

## 3.3 | Újdonságok az extruderszerszámok 3.16 | kialakításában 3.17

*Tárgyszavak: extrudálás; extruderszerszám; profil; lemez; cső; műanyag betét; ömledéktörés; szerszámtervezés; matematikai modell.*

### Extruderfúvóka műanyagból

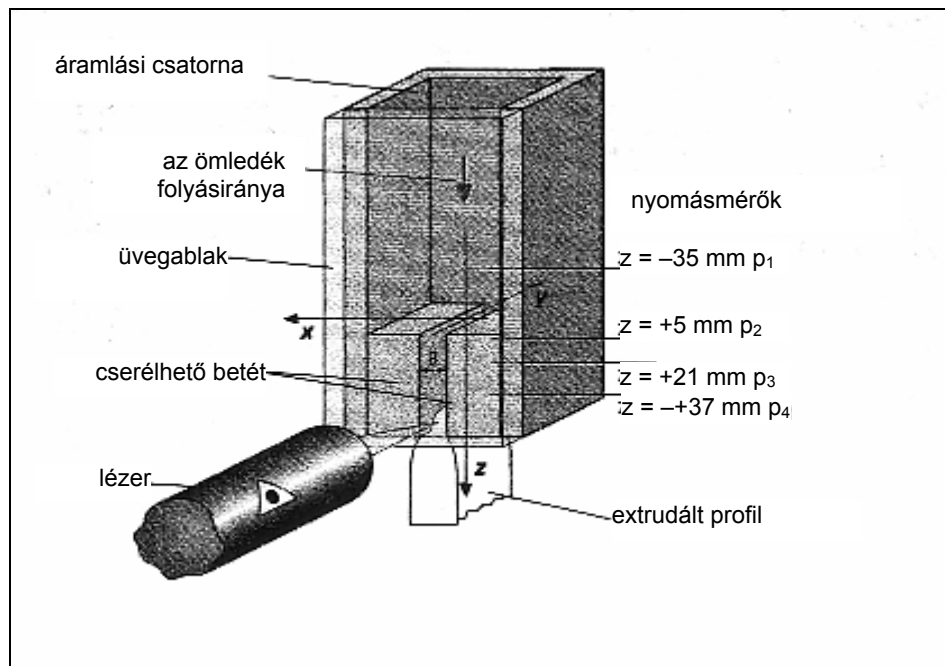
Nagy extrudálási sebesség esetén a polimerömledék felületén szemmel látható elváltozások keletkezhetnek, amelyeket az ún. ömledéktörés okoz, és amelyek a felületközelebi hibáktól az extrudátum szétszakadásáig terjedhetnek. Az ömledék felülete megdermedés után jellegzetes strukturálódást mutat, amelyet „cápbőr”-nek neveznek. A jelenség legtöbbször fóliaextrudáláskor vagy fóliafúváskor figyelhető meg, és rontja a fólia optikai tulajdonságait. Pontos okát még nem derítették fel, de elkerülésére az extrúzió körülményeinek, pl. a fúvóka anyagának megváltoztatásával próbálkoznak. Feltételezik ugyanis, hogy a fúvóka anyagának felületi energiája befolyásolja a cápbőr kialakulását.

A jelenség vizsgálatára a Friedrich-Alexander egyetemen (Erlangen-Nürnberg)  $14 \times 14 \text{ mm}^2$  keresztmetszetű kísérleti profilszerszámot készítettek, amelyet a kifolyás előtt két cserélhető 50 mm magas betéttel 1 mm-es réssé (fúvókává) szűkítettek (1. ábra). A szerszám egyik oldala üvegből volt, hogy megfigyelhessék az ömledék viselkedését. Ehhez lézer-Doppler-anemometriás (LDA) eljárást alkalmaztak. Az áramlási irányban (z irány) több helyen nyomásmérőt, a betétek feletti keresztmetszet síkjában a faltól többféle távolságban (x irány) áramlási sebességet mérő eszközt építettek be.

Az extrudáláshoz polimerként lineáris kis sűrűségű polietilént (PE-LLD) választottak, az extrudálást  $220 \text{ °C}$ -on végezték. A fúvókabetétek anyaga nagy felületi energiájú fém: rozsdamentes acél vagy sárgaréz, ill. kis felületi energiájú polimer: poli(éter-éter-keton) (PEEK) vagy poli(tetrafluor-etilén) (PTFE) volt. A különböző betétekkel észlelt folyási tulajdonságokat összehasonlítható nyírősebességek ( $D$ ) mellett hasonlították össze.

$D = 115 \text{ s}^{-1}$  nyírősebességnél mindkét műanyag betéttel sokkal kisebb nyomások alakultak ki a szerszámokban, mint fémbetéttel. (A falnál fellépő és  $p_3$ - $p_4$  nyomáskeresztmetszeteiből számított nyírófeszültségek MPa-ban: acél és réz 0,21,

PTFE 0,16, PEEK 12.) Ez arra utal, hogy a műanyagok felületén az ömledék könnyebben siklik. A csúsztató hatást az optikai mérésekkel mennyiségileg is ki lehet fejezni. A 2. ábra mutatja a fúvóka felső szélétől számított 30 mm-nél ( $z = 30$  mm) az ömledékfront normált sebességeloszlását a négy különböző anyagú fúvókában. Jól látható, hogy az ömledék mindkét fémfelületen erősen megtapad. Az ömledékfront emiatt erősen megnyúlik. Kisebb a tapadás a PTFE-n, és még kisebb a PEEK-n, emiatt az ömledékfront sokkal laposabb. A görbék alapján megállapítható, hogy a PTFE csúsztató hatása révén az ömledék sebessége eléri a középtengelyben mért  $v_{\max}$  áramlási sebesség 50%-át, PEEK fúvókával pedig a 70%-át.

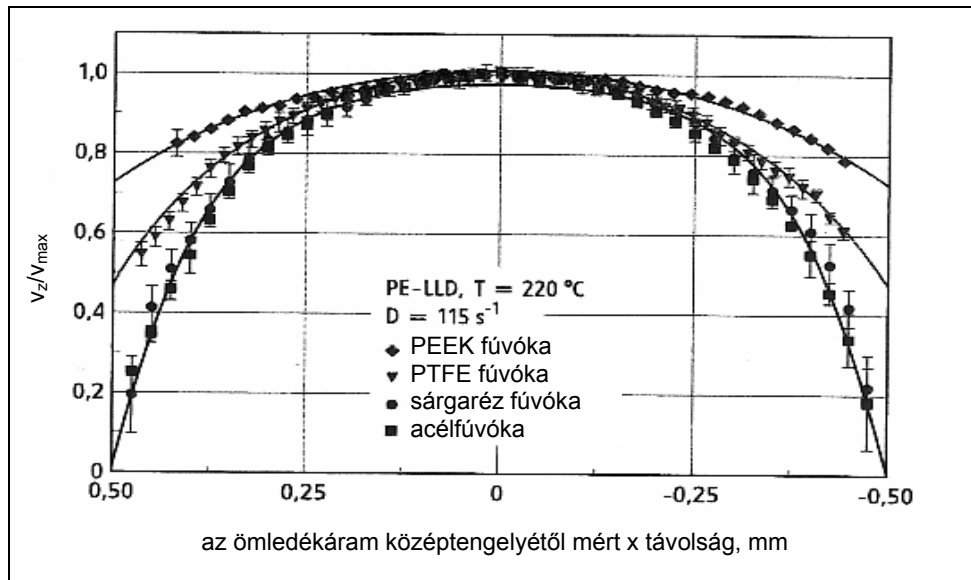


1. ábra A profilszerszám felépítése

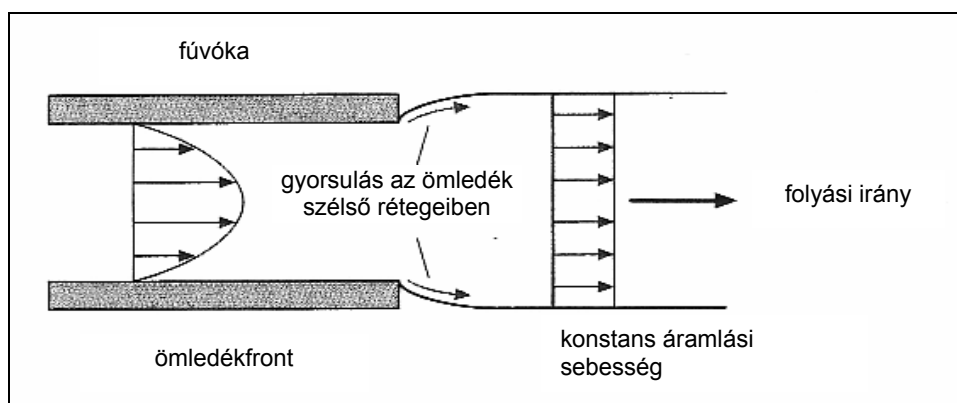
A folyamatosan extrudált profilok felülete kezdetben jellegzetes különbségeket mutatott. Az acélfúvókával készített profilokon  $D = 103 \text{ s}^{-1}$  nyírósebesség mellett erősebben, a rézfúvókával extrudáltakon gyengébben jelentkezett a „cápbőr”, a műanyag fúvókák használatakor  $D = 150 \text{ s}^{-1}$  nyírósebesség mellett is sima felületet kaptak. Lézeroptikai eljárással kimutatható volt az előbbieket felületének nyugtalansága, érdessége és az utóbbiak felületének zártsága.

A kutatók bizonyítottaknak vélik, hogy a fúvóka falának tapadása szerepet játszik az ömledéktörés jelenségben. Amikor ugyanis az ömledékáram kiszabadul a fúvóka „rabságából”, a tapadás által gátolt ömledékréteg sebessége

hirtelen megnő, és felveszi az ömledék, ill. a profilhúzás konstans sebességét. A gyorsulás révén a szerszámból kilépő profil duzzadása jól ismert jelenség, és ha ennek mértéke meghaladja az ömledék szakítószilárdságát, a felületen hibák, akár repedések keletkezhetnek (3. ábra). Ha a fúvóka fala csúsztatja az ömledéket, a duzzadás kisebb mértékű, ömledéktörés csak jóval nagyobb nyírósebességnél lép fel.



2. ábra Az ömledékfront normált sebességeloszlása a négyféle fúvóka felső végétől mért 30 mm-nél ( $v_z$  = az aktuális mérési ponton mért ömledéksebesség,  $v_{\max}$  az ömledékáram középtengelyében mért ömledéksebesség)



3. ábra Az ömledékfront megváltozása a szerszámból való kilépéskor előzetes tapadás esetén

A folyamatosan végzett extrudálás második napján sajnos a műanyag fúvókás szerszámból kiáramló ömledéken már kisebb nyírósebességnél is ta-

pasztaltak ömledéktörést, azaz a fúvóka jó tulajdonságai nem voltak tartósak. A LDS vizsgálatok szerint a fúvóka belsejében a folyási viszonyok nem változtak meg. Feltételezik, hogy a változások közvetlenül a kifolyásnál léptek fel; oxigén hatására bekövetkező kémiai elváltozásokra vagy bomlástermékek lerakódására gyanakodnak, ami megnövelhette a fúvóka felületi energiáját és az ömledékkal való kölcsönhatását.

## Új matematikai modell lap- és csőszerszámok tervezéséhez

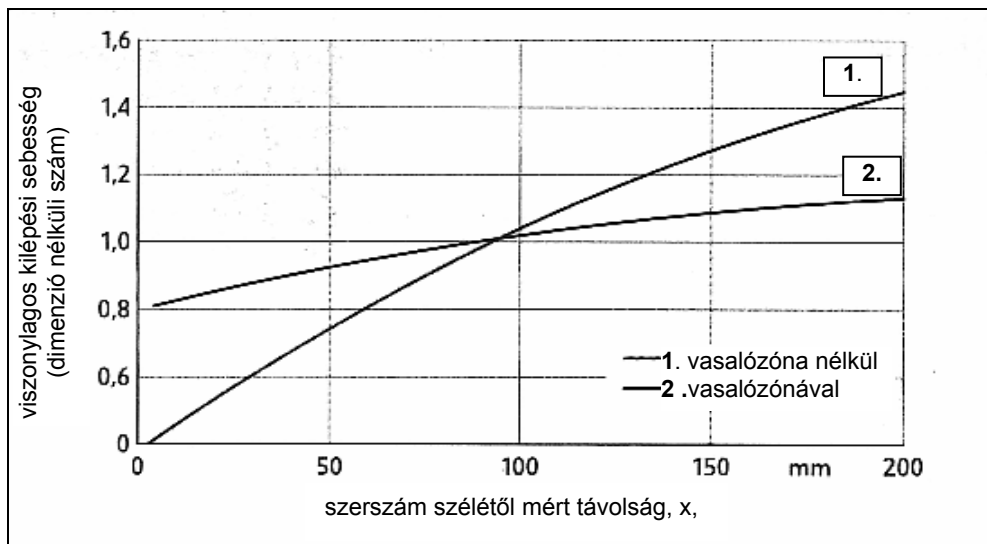
A lapok extrudálásához alkalmazott szélesrésű szerszámok és a csőextrudáláshoz használt szerszámok ömledékelosztó csatornáinak tervezéséhez léteznek olyan programok, amelyek segítik a tervezők munkáját. Ezek közös hibája, hogy csupán magára az elosztórendszerre vonatkoznak, és nem veszik figyelembe az azt követő ún. vasalózónát és magát a kifolyónyílást, az ún. fúvókát. Márpedig ezeknek a zónáknak a kialakítása befolyásolja az ömledék mozgásával szemben fellépő áramlási ellenállást, és a megváltozott nyomás visszahat az elosztócsatornában kialakuló folyási tulajdonságokra is. Hiányzik az eddigi modellekben a szerszámdeformáció következtében bekövetkező változások figyelembevétele is. A Paderborni Egyetem és a Krauss-Maffei gépgyártó cég kutatói ezért egységes egészként vizsgálták az áramlási viszonyokat az extruderszerszámokban. A vizsgálatokat háromdimenziós véges elemes módszerrel végezték, az eredményeket mérésekkel elemezték, majd új, a szerszám elosztócsatornáját, vasalózónáját és fúvókáját egyaránt figyelembe vevő új matematikai modellt dolgoztak ki. A vizsgálatokhoz laboratóriumi szélesrésű szerszámot használtak. A számítások és a mérések izoterm körülményekre vonatkoznak.

A 4. ábrán látható, hogy a vasalózónát tartalmazó szerszámból sokkal kiegyensúlyozottabb sebességprofillal lép ki az ömledékáram, mintha azt vasalózóna nélkül, közvetlenül az elosztócsatornából való kilépéskor mérik. A fúvóka hossza (50, 100, ill. 150 mm) ugyancsak befolyásolta a sebességprofil; a leghosszabb fúvóka eredményezte a legegyszerűsebb áramlást.

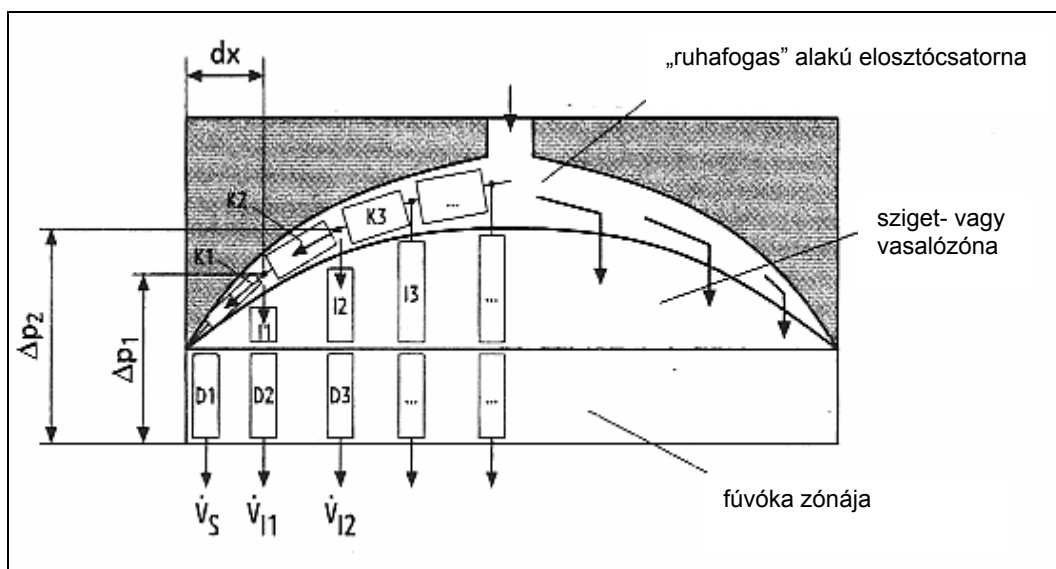
Az új modell felállításához a Carreau-tételből indultak ki, mert ennek alapján lehet a legszélesebb nyírósebesség-tartományban figyelembe venni a viszkozitás függését a nyírósebességtől. A modell elvét az 5. ábra érzékelteti.

Az elosztócsatornából kilépő,  $dx$  szélességű ömledékáramok (szalagok) nyomásvesztése részben az elosztócsatornában és a vasalózónában ( $\Delta p_I$ ), részben a fúvókában ( $\Delta p_D$ ) következik be. Az extrudálás feltétele, hogy a folyási ellenállás valamennyi folyási pályán a szerszám teljes szélességében azonos legyen. Ezért a nyomásvesztéseket a vasalózónában és a fúvókában ki kell egyenlíteni. A szerszám legszélső,  $dx$  szélességű ömledékárama adott érték. Az elosztócsatorna K1 szakaszából kilépő, ugyancsak  $dx$  szélességű ömledékáram ( $V_{s11}$ )  $\Delta p_{I1}$  és  $\Delta p_{D2}$  nyomáseséséhez szükséges ömledékáramot ki lehet számítani. Ilyen módon szakaszonként továbbhaladva megha-

tározható az elosztócsatorna egyes szakaszain a beömlőnyílások mérete. Hasonló elven a csőszerszámok spirál formájú elosztócsatornáin is elvégezhető a számítás. Ez a modell egyszerűbb, kevesebb számítással jár, mint a véges elemes módszer, és annál megbízhatóbb eredményeket ad, amit a kétféle számítás elvégzése, továbbá kísérleti gyártás során, mérésekkel igazoltak. Vizsgáltak ruhafogas formájú és a T-alakú elosztócsatornát szögletes és kör keresztmetszettel, és vizsgálták a vasalózóna optimális magasságát. A kísérleteket PE-HD-val, 30 kg/h kihozattalal végezték.



4. ábra Az ömledékáram viszonylagos sebessége a szélesrésű szerszámból való kilépéskor a szerszám fél szélességében, a szerszám szélétől mért távolság függvényében



5. ábra Az új matematikai modell számításmódjának elve

A modellt a Krauss-Maffei cégnél már a gyakorlatban is kipróbálták. Az egyre népszerűbb polietilén- és polipropiléncsövek felületére gyakran koextrudálnak a piszkolódás ellen védő és a nyomtatást megkönnyítő vékony külső bevonatot. A meglévő csőgyártó szerszámok helyett koextrudálásra alkalmas szerszámok alkalmazása túlságosan drága volna. A cég ezért adaptert fejlesztett ki, amely a korábbi szerszámokhoz csatlakoztató. Ennek elosztórendszerét az ismertetett modell alapján alakították ki.

**(Pál Károlyné)**

Seidel, Ch.; Merten, A.; Münstedt, H.: Extrusionsdüsen aus Kunststoff. = Kunststoffe, 92. k. 10. sz. 2002. p. 157–160.

Limper, A.; Stieglitz, H.: Berechnungsmodell bestätigt. = Kunststoffe, 92. k. 10. sz. 2002. p. 161–165.