

Statikus és dinamikus jelek mérése

Dr. Berke Péter*, Ferencz Beatrix**

Bevezetés

A cikkben bemutatjuk a Budapesti Műszaki Egyetem Közlekedésmérnöki Kar Mechanika Tanszékének statikus és dinamikus jelek mérésére alkalmas berendezését, hozzáátve, hogy a berendezés beszerzésében, üzembehelyezésében a használói szoftver kidolgozásában a Közlekedésmérnöki Kar Gépelemek Tanszéke, az Acélszerkezetek Tanszék és a Gépészmérnöki Kar Informatikai Intézete példásan együttműködött a Mechanika Tanszékkel.

A műszer beszerzésekor, a mérési kapacitás meghatározásánál elsődlegesen vettük figyelembe az ipari megrendelők igényeit. Célul tűztük ki, hogy egy olyan moduláris felépítésű műszerrel rendelkezünk, amely már alapkiépítésben is lehetőséget nyújtson a mechanikai feszültségek ipari igényű analízisére akár statikus akár dinamikus terhelés esetén, egyidejű gyorsulás- és elmozdulásméréssel. A továbbiak során, kellő kiegészítéssel, biztosítható a nyomás és a hőmérséklet mérése is.

A mérőrendszer felépítése

A PEEKEL gyártmányú mérőrendszer statikus és dinamikus mérésre alkalmas egységei szoftverrel vezéreltek. A mérő és erősítő csatornák beállítása, nullázása, az érzékelők – nyúlásmérő bélyegek, gyorsulásmérők stb. – összehangolása a mérőrendszerrel szintén a szoftverrel végezhető el.

Az 5 kHz vivőfrekvenciás statikus részt egy nyúlásmérő bélyeges méréssel mutatjuk be.

A nyúlásmérő bélyegeket egy nyomtatott ármakörű gyűjtő panelhez csatlakoztatjuk, amely panelen valósítjuk meg az 1/4, 1/2, 1/1 mérőhíd kapcsolásokat, majd szalagkábelekkel csatlakozunk a mérőerősítő egyesített, 5-csatornás egységekre bontott bemenetéhez. A kompenzáló bélyegek is hasonló módon vannak bekötve.

A mérőerősítő csatornák PC soros interface-jéhez csatlakoznak, beállításukat a szoftverrel végezzük. Beállítjuk az említett mérőhíd megvalósítását, illetve rozettával történő mérésnél a rozetta bélyegek jellemzőit: a bélyeg faktort, a későbbi számszerű eredmények megjelenítéséhez a rugalmassági moduluszt, a Poisson tényezőt (1. ábra).

```

Channelnumber 0
<F 1> Input      :off          <F 2> scangroup   :1
<F 3> Transd.type :1/4-Br      <F 4> Range       :30 mV/V 0 1 V
<F 5> Output      :1           <F 6> Format      :0
<F 7> Signalname  :input1      <F 8> Description :test kanaal
<F 9> Unit        :             <F10> Nullbalance :Done
<F11> E-Modulus  : 210000 N/mm2 <F12> K-Factor   : 2
  
```

1. ábra A nyúlásmérő bélyeggel végzett statikus mérés mérőcsatorna beállítása

A szoftver lehetővé teszi azonos paraméterű mérő-erősítő csatornák beállítását, egy csatorna paramétereinek átmásolását. Ez a lehetőség rozettákkal való mérésnél is fennáll, mégpedig úgy, hogy első lépésben az első rozetta bélyeg paramétere kerül bemásolásra a rozettában lévő továbbiakra, majd pedig rozettákként folytatjuk a másolást.

* BME Közlekedésmérnöki Kar Mechanika Tanszék, illetve
** Hő- és Áramstechnika Tanszék

A mérési feladat végrehajtását terhelési lépéscsövekkel, vagy mérési értékek leolvasási idejével vezérelhetjük. Az első esetben a terhelés(ek) megváltoztatása után indítjuk a mérést, a második esetben egy általunk előzetesen megadott időintervallum(ok) szerint követik egymást az értékek leolvasása.

A mérési feladatnál a mérő-erősítő csatornákat 4 csoportba sorolhatjuk; a csoportokat külön programozhatjuk az előzőekben említettek szerint. Így például a fontosabb vagy gyakrabban leolvasandó csatornákat külön csoportba sorolva vizsgálhatjuk, ha valamely leolvasási időprogramba csoportosítjuk a mérendő pontokat.

A csatornákat mérés előtt nullázhatjuk, így a mérendő objektum pillanatnyi állapotához rendelhetjük a nulla értéket; mérés közbeni nullázáskor pedig az előző terhelési szintet tekinthetjük nulla értéknek.

A mérőrendszer dinamikus jelek érzékelésére, erősítésére és tárolására szolgáló része jelenlegi kiépítettségi formájában nyúlásmérő bélyegek és gyorsulásmérő dinamikus jeleinek fogadására alkalmas 32-32 mérőerősítő csatornán. A jelek átmeneti tárolására szolgáló szilárdtest memória 2x0,5 Mbyt nagyságú, eddigi tapasztalataink szerint ajánlatos kibővíteni 2x4 Mbyt méretűre (az ezzel kapcsolatos lépéseket megtettük).

Itt kívánjuk megjegyezni, hogy mind a statikus, mind pedig a dinamikus mérőerősítő 12 V egyenáramról is üzemeltethető, lehetővé téve telepített helyszíni méréseket is. E feszültségkonvertáló egység természetesen a szilárdtest memóriából való kimentést és feldolgozást is biztosítja PC-n feldolgozható adatmennyiség esetén.

A mérőrendszer működtetését ez esetben egy gyorsulásmérésen keresztül mutatjuk be. A mérést nyúlásmérő bélyeggel végezve, a nyilvánvaló alapparaméterek különböző jellegétől eltekintve, ugyanúgy kell eljárunk, mint gyorsulásmérővel dolgozva.

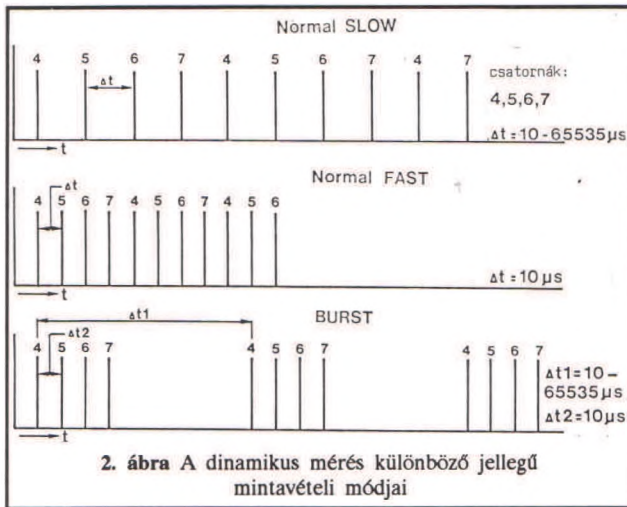
Az egyszerűbb kezelhetőség és a mérési feladat időigényének csökkentése érdekében a mérőerősítő csatornák beállítása, majd a mérési feladat előzetes programozása szoftverekkel végezhető. Ez, ugyanúgy mint a statikus mérésnél, elvégezhető a memóriából behívott beállítási programmal, vagy akár a mérési helyszínen programozással. Itt is lehetséges az egyes csatornák beállítását kívánt csatornára átmásolni, elkerülve az esetenként hosszadalmasabb egyedi beállításokat.

A mérés programozása független a mérőerősítő programozásától, ílymódon tovább bővíti az előre elkészíthető műveletek köre, azaz a memóriából előhívható mérőerősítő beállítások, illetve a mérési programok egymáshoz rendelése.

A mérést megelőző célszerűen első fázis a mérőerősítő beállítása, mégpedig a piezoelektromos gyorsulásmérő mérési tartományával egyező tartomány kiválasztása. A mérőerősítő érzékenysége öt mérési tartományt fed át 10 pC-tól 10 μ C-ig terjedően. A mérő erősítő nullázását is központilag, szoftver útján végezzük közvetlen a mérés előtt.

A mérési tartomány megválasztása után rendeljük a mérőerősítő csatornához a mérési gyakoriság (frekvencia), mérési mód, mérési csoport adatokat. Mint említettük ez utóbbi műveletek külön szoftverrel végezhetőek, illetve a memóriából a mérőerősítőkhöz rendelhetők.

A mérés során több mintavételi mód is beállítható, lásd 2. ábra, illetve az úgynevezett Sample és Hold üzemmódban

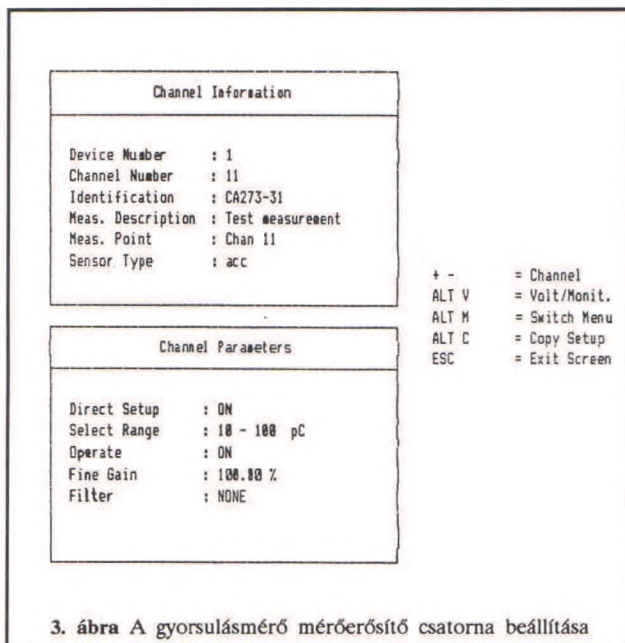


2. ábra A dinamikus mérés különböző jellegű mintavételi módjai

az összes csatornáról egyszerre történik a mintavétel, szemben a többi üzemmód szekvenciális mintavételével.

A „Normál Slow” módban, mint ahogy a 2. ábrán is látható az egyes csatornák közötti leolvasási idő változtatható, a „Normal Fast” módban az egyes csatornák közötti leolvasási idő a minimális értékű, 10 μs, míg a „BURST” módban az egyes csatorna csoportok közötti leolvasási idő változtatható, míg a csoporton belüli csatornák között 10 μs-ként történik leolvasás. Létezik egy úgynevezett RING üzemmód is, amikor az egyes értékek folyamatosan felülírásra kerülnek.

Egy adott mérőerősítő csatorna csoport mérési feladathoz rendelését látjuk a 3. ábrán.



3. ábra A gyorsulásmérő mérőerősítő csatorna beállítása

A mérőerősítő csatorna beállítási szoftver képe a gyorsulásmérőre a 4. ábra szerinti.

A statikus mérésnél kapott jelek tárolása, feldolgozása, értékelése PC-re adaptált. A dinamikus jelek mérésekor az ilyen nagy mennyiségű adatot – esetenként több mint 10⁶ adat – a rezgés mérési adatok szokásos matematikai analízisének „gyorsabbá” tétele érdekében VAX „méretű” számítógépen végezzük.

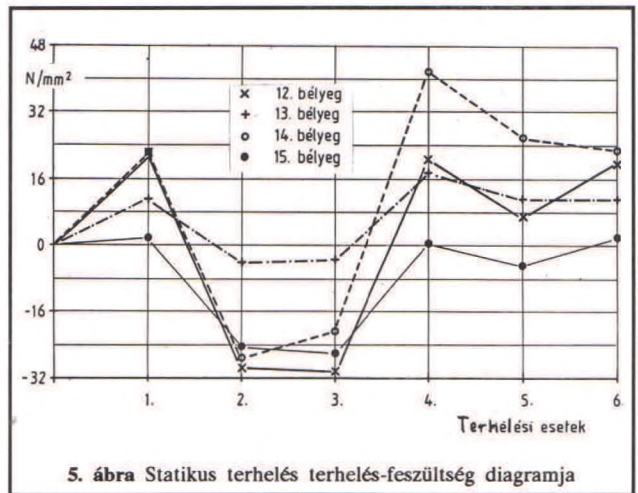
Mint már említettük az eddigi mérési tapasztalataink szerint a mérések meggyorsítása, a mérési eredmények

Mess-Parameter Protokoll:

```
<1>.....Messnummer: 1 (30- 7-1991 10:55: 3)
<2>.....Mode: Burst mit S/H
<3>.....Delay: 1100 #E-6 Sek
<4>....Erster Kanal: 16
        Letzter Kanal: 25
<5>.Anfang Speicher:      0
        Ende Speicher: 1019999
        Anzahl Messungen: 510000
```

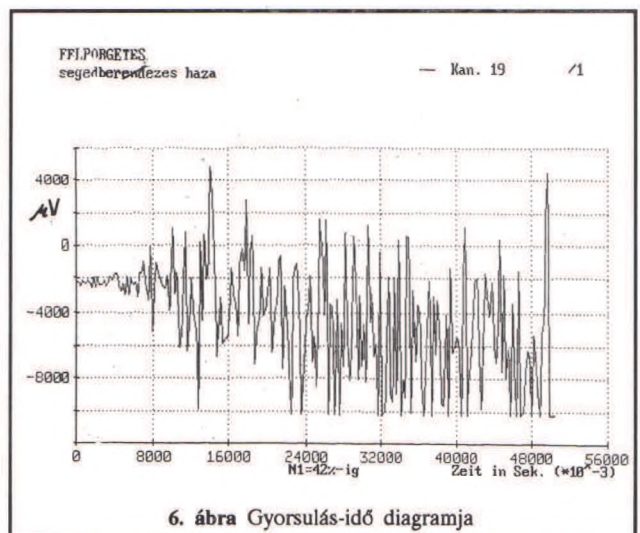
4. ábra A mérőcsoport jellemzők megválasztása

kedvező feldolgozása érdekében ésszerűen módosítanunk kell a szoftvert és a hardvert, különösen a piezoelektromos érzékelőkkel való mérések során.



5. ábra Statikus terhelés terhelés-feszültség diagramja

Végezetül példaként említjük a székesfehérvári IKARUS Gyárban autóbusszon, különböző jellegű terhelések és útviszonyok szimulációjakor végzett statikus mérésünk egyik terhelés, feszültség diagramját (5. ábra), illetve a MIG 23-as repülőgép 55-ös hajtóműve rezgésanalízisekor mért időgyorsulás diagramot (6. ábra). A diagram függőleges tengelyén egységként μV szerepel, amelyet a későbbiek során hitelesítéssel konvertáljuk gyorsulássá, lásd később.



6. ábra Gyorsulás-idő diagramja

Közismert, hogy a repülőgép hajtóművek diagnosztikájában jelentős a szerepe a hajtómű rezgésszint, illetve a hajtómű adott pontjain mérhető rezgésgyorsulás nagyságának.

Többszöri konzultációt követően a Magyar Honvédség szakemberei és a tanszék közösen kidolgozott elképzelése szerint 1991. július 31. és augusztus 1. között Pápán az MH Stromfeld Aurél Honi Vadászpilóta Osztályánál nyílt lehetőség egy repülőgép gázturbinás hajtóművének rezgés-mérésére.

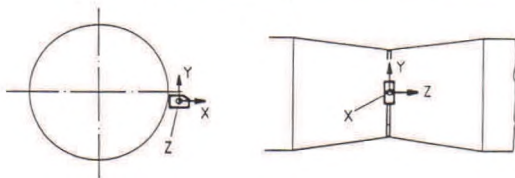
Megjegyezzük, hogy hasonló célú, jellegű mérés már 1982-ben volt hazánkban, de ilyen részletesebb gyorsulás



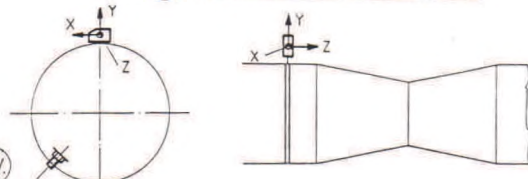
I. Kompresszorház 1. fokozat pereme



II. Kompresszorház és az égőterház pereme



III. Turbinaház 1. fokozat pereme



IV. segédberendezésház (egyirányú)

7. ábra A mérőadók elhelyezése a hajtóművön

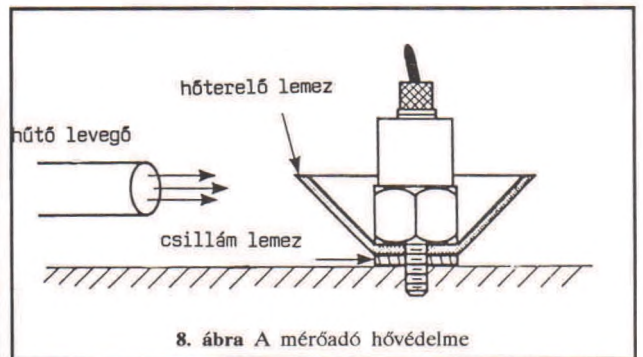
„térkép” készítés – részben eszközök hiányában – még nem történt.

A mintavételi frekvencia is eltért az eddigiekben alkalmazottaktól, lehetővé téve 5 kHz frekvenciájú rezgések rögzítését. Ez természetesen az adathalmaz feldolgozását is másképpen igényli, hozzáátéve, hogy a nyerhető információ mennyiség nagyságrendileg is különbözhet. A mérhetőség biztosítása is külön felkészülést igényel a különleges körülmények miatt.

A hajtóművön 4 helyen, 3 irányban – 10 csatornán – mértük a rezgésgyorsulás értékeket (7. ábra).

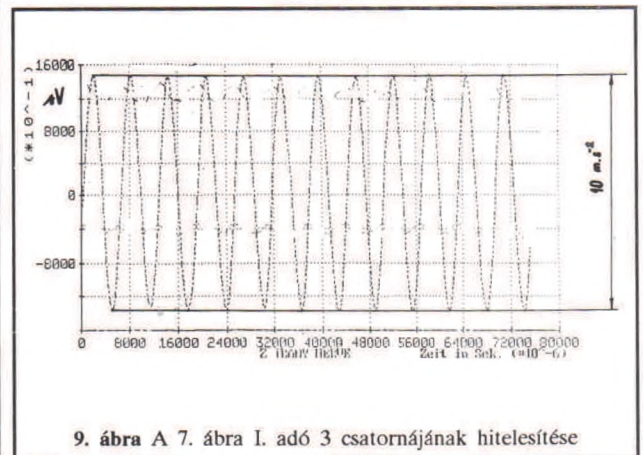
A mérésnél a Brüel & Kjaer cég egyirányú és háromirányú piezoelektromos gyorsulásadóit alkalmaztuk, a három darab háromirányú adó (a kompresszor házán 2 db, a turbina 1. fokozat házán 1 darab) mérésirányai megegyeztek a hajtómű (repülőgép) főirányaival. A segédberendezésházon lévő egyirányú adó az első kihajtó fogaskerék radiális rezgéseit mérte. Ezek voltak a rezgéstanilag fontosnak ítélt és a gyakorlatban is mérhető pontok az adott hajtóművön.

A mérési helyek várható hőmérséklete indokolta, hogy az adók védelme érdekében azok hőszigeteléséről is gondoskodjunk. A mérőfejeket speciális hőszigetelő csavarokkal rögzítettük, sugárzó hő ellen hővisszaverő tányérokat használtunk, ezeken túl csillámlemezről készült hőszigetelő lapok kerültek a tányérok és a mérőfejek közé. Hűtőlevegő bevezetéséről is gondoskodtunk a turbina fölötti mérőhelyre szerelt gyorsulásadó védelmére, mivel a várható hőmérséklet veszélyeztette a 250 °C alkalmazási hőmérsékletáthárú mérőadót. (8. ábra)

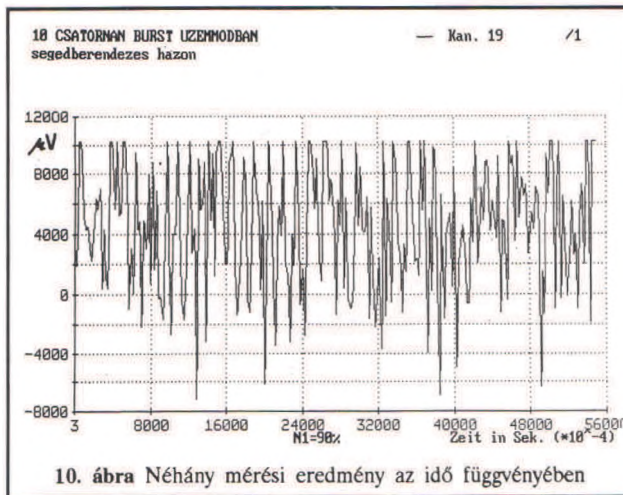


8. ábra A mérőadó hővédelme

Mint említettük a mérőerősítők külön-külön csoportokat képezve programozhatók. Az egyszerű értékelhetőség érdekében az azonos mérési irányt regisztráló csatornához – 4 csatorna – 5×10^{-5} s-kénti mintavételezési időt rendelünk, míg az összes mérési hely gyorsulásértékeinek egybevetéséhez egyszerűen 11×10^{-5} s majd pedig 720×10^{-5} s-kénti mintavételezési időt választottunk.



9. ábra A 7. ábra I. adó 3 csatornájának hitelesítése



Ez a mintavételezési sűrűség a hajtómű fordulatszámának ismeretében elegendő a fordulatonkénti 15-20 jel rögzítésére.

A hajtóműrengést 50-70-90 %-os fordulatszámokon mértük – a 3 programozott csoport szerint.

A méréseket utólagos, labor körülmények közötti hitelesítés követte, a mérőkábelek áthallásainak befolyásoló, zavaró hatásának számszerűsítésére, valamint kalibrálási együtthatók meghatározására, pl. 9. ábrán az 1. adó. A kalibráláshoz $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ referencia szintű 159,15 Hz frekvenciájú jelet használunk, amely jelet kalibrációs gerjesztővel állítunk elő.

A mérés adatait, első lépésben az idő függvényében ábráztuk – figyelembevéve a forgórész %-ában kifejezett fordulatszámát is. (10. ábra)

A következőkben a terhelés, a futott üzemi hatását kívánjuk kimutatni és ehhez egy megfelelően nagy adattömeget is kezelni tudó számítógépes rendszert alkalmazunk. Végrehajtjuk a komplex rezgéselemzést – pl. frekvencia analízist, auto- és keresztkorreláció vizsgálatot, sebesség és elmozdulás számítását, simítást.

Összefoglalás

A BME Közlekedésmérnöki Kar Mechanika Tanszéke együttműködve a Kar Gépelemek Tanszékével, az Acél-szerkezetek Tanszékkel és a Gépészmérnöki Kar Informatikai Intézetével olyan komplex statikus és dinamikus mérőrendszerrel bír, amely már jelenlegi kiépítettségi fokán is lehetővé teszi 120 csatornán nyúlásmérő bélyegek statikus jeleinek 32 csatornán gyorsulásmérő, 32 csatornán nyúlásmérő bélyegek dinamikus jeleinek érzékelését, regisztrálását.

A dinamikus jelek nagymennyiségű adatait MikroVAX II. számítógépen UNIGRAPHICS szoftverre adaptáltan dolgozzuk fel.

A mérőrendszer hozzásegít a CAD-CAM oktatás továbbfejlesztésén túl, az eddig időigényességük miatt egyszerűsített ipari feladatok valóságosabb modellezésén keresztül pontosabb megoldásához.

Bár a felsőoktatás jelenlegi pénzügyi helyzete, az ipari megrendelések drasztikus csökkenése nem teremt kedvező légkört a mérőrendszer továbbfejlesztésére, de tervbe vettük a nyomás, elmozdulás, hőmérséklet mérésére alkalmas kiegészítő egységek beszerzését is.

913 088 031/032

Az Anyagvizsgálók Lapja szerkesztőbizottsága szeretné a szakma mértékadó egyéniségeit a fiatal kollégák számára is ismertté tenni.

Kérjük, hogy elhalt nagyjainkról, akik anyagvizsgáló kultúránkat elméleti és gyakorlati munkásságukkal gazdagították, írja meg emlékeit, élményeit.

Nem száraz életrajzi adatokra gondoltunk, hanem olyan esetekre, anekdotákra stb. melyek olvasmányosan hozzák közelebb nemcsak szakmaikag, de emberileg is volt tanárainkat, kollégáinkat, laboratóriumaink egykori témavezető egyéniségeit.

A közeljövőben szeretnénk írni: az iskolateremtő „Gillemot Lászlókról” csakúgy, mint a műhelyteremtő „Dobrova Lacikról”.

Várjuk segítségét! Köszönjük!

Ajándék a magyar kutatóknak és oktatóknak

Dr. Molnár Imre, a berlini Kromatográfia Intézet igazgatója és Dr. Hardy Richárd, a frankfurti CAD/STAR vállalat tulajdonosa, magyar származású szakemberek 30 ezer DEM értékű szoftvercsomagot adományoztak a magyar kutatóknak és oktatóknak.

Az ajándékot Dr. Pungor Ernő tárcanélküli miniszter, az OMFB elnöke vette át. A DryLab I/plus nevű program kromatográfiai vizsgálatok végzésére, a Design CAD 3-D, 2-D nevű pedig két- és háromdimenziós mérnöki tervezésre alkalmas. Az adományozók rendelkezése értelmében kizárólag non-profit szervezetek juthatnak hozzá a termékekhez. Molnár és Hardy urak alapvető célja a magyar tudományos kutatók és felsőfokú oktatók segítése.