

# Készülékfejlesztés a hidrociklonozásban

**NÉMETH JENŐ** • Pannon Egyetem (Veszprém), Gépészmérnöki Intézet

**VERDES SÁNDOR** • Pannon Egyetem (Veszprém), Gépészmérnöki Intézet • verdess@almos.vein.hu

Érkezett: 2011. 10. 26. • Received – 26. 10. 2011. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2012.2>

## Development in hydrocyclone-construction

In the paper the authors give an overview of the present situation of hydrocycloning and the tendencies in development in the field of both solid-liquid systems (suspensions) and liquid-liquid systems (emulsions). Modern constructional solutions are described. The results of international researches confirm the multiple applicability of hydrocyclones and the intensive product development. On the base of abovementioned it should be reasonable to overestimate the case of hydrocycloning recently neglected in our country.

## 1. Bevezetés

A ciklon konstrukcióját tekintve a legegyszerűbb folyamatos üzemi, centrifugális erőterrel működő szeparációs készülék. A ciklonban a centrifugális erőter a nyomás alatt, tangenciálisan bevezetett közeg-áramlás következtében jön létre. Rendszerüket tekintve a ciklonok lehetnek *gázciklonok*, azaz G–S fázisokat tartalmazó porleválasztók és *hidrociklonok*, azaz L–S folyadék és szilárd fázisokat, vagy L–L egymásban nem oldódó folyadék-folyadék fázisokat tartalmazó rendszerek, illetve ide sorolhatók az L–L–S, vagy az L–L–G hármas fázisokat kezelő műveleti egységek is. (L–folyadék, S–szilárd, G–gáz.)

A gázciklonra /Morse, 1886/ és a kúpos kialakítású víztisztító hidrociklonra /Bretney, 1891/ vonatkozó első szabadalmak több mint száz évesek. A portalanító gázciklon alkalmazása gyorsan terjedt. Ezzel szemben a L–S rendszerű hidrociklonokra az ipari érdeklődés – néhány kivételtől eltekintve – igazából csak a II. világháború után irányult. Magyarországon is ekkor jelentek meg az első publikációk a szén és érc előkészítés áramkészüleiről (Tarján Gusztáv), valamint az építőanyagipar (Demeter László, Bréda Gyula) és a cukoripar (Czirfusz Miklós) területéről. Tarján Gusztáv elméleti munkáira a hidrociklonban kialakuló áramlásokra és a szilárd szemcsék mozgásviszonyaira vonatkozóan még jelenleg is hivatkoznak. Következései közül egyedül a hidrociklonok nagyobb (40°–65°) kúpszögére tett ajánlását vitatták. A hidrociklonok fejlesztési tendenciáinak tárgyalásakor erre a kérdésre még visszatérünk.

Az egymásban nem oldódó folyadékokat szétválasztó L–L rendszerű, elsősorban olajipari hidrociklonok alkalmazása még későbbre tehető, elterjedésük csak a múlt század hetvenes-nyolcvanas éveiben vált erőteljessé. Ennek kiváltó oka az volt, hogy az olajkutakból feljövő olaj erre az időre egyre vízesebbé vált. Az Egyesült Államokban például már évi 15 billió barrel volt az olajat kísérő ún. termelt víz mennyisége. Jelenleg ez a termelt víz az olajipar legnagyobb volumenű mellékterméke. Szabadba vagy a tengerbe engedése ráadásul szigorú környezetvédelmi előírásokhoz kötött, Magyarországon például az előírt határérték mindössze 3 mg/liter! A víztelenítő hidrociklonok fejlesztésének további jelentős lökést adott a tengeri fúrótornyok egyre növekvő számú telepítése. Kiderült ugyanis, hogy a hullámzás és a szél okozta belengések miatt a hagyományos, gravitációs víztelenítők működése megbízhatat-

**Dr. NÉMETH Jenő**

Gyémántdiplomás vegyipari gépészmérnök, a Pannon Egyetem címzetes egyetemi tanára, a kémiai tudomány akadémiai doktora, a Műszaki Kémiai Kutatóintézet nyugdíjas tudományos tanácsadója.

**VERDES Sándor**

A Pannon Egyetem Gépészmérnöki Intézet (PEGM) Géptan Intézeti Tanszék egyetemi docense. Több mint 15 évet dolgozott a SZIKKTI kutató részlegén.

lanná vált. A nagy térfogatú, fekvő elrendezésű ülepítő tartályok elhelyezése a fúrótornyok platformjain uralkodó krónikus helyhiány miatt amúgy is problémás volt. A kis helyigényű és hatékony hidrociklonok, amelyekben a centrifugális gyorsulás a nehézségi gyorsulás értékének több százszorosa lehet, technológiailag előnyös alternatívát jelentettek a gravitációs szeparátorok kiváltására. A technológiai alkalmasság mellett az sem elhanyagolható szempont, hogy az olcsóbb hidrociklonokkal valamelyest kompenzálni lehet az olajkitermelés költségeinek növekedését.

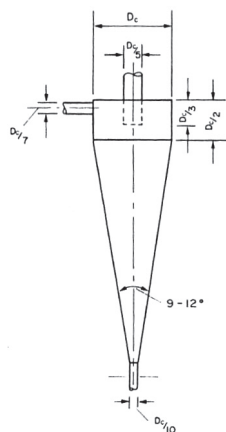
A hidrociklonok hatásosságának a növelésére, a kialakuló nyomásvesztés csökkentésére, a megfelelő szerkezeti anyag használatára és az újabb technológiai, például biotechnológiai alkalmazhatóság kikísérletezésére vonatkozó fejlesztő munka jelenleg is folyik. E széleskörű kutató-fejlesztőmunka intenzitását a négyévente megrendezett nemzetközi konferenciák jól szemléltetik, így például az 1992-ben Southamptonban rendezett IV. Hidrociklon konferencia kiadványa vagy az 1996-os Cambridge-i konferenciáról megjelent könyv [1, 2]. A dolgozat célja a hidrociklonok konstrukciós K+F munkájának rövid áttekintése és a kutatási tendenciák bemutatása.

## 2. A folyadék–szilárd (L–S) rendszerű hidrociklonok

Az 1. ábrán egy tipikus hengeres-kúpos, szuszpenziót szétválasztó hidrociklon látható a fontosabb geometriai paraméterek méreteinek a feltüntetésével. A hidrociklonok esetén elterjedt gyakorlat értelmében a hengeres köpeny  $D_c$  átmérője az összes többi méret viszonyítási alapja.

Tarján szerint [3] a szuszpenziót szétválasztó L–S rendszerű hidrociklon olyan áramkészülék, amelyben a szilárd fázis szemcseosztályozását eldöntő, mértékadó közegáramlás a centrifugális erő irányával ellentétesen kialakuló radiális sebességkomponens. A nehezebb szemcsék az alsó kifolyásba, a könnyebbek a felső kifolyásba kerülnek. Itt jegyezzük meg, hogy a derítő szupercentrifugákhoz hasonlóan a hidrociklonnal sem lehet teljesen éles elválasztást biztosítani [4]. Az elválasztás élességét azzal lehet fokozni, ha sorba kötött, több testes hidrociklonokat alkalmazunk. A Pörner Engineers+Contractors Plc. megbízásából Németh ezért javasolt egy háromtestes hidrocik-

lon modult, amely egy álló és két, ehhez felül és alul vízszintesen csatlakozó hidrociklonból állt, a MOL Rt. Dunai finomító Merox üzemi lúgos előmosó rendszerének az intenzifikálására. A javaslat értelmében készült tervezői adatszolgáltatás szerint 250, 200 és 150 mm volt az egyes ciklonok átmérője.



1. ábra Tipikus hengeres-kúpos hidrociklon vázlatos rajza  
Fig. 1. Draft drawing of typical cylindrical-conical hydrocyclone

A mozgó alkatrészeket nem tartalmazó, egyszerű konstrukciójú hidrociklonban igen bonyolult az áramkép. Kellsall [5] és Rietema [6] alapvető munkái óta még jelenleg is a legtöbb publikáció a hidrociklonban kialakuló összetett áramlás tisztázásával foglalkozik. A hidrodinamikai bonyolultságot fokozza, hogy a hidrociklonban kialakuló 3D-s örvénymozgás nem izotróp, nem tengelyszimmetrikus és a tengelyvonalon képződő légmag recessziós mozgása miatt az áramkép még időben is változik. Nagyobb szilárdanyag koncentrációnál már nem teljesülnek a szabad ülepedés feltételei. A szemcsék mozgásának és a folyadék áramlásának kölcsönhatása szintén a tisztázandó kérdések közé tartozik.

A numerikus áramlástan, CFD (Computational Fluid Dynamics) segítségével [7] az utóbbi években több publikáció is megjelent az előzőekben vázolt, igen bonyolult áramkép leírására [8, 9]. A 3D-s örvénymozgás numerikus kezelésekor a turbulencia modellek validálását azonban minden esetben el kell végezni, ami viszont csak gondosan kivitelezett, korszerű mérés technikával, például a kétsugaras LDV (Laser Doppler Velocimetry) vagy a Műszaki Kémiai Kutató Intézetben is használt PDPA (Phase Doppler Particle Analyzer) használatával végzett kísérletek adataival lehetséges. Ígéretes, bár költséges módszer az újabban alkalmazott EIT (Electrical Impedance Tomography), vagy ERT (Electrical Resistance Tomography) módszer [10]. Az egyes szimulációs modellek érvényességét ugyanakkor behatárolja az a tény, hogy az elméleti modellek csak addig használhatók, amíg az alkalmazás paraméterei kielégítik a modell peremfeltételeit. Az előzőek alapján nem meglepő, hogy a mai napig nem ismert olyan elmélet, amely a tangenciálisan belépő és a köpeny mellett lefelé csavarodó, illetve a tengelyvonalon spirálisan felfelé mozgó szuszpenzió turbulens áramlását egységesen leírná.

A már említett Rietema [6]  $D_c = 75$  mm átmérőjű hidrociklonnal végzett, nagyszámú és szisztematikusan változtatott paraméterű kísérletsorozatokkal igazolta, hogy az L-S rendszerű hidrociklonok optimális méreteire a következők érvényesek:

$$\begin{aligned} D_i/D_c &= 0,28, & D_o/D_c &= 0,34, & l/D_c &= 0,4, \\ L/D_c &= 5, & h/D_c &= 0,75-1,0 \text{ és} & D_o/D_u &= 1,33-1,66, \end{aligned}$$

ahol  
 $D_i$  a tangenciális bevezetés,  
 $D_o$  az örvénykereső cső átmérője,  
 $l$  az örvénykereső cső benyúlása a hengeres testbe,  
 $h$  a hengeres kamra hosszúsága,  
 $L$  a hidrociklon teljes hossza és  
 $D_u$  az alsó kifolyás átmérője.

A szerző azt is kimutatta, hogy  $10^\circ$ -os kúpszögű hidrociklonnal 15–20%-kal élesebb elválasztás érhető el, mint a  $20^\circ$ -os kúpszögű egységgel.

Az osztályozóként működő hidrociklon átmérője általában  $D_c = 300-450$  mm, a teljes hossza  $L = 1000-1500$  mm, az együttülepedés szerinti osztályozás szokásos mérettartománya 5–297  $\mu\text{m}$ . 300  $\mu\text{m}$ -nál nagyobb szemcsék szétválasztása más típusú osztályozókkal is előnyös lehet. A betáplálás ( $Q_i$ ) lineáris sebessége 10–14 m/s között változik. A tapasztalat szerint az elválasztás hatékonysága nagyobb belépési sebességgel növelhető lenne, ennek azonban a hidrociklon megnövekedő nyomásesése és az esetlegesen bekövetkező erózió határt szab. A betáplálási túlnyomás rendszerint 0,35–4,2 bar közötti érték. A betáplálás szokásos szilárdanyag tartalma 10–60%. Nagy koncentrációnál az alsó kifolyás ( $Q_u$ ) akadózhat. A szemcsék esernyőszerű szétporlasztása helyett a kifolyás dugószerűvé válhat, ami elakadást is okozhat. Ezt a körülményt célszerű elő-kísérletekkel tisztázni. Szükség esetén a kúpos szakaszba vezetett lazító, öblítő víz bevezetésével lehet a hidrociklon működőképességét fenntartani.

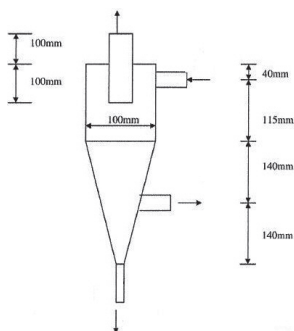
A hidrociklonok  $Q_i$  feldolgozási képességére és a szilárd szemcse  $x$  osztályozási (más publikációkban ennek a jelölése  $d_{50}$ ), vagy a leválasztási határméretére a Fejes-Tarján tankönyv [3] közöl használható adatokat. Bradley a teljesítményképleteket elméleti és tapasztalati összefüggésekre bontva elemzi [11]. A könyv 85. ábrája a Dorr cég TM3 típusú multiciklonos egységét ábrázolja, ahol a három multiciklon toronyszerűen egymásra épül, és a közös házba foglalt, függőlegesen elrendezett 40 mm átmérőjű hidrociklonok 60, 180 vagy 300 darabszámában kerülnek beépítésre. E példa említésének az ad aktualitást, hogy az Ajkai Timföldgyárban az alumínátlúgból a kikeverő tartályokban leválasztott timföldhidrát zagyot az oltóhidrát zagyotól Dorr-féle multiciklonokkal választják szét.

Ha a feladásban a leválasztási határméretnél nincs (vagy csak kevés a) finomabb szemcse, akkor a hidrociklon zagysűrítőként működik. Ha a hidrociklont besűrítőként alkalmazzák, akkor az átmérője rendszerint kisebb, mint 100 mm. Finoman diszpergált szuszpenziók esetén a hidrociklon átmérője még kisebb, értéke 10–50 mm. A kis átmérőjű, következésképpen kisebb teljesítményű hidrociklonokat a nagyobb feldolgozás érdekében multiciklonokba építve működtetik. A multiciklonok szerkezeti kialakítása a gyakorlatban kétféle. Az első típusnál a centrálisan elhelyezett központi elosztó tartályhoz, illetve a ciklonok  $Q_o$  felső elfolyását gyűjtő edényzethez sugárasan csatlakoznak kívül a kisméretű, általában a berendezés középvonala felé kissé ferdén elrendezett hidrociklonok. A másik elrendezés a csököteges hőcserélők felépítését követi. A köpenybe vízszintesen beépített hidrociklonok terhelése ebben az esetben kevésbé egyenletes és az eldugulás elhárítása is

munkaigényesebb, mint az előző típusnál. A különböző gyártók készülékeit Bradley a könyve 10. fejezetében részletezi [11].

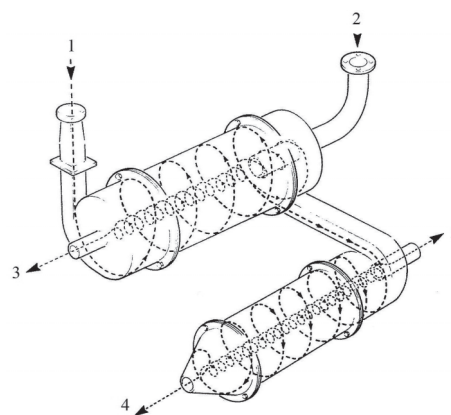
Ha a hidrociklont víz helyett megfelelő sűrűségű *nehézsuszpenziós* fluidummal működtetik, akkor a szilárd fázis szétválasztása néhány tized mm-től 10–20 mm szemcseméretig nemcsak a különböző méretű szemcsékhez tartozó különböző ülepedési sebesség alapján lehetséges, hanem a feladásban levő szilárdanyag különböző sűrűsége alapján is. Ilyen rendeltetésű hidrociklonokat alkalmaznak az ércfeldolgozásnál, ahol a fémeket a meddőtől kell elválasztani [12].

Más iparágaknál is napi feladat különböző sűrűségű szennyeződések eltávolítása. Például a papíriparban ilyen feladat a papíriszapnál könnyebb és nehezebb szennyeződések eltávolítása. Ennél a technológiánál a többtestes kapcsolás honosodott meg. Az első hidrociklon felső kifolyása a tisztított iszap (pulp). Az alsó elvezetés a második lépcső betáplálása, ennek alsó kifolyása tartalmazza a nehéz szennyeződések, míg a harmadik hidrociklon felső elvezetésébe kerülnek a papírnál könnyebb szennyeződések. A rendszer fejlesztését szolgálja a *három-termékes* hidrociklon alkalmazása, amikor is a hidrociklon köpenyén képeznek ki egy  $D_m$  átmérőjű elvezetést a felső könnyebb és az alsó elvezetés nehezebb terméke közötti köztes sűrűségű termék számára [13]. A három-termékes hidrociklon méretezett vázlatát mutatja a 2. ábra. Osztályozóként működtetve az egyes csőátmérők a következők:  $D_o = 34$  mm,  $D_m = 14$  mm,  $D_u = 24$  mm. Sűrítőként alkalmazva ezek a méretek a következők:  $D_o = 34$  mm,  $D_m = 6$  mm és  $D_u = 24$  mm. A három-termékes hidrociklonok fejlesztésével kapcsolatos további munkáról Bednarski ad széleskörű áttekintést [1]. Természetesen kéttestű hidrociklonnal is szét lehet három terméket választani, de két készüléknek nagyobb a beruházási költsége és a két hidrociklon nyomásesése az üzemeleti költséget is megnöveli. Ehhez járul még a két hidrociklonban kialakuló belső áramlások, ezen belül a megosztási hányad ( $Q_u/Q_o$ ) szabályozási kérdése is.



2. ábra Három-termékes hidrociklon vázlatos rajza  
Fig. 2. Sketch of three-product hydrocyclone

Újabbban a szénmosásra is három-termékes hidrociklont ajánl a British Coal Corporation [1]. A LARCODEMS szeparátor kialakítása a 3. ábrán látható. A ferde elrendezésű hidrociklon hengeres kialakítású és 250 t/h osztályozatlan szén szeparálására alkalmas, miközben a szén szemcse-frakciója 0,5–100 mm közötti lehet. A hengeres rész átmérője eléri a 300 mm-t. A ferde elrendezéssel a hidrociklon hidrosztatikai nyomását lehet hatásosan csökkenteni. Ezzel együtt a betáplálási nyomás is csökkenthető.



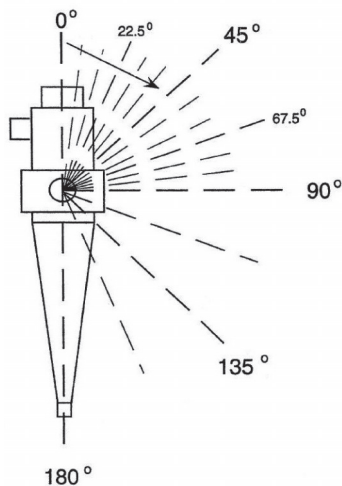
3. ábra Három-termékes szénmosó hidrociklon vázlatos rajza  
1 – nyers szén betáplálás kevés folyadékkal, 2 – szeparáló folyadék bevezetés, 3 – mosott szén elvezetés, 4 – nagytűrségű anyag elvezetés, 5 – közbelső sűrűségű anyag kilépés  
Fig. 3. Sketch of three-product hydrocyclone with for coal washery  
1 – raw material feeding with less liquid, 2 – input of separating liquid, 3 – outlet of washed coal, 4 – outlet of high density media, 5 – outlet of intermediate density product

A nedves őrlésű golyósmalmokhoz elterjedten használnak zárt, körfolyamatban működő osztályozó hidrociklonokat, amelyek általában nagy méretű egységek. Az átmérő 660–840 mm, a teljes magasság pedig eléri a 2,5–3 métert. Egyértelmű, hogy ferde, 45°-os elrendezés esetén számottevően csökken az alsó kifolyónyílásra ható nyomás, ami növeli az osztályozó élettartamát. A ferde elrendezés ugyanakkor 20–40 %-kal növeli a  $d_{50}$  értékét. Megjegyezzük, hogy a durvább szemcse leválasztás a nagy kapacitású osztályozóknál gyakran technológiailag előnyös.

A hazai rudabányai pátvasérc-dúsítás 1960–62 évi technológiája az 1965–67-es években kiegészült egy golyósmalomból és hidrociklonokból álló aprító-osztályozó berendezéssel. A pátvasérc magas réztartalmát (Cu 0,10–0,15%) később flotálással csökkentették [22]. A kétlépcsős technológia első részében a barit elő-flotálását végezték, amit a második lépcsőben a barit tisztító flotálása követett. Mindkét műveleti körhöz egy aprító-osztályozó körfolyamatos rendszer tartozott, amely nedves üzemű golyósmalomból és Demeter-féle osztályozó hidrociklonból állt ( $D_c = 200$  mm). A hidrociklon örvénykereső csővén kilépő anyagáramban a 200  $\mu$ m-nél nagyobb szemcsék mennyisége nem haladhatta meg a 6%-ot. Az ásványelőkészítésben más területen is használt berendezés a hidrociklon [23].

A hidrociklon ferde elrendezésével kapcsolatban figyelmet érdemel Asomah és Napier-Munn dolgozata [2], amelyben a 4. ábra szerinti módon, a hagyományos függőleges és a 135° ferdeségű tartományban végzett összehasonlító kísérletekről számoltak be. A kísérletekhez két Krebs gyártmányú hidrociklont használtak 508 és 101,6 mm átmérővel. A hengeres rész hossza értelem szerint 770 mm és 247,7 mm volt. A kúpszögek pedig 20° és 12° értékűek. A rézérc koncentrációja a betáplálásban 22–72% között változott. A ferdeség változtatásakor a hidrociklonok nyomásvesztését 60 és 120 kPa nyomáson állandó értékeken tartották. Az üzemi próbák azt igazolták, hogy a ferde elrendezés befolyásolta a szétválasztás teljesítményét, a nagyobb egységnél jobban, mint a kisebbnél. A  $d_{50}$  értéke nőtt, például 30  $\mu$ m-ről 45  $\mu$ m-re. Az alsó kifolyás sűrűsége és víz-

tartalma is nőtt. Az említett hatások a 45° ferdeségig alig jelentkeztek, a nagyobb ferdeségeknél enyhe lineáris növekedés volt megfigyelhető.



4. ábra Ferdén elhelyezhető kísérleti hidrociklon vázlatos rajza  
Fig. 4. Test hydrocyclone with position changing possibility

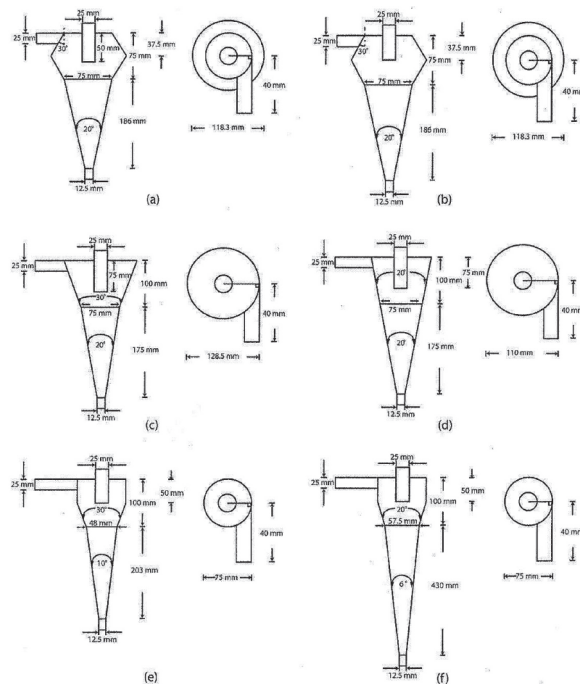
A hidrociklon konstrukciójára vonatkozó újabb vizsgálatok alapján igazoltnak tekinthető, hogy szögletes, például téglalap keresztmetszetű tangenciális bevezetés esetén nagyobb a hidrociklon hatékonysága, mint amikor a bevezetés kör keresztmetszetű, valamint az, hogy az evolvens kialakítású betáplálás költségesebb konstrukció ugyan, de kedvezőbb, mint az egyszerű tangenciális csatlakozás.

Ha az örvénykereső csőhöz, vagy az alsó kifolyáshoz könyökök és további csövezetékek csatlakoznak, akkor ellenőrizni kell a hidrociklon elfolyásai között kialakuló nyomásviszonyokat, mert ez befolyásolja a split-nek nevezett,  $S = Q_u/Q_o$  megosztási hányad értékét. Jelenlegi ismereteink szerint az  $S$  optimális értékét előkísérletekkel célszerű tisztázni. A tervezés során külön elemezni kell, hogy a megosztási hányad szabályozását lehetővé tevő szerelvényekkel nem sérül-e a megbízható üzemvitel, és ezek nyomásvesztésével járó energianövekedésnek mi a gazdasági kihatása.

A legújabb konstrukciós fejlesztő munkát egyrészt a hibrid eljárások alkalmazási lehetőségének a vizsgálata jellemzi, másrészt a számítógépes modellezés és a kísérleti munka ötvözete.

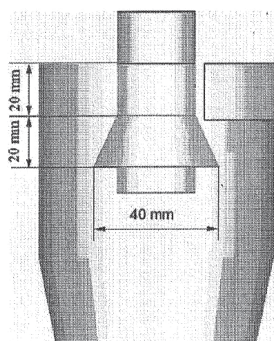
A hibrid eljárásra példa az *elektromos hidrociklon* vizsgálata. Japán kutatók [14] 2 µm medián átmérőjű igen finom szilícium szeparálására fejlesztették ki az új elektromos hidrociklont, ugyanis a hagyományos hidrociklonban kialakuló centrifugális erőterrel a 4–5 µm-nél kisebb szemcsék osztályozása gyakorlatilag nem kivitelezhető. Megjegyezzük, hogy a Brown-féle mozgás a 0,1–1 µm-es szemcséknél kezd jelentkezni. A szerzők a 20 mm átmérőjű hidrociklon kúpos részébe centrikusan egy negatív elektródot építettek be. Az egyenáramú generátor feszültségét 100 V-ig lehetett szabályozni. A betáplált szuszpenzió koncentrációja 0,1–2 m/m% között változott. A szerzők azt tapasztalták, hogy az osztályozás hatékonyságának a növeléséhez legalább 40 V feszültségre volt szükség. Ugyanakkor a  $d_{50}$  elválasztási szemcseméret csak az 1,5 m/m%-nál kisebb betáplálási koncentrációk esetén csökkent. Nagyobb koncentrációk esetén a  $d_{50}$  értéke is nőtt.

A korszerű konstrukciós fejlesztés másik iránya a *numerikus áramlástan* modelljei segítségével történik. Az Utah-i egyetem kutatói [15] azt vizsgálták, hogy az ásványfeldolgozás zárt-körű nedves őrlésénél évtizedek óta használt hengeres-kúpos, úgynevezett standard hidrociklon [16] hatásosságát hogy lehet növelni a készüléktest módosításával. Hatféle változatot (l. az 5. ábrát) modelleztek. A hidrociklonok átmérője egységiesen 75 mm volt. A 3D-s turbulencia modell egyenleteinek a megoldásához a Fluent™ 6.0 programot használták. Azt találták, hogy az (a) és (b) változat nem volt jobb, mint a standard alaptípus. A (d) és (e) változatok szétválasztási hatékonysága kb. azonos volt a standard típussal, míg a (c) és az (f) esetén a szeparáció élesebb volt. A számított javulás egyrészt azért következett be, mert csökkent az örvénykereső cső melletti ún. rövidre zárás hatása, másrészt a készülék alján kialakuló erősebb spirálmozgás miatt kevesebb finom szemcse csúszott le a köpeny mellett az alsó lefolyásba, ellenkezőleg, a felfelé irányuló szekunder spiráláramlásba kerültek. Az előzők alapján a hat változat helyett csak e két utóbbi konstrukciót kell üzemileg tesztelni. A CFD módszer és a kísérleti munka vázolt ötvözete jelentős idő- és költségcsökkentést jelent. Megjegyezzük, hogy a nem-newtoni biológiai közegek hidrociklonos kísérletei alapján ugyancsak a (c) és (f) típusú készülékekkel értek el pozitív eredményeket [2].



5. ábra Lehetséges hidrociklon kialakítások  
Fig. 5. Possible hydrocyclone forms

Az előzővel hasonló jellegű Wang szimulációs munkája [17] is, aki az örvénykereső csőre vonatkozó számos egyéb variáció mellett a 6. ábra szerinti terelő-kúpos örvénykereső cső konstrukcióját találta kedvezőnek a nyomásesés csökkentésére, az áramlás  $S$  megosztási hányadára, a szemcsemozgás trajektóriáira és az elválasztás élességére. Az elvégzett kísérletek igazolták, hogy az ábra szerinti örvénykereső csőnél az elválasztást rontó, ún. rövidre-zárási hatás, amely a betáplálás és az örvénykereső cső között jelentkezhet, a terelő kúp miatt ténylegesen csökkent, és ezzel javult az elválasztás élessége.



6. ábra Az örvénykereső cső módosított kiviteli vázolata  
 Fig. 6. Drawing of the modified vortex finder tube

### 3. A folyadék–folyadék (L–L) rendszerű hidrociklonok

Az egymásban nem oldódó folyadékok, azaz az L–L rendszerű hidrociklonokra a folyadék–szilárd fázisú hidrociklonokra tett előző megállapítások, így pl. a készüléktest optimális geometriai méreteire, közvetlenül nem alkalmazhatóak. Ennek egyrészt az az oka, hogy a szétválasztás hajtóerejéül szolgáló sűrűségkülönbség a folyadékok között egy nagyságrenddel kisebb, mint az L–S fázisú rendszereknél. Másrészt, a folytonos fázisban diszpergált folyadék cseppek, ellentétben a szilárd fázis szemcséivel, a 3D-s turbulens áramlásban fellépő nagy, 10–15 m/s nagyságú tangenciális sebességek miatt töredeznek, méretük nem marad állandó. Előfordul, hogy a cseppek nemcsak aprózódnak, hanem esetenként nagyobbakká koagulálnak. Következésképpen a diszpergált folyadék cseppeloszlása nem állandó a hidrociklonozás során, ellentétben a szilárd fázis szemcseeloszlásával.

Fontos következtetéseket vontak le a Braunschweigi Egyetem kutatói az orsóolaj-víz emulzióval végzett vizsgálatokból is, amelyhez egy 50 mm átmérőjű és 14° kúpszögű hidrociklont használtak. A méréseket 60 °C-on végezték. Változó belépési sebességnél mérték a  $Q_0$  és  $Q_u$  kilépő térfogatáramokat és az ezekhez tartozó  $\varepsilon_0$  és  $\varepsilon_u$  szétválasztási tényezőket. Megállapították, hogy egyidejűleg csak az egyik folyadék komponens nyerhető ki tisztán. Függetlenül attól, hogy a könnyű vagy a nehéz folyadék volt a diszperz fázis, például olaj a 83% vízben, vagy víz a 90% olajban, a szétválasztás jellege hasonló volt. Kimutatták, hogy a megosztási hányad erősen függ a hidrociklon nyomásvesztésétől, és ezen keresztül a készülék konstrukciós kialakításától. Megállapították, hogy a belépési sebesség növelésével nem nőttek folytonosan az elválasztási tényezők, hanem egy kritikus érték után csökkentek. Víztelenítés esetén ez az érték max. 6 m/s volt 10% víztartalom esetén (nagyobb víztartalomhoz kisebb optimális érték tartozott). Olajtalanítás esetén a kritikus érték 4,5 m/s volt, függetlenül a koncentrációtól. Nagyobb sebességeknél elválasztás helyett, meglepetésre, emulgeálás következett be. A hidrociklon optimális olajtalanítási térfogat teljesítménye ezzel az értékkel 1,4 m<sup>3</sup>/h volt.

A különböző kritikus sebességek miatt különböző geometriai méretekkel rendelkeznek a hidrociklonok aszerint, hogy olajtalanítás vagy víztelenítés a szeparálás műveleti célja. Megjegyezzük, hogy ez a jelenség, miszerint az L–L rendszerű

hidrociklonoknál a betáplálási sebességnek optimuma van, új megállapítás, mert az L–S rendszerűeknél ez nem tapasztalható. A kétféle rendszer összevetéséből az is kitűnik, hogy az L–L rendszerű hidrociklonok betáplálási sebessége lényegesen kisebb, mint az L–S rendszerű hidrociklonoknál alkalmazott értékek. Következésképpen egységteljesítményük is kisebb. Azért, hogy a kisebb sebesség miatt a centrifugális erőtér ne csökkenjen, a folyadék–folyadék szeparációs hidrociklonok kis átmérővel készülnek. Ezért koncentrálódnak az L–L rendszerű hidrociklonok méreteire vonatkozó fejlesztés jelenleg az ún. *mini-hidrociklonokra*. A  $D_c = 10\text{--}25$  mm átmérőjű egységek, esetenként százas nagyságrendben, multiciklonokba kerülnek beépítésre, hogy a párhuzamos kapcsolással biztosítsák a telep nagyobb teljesítményét. A multiciklonok kialakítása a csököteges hőcserélők mintájára rendszerint fekvő kivitelű, egy beömlésű és az igényeknek megfelelően nyomásálló kivitelű berendezés.

A mini-hidrociklonoknál a szűk rádiusz-tartomány miatt elégtelen lehet a tangenciális bevezetés realizálódása a centrifugális erőtér kialakítására. Ilyen esetekben jelenthet megoldást az örvénykereső cső és a ciklon hengeres fala közé épített gyűrű alakú, ferde, vagy ívelt lapátosítású, álló keréktárcsa. A *centriklonnak* is nevezett hidrociklonban a tárcsa hat, vagy nyolc lapátja nemcsak a bevezetett közeg perdületét fokozza, hanem intenzifikálja az axiális irányú sebességet is.

Az L–L rendszerű hidrociklonok leválasztási hatásossága függ a hőmérséklettől is. Az arányosság fordított. A hatékonyság nő, ha a hőmérséklet csökken. A hőmérséklet csökkenésekor nő a diszperz és a folytonos fázis viszkozitása, a vízé jobban, mint az olajé. Ha nagyobb a viszkozitás, akkor csökken a cseppek aprózódási hajlama, ami előnyös az elválasztás szempontjából.

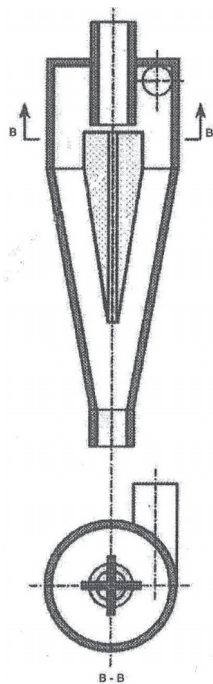
A hidrociklonok tengelyvonalaiban kialakuló ún. *légmagot* sokan vizsgálták, de a jelenség precíz magyarázata még jelenleg is hiányzik. Tisztázatlan például, hogy miért hullámos a légmag folyadékkal érintkező felülete, vagy mi befolyásolja a légmag recessziós mozgását. A légmag kialakulásáról és jellegéről a következők ismertek:

A légmag minden esetben kialakul, ha akár a felső, akár az alsó kifolyás érintkezik a légkörrel. Az áramlástani vizsgálatok szerint, lásd pl. az [5, 6, 10] irodalmakat, a hidrociklon tengelyének a közelében akkorára nőhet az áramlás tangenciális sebessége, amihez a Bernoulli egyenlet értelmében fellépő nyomáscsökkenés már vákuumot eredményez. Ennek mértéke néhány száz vízoszlop mm-től 1000–2000 vomm-ig terjedhet. A szabadból ez a vákuum szívja be a légmagba a levegőt. Ha a kifolyások zárt tartályokba történnek, az általános vélemény szerint akkor is kialakul légmag a hidrociklonban, mert ekkor a folyadékból felszabaduló gőz vagy gáz tölti ki a légmagot, amelynek az átmérője 0,06  $D_c$ -től 0,33  $D_c$ -ig változhat. A nagyobb érték a nagyobb tangenciális sebességekhez tartozik. A légmag összeeshet, ha a tangenciális sebesség erősen lecsökken. A légmag kialakulásához egy minimális belépési sebesség és minimális kezdeti nyomás szükséges. Hagyományos kialakítású hidrociklonokban ez utóbbi értéke kb. 0,15 bar. Ha a légmag nagy átmérővel alakul ki, akkor előfordulhat, hogy az átmérője nagyobb lesz, mint az alsó kifolyónyílás átmérője. Ilyenkor megszűnhet az alsó kivezetés. Tiszta víz esetén ez az állapot ténylegesen megfigyelhető.

A légmag lengése és recessziós mozgása nyomásingadozásokat generál, ami kihat az áramlás radiális sebességére. Ez viszont hátrányosan befolyásolja a hidrociklon hatásosságát. A konstrukciós fejlesztések egy része ezért az áramlást *stabilizáló* szerkezeti megoldásokra irányul.

A Southampton-i egyetem kutatói [20] az alsó kifolyónyíláshoz a nyílás átmérőjével azonos átmérőjű, de  $(9-13,5)D_c$  mm hosszú, ún. *stabilizáló* csövet csatlakoztattak, amivel sikeresen csillapították az áramlás instabilitását.

További megoldásokat tüntet fel a következő két ábra. A 7. ábrán egy keresztzárnyas betétdarab csillapítja a hidrociklonban a nyomásfluktuációt [10]. A 8. ábrán viszont egy perforált hengeres-kúpos betéttel lehetett a hidrociklon elválasztási hatásosságát növelni [10]. A perforált betét részben módosította a belső örvény kialakulását, részben torlasztó hatást fejtett ki a tengelyvonal felé irányuló radiális sebességre azzal, hogy erősítette a hidrociklon kúpos része felé az axiális áramlást.



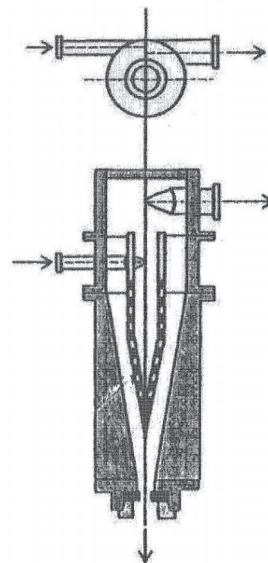
7. ábra Keresztzárnyas csillapító betétdarab  
Fig. 7. Winged central core to lower pressure fluctuation

Az L-L rendszerű hidrociklonok internetes irodalomfigyelése alapján a készüléktest méreteire vonatkozóan a következő megállapítások tehetők:

A  $D_i/D_c$  arány itt is 0,28 érték, azaz ugyanaz, mint az L-S rendszerű hidrociklonoknál. Az örvénykereső cső benyúlására az  $l/D_c = 0,33-0,4$  értékek az ajánlottak, míg a kisebb nyomásvesztés elérése miatt kissé rövidebb a hengeres szakasz, azaz  $h/D_c < 1$ . A víztelenítő hidrociklonoknál  $D_o/D_c = 0,13$ , míg az olajtalanítóknál ez az érték 0,04. Az alsó ürítő nyílásra  $D_u/D_c = 0,18-0,26$  arány az ajánlott. A kereskedelemben kapható olajtalanító hidrociklonok átmérője rendszerint 75–100 mm. A készülékleírás szerint ezek az egységek üzemszerűen a 30  $\mu\text{m}$  méretű olajcseppek 98%-át képesek leválasztani.

A víztelenítő hidrociklonok kúpszöge  $10-20^\circ$  között változik. Az olajtalanító hidrociklonok karcsúbbak, ezeknél a típusoknál a kúpszög intervalluma  $2^\circ$  és  $10^\circ$  közötti érték.

A tapasztalat szerint a nem elegendő folyadékok bevezetésére nem egy, hanem két, átellenesen kiképzett tangenciális csövet célszerű alkalmazni.



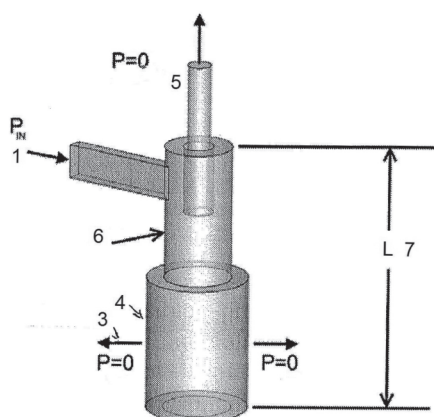
8. ábra Perforált kosár alakú betétdarab  
Fig. 8. Perforated basket-shape core

Bradley [11] a hidrociklon tervezési változói között a geometriai méretek mellett a *szerkezeti anyagokat* is felsorolta. A megfelelő szerkezeti anyag kiválasztása az L-S rendszerű hidrociklonoknál fellépő eróziós hatás miatt igényel kiemelt figyelmet. A gumi (főleg lágy gumi 12 vagy 25 mm vastagsággal), esetleg szilikon-karbid bélelésű hidrociklonok mellett a foszforbronzból, a titánból, vagy porcelánból készült típusok is megjelentek a különböző gyártmánylistákon, sőt újabban műanyagból, üvegszálal műanyagból, fém-kerámia, illetve polimer kompozitból készült hidrociklonok közül lehet választani. Ha a Mohs skálán  $5^\circ$ -nál keményebb anyag a szuszpenzió szilárd fázisa, akkor a porcelán hidrociklon élettartama kb. 1400 óra, míg a többi 400 óra körüli érték. Esetenként érdemes az erózióknak erősen kitétt alsó kifolyónyílást cserélhető csomópontként kialakítani. Az L-L rendszerű hidrociklonoknál a készülék fala és a nehezebb folyadék közötti nedvesítési szög lehet a kiválasztást segítő paraméter. Ismert, hogy az illeszkedési, vagy kontakt szög vízre saválló acélnál  $46^\circ$ , víz/teflon kapcsolatnál  $91^\circ$ , míg dízelolaj/saválló acélnál  $2^\circ$ , dízelolaj/teflon esetén pedig átlagban  $39^\circ$ . Perspeknél ezek az értékek  $72^\circ$  és  $5^\circ$  értelem szerint. A szerkezeti anyag és a hidrociklon hatásossága közötti kapcsolatot Listewnik vizsgálta [2]. A szerző megállapította, hogy víz/olaj rendszerűnél, egyébként azonos feltételek mellett, 6  $\text{m}^3/\text{h}$  kapacitás esetén a saválló acélnál készült hidrociklonnak a legkisebb (kb. 65%) a hatékonysága, míg ha teflon a szerkezeti anyag, akkor a hatékonyság a legnagyobb, közel 80%. 13–14  $\text{m}^3/\text{h}$  kapacitásoknál azonban mind a három előbb említett szerkezeti anyag esetén egységesen 90–95% volt a maximális szétválasztási hatékonyság. A kísérleteknek az adott aktualitást, hogy Lengyelországban a múlt század nyolcvanas éveitől kezdve a hajókon keletkező ún. olajos hajóvíz olajtalanítását végző tisztítási rendszerhez az olajtalanító hidrociklonok már szervesen hozzátartoznak.

Az L-L rendszerű hidrociklonok különleges konstrukciós fejlesztései közül a szűrővel kombinált hidrociklont és a hengeres kialakítású hidrociklonokat lehet kiemelni.

A szűrési lehetőséggel kombinált ciklon tulajdonképpen az L-L-S rendszerek kezelésére alkalmas speciális, három-termékélvételes kialakítás. A hidrociklon kúpos alsó része dupla falú, a belső fal a perforált szűrőfelület és az ezen átfolyó szűrlet a közbenső termék. A hidrociklon szétválasztó képessége a szűrlet miatt természetesen megnőtt, ugyanakkor nem várt módon a hidrociklon nyomásesése lecsökkent.

A 9. ábrán látható hidrociklon mikroszűrővel kombinált hengeres konstrukció. A ciklon hagyományos hengeres szakaszához a kúpos alsó rész helyett egy további hengeres rész csatlakozik, amelynek fala a keramikus  $TiO_2$  mikroszűrő membrán,  $1,4 \mu\text{m}$ -es pórus átmérővel.

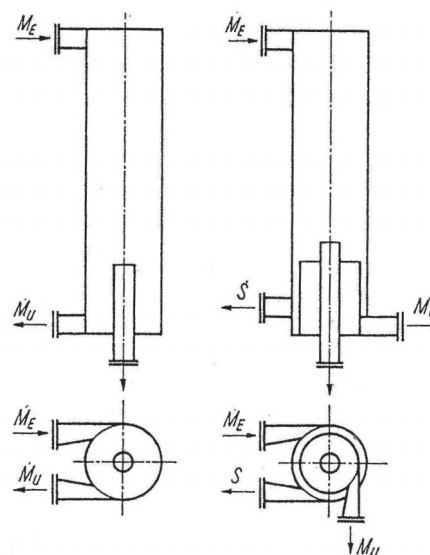


9. ábra Mikroszűrővel kombinált hidrociklon vázlatos rajza  
1 – bevezetés, 2 – felső kifolyás, 3 – permeát, 4 – porózus mikroszűrő, 5 – örvénykereső cső, 6 – hidrociklon átmérő  
Fig. 9. Hydrocyclone combined with micro-filter  
1 – feeding, 2 – upper outflow, 3 – permeat, 4 – porous micro-filter, 5 – vortex finder, 6 – hydrocyclone diameter

A permeát fluxusát 20 kPa nyomás biztosította. A 0,024 m/m%-os olaj/vízzel végzett kísérletek szerint a mikroszűrőn keresztirányban átáramló víz, mint alsó átfolyás, volt a tisztított termék. A víz térfogatárama a szűrő időben növekvő ellenállása miatt némileg csökkent, de a víz olaj koncentrációja a teljes szűrési idő alatt végig kisebb volt, mint 20 mg/liter. A hidrociklon felső részének geometriai méretei a Rietema szerinti optimális méretarányokat követték [21].

A hagyományos hengeres-kúpos hidrociklonokban a külső fal mellett lefelé csavarodó, majd a tengelyvonalon spirálisan felfelé áramló rendszer által generált 3D-s turbulencia az emulzió szempontjából sem kedvező. Ezért már a múlt század hatvanas éveiben felvetődött az egyirányú áramlást és ezáltal a kiszámíthatóbb ülepedési feltételeket lehetővé tevő hengeres hidrociklonok alkalmazásának gondolata [18]. A 10. ábra két megoldási elvet szemléltet. A baloldali vázlat szerint a szétválasztandó emulzió felül lép be tangenciálisan a hengeres testbe. A könnyű fázis az alul axiálisan beépített örvénykereső csővön keresztül távozik, míg a vízben dús vegyes fázis az alul levő tangenciális csővön keresztül lép ki a hengeres testből. A lefelé csavarodó áramlásban a két fázis határfelülete sokkal egyértelműbben kialakult, mint a hagyományos hidrociklonban, ezért az elválasztás is élesebb lehet. A jobboldali vázlat

szerint a működési elv hasonló, de a konstrukció egy készüléken belül is lehetővé teszi a két fázis szétválasztását. Látható, hogy a vegyes fázis az örvénykereső cső és a vele koncentrikus második cső közötti térből távozik tangenciálisan. A könnyű fázis ez esetben is alul, középen távozik. Mindkét kialakításnál előnyt jelent a hengeres-kúpos hidrociklonok felső tangenciális bevezetése és a centrikus felső elvezetés között kialakuló, ún. rövidre zárási veszteség elmaradása, valamint az, hogy a hengeres rész hosszának a növelésével egyszerűen növelhető a tartózkodási idő és ezzel az elválasztás hatékonysága.



10. ábra Hengeres hidrociklon vázlatos rajzai  
Fig. 10. Draft drawing of cylindrical hydrocyclone

Az ismertetett hengeres hidrociklon végső soron a centrífugális erőterű hagyományos ciklon és a gravitációs ülepitő kombinációja.

Svéd kutatók a közelmúltban már a hengeres hidrociklon numerikus modellezéséről számoltak be [9]. Az általuk vizsgált hidrociklon – a 10. ábrával ellentétben – megfordítva működött, azaz a szétválasztandó közeg alul lépett be tangenciálisan kialakított furatokon keresztül a hengeres testbe, míg az elvezetések, mind a tangenciális kifolyás, mind az örvénykereső cső, felül helyezkedtek el. A  $120^\circ$ -ban kialakított három darab 10 mm átmérőjű furattal a bevezetett közegnek nagy perdületet lehetett biztosítani a 80 mm átmérőjű és 485 mm magas hengeres testben. Hasonlóan nagy perdületet a hagyományos hidrociklonokban csak külön perdületet fokozó betételekkel lehetett elérni.

#### 4. Összefoglalás

A gáztisztító ciklonokkal szemben a hidrociklonok hazai elterjedése indokolatlanul kismérvű. A mellőzést nem indokolja sem a technológiai alkalmazhatóság sokrétűsége, legyen a műveleti cél akár a szuszpenziók szétválasztása, a szuszpendált szemcsék osztályozása, vagy akár az egymásban nem oldódó folyadékok, például az olaj-víz rendszerek szeparálása. Gyártástechnológiailag sem indokolt a mellőzés, mert a hidrociklon konstrukciója egyszerű, szinte bármilyen szerkezeti anyagból elkészíthető, ráadásul mozgó alkatrészeket sem tartalmaz.

A dolgozatban a hidrociklonok áramlási viszonyainak a rövid bemutatása mellett a szerzők figyelem felkeltési céllal felvázolták a fejlesztési tendenciákat, mind a folyadék-szilárd, mind a folyadék-folyadék rendszerű hidrociklonok területén, illetve ismertették a korszerű konstrukciók kialakításokat. Érdeemes megjegyezni, hogy a korábban előre jelzett tendenciáknak szinte az ellenkezője is megvalósult az utóbbi időkben. Például a kúpszög növelés helyett az egyre kisebb szög dominál, illetve megjelenik a két hengeres kialakítás.

A hidrociklonok egyre több területen való gazdaságos alkalmazhatóságát a legújabb publikációk igazolják, ezért indokolt lenne a hazai hidrociklonozás K+F munkájának a jelentős szélesítése.

#### Felhasznált irodalom

- [1] Svarovsky, L. – Thew, M. T.: *Hydrocyclones*, Dordrecht, Kluwer Acad. Publ. 1992.
- [2] Clayton, D. – Svarovsky, L. – Thew, M. T.: *Hydrocyclones'96*, London, Mech.Eng.Publ.Ltd.1996.
- [3] Fejes G. – Tarján G.: *Vegyipari gépek és műveletek*, Budapest, Tankönyvkiadó, 1979.
- [4] Horányi R. – Németh J.: *Investigation of the performance of a clarifier tube centrifuge*, Acta Chimica Sci. Hung., Tomus 71 (4), 1972, pp.427-444.
- [5] Kelsall, D. F.: *A study of the motion of solid particles in a hydraulic cyclone*, Trans. Inst. Chem Engrs. Vol. 30, 1952, pp. 87-108.
- [6] Rietema, K.: *Performance and design of hydrocyclones, I-IV*. Chem. Eng. Sci. Vol. 15, 1961, pp. 298-325.
- [7] Lajos T.: *Az áramlástan alapjai*, Budapest, Műegyetem Kiadó, 2004, pp. 363-377.
- [8] Chen, W. – Zydek, N. – Parma, F.: *Evaluation of hydrocyclone models*, Chem. Eng. J. Vol. 80, 2000, pp.295-303.
- [9] Ko, J. – Zahrai, S. – Machion, O.: *Numerical modeling of highly swirling flows in a hydrocyclone*, AIChE Journal, Vol. 52, 2006, pp. 3334-3344.
- [10] Bergstöm, J. – Vomhoff, H.: *Experimental hydrocyclone flow field studies*, Separation and Purification Technology, Vol.53, 2007, pp. 8-20.
- [11] Bradely, D.: *The Hydrocyclone*, Oxford, Pergamon Press, 1965.
- [12] Mainza, A. – Powell, M. S. – Knopjes, B.: *Differential classification of dense material in a three-product cyclone*, Mineral Engineering, Vol.17, 2004, pp. 573-579.
- [13] Ahmed, M. M. – Ibrahim, G. A. – Farghaly, M. G.: *Performance of a three-product hydrocyclone*, Int. J. of Mineral Process. Vol. 91, 2009, pp. 34-40.
- [14] Nenu, R. K. T. – Yoshida, H. – Fukui, K. – Yamamoto, T.: *Separation performance of submicron silica particles by electrical hydrocyclone*, Powder Techn. Vol. 196, 2009, pp. 147-156.
- [15] Delgadillo, J. A. – Rajamani, R. K.: *Exploration of hydrocyclone designs using CFD*, Int. J. of Mineral Process. Vol. 84, 2007, pp. 252-261.
- [16] Nageswararao, K. – Wieseman, D. M. – Napier-Munn, T. J.: *Two empirical hydrocyclone models revisited*, Minerals Engineering, Vol. 17. 2004, pp. 671-687.
- [17] Wang, B. – Yu, A. B.: *Numerical study of the gas-liquid-solid flow in hydrocyclones*, Chem. Eng. Journal, Vol. 135, 2008, pp. 33-42.
- [18] Bohnet, M.: *Trennen nicht mischbarer Flüssigkeiten*, Chem. Ing. Tech. Vol. 48, 1967, pp. 177-189.
- [19] Harms, G. – Bohnet, M.: *Trennen nicht mischbarer Flüssigkeiten in Hydrocyclon*, Chem. Ing. Tech. Vol. 8, 1996, pp. 558-562.
- [20] Wesson, G. D. – Petty, C. A.: *Process Engineering of Produced Water Treatment*, Proceedings of the Intern. Petroleum Environmental Conf. Houston, Texas, 1994, pp. 1-10.
- [21] [www.aiche.confer.com/aiche/2009/pater159581.html](http://www.aiche.confer.com/aiche/2009/pater159581.html) (2010. szeptember)
- [22] Sóvágó Gy.: *Rézfotálás Rudabányán az 1970-es években*, Bányászattörténeti közlemények, 1. évf. 1. (1.) sz., 2006, pp. 37-54. ([epa.oszk.hu/01400/01466/00001/pdf/](http://epa.oszk.hu/01400/01466/00001/pdf/))
- [23] Fern, K. A.: *The cyclone as a separating tool in mineral dressing*, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 30a, (1952), pp. 82-86.

Ref.: <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2012.2>

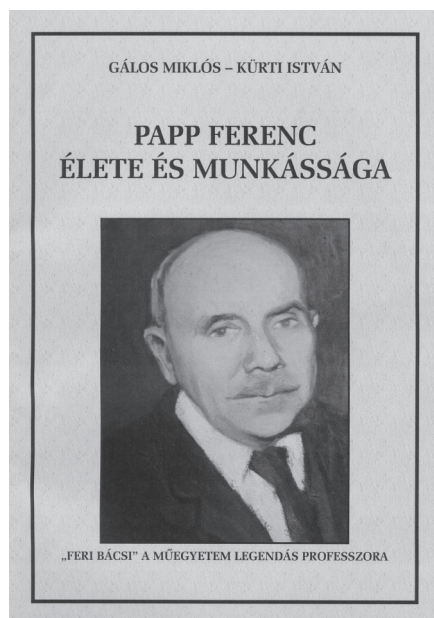
Németh Jenő – Verdes Sándor: *Készülékfejlesztés a hidrociklonozásban*.

Építőanyag, 64. évf. 1-2. szám (2012), 8-15. p.

## KÖNYVAJÁNLÓ

Gálos Miklós – Kürti István

### PAPP FERENC ÉLETE ÉS MUNKÁSSÁGA



Papp Ferenc születésének 110. évfordulójára **Gálos Miklós** és **Kürti István**, volt tanítványai, az SZTE Kő és Kavics Szakosztályának tagjai, emlékkötetet állítottak össze **Papp Ferenc élete és munkássága – „Feri bácsi” a műegyetem legendás professzora** címmel.

Papp Ferenc, Feri bácsi (1901–1969) szakmája odaadó, alkotó művelője, példás pedagógus szakmai közéleti vezető, nagy mecénás és mindenkinek felett nagyon jó ember volt. E könyv a Műegyetem neves professzorának – tanítványai, munkatársai, tisztelői, munkásságát folytató hidrogeológusok, mérnökgeológusok, barlangkutatók – már életében megbecsült Feri bácsijának állít emléket.

Budapesten született, a budapesti Pázmány Péter Tudományegyetemen szerzett tanári képesítést és bölcsészdoktori tudományos fokozatot. 1924-től haláláig a Műegyetemen oktatott és kutatott. 1956-ban védte meg a Magyar Tudományos Akadémián kandidátusi értekezését. 1960-tól az egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék tanszékvezetője, 1960-61 években a Mérnöki Kar dékánja volt.

Oktatói munkájában első helyen a természet szerzetére való nevelés állt. Rendszeresen vezetett geológiai kirándulásokat. Műszaki szemlélettel ismertette meg hallgatóival hazánk földtani érdekességeit. Szakirodalmi munkásságának legfontosabb részét a hidrológiával és mérnökgeológiával foglalkozó tanulmányok képezik. *Műszaki földtan* című könyve, melyet társszerzővel írt, máig az egyetlen mérnökgeológiával foglalkozó szakkönyvünk.

Kiterjedt szakmai-közéleti tevékenységet folytatott. Több tudományos szakegyesületben viselt magas tisztségeket: a Magyarhoni Földtani Társulat titkára, majd főtitkára, a Mérnökgeológiai Szakcsoport alapító elnöke, a Magyar Hidrológiai Társaság alapító tagja, majd elnöke; a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat elnöke, tiszteleti tagja, az SZTE Kő és Kavics Szakosztályának megalapítója volt.

Az emlékkötet terjedelme több mint 150 oldal, részben színes képmellékletekkel.

Ára: 3000 Ft. Megvásárolható a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék titkárságán (1111 Bp., Műegyetem rkp. 3., K. ép., I. em. 85.).