

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola
Vezetője: **Dr. Roósz András** egyetemi tanár, MTA rendes tagja



***Műanyag ömledékek nagysebességű áramlásának
tanulmányozása***

Doktori (Ph. D.) értekezés tézisei

Szűcs András

okleveles gépészmérnök

Tudományos vezető

Dr. Belina Károly

Egyetemi tanár

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Polimermérnöki Tanszék
Miskolc, 2010.

Bevezetés

Műanyagok folyási jellemzőinek a tanulmányozása az egyik legszerteágazóbb és legkutatottabb terület. A reológiai kísérletek eredményei közvetlenül kapcsolódnak az elméleti polimerfizikai kutatásokhoz, valamint a termékgyártáshoz, minőségbiztosításhoz egyaránt. A szakirodalomban számos cikk foglalkozik műanyagok reológiai vizsgálatával. A szabványos vizsgálati technikák mellett, különféle eszközöket és módszereket fejlesztenek ki napjainkban is, hogy a legváltozatosabb körülmények között határozzák meg a műanyag ömledékek reológiai jellemzőit. Az irodalmat feldolgozva és az ipar igényeit figyelembe véve a dolgozatom kutatási célja az alábbi területekre bontható:

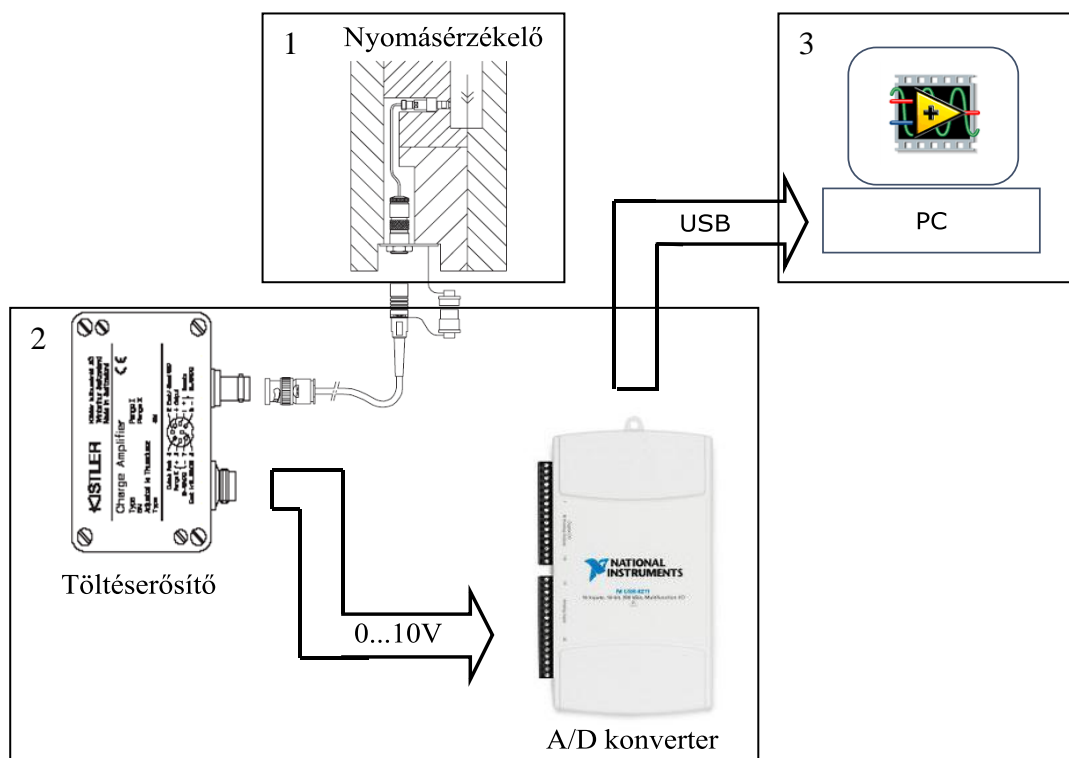
- 1) A reológia mérésre alkalmas műszerezett fröccsöntő szerszám tervezése és elkészítése;
- 2) A reológiai jellemzők meghatározása réskapillárisokkal, nyíróáramban végrehajtott mérések alapján;
- 3) A viszkozitás hőmérséklet – és nyomásfüggésének meghatározása a mérőszerszámban, valós feldolgozási körülmények között;
- 4) A reológiai jellemzők meghatározása nyújtási áramban végzett mérések, alapján a kifejlesztett réskapilláris rendszer alkalmazásával.

Új kutatási eredmények

1. Olyan műszerezett fröccsöntő szerszámot fejlesztettem ki, amellyel széles deformációsebesség-tartományban lehet izoterm és nemizoterm vizsgálati körülmények között meghatározni a polimer ömledékek folyóképességét.

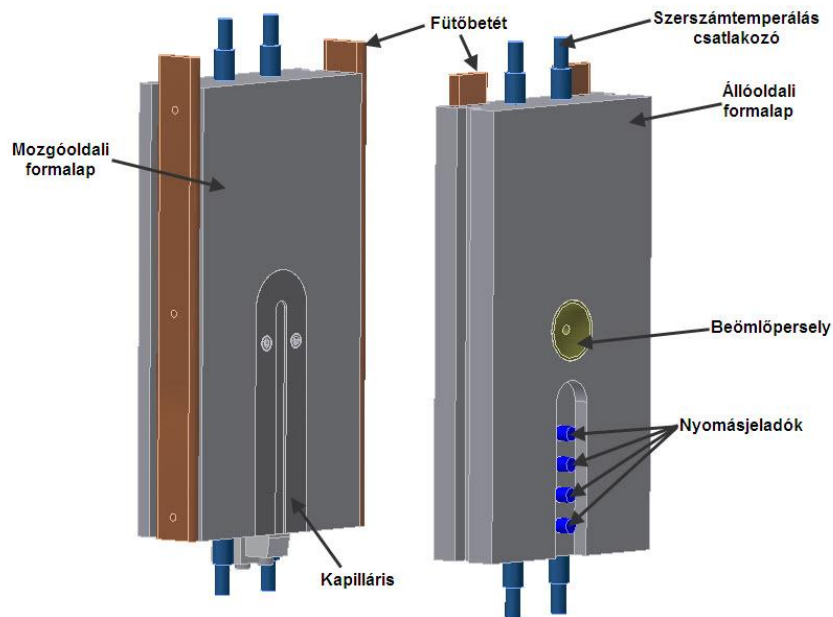
A mérőszerszám tervezését több lépcsőben valósítottuk meg. A mérés alapelve, hogy a vizsgált anyagot állandó térfogatárammal átfröccsöntjük kapillárisbetétben. A mérés során több pontban mérjük a kapilláris részben ébredő nyomást. A mért nyomás értéket felhasználva határozzuk meg a nyírófeszültséget, a térfogatáramot használva pedig a deformáció-sebességet. A kapillárisok cseréjével több áramlási keresztmetszet és hossz mellett tudjuk a méréseinket elvégezni. A szerszám hőmérséklete 20...300°C között változtatható. A mérőrendszer részei (1. ábra):

1. Mérőszerszám és a kapilláris betétek;
2. Nyomásmérő rendszer (nyomásmérő szenzor, töltéserősítő, A/D átalakító);
3. Mérő és kiértékelő program (Labview).



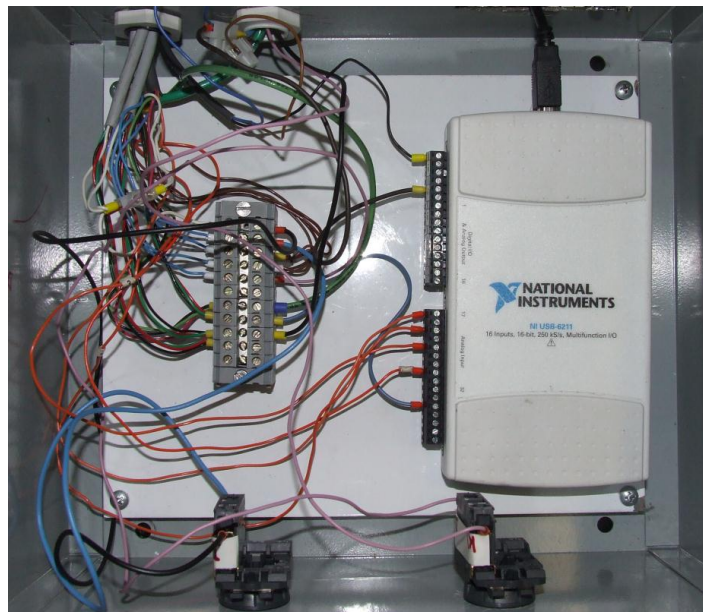
1. ábra. A mérőrendszer blokkvázlata

A mérőszerszám kialakítása az 2. ábrán látható.

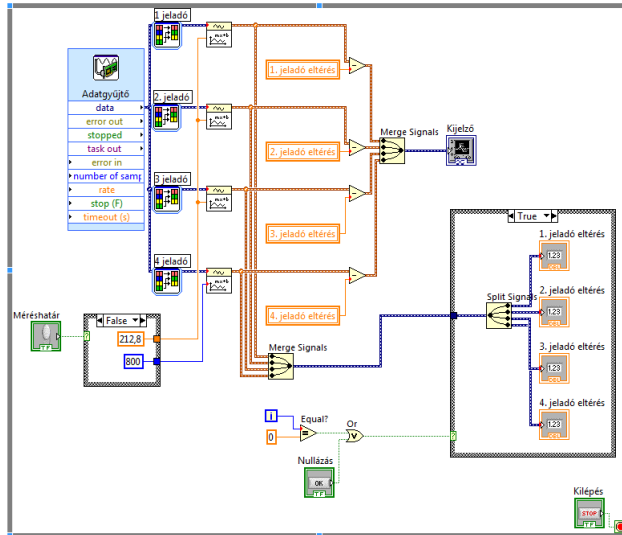


2. ábra. A mérőszerszám formalapjainak a kialakítása

A szerszámba három darab Kistler 6157BD típusú nyomásjeladó és egy darab 6190A jelzésű hőmérséklet és nyomásmérésre is alkalmas jeladót építettünk be. A szenzorok 2000 bar nyomásig használhatók és a maximális szerszám hőmérséklet 300°C-ot is elérheti. A mért jel töltéserősítőn (Kistler 5039A222) és egy A/D átalakítón (3. ábra) keresztül jutott egy személyi számítógépbe. A mérést és adatgyűjtést Labview szoftverkörnyezetben saját fejlesztésű programmal végeztük el (4, 5. ábra).



3. ábra. NI USB-6211 A/D átalakító



4. ábra. A mérőprogram blokkvázlata

párhuzamos mérések (3 darab)

Adat állományok kezelése

dp1	dp2	dp3	dpp1	dpp2	dpp3	számolt Q
47,798	48,792	37,436	110,69	94,529	55,335	6,5455

dp1 átlag	dp1 szórás	dp2 átlag	dp2 szórás	dp3 átlag	dp3 szórás	dpp1 átlag	dpp1 szórás	dpp2 átlag	dpp2 szórás	dpp3 átlag	dpp3 szórás	Q átlag	Q szórás
47,969	0,1630	48,384	1,3581	39,114	1,7981	109,88	0,59	94,198	0,236	55,024	0,236	6,5142	0,0442

5. ábra. A mérőprogram felülete

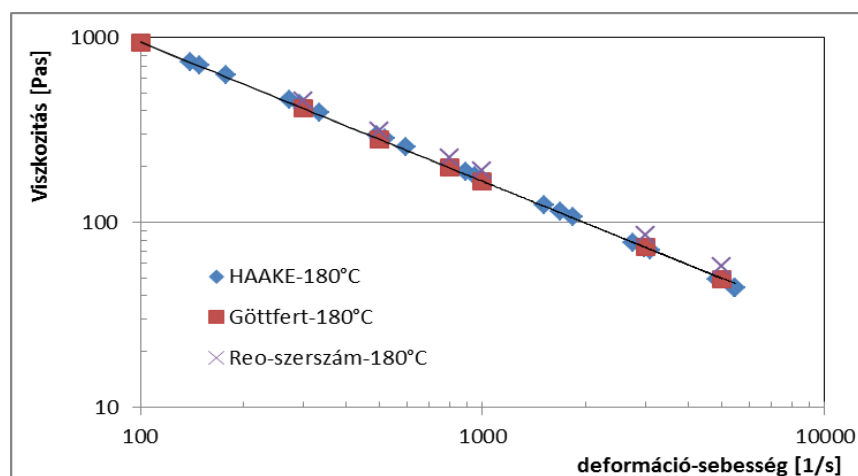
A kidolgozott mérőrendszer szabadalmaztatási eljárása elkezdődött.

2. Számítási módszert dolgoztam ki a részben mérhető jellemzők reológiai paraméterekre konvertálására. Igazoltam a mérési módszer alkalmasságát és a számolási módszer pontosságát. Az új módszerrel meghatározott eredmények jó közelítéssel megegyeztek a hagyományos berendezésekkel meghatározott értékekkel.

Az anyag viszkozitás görbéjének meghatározására számos módszer létezik. A mérésekhez rés kapillárisokat használtam. A primer mérési adatokat felhasználva látszólagos értékeket kapunk, amelyek erősen függenek az alkalmazott kapilláris geometriájától. Ezért a látszólagos értékeket több korrekciós számolás után tekinthetjük valósnak. Berendezéssel végzett mérések segítségével a következő korrekciós számolásokat végeztem el:

- Falhatást figyelembevevő számolás (réskapillárisok alkalmazásakor szükséges).
A számítás alapján azt találtuk, hogy a látszólagos nyírófeszültség minden esetben csökken a korrekció hatására, a látszólagos deformáció sebesség pedig növekszik (a korrekció magában foglalja a Rabinowitsch korrekciót is).
- A belépési és kilépési hatás veszi figyelembe a Bagley korrekció.
Azonos keresztmetszetű, de eltérő hosszúságú kapillárisok voltak jól alkalmazhatók a korrekciós számításokhoz.
- A falcsúszás meghatározása alkalmas a Mooney analízis.
A falcsúszás meghatározásához azonos hosszúságú, de eltérő magasságú kapillárisokat használtam. A kiértékelés során azt találtam, hogy csúszás nem lép fel az áramlás során.

A 6. ábra két szabványos és az új szerszámmal meghatározott viszkozitásgörbét szemlélteti.



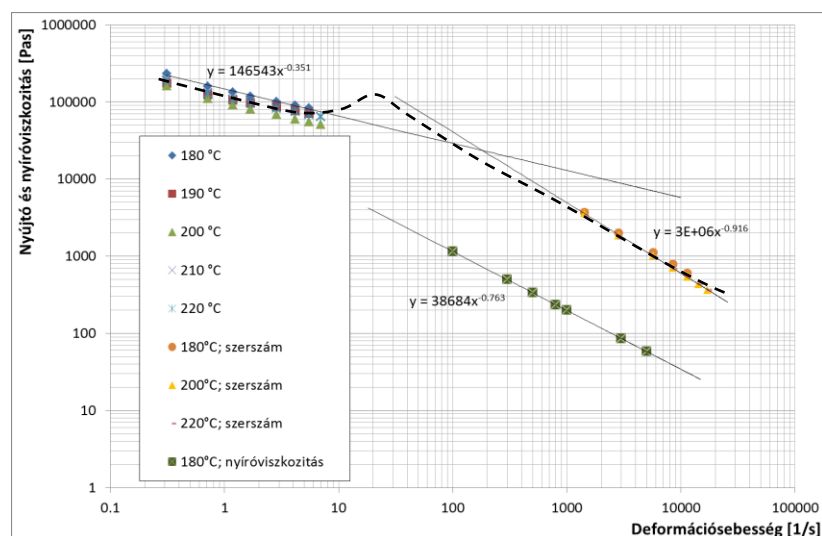
6. ábra. Viszkozitás görbék összehasonlítása

3. *Dimenziómentes mennyiségek segítségével kimutattam, hogy a polimer ömledék folyása a szerszámrésben milyen beállítások és vizsgálati körülmények mellett tekinthető izotermnek, nemizotermnek, illetve adiabatikusnak.*

A mérések során minden esetben számolni kell a disszipációs hőfejlődéssel, és amennyiben a szerszám hőmérséklete alacsonyabb, mint az anyag hőmérséklete, akkor a keresztirányú hőárammal is. A számolási eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy a disszipációs hőfejlődés 5...15 °C között van. A keresztirányú hőáram a falhoz közeli vékony réteg lehülését okozza, ami kis kapilláris magasság esetében erősen befolyásolja a mért nyomásértékeket. Vizsgáltam továbbá a nyomás hatását a viszkozitásra és azt találtam, hogy a nyomás okozta viszkozitás növekedés közel azonos értékű a hőmérsékletemelkedés okozta viszkozitás csökkenéssel, így a két ellentétes hatás jó közelítéssel kiegyenlíti egymást.

4. *A szerszámrés megfelelő geometriai kialakításával meghatároztam a kissűrűségű polietilén nyújtási viszkozitását nagy deformációsebesség-tartományban.*

Göttferth Rheotens berendezéssel és a mérőszerszámmal is meghatároztuk a vizsgált LDPE alapanyag nyújtó viszkozitás görbéjét. A 7. ábrán jól látható, hogy a mérési eredmények megfelelnek az irodalomban publikáltaknak. A két mérési módszerrel meghatározott értékek jól követik a várt meredekség változást. Szaggatott vonallal jelöltük az elméleti átmenetet a két tartomány között. Megállapítható, hogy az általunk alkalmazott geometria alkalmas a polimer ömledékek nyújtási viszkozitásának meghatározására nagy deformációsebesség-tartományban.



7. ábra. Nyújtóviszkozitás görbék összehasonlítása

Új kutatási eredmények alkalmazhatóságának lehetőségei, fejlesztési lehetőségek

A kifejlesztett mérőrendszerrel széles nyírősebesség tartományban, feldolgozás körülmények között tudja műanyag ömledékek folyási jellemzőit meghatározni. A berendezés alkalmas a korrekciók elvégzésére és a (könnyű kapillárisbetét cserének köszönhetően) változatos áramlási résket alkalmazva tudjuk a méréseinket elvégezni. A mérőberendezés egyedülálló olyan téren, hogy a szerszámrés hőmérsékletét változtatva anizoterm áramlási körülmények mellett tudjuk a méréseket elvégezni, ami a fröccsöntő szerszám kitöltésének modellezésére alkalmas.

A berendezés kisebb módosításával lehetőség nyílik:

- Belső nyomás gradiens vizsgálata hosszú kapillárisokban;
- Tranziens kitöltési folyamat tanulmányozása;
- Fröccsöntési folyamat behatóbb tanulmányozása;
- Ömledéktörés vizsgálata;
- Nyomás alatti viszkozitás vizsgálatára;
- Szabad térfogat tanulmányozása;
- Végeselemes programok „validálására”.

Új tudományos eredményekhez kapcsolódó publikációk

Nyomtatott magyar nyelvű folyóirat cikk, konferencia kiadvány

1. Szűcs András, Belina Károly: Reológiai jellemzők meghatározása műszerezett fröccsöntő szerszámmal, *Műanyag és Gumi* **12.**, 476-478, 2009.
2. Szűcs András, Belina Károly, Pósa Márk: *LDPE folyási jellemzőinek meghatározása*, AGTEDU 2009, Kecskemét 2009. november 5.
3. Szűcs András, Belina Károly: Reológiai mérőrendszer fejlesztése, *A GAMF Közleményei* **23**, 31-40, Kecskemét, 2009.
4. Szűcs András: *Nyomáskereső mérés spirálsatornás fröccsöntő szerszámban*, FMTÜ 2008. Konferencia, Kolozsvár, külföldi konferencia kiadvány 2008. március 14-15
5. Szűcs András, Belina Károly: *Polimerek folyásának tanulmányozása spirál szerszám alkalmazása*, *Műanyag- és gumiipari évkönyv* 13-14. oldal 2008.
6. Szűcs András, Belina Károly: *Kitöltési folyamat tanulmányozása fröccsöntőszerszám formaiüregében*, *Műanyag- és gumiipari évkönyv* 2006. 13-15. oldal, 2006.
7. Szűcs András: *Műanyagok folyóképességének meghatározása fröccsöntési folyamat közben*, FMTÜ 2007. Konferencia, Kolozsvár, külföldi konferencia kiadvány 185-188. oldal, 2007. március 16-17.
8. Szűcs András, Pósa Márk, Szabó Ferenc: *Mérőrendszer üregnyomás méréshez*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25 (359-362).
9. Szűcs András, Pósa Márk: *Fröccsöntési paraméterek hatása az üregnyomásra*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25 (355-358).

Külföldi írott publikáció

1. Szűcs András: *Rheological and thermal analysis of the filling stage of injection moulding*, *eXPRESS Polymer Letters*, elfogadott folyóirat cikk.
2. Szűcs András: *Study of non-isothermal mould filling*, *International Doctoral Seminar*, Konferencia kiadvány 467-474, 2010.
3. Szűcs András, Pósa Márk, Belina Károly: *Development of viscosity measuring system for polymers*, PPS-24, Salerno (Olaszország), 2008. június 15-19. (konferencia kiadvány CD)
4. Belina Károly, Szűcs András: *Investigation of polymer flow during filling stage*, PPS2006, Pretoria, Konferencia kiadvány CD, 2006. október 9-13.

Magyar nyelvű szakmai előadások

1. Szücs András: *LDPE folyási jellemzőinek meghatározása műszerezett fröccsöntőszerszámmal*, Vegyésznap 2009. Kecskemét 2009. november 11.
2. Szücs András, Belina Károly, Pósa Márk: *LDPE folyási jellemzőinek meghatározása*, AGTEDU 2009, Kecskemét 2009. november 5.
3. Szücs András, Belina Károly: *Szimulációs programok alkalmazása műanyagipari kutatás-fejlesztésben*, VIII. eCon végeeselemes felhasználói konferencia, Budapest, 2009. április 23.
4. Szücs András, Belina Károly: *Reológiai mérésre alkalmas fröccsöntő szerszám tervezése*, Mechanoplast 2009, Balatonaliga, 2009. március 18.
5. Szücs András: *Nyomáskereső mérés spirálcatornás fröccsöntő szerszámban*, FMTÜ 2008. Konferencia (magyar nyelvű előadás) 2008. március 14-15
6. Szücs András: *Műanyagok folyóképességének meghatározása fröccsöntési folyamat közben*, FMTÜ 2007. Konferencia, Kolozsvár. Szakmai előadás, 2007. március 16.
7. Szücs András: *Műanyagok folyóképességének meghatározása fröccsöntési folyamat közben*, FMTÜ 2007. Konferencia, Kolozsvár. Szakmai előadás
8. Szücs András: *Műanyag ömledékek folyásának meghatározása a szerszámüregben*, Vegyésznap 2006, Kecskemét, 2006. november 9.
9. Szücs András, Belina Károly, Pósa Márk: *Műanyagömledékek áramlásának vizsgálata*, AGTEDU 2006, Kecskemét, 2006. november 9.
10. Szücs András, Pósa Márk, Belina Károly: *Kitöltési folyamat tanulmányozása fröccsöntő szerszám formáüregében*, GAMF Szakmai nap, Kecskemét, 2006 április 13.
11. Szücs András, Pósa Márk, Szabó Ferenc: *Mérőrendszer üregnyomás méréshez*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25.
12. Szücs András, Pósa Márk: *Fröccsöntési paraméterek hatása az üregnyomásra*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25.
13. Szücs András: *Fröccsöntés technológiai paramétereinek hatása az üregnyomásra*, II. Mechanoplast Országos Doktorandusz Konferencia, 2005. november 12.
14. Szücs András, dr Belina Károly, Pósa Márk: *Nyomásmérés fröccsöntőszerszám formüregében*, Magyar Tudomány Napja, Kecskemét 2005. november 10
15. Szücs András: *Nyomásmérés fröccsöntőszerszám formáüregében*, Mechanoplast, Gyula 2005. március 8-10.

Angol nyelvű szakmai előadások

1. Szűcs András: *Determination of flow properties of thermoplastics at high shear rates by instrumented injection mold*, ANTEC 2011, Boston, 2011. május 02.
2. Szűcs András: *Study of non-isothermal mould filling*, International Doctoral Seminar, Smolenice, 2010. május 17.
3. Szűcs András, Belina Károly: *Investigation of high speed rheology of polymers, I.* International Scientific and Expert Conference (TEAM 2009), 14-18., Slavonsky Brod 2009.
4. Szűcs András: *Development of viscosity measuring system for polymers*, PPS-24, Salerno Olaszország, 2008. június 15-19. (poszter előadás)