

Polimer gépszerkezeti elemek dinamikus vizsgálata

Dr.Czigány Tibor*¹ – Romhány Gábor*²

Bevezetés

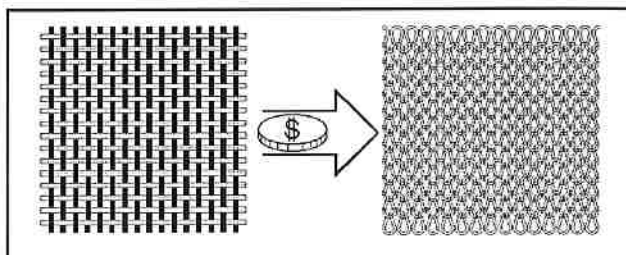
A mai korszerű technika és a profitorientált gazdaság jellemző vonása a polimerek és kompozitjaik tömeges mértékű felhasználása. Az ipar minden területén, így a gépészetben is a fémek helyettesítése polimer kompozittal a gazdaságos anyagfordítás kulcskérdése.

Az egyre jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező polimer kompozitok megjelenésével már nemcsak statikus, hanem dinamikus igénybevételű helyekre is jól alkalmazhatóak az erősített műanyagok (pl. járművek). Az erősítés anyaga leggyakrabban üveg- és szénzál, azonban az utóbbi években intenzív kutatások folynak kerámia-, bazalt- és lenszálak felhasználhatóságáról is. Eleinte vágott szálakat és paplanerősítést használtak, azonban ezeknek a rendszereknek az ütésállósága gyenge, ezért ma már elsősorban textil struktúrájú erősítést használnak. Ezeknek a szőtt és kötött kelméknek hallatlan előnye, hogy a kompozit irányfüggő mechanikai tulajdonságai nagymértékben befolyásolhatók a szövés illetve a kötés módjával.

A szövés és a kötés közötti különbség a kelmét alkotó szálak, szálkötegek kapcsolódásában mutatkozik. Amíg a szövésnél két fonalrendszer sűrű, egymásra merőleges keresztezéséből áll a kelmefelület, amely viszonylag merev, addig a kötésnél ezt egy fonalrendszer laza kapcsolódása alkotja, ahol a fonalak sokkal íveltebbek. Ezért a kötött kelme nyúlási hajlama a szöveténél sokkal nagyobb. Ennek előnye az, hogy sokkal könnyebben veszi fel a térbeli felület alakját, mint a szőtt rendszerek, ahol ilyenkor az elemi szálak szakadása következik be. Hiába a kötött kelmével erősített kompozit kisebb szilárdsága a textilstruktúrához képest, a nagyfokú deformálhatósága, valamint a végtermék helyileg változtatható mechanikai jellemzői ellensúlyozzák azt. A

deformálhatóság nemcsak a gyártáskor jelent előnyt, hanem már az alapanyag tulajdonságai is befolyásolhatók azáltal, hogy az erősítőstruktúra már deformált (nyújtott) állapotban kerül a mátrixba, vagy ilyen alakul ki a feldolgozás során. Az 1. ábrán a szakítószilárdság változása látható az erősítőstruktúra különböző mértékű nyújtása esetén.

Az erősítőstruktúrák fejlődését nem csak az erősebb, jobb mechanikai tulajdonságokra való törekvés motiválta, hanem nagymértékben a költségsökkentés. A 2. ábra, a szálköteg árát alapul véve, a többi struktúra relatív árát mutatja, amelyből kitűnik a kötött kelme kedvező árfekvése a szőtt kelméhez képest [1].



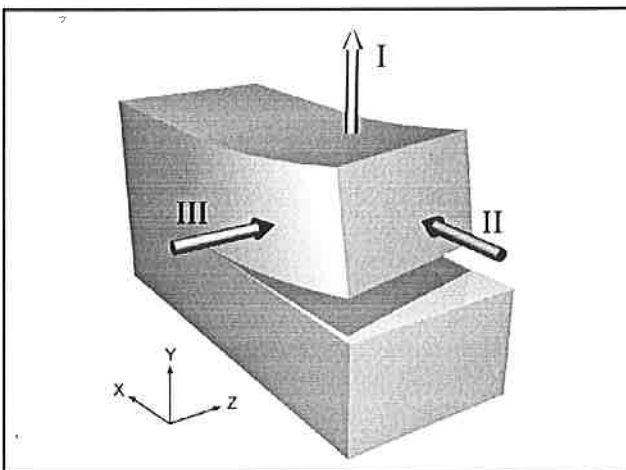
	Relatív költség [%/kg]			
	Szálköteg	Paplan	Szött kelme	Kötött kelme
Üvegszál	100	120–150	400–500	130–200
Szénzál	100	–	180–200	105–110

2. ábra. Erősítőstruktúrák relatív költsége

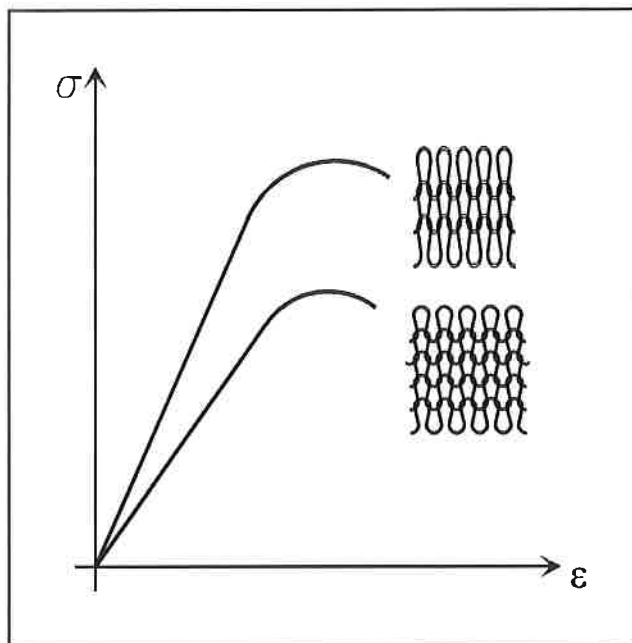
A cikk célja: a kötött üveggelmevel erősített polimer kompozitok dinamikus vizsgálata, amelyek bevezetése az iparban napjainkra tehető (pl. gépjárművek héjai, repülőgépek farokszárnyai stb.).

Dinamikus vizsgálatok

A dinamikus vizsgálatok célja a szerkezetek törés előtti viselkedésének (repedés-keletkezés és -terjedés) tanulmányozása. A törésmechanikai vizsgálatoknál három terhelési módot különböztetünk meg (3. ábra) a repedést határoló két felület egymáshoz viszonyított elmozdulása szerint [2].



3. ábra. Terhelésmódok [2]



1. ábra. A nyújtás hatása a szakítószilárdságra

* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet, Gépelemek Tanszék

¹ egyetemi docens

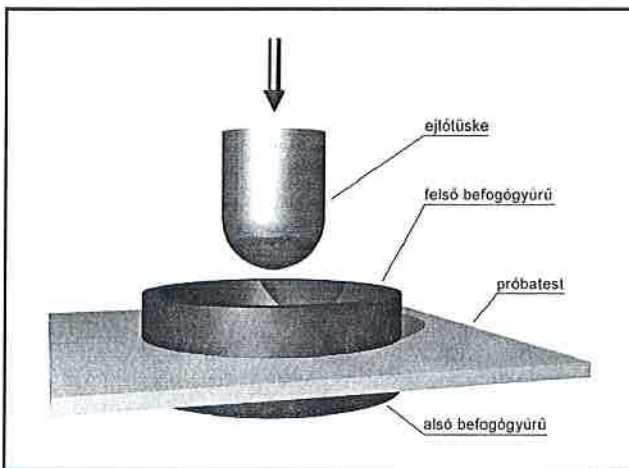
² szigorló gépészmérnök hallgató

Az I., ún. *nyitó* terhelési módnál a terhelés a repedés síkjára merőleges, a II., ún. *csúsztató* terhelési módnál a terhelés párhuzamos a repedés síkjával és x irányú, míg a III., ún. *tépő* módnál a terhelés szintén párhuzamos a repedés síkjával, azonban z irányú.

A cikk célja a terhelésmódok kombinációinak, az ejtősúlyos és az ingás (Charpy) igénybevételnek a tanulmányozása, amelyek igen elterjedtek a különféle szerkezeti anyagok dinamikus vizsgálatánál. Ennek oka, hogy az energiaelnyelő képesség mint fizikai paraméter meghatározása igen fontos a mai anyagvizsgálatoknál (pl. gépjárműalkatrészek, bukósisakok).

Ejtősúlyos vizsgálatok

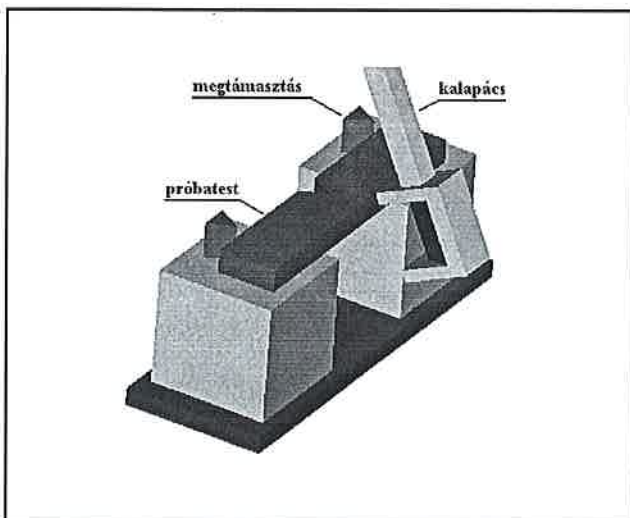
A méréseket olasz gyártmányú, CEAST FRACTOVIS 6789 típusú ejtősúlyos gépen végeztük. A szerkezet pneumatikus működésű, valamint a rugós rásegítő berendezésével elérhető, hogy az ejtőtűske sebessége elérje akár a 20 m ejtési magasságnak megfelelő 16 m/s értéket is. A próbatestek befogása egy 40 mm átmérőjű „csőasztal”-ban történt (4. ábra), tehát a próbatestnek olyan kialakításúnak kellett lennie, hogy abba egy 40 mm átmérőjű kör beírható legyen.



4. ábra. Ejtősúlyos mérési elrendezés

Charpy-vizsgálatok

A méréseket olasz gyártmányú, CEAST AFS-MK3 típusú ingás ütőművön végeztük, amely egy hárompontos dinamikus hajlításnak felel meg (5. ábra). A szabvány előírása szerinti próbatestek 45 fokos bemetszésein a tövét vizsgálat előtt pengével tettük élessé.

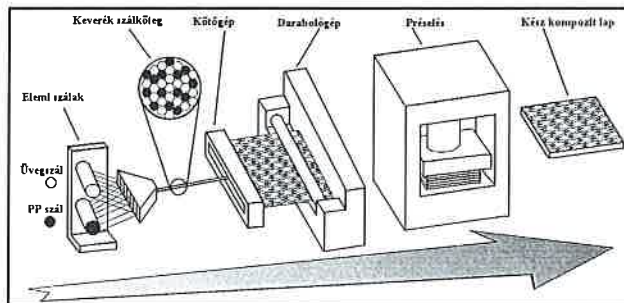


5. ábra. Charpy-mérési elrendezés

Eredmények

A vizsgált anyag

A vizsgált PP kompozitokat préselési technikával, a német Buck Maschinenbau GmbH által gyártott kötött kelméből állítottuk elő, amelynek sajátossága, hogy keverékszálból készült. Ennek lényege, hogy mind a mátrix, mind az erősítő anyag elemi szál formájában van jelen, s alkot egy szálköteget, amelyből kötési technikával készül a nyers alap. Ebből préselési technikával készül a kompozit lemez (6. ábra).



6. ábra. Kötött kelmével erősített kompozit előállítási folyamata

A préselési ciklus folyamata optimális után (nyomás, hőmérséklet, idő, rétegszám) a következőképpen alakult:

- nyomólapok felmelegítése 200°C-ra,
- nyomásnövelés 40 bar-ig,
- 5 percreg nyomástartás,
- 100°C-ig lassú, majd gyors hűtés.

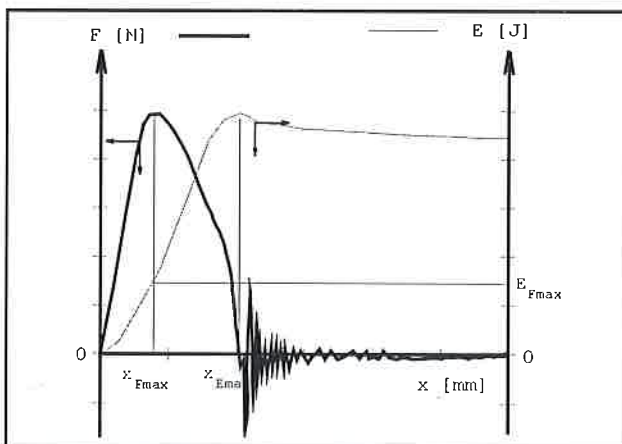
Az igényelt szilárdság és mechanikai tulajdonságok megkövetelték a 10 rétegű erősítő anyag használatát. Vizsgálatainkat három egymástól különböző anyagtulajdonságú kompoziton végeztük:

- PP+70 súlysúlyszázalék (wt%) üvegszál;
- PP+50 (wt%) üvegszál + szálak és a mátrix kezelése a tapadást elősegítendő;
- PP+70 (wt%) üvegszál + szálak és a mátrix kezelése a tapadást elősegítendő.

Így a vizsgálataink során az 1 és a 3, illetve a 2 és a 3 jelű kompozitok összehasonlításával az üvegszáltartalom és a szál/mátrix adhéziós hatását (egyrészt a szálak kezelésével, másrészt a mátrix meleinsav-anhidrid modifikációjával) tudtuk figyelemmel követni.

A mért jellemzők

Az ejtősúlyos illetve a Charpy-féle berendezéshez csatlakoztatható számítógép-vezérelt mérő-kiértékelő rendszer segítségével regisztráltuk az erő és az energia értékeket az ejtőtűske illetve a kalapács behatolási mélységének függvényében. Egy jellegzetes mérési eredmény a 7. ábrán látható.



7. ábra. A dinamikus vizsgálatok jellegzetes mérési eredménye

A mérési eredményekből többek között a következő paraméterek olvashatók le, illetve számíthatók ki:

- $F_{(max)}$ – az erő maximuma [N]
- $E_{(Fmax)}$ – az energia az erő maximumnál [J]
- $E_{(max)}$ – az energia-maximum [J] (ahol $F=0$)
- $X_{(Fmax)}$ – az elmozdulás az F_{max} -nál [mm]
- $X_{(Emax)}$ – az elmozdulás az E_{max} -nál [mm]
- D_i – a duktilitási index [%] (energiaelnyelő képesség):

$$D_i = \frac{E_{max} - E_{Fmax}}{E_{max}} \cdot 100 [\%]$$

Az ejtősúlyos vizsgálatnál számítható még:

E_p – perforációs energia [J/mm (próbaelem vastagság)]

$$E_p = \frac{E_{max}}{V}$$

A Charpy-vizsgálatnál számítható még:

K_C – dinamikus feszültségintenzitási tényező (repedésterjedésre való hajlam)

$$K_C = \frac{f \cdot F_{max}}{B \cdot W^{1/2}} [MPa\sqrt{m}]$$

ahol: B – a próbatest vastagsága (3 mm)
 W – a próbatest szélessége (12 mm)
 f – formatényező

A vizsgálat eredményei

A számított eredmények az 1. és a 2. táblázatban találhatóak. (A táblázat számértékei 3 próbatest eredményeinek átlaga úgy, hogy a mért 5 próbatestből a legnagyobb és legkisebb értéket nem vettük figyelembe, s az átlagtól való eltérést 95%-os konfidencia intervallummal külön jelöltük.)

1. táblázat. Ejtősúlyos vizsgálati eredmények

Sorszám	D_i [%]	E_p [J/mm]
1	65,4±3,8	4,74±0,26
2	65,7±1,9	7,32±0,21
3	67,6±2,4	15,8±0,33

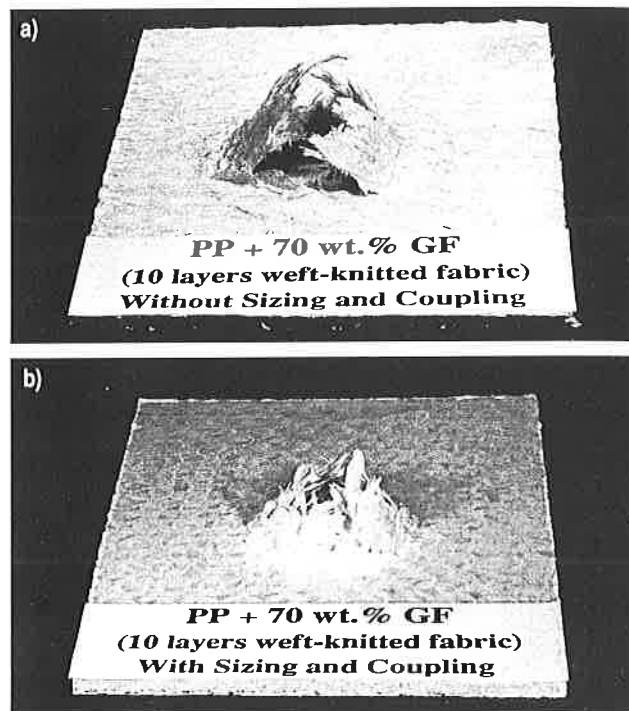
2. táblázat. Charpy vizsgálati eredmények

Sorszám	D_i [%]	K_C [MPa√m]
1	73,9±6,1	6,11±0,54
2	77,2±3,3	6,30±0,33
3	85,6±3,0	12,6±0,58

Az eredmények az I. terhelési módban korábban megállapítottakat [4] igazolják, vagyis a szál-mátrix adhézió nagyobb szerepet játszik a mechanikai tulajdonságokban, mint a 20%-os erősítőtartalom növekedés. Az energiaelnyelő képesség jelentősen nem változik az ejtősúlyos vizsgálatoknál, míg a Charpy-félénél szerény növekedés tapasztalható. A perforációs energia, vagyis az átütéshez szükséges energia nagyon nagy mértékben függ mind az erősítőtartalomtól, mind az adhéziótól, hiszen a 3-as jelű anyagnál ez az érték az 1-es vagy 2-es jelű többszöröse. Hasonló különbségeket figyelhetünk meg a repedésterjedésre

való hajlam számértékénél is, azzal a kiegészítéssel, hogy a 20% szál-tartalom hiányát a növelt adhézió kompenzálta, hiszen az 1-es és a 2-es jelű anyagok K_C -je közel megegyezik.

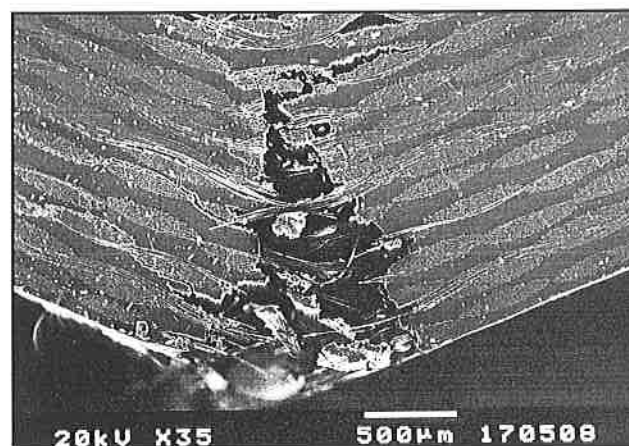
Megvizsgálva az átütött próbatesteket, jól látható a károsodási formák különbsége (8. ábra) [5, 6].



8. ábra. A perforálódott próbatestek

Az a) jelű anyagnál (70% üvegszáltartalom adhézió nélkül) a roncsolódott (károsodási) zóna mérete nagyobb, a szálkötegek elszakadtak, szilánkosan törött az anyag. A b) jelű anyagnál (70% üvegszáltartalom adhézióval) kisebb a roncsolódott zóna, amely rözszerűen nyílt ki, a szálkötegek deformálódtak, de csak a károsodási pont közelében szakadtak. Tehát itt is igazolódott, hogy a tapadást elősegítő adalék és a szálfelvezetés hatása csökkenti a károsodási zóna méretét. A 2-es és 3-as jelű anyagok között különbség nem volt tapasztalható, a perforációs jelleg azonos.

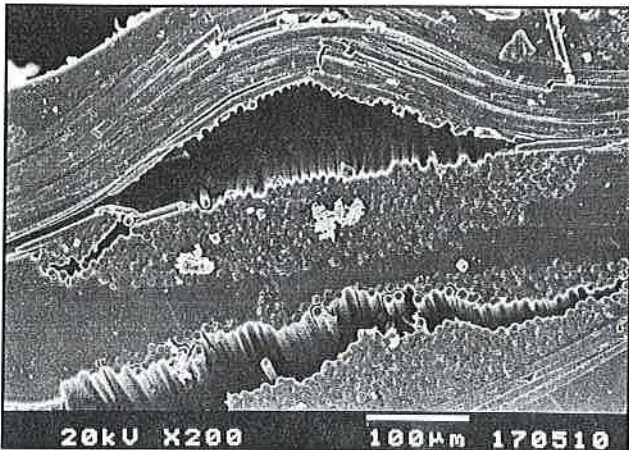
A tönkremeneteli forma hárompontos hajlítás esetén az 1-es jelű anyagnál (adhéziós adalék nélkül) tisztán látható (9. ábra).



9. ábra. Tönkremeneteli hárompontos hajlításkor

Megfigyelhető, hogy a repedésfront környezetében a szálkötegek elválnak a mátrixtól, delamináció lép fel. Nagyobb nagyításban (10.

ábra), pásztázó elektronmikroszkópos felvételen (SEM) a jelenség még dominánsabban látszik.



10. ábra. Határréteg elválás

A szálköteg-mátrix együttlőgözésának a hiánya az oka az 1-es jelű kompozit gyengébb mechanikai tulajdonságainak.

Összefoglalás

Kötött üvegekmevel erősített polipropilén rendszerek tönkremeneteli formáját vizsgáltuk ejtősúlyos és Charpy mérési módszerekkel. A vizsgált kompozitok üvegtartalma 50 ill. 70 súlyszázalék volt, valamint a szál-mátrix együttlőgözésének hatását tapadást elősegítő adalék hoz-

záadásával vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy az energiaelnyelő képességet az erősítőanyag-tartalom növekedése kisebb mértékben növelte, mint az adhéziót növelő adalékok hatása. A feszültségintenzitási tényező értékénél a 20% száltartalom hatása megegyezett az együttlőgözést elősegítő adalék hatásával.

Köszönetnyilvánítás

A cikk megjelenését az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA F 025080), valamint az Oktatási Minisztérium Széchenyi Professzori Ösztöndíja támogatta.

Irodalom

- [1] Gommers B., Verpoest I., Van Houtte P.: Analysis of knitted fabric reinforced composites. *Composites*, 29A, 1579-1588 (2000)
- [2] Williams J.G.: *Fracture mechanics of polymers*. Ellis Horwood, Chichester, UK, 1987
- [3] Németh A.: Polimerek hosszú idejű törésmechanikai tulajdonságainak vizsgálata és modellezése. PhD értekezés, BME, 2000
- [4] Czigány T., Németh A., Elinger I.: Investigation of knitted fabric reinforced GF/PP composites by acoustic emission and infrared thermography. *Periodica Polytechnica*, 2000, megjelenés alatt.
- [5] Karger-Kocsis J.: Instrumented impact fracture and related failure behaviour in short- and long-glassfiber reinforced polypropylene. *Composite Science and Technology*, 48, 273-283 (1993)
- [6] Molnar Sz., Pukanszky B., Hammer C.O., Maurer F.H.J.: Impact fracture study of multicomponent polypropylene composites. *Polymer*, 41, 1529-1539 (2000)

HÍREK

Előterben a régiófejlesztés

A Bay Zoltán Alapítvány eredményei

A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány és intézetei – a szegedi Biotechnológiai, a miskolci Logisztikai és Gyártástechnikai, a budapesti Anyagtudományi és Technológiai Intézet – mindinkább szellemi háttérévé válik nemcsak a hazai, tőkeszegény kis- és középvállalatoknak, hanem annak a régióknak is, amelyben tevékenykednek hasznosítva a nemzetközi tudományos munkamegosztás lehetőségeit és tapasztalatait. Ezt az összefoglaló megállapítást tehetjük az intézmény főigazgatójának, Pungor Ernő akadémikusnak és vezető munkatársainak március 30-ai sajtótájékoztatója alapján.

Az Alapítvány és intézetei ugyanis – az 1992-ben keltezett alapító okiratban foglalt célkitűzésekkel összhangban – az eredményes alkalmazott kutatásaikkal piacorientáltan összekapcsolják az egyetemi és a gazdasági szférát, miközben a tehetséges fiatalok posztgraduális képzését támogatva felkészült, az európai uniós együttműködésben is jártas szakembereket biztosítanak az ipar és az egyes régiók kutatás-fejlesztési közösségei számára.

Az intézetek eddigi eredményei között tallózva csak címszavakban említhetjük a BayATI-ban a nagy energiasűrűségű lézertechnológia sokrétű alkalmazását és az ezt bemutató demonstrációs központ létesítését, a Miskolci Egyetem irányított kristályosítójához kifejlesztett, az űrben is használható kemencét, a szálerősítésű (üveg-, szén- és len-szál) műanyag kompozitokat, illetve a legutóbb Hannoverben is bemutatott, a GE Tungstram Rt. megbízásából kifejlesztett Virginia automatizált

képelemző berendezést; a BayLogi-ban a szerkezetek épségének (integritásának) és maradék élettartamának megítéléséhez kidolgozott diagnosztikai és értékelő rendszereket, a világ legfejlettebb CAD-rendszerének, a CATIA-nak a honosítását (az IBM Magyarország Kft.-vel közösen) és referencia központként való működtetését, logisztikai berendezések és rendszerek fejlesztését; a BayBio-ban az L(-)almasavat termelő bioreaktort, a cellulózt lebontó baktériumtörzs hasznosítását a komposztáláshoz, a különféle biomonitöring és biotranszformációs technikákat; ez utóbbiak közül az Uwatech GmbH-val közösen kidolgozott, környezetbarát és energiatakarékos összetett in situ és ex situ eljárásrendszerét, amellyel a folyók, a holtágak és a tavak vize és iszapja megtisztítható az organikus és anorganikus eredetű szennyezésektől. Éppen a tiszai térséget ért környezetszennyezés aktualitása erősíti a szegedi és a miskolci intézetek szoros együttműködését az észak-magyarországi, ill. a Tisza menti régiók érdekében. Mintául szolgálhatnak ehhez az Európai Unió hasonló problémáit kezelő regionális fejlesztési programok, mint pl. a német Ruhr Projekt.

Összefoglalva megállapíthatjuk: jó és időben meghozott döntés és befektetés (1 milliárd forint) volt 1992-ben az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság részéről, hogy a német Fraunhofer intézetrendszer tapasztalatait felhasználva, megalapította a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítványt.

Lehofer Kornél