thickness of Collenchyma Cell Walls by Pectin, *Planta*, **187**, 218-220 (1992).
6. *Demarty, M., Morvan, C., Thellier, M.*: Calcium and the Cell Wall, *Plant, Cell and Environment*, **7**, 441-448 (1984).
7. *Bailey, M. J., Pessa, E.*: Strain and Process for Production of Polygalacturonase, *Enzyme microb. Technol.*, **12**, 266-271 (1990).
8. *Henriksson, G., Akin, D. E., Slomczynsky, D., Eriksson, K-E. L.*: Production of Highly Efficient Enzymes for Flax Retting by *Rhizomucor Pusillus*, *J. Biotech.*, **68**, 115-123 (1999).
9. *Wood, W. A. Kellogg, S. T.*: Biomass, Part B (Lignin, Pectin and Chitin), Methods in Enzymology, Vol. 161, 362-363, Academic Press Inc., San Diego, California, 1988
10. *Sakamoto, T., Hours, R. A., Sakai, T.*: Purification, Characterization and Production of Pectic Transeliminases with Protopectinase Activity from *Bacillus subtilis*, *Biosci. Biotech. Biochem.*, **58**(2), 353-358 (1994).
11. *Buchert, J., Pere, J., Puolakka, A., Nousiainen P.*: Scouring of Cotton with Pectinases, Proteases, and Lipases, *Textile Chemist & American Dyestuff Reporter*, **32**(5), 48-52 (2000).
12. *Hartzell, M., Hsieh, Y-L.*: Pectin-Degrading Enzymes for Scouring Cotton, Enzyme Applications for Fiber Processing, ACS Symposium Series 687, Am. Chem. Soc., Washington, D. C., Chap. 18, 212-227 (1998).
13. *Hartzell, M., Hsieh, Y-L.*: Enzymatic Scouring to Improve Cotton Fabric Wettability, *Textile Res. J.* **68**(4), 233-241 (1998).
14. *Akin, D. E., Henriksson, G., Morrison III, W. H., Eriksson, K-E. L.*: Enzymatic Retting of Flax, Enzyme Application for Fiber Processing, ACS Symposium Series 687, Am. Chem. Soc., Washington, D.C., Chap. 22, 269-278 (1998).
15. *Csiszár, E., Losonczy, A., Szakács, G., Rusznák, I., Bezúr, L., Reicher, J.*: Enzymes and Chelating Agent in Cotton Pretreatment, *J. Biotechnol.*, **89**, 271-279 (2001).

A szerzők köszönetet mondanak az Országos Tudományos Kutatási Alapnak a cellulóz-enzim rendszerek vizsgálatával foglalkozó kutatásaik támogatásáért (OTKA T42927).

## Régi – új OMFB

A korábbinál nagyobb önállósággal bíró, államtitkári rangú vezető által irányított kutatás-fejlesztési intézmény jön létre az ősszel, nyilatkozott márciusban az Oktatási Minisztérium politikai államtitkára. A kutatás-fejlesztés állami koordinációját most helyettes államtitkár irányítja a tárcánál.

Korábban – a szakma erőteljes tiltakozása ellenére – a területért addig felelős Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB) önállóságát megszüntették, azt az oktatási minisztériumba helyettes államtitkársággént beolvasztották. Az OM politikai államtitkára elmondta: a tárca a kutatás-fejlesztés magasabb szintű képviselője mellett döntött, egy önálló egység létrehozását határozta el. Példaként a Magyar Szabadalmi Hivatal

említette, amely a gazdasági miniszter felügyelete alatt áll, de önállóan dolgozik.

Az oktatási miniszter által felügyelt majdani intézmény a korábbinál szélesebb jogköröket kap. A *kutatás-fejlesztéssel, tudomány- és technológia-politikai* kérdésekkel, *innovációs politikával, önálló pályázati rendszerrel*, pályázatok odaítélésével is foglalkozik az új szervezet, emellett a *Magyar Tudományos Akadémiával* való folyamatos *kapcsolattartás*, illetve a *nemzetközi kapcsolatok* is fela-data lesz. Az új intézmény székhelye a jelenlegi kutatás-fejlesztési helyettes államtitkárság lenne. Az intézmény ősszel megkezdí működését, vezetőjéről még nem határoztak.