

Forgószárnyas vízsebességmérő műszerek mérési pontosságának vizsgálata

Berke Barnabás és Albert Kornél
Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság

Kivonat

Forgószárnyas műszereket több mint 100 éve alkalmaznak vízfolyások vízhozamának meghatározásához. Az utóbbi 30 évben jelentőségük, alkalmazásuk gyakorisága a sokkal kényelmesebben, egyszerűbben kezelhető, kevésbé időt rabló módon használható ADCP műszerek megjelenésével és rohamos fejlődésével folyamatosan csökken, de kisvízfolyások, csatornák esetében, amikor a keresztszelvény mérete nem teszi lehetővé az ADCP műszerek használatát, a pontszerű sebességmérés, illetve a sebesség-terület módszer még mindig jó lehetőséget ad a vízhozam meghatározására.

A vízsebesség mérésének pontosságát befolyásoló tényezőket vizsgáltuk. Ezek:

- a kalibráció pontossága (a felhasználó szempontjából objektív, szisztematikus hiba lehetősége),
- a műszer állapota (a felhasználó szempontjából szubjektív hiba lehetősége),
- a műszer szöghelyzete (az, hogy a műszer tengelyének iránya milyen mértékben tér el az áramlás irányától - szubjektív hiba lehetősége),
- a fordulatszámolás módjától és idejétől (a felhasználó szempontjából objektív, szisztematikus hiba lehetősége).

Vizsgáltuk a klasszikusnak tekinthető, az adott időtartam alatt megtett fordulatszámok meghatározásán alapuló eljárással, valamint az adott fordulatszám megtételéhez szükséges idő mérésén alapuló eljárással elérhető mérési pontosságot, illetve az ezt befolyásoló tényezők hatását. Ezekre a vizsgálatokra az adott lehetőséget, hogy a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság által üzemeltetett Műszerkalibrációs labor és vízsebességmérő csatorna (Mérőcsatorna) berendezése a mérés során megjegyzi minden egyes fordulathossz megtételéhez tartozó utat és időtartamot.

Kulcsszavak: Forgószárnyas vízsebességmérő műszer, fordulatszámolás, irányérzékenység, pontosság, kalibrálás.

BEVEZETÉS

A forgószárnyas műszerek a felszíni vízfolyások vízhozamának mérésére alkalmazott terület-sebességmérési módszer mai napig alkalmazott eszközei. Kétségtelen tény, hogy az ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) mérési elven működő műszerek gyors elterjedésével, megbízhatóságuk növekedésével, valamint a méréseket megkönnyítendő, távműködtetett drónok megjelenésével a klasszikus, az előbbinél időigényesebb sebesség-terület módszer alkalmazásának jelentősége csökkenő tendenciát mutat, de várhatóan lesznek olyan helyzetek, körülmények, amik igényelni fogják ennek a módszernek az alkalmazását.

Az ADCP elven működő műszerek használatának korlátai:

1. Alacsony vízsebesség, amelynél leginkább annak a szabálynak a betartása okoz gondot, hogy az áthúzás, illetőleg az átmenet sebessége kisebb legyen, mint a vízsebesség. A tapasztalatok szerint a 0,2 m/s alatt rendszerint túl gyors lesz az átmenet. Ennek következtében a mért vízhozam pontatlanná válik, és ez nem feltétlenül derül ki a mért eredményből.
2. A meder növényzettel benőtt: a vízi növényzetről az ultrahang visszaverődik, így a mérés kivitelezése meghiúsul. Ha a mérőszemély ezt nem ismeri fel a mérés közben, akkor nem valós értéket mér az eszköz, ha egyáltalán ad eredményt.
3. A meder mérete, azaz mélysége és/vagy szélessége kicsi az ADCP műszer méretéhez képest, így a mért cellák száma túl kevés, illetve a part nem közelíthető meg kellőképpen a műszerrel annak fizikai méretei miatt. Ekkor a mért és az interpolálással számított vízhozamok aránya kedvezőtlen lesz.

A forgószárnyas műszerrel végzett sebességmérés esetében tulajdonképpen fordulatszámot mérünk, de a fordulatszám és a vízsebesség összefüggése nem lineáris. A fordulatszám és a sebesség közötti összefüggést kalibrálással kell meghatározni. Az általánosan használt műszerek a fordulatszámmal arányos villamos jelet adnak, jellemzően fordulatonként egy impulzust. Méréskor ezeket az impulzusokat kell meghatározott ideig számlálni. Tehát a mérés pontosságának vizsgálatát a forgószárnyas műszeré mellett ki kell terjeszteni az impulzus-számláló pontosságának vizsgálatára is.

FORGÓSZÁRNYAS MŰSZEREK MÉRÉSI PONTOSSÁGÁT MEGHATÁROZÓ TÉNYEZŐK

A gyakorlati sebességmérések pontossága függ

- a kalibráció pontosságától (a felhasználó szempontjából objektív, szisztematikus hiba lehetősége),
- a műszer állapotától (a felhasználó szempontjából szubjektív hiba lehetősége),
- a műszer szöghelyzetétől (azaz attól, hogy a műszer tengelyének iránya milyen mértékben tér el az áramlás irányától - szubjektív hiba lehetősége),
- és a fordulatszámolás módjától és idejétől (a felhasználó szempontjából objektív, szisztematikus hiba lehetősége).

Kalibrálás során az állóvízbe merülő műszert ismert sebességgel mozgó kocsira rögzítve vonatják, miközben mérik a kocsi sebességét. Ez a sebesség felel meg a vízfolyás sebességének. A sebességet nem közvetlenül, hanem származtatott értéként képezik az időegység alatt megtett út mérésével. Ennek oka az, hogy közvetlen sebességmérőkhöz (mint pl. a lézeres sebességmérők) képest a távolság és az idő könnyebben, pontosabban mérhető. A fordulatszám és a sebesség közötti összefüggést két vagy három lineáris egyenlet paramétereivel adják meg. Ezek mellett még megadják a méréshatárokat, azaz a minimális és a maximális sebességhatárokat. Az alábbiakban a forgószárnyas műszerekkel, valamint a hozzájuk csatlakozó impulzus-számlálókkal kapcsolatos problémákkal, a mérések pontosságát befolyásoló tényezőkkel foglalkozunk, különös tekintettel a műszer indulási sebessége körüli kis (<0,2 m/s) sebességtartományra, mivel ebben a tartományban fordulatszám a sebesség változásával meredeken változik, így a mérések hibaérzékenysége a legnagyobb ebben a környezetben.

ELŐZMÉNYEK, SZEMELVÉNYEK A HAZAI KALIBRÁCIÓ TÖRTÉNETÉBŐL

A hazai szakirodalomban fellelhető adatok szerint már az 1800-as évek elején végeztek vízhozam-méréseket forgószárnyas műszerekkel (az első, hitelesnek tekinthető feljegyzések az 1920-as években születtek), és természetesen azonnal felmerült az említett összefüggés meghatározásának kérdése. Kezdetben az úgynevezett műszerállandók meghatározásának igénye adott feladathoz, egyedi mérésekhez kapcsolódott. A mérések mindig állóvízben, kötélre függesztett vagy a víz mellett kézi erővel vontatott műszerrel történtek. E területen – már csak a jól dokumentáltsága okán is – kiemelendő Horváth Ignácnak, a Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanárának tevékenysége, aki az 1876. évi dunai árvíz tetőző vízhozamának méréséhez használt műszerek állandóit két helyen, a Császárfürdő egyik medencéjében, illetve a Soroksári Duna-ágban határozta meg, áthidaló kötélre függesztett műszerek vontatásával. (A mérési körülményeket *kézzel* részletesen leíró tanulmány megtalálható a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményében.) Meg kell még említeni, hogy a Magyar Mérnök- és Építész Egyletben előterjesztette „...indítványát

illetve tervét, hogy a Soroksári Duna-ágban ezen állandó tényezők meghatározására rendszeres kísérleti állomás szerveztessék, ahol az országban, és esetleg külföldön működő vízsebességmérők állandó tényezői időről időre meghatározatnának...” - idézi Dr. Stelczer Károly.

Az OVF elődjének tekinthető Vízirajzi Osztály 1894-ben a Millér csatornán forgószárnyas műszerek állandóinak meghatározására mérőállomást létesített. A mérendő műszert a csatorna partján 150 m hosszú sín páron kézi erővel mozgatott kocsin rögzítették.

A közelmúltból meg kell említeni a Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóságnak a Vadása tavon létesített mérőállomását. Itt a mérendő műszert a tavon átfeszített kötélre függesztették, a vontatást villanymotor alkalmazásával oldották meg.

Az 1930-as évek lején építették meg a Kvassay zsilip szomszédságában, a szabad téren, 100 méter hosszú medence fölött sín pályán, szintén kézi erővel mozgatható kocsival kialakított kalibráló berendezést, ami 1985-ig működött.

1985-ben kezdte meg működését a VITUKI területén az első, fedett területen erre a célra létesített mérőállomás. A villamos hajtásszabályozás lehetővé tette a kalibrálandó műszer sebességének beállítását, és az egyenletes sebesség tartását. Fő problémája volt, hogy a 60 méter hosszú medencének nagyobb sebességnél csak szűk tartományát lehetett mérésre használni. Ennek oka az volt, hogy a hajtómű a mérőkocsi kerekeit forgatta, melyek a sín pályán megpöröghettek, ezért a kocsi indításakor a sebességet csak lassan, fokozatosan lehetett növelni. A hosszú indítási tartomány miatt a maximális, 3 m/s-os sebesség mellett csak kb. 20 méter volt az aktív, mérésre igénybe vehető szakasz.

A JELENLEG MŰKÖDŐ KALIBRÁLÓ BERENDEZÉS, ÉS A HAZAI KALIBRÁCIÓS ELJÁRÁS ISMERTETÉSE

2010-ben helyezték üzembe az említett, mai napig működő, erre a célra tervezett különálló épületben kialakított berendezést. A kocsi szervo-rendszerű hajtóműve fogaskerék-fogasléc segítségével kényszerkapcsolatban van a sín pályával, így a kipörgés-megcsúszás problémája már nem okoz gondot. A kocsi vezérlése és a mérési adatok gyűjtése számítógép segítségével történik, amely ellátja vezérlés és az adatgyűjtés feladatát. A Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság kezelésében lévő kalibráló berendezés az alábbi képen látható.

A berendezés főbb jellemzői:

- legkisebb sebesség: 0,03 m/s
- legnagyobb sebesség: 5 m/s
- vízmedence hossza: 60 m
- nedvesített keresztmetszet: 2 x 2 m
- útmérés pontossága: ± 1 mm
- időmérés pontossága: 0,001 s



1. ábra Kalibrációs Labor és Vízsebességmérő Csatorna mérőberendezése

A mérőkocsi névleges sebessége számítógép segítségével adható meg, és ugyanez a számítógép gyűjti a mérési adatokat. A számítógép és a kocsi közötti adatátvitel rádiós kapcsolat segítségével valósul meg.

Az adatok kiértékelésekor sebességként nem a beállított névleges értékeket használjuk, hanem a pontosnak elfogadott értéként a kocsin elhelyezett út- és időmérő szolgáltatott adatokat vesszük figyelembe, ezekből számítjuk a valós sebességet. A sebesség és a fordulatszám közötti összefüggést nem a gyakorlatban alkalmazott módon, tehát nem egy adott időtartam alatt mért fordulatok számának segítségével határozzuk meg. Ugyanis a pontosabb mérés érdekében adott fordulatok számához tartozó időt határozzuk meg, ebből számítjuk az időegységre vonatkoztatott fordulatszámot, ami értelemszerűen tört érték is lehet. A berendezés fordulatonként meghatározza a mérőkocsi által megtett utat és az ehhez tartozó időt, így mód van fordulatok szórásának vizsgálatára, ami jó alapot ad a műszer állapotának megítéléséhez.

A forgószárnyas sebességmérők kalibrálásának javasolt körülményeit az ISO 3455 számú nemzetközi szabvány tartalmazza.

A kalibráció pontossága az alábbi paramétereiktől függ:

- vontatási sebesség (a mérőkocsi sebessége) mérésének pontossága,
- mérőcsatorna geometriai méretei (hosszúság, nedvesített keresztmetszet),
- sebességmérési pontok száma.

A vontatási sebesség származtatott érték, és meghatározásának pontossága a mérés ideje alatt megtett út és az ennek az útnak a megtétele során eltelt idő mérésének pontosságától függ. A szabvány mindkét paraméter mérésének pontosságára 0,1 % értéket ad meg felső határértékként. Ezt a feltételt a hazai berendezés teljesíti. Példaként, figyelembe véve, hogy az elmondottak szerint 30 impulzushoz tartozó úthosszat és időtartamot mérünk, például a leggyakrabban használt 0,25 m menetemelkedésű vitorla esetében, feltételezve, hogy 4 m/s legnagyobb sebesség esetén a csúszás értéke elhanyagolható (ez a gyakorlatban nincs így, tehát az effektív mérési idő a feltételezettnél hosszabb), a teljes mérési idő $30/4$, azaz 7,5 s, az időmérés pontosságának kritériuma 0,075 s. Tehát az időmérés pontossága egy nagyság-

renddel jobb a javasoltnál. Az úthossz és az idő mérésének pontosságát az Országos Mérésügyi Hivatal (OMH) által hitelesített frekvencia-etalon és hosszúságmérő, mint használati etalon, garantálja. Így a mér értékek pontosságának ellenőrzése visszavezethető a nemzeti etalonokra.

A mérőcsatorna geometriai méreteinek vizsgálatához a szabvány szintén tartalmaz irányértékeket. A csatorna minimális hosszát a legnagyobb sebesség mérési ideje határozza meg, persze ez a hossz az aktív mérési szakaszra vonatkozik, nem tartalmazza a gyorsítás és a fékezés időtartamát. Kiindulva az előzőleg ismertetett körülményeket, 4 m/s sebesség, illetőleg 7,5 s mérési időtartam mellett a kocsi által megtett út értelemszerűen $4 \cdot 7,5 = 30$ m. Figyelembe véve a gyorsítási és fékezési út hosszát, ami berendezésünknel paraméterezhető, és jelenleg kb. 6 m, a 60 méteres csatornahossz bőven megfelel a kívánalomnak.

A szabvány a csatorna keresztmetszetére vonatkozóan is tartalmaz iránymutatást. A csatorna falhatását (tehát azt, hogy a mérés pontosságát milyen mértékben befolyásolja a medence oldalfalainak és fenekének közelsége) Epper vizsgálta. Erre hivatkozva a szabvány szerint a kritikus sebesség határértéke az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$v = \sqrt{g * d}$$

ahol g a nehézségi gyorsulás, d pedig a vízmélység. Esetünkben

$$v = \sqrt{9,81 * 2} = 4,43 \text{ m/s}$$

Ezeket a vitorlákat a berendezés kímélése céljából általában 4 m/s sebességhatárig kalibráljuk, mivel ennél nagyobb értékek a mindennapi gyakorlatban nem fordulnak elő, de külön kérésre mérünk 5 m/s sebesség mellett is.

A kalibráláshoz szükséges méréspontok számát illetően a szabvány kissé ködösen fogalmaz, amikor azt mondja, hogy legalább annyi ponton, azaz sebesség mellett kell mérni, hogy a kalibráció kellő pontosságot eredményezzen. Ezen túlmenően gyakorlati tapasztalatokra hivatkozva azt ajánlja, hogy

- 2 m/s sebességhatárig 10-12 ponton,
- 5 m/s sebességhatárig 12-16 ponton,
- 10 m/s sebességhatárig 16-20 ponton

történjék mérés.

A hazai gyakorlatban egy műszer, pontosabban egy vitorla kalibrálása 16 különböző sebesség beállításával történik. Ez egyezik a szabvány ajánlásával, mivel maximum 5 m/s sebességhatárig tudunk kalibrálni. Viszont a 2 m/s sebességhatárig alkalmazható műszereket is ugyancsak 16 ponton kalibrálják. Mindegyik pontban 30 fordulat megtételéhez szükséges időt és távolságot (fordulathossz) mérnek.

A sebességtartomány függ a műszer állapotától és a vitorla menetemelkedésétől. Például a 0,05 m menetemelkedésű kis műszer esetében a maximális sebesség 1 m/s, míg a 0,25 m menetemelkedésű vitorla esetében ez az érték 5 m/s. A műszer állapota az alsó mérés határt jelentősen befolyásolhatja. Ennek a kérdésnek nagy jelentőséget tulajdonítunk, ezért az alábbiakban, a műszerek állapotát befolyásoló kezelési és karbantartási kérdések taglalásakor kiemelten foglalkozunk vele.

A MŰSZER ÁLLAPOTÁNAK HATÁSA A MÉRÉS PONTOSSÁGÁRA¹

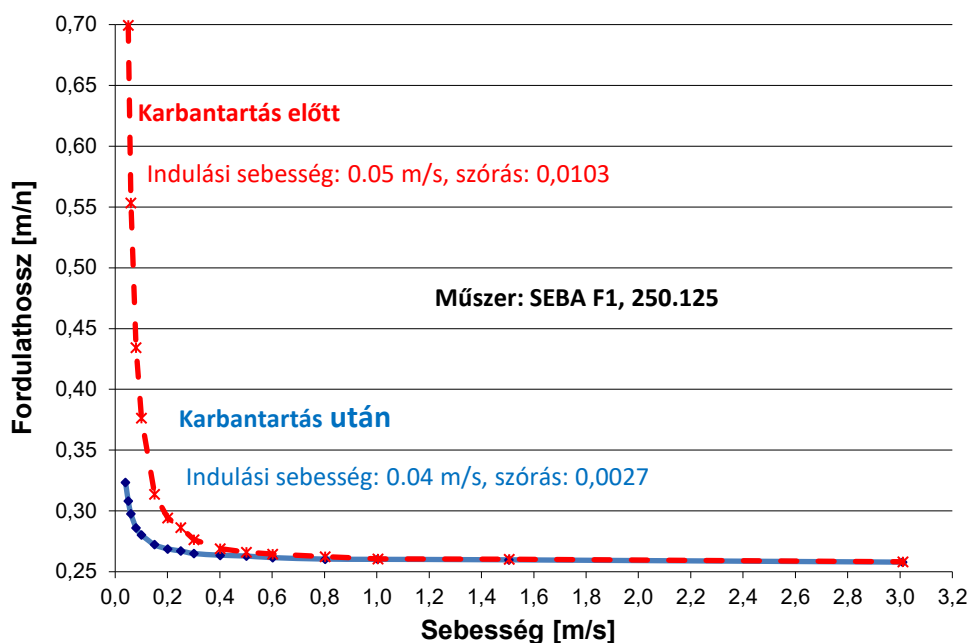
A műszerek állapotát kezelésük, karbantartásuk határozza meg. A Mérőcsatornába kalibrálási céllal behozott vagy beküldött forgószárnyas vízsebességmérő műszerek átadáskori állapota a tapasztalatok szerint erősen változó, sok esetben kifejezetten rossz, így az érintett műszerek nem csak kalibrálásra, de mérésre sem alkalmasak. Ilyen állapotú műszerrel nem lehet pontosan mérni. Ezért szükségesnek látszik a műszerek kezelésével, karbantartásával kapcsolatos ismereteket, igényeket megfogalmazni, illetőleg az ME-10-231-16:2009 Műszaki Előírás 3.2 *A mérőeszközök kezelése és karbantartása* című pontot kiegészíteni.

Legjellemzőbb probléma a tisztítás, karbantartás hiánya. Minden mérési nap előtt, még a telephelyen meg kell győződni arról, hogy a műszer mérésre alkalmas. Ha a műszert egy hónapnál régebben használták, meg kell vizsgálni az olajsintet a vitorlában, és szükség esetén a hiányzó olajat pótolni kell. Nagyon fontos az olaj minősége, valamint a csapágak és környezetük, tehát a szárny üregének tisztasága. Az olaj minőségével kapcsolatosan gondot okozhat, hogy a túlságosan régi olaj besűrűsödik, kenőképesége csökken, és a már említett alkatrészek súrlódását, gördülését nemhogy segítené, hanem inkább akadályozza. Három évesnél régebbi olajt ne használjunk. A beszáradt, besűrűsödött olajat el kell távolítani, a csapágakat és a szárny üregét zsíroló folyadékkal (célszerűen pl. alkohollal vagy foltbenzinnel) ki kell tisztítani. A foltbenzin előnye viszonylagos olcsósága, nem tartalmaz vizet (mint pl. a denaturált szesz) és a tengely súrlódását, a csapágak gördülését akadályozó, a felületen megtapadó adalék anyagot. Kalibráláskor ez a tisztítás, karbantartás mindig megtörténik, ennek haszna vetekszik magával a kalibráció hasznával.

Alább egy jó állapotú műszer sebesség-fordulathossz diagramja szemlélteti a karbantartás (tisztítás, feltöltés friss olajjal) hatását. Látható az érzékenység különbsége a kis sebességű tartományban, az indulási sebesség és a szórás közötti eltérés. A karbantartást követő kalibráláskor a nagyobb érzékenységű állapotban mért értékek alapján határozzák meg a gyakorlatban használatos fordulatszám-sebesség összefüggés paramétereit. Ezekkel a paraméterekkel számolva a későbbiekben, nem jól karbantartott állapotú műszerrel végzett mérések esetén a kissebességű tartományban, hiba 50%-ot is elérheti. Látható, hogy a sebesség növekedésével a különbség csökken, és az adott műszer esetében kb. 0,5 m/s sebesség fölötti tartományban már nincs különbség. Az ábra még valami fontosat is mutat. Azt, hogy kis sebességek esetén, főleg az indulást követően a fordulathossz meredeken változik a sebesség függvényében. A meredekség mértéke függ a műszer konstrukciójától, de főleg a vitorla átmérőjétől és menetemelkedésének mértékétől.

Másik, jellegzetes probléma műszerek tárolása, pontosabban a tárolására és szállítására alkalmazott hordláda. Erre a célra sok esetben nem a műszereket gyártó által készített hordládát használják, amiben a műszer és tartozékai nem rögzülnek, így szállítás közben elmozdulhatnak, rossz esetben a műszer tengelye és/vagy vitorlája megsérülhet, illetőleg a szabadon álló vitorla üregébe piszok kerülhet, ami bekerülve a csapágakba, vitorlacserre esetén nagy hibát okozhat.

¹ Az alábbi vizsgálatokat az tette lehetővé, hogy a kalibráló berendezés a mérés során megjegyzi minden egyes fordulathossz megtételéhez tartozó utat és időtartamot, és ezeket az adatokat a mérés végén szöveges formátumban fájlba írja, ami a további vizsgálatokhoz elmenthető.



2. ábra Példa forgószárnyas műszer érzékenysége karbantartás előtt/után

Meg kell jegyezni, hogy a vonatkozó ME-10-231-16:2009 műszaki előírásban szerepel egy erre a kérdésre vonatkozó mondat: „A műszert csak a saját hordlájában elhelyezve szabad szállítani”, ami ugyan nem ad semmiféle előírást a hordláda minőségére vonatkozóan. A hordláda belseje általában nem tiszta, a benne lévő vitorlák üregébe szennyeződés (pl. a műanyag bélés idővel „előregszik”, morzsolódik, és a leváló szemcsék bekerülhetnek a vitorlák üregébe), és ezeket a szennyeződések nehéz az üregből eltávolítani, így vitorla cseréje esetén szennyező részecskék kerülhetnek a csapágyakba, ami (pontosabban a fellépő forgatónyomaték-növekedésének igénye) nehezíti, akadályozza azok forgását.

A karbantartáshoz szorosan kapcsolódik a kalibrálási gyakoriság kérdése. A WMO Hidrológiai szekciója a Műszaki szabályozások témakörében éves gyakoriságot javasol. A Magyarországon is honosított ENV 14028 európai szabvány 2 évet enged meg. A hazai gyakorlatban a vízügyi igazgatóságok általában két évenként kalibráltatnak. Tapasztalatok szerint a kalibrálás járulékos haszna a vele járó karbantartás. A kalibrálási mérések megkezdése előtt ugyanis megtörténik a műszerek tisztítása, feltöltése friss olajjal. Fontos, hogy a kalibrálásakor használt olaj azonos legyen a műszer tulajdonosa által a gyakorlatban használttal.

FORGÓSZÁRNYAS MŰSZEREK INDULÁSI SEBESSÉGÉNEK PROBLÉMÁI

Az indulási sebesség körüli bizonytalanság befolyásolhatja egy adott műszer legkisebb sebesség esetén mért értékének pontosságát. Az indulási sebesség definiálása és meghatározása nem egyszerű feladat. A releváns szakirodalomban nem található egységesnek elfogadott definíció. Egyes gyártók megadják az egyes, különböző átmérőjű és menetemelkedésű vitorlák méréstartományát, de a mérőcsatornában végzett kalibrálások tapasztalatai szerint az alsó méréshatár a gyakorlatban nem érhető el megbízhatóan. Feltételezhetően nem véletlen, hogy ugyan ezek a gyártók a külön megrendelésre végzett kalibrálás eredményeit tartalmazó tanúsítványokon nem adják meg az alsó méréshatárt. Míg a fordulatszám-sebesség összefüggést lineáris több - általában két vagy három - lineáris egyenlettel, illetve azok paramétereivel határozzák meg, megadva a töréspontok által közrefogott mérési/érvényességi tartományok határértékeit, addig az alsó méréstartomány esetében nem adják meg az érvény-

nyesség alsó határértékét, mindössze azt jelzik, hogy a megadott paraméterek meghatározott fordulatszámnál kisebb tartományra érvényesek. Ez valószínűleg nem véletlen, hiszen az indulási sebesség nagymértékben függ a műszer pillanatnyi állapotától, így a felhasználóra bízzák az alsó sebességhatár elfogadását.

Fontos megemlíteni, hogy az alsó határ nem azt a sebességet jelenti, aminél a vitorla megmozdul, forogni kezd. Ennél a sebességnél az egyes fordulatok közötti út és időtartam általában nagy szórást mutat. A mérőcsatornában végzett kalibrálások tapasztalata szerint a gyártó adatlapján szereplő alsó sebességhatáron történő mérés még friss olajjal feltöltött, jól karbantartott műszer esetében sem érhető el. A hazai kalibrálási bizonyítványban megadnak alsó érvényességi tartományt. Az alsó sebességhatárt a fordulatonként mért illetve számított szóráshoz kötik. Kalibráláskor a szórás határértékét önkényesen 0,01-ben határozzák meg.

A szórás mértékének jellemzésére a standard deviáció képletet használjuk, ennek megfelelője az EXCEL-ben a SZÓR.S függvény:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N}}$$

ahol

σ a szórás mértéke

X a mért érték

μ az összes mért érték átlaga

N a mért értékek száma

Meg kell jegyezni, hogy kalibráláskor 30 fordulat megtételéhez szükséges utat és időt mérnek. A legkisebb, mérhetőnek elfogadott, azaz az indulásiak tekintett sebesség esetén, mivel a minta, azaz a mérések száma 40 s-ig tartó mérés esetében kisebb, mint a kalibráláskor mért érték, ezért a legnagyobb, tehát a legrosszabb esetet reprezentáló 250 mm menetemelkedésű vitorla esetében a szórás értéke elérheti a 0,02 értéket. Az induláshoz közeli sebességtartományban a fordulathossz a sebesség függvényében gyorsan csökken, így a szórás mértéke a sebesség, illetve a fordulatszám növekedésével rohamosan csökken. Ezt illusztrálja **A műszer állapotának hatása a méréspontosságára** című pontban bemutatott, a karbantartás fontosságát érzékeltető 2. ábra. Ebben számszerű adatok demonstrálják az indulási sebesség alakulását és a szórás értékének gyors csökkenését a sebesség függvényében.

Az alábbi táblázatokban összefoglaljuk az alsó méréshatárra, azaz az indulási sebességre vonatkozóan a gyártók által megadott, valamint a Mérőcsatornában mért értékeket.

		Gyártó	Sinus Kft	SEBA	OTT	Sinus Kft	SEBA	OTT
		Típus	AVM 3	M1	C2	AVM 3	M1	C2
Vitorla anyaga	Átmérő [mm]:	Menetemelkedés [mm]	Gyári adatok [m/s]			Kalibráló labor tapasztalati adatai [m/s]		
Alumínium	30	50		0,03	0,05		0,07	0,1
	50	50		0,025	0,025		0,04	0,05
	30	100		0,03	0,055		0,08	0,125
	50	100		0,025	0,03		0,025	0,08
	50	250		0,03	0,035		0,08	0,1
	50	500		0,05	0,06		0,1	0,2
Műanyag	30	50					0,08	
	50	50					0,05	
	50	100					0,07	

1. táblázat Kisméretű forgószárnyas vízsebességmérők indulási sebesség-adatai

		Gyártó	SEBA	OTT	SEBA	OTT
		Típus	F1	C31	F1	C31
Vitorla anyaga	Átmérő [mm]	Menet-emelkedés [mm]	Gyári adatok [m/s]		Kalibráló labor tapasztalati adatai [m/s]	
Alumínium	125	250	0,025*		0,05	
	125	125			0,04	
	80	125			0,06	
	80	250			0,06	
	80	500			0,1	
	100	250		0,035		0,05
	100	200				
Bronz	125	250		0,025		0,05
	125	500		0,04		0,06
	100	125		0,03		0,05
	100	250		0,035		0,035
	80	125		0,04		0,06
Műanyag	125	250		0,035		0,035
	125	500		0,06		0,06
	80	300			0,08	
	125	300			0,07	

2. táblázat Univerzális (nagy méretű) forgószárnyas vízsebességmérők indulási sebességadatai

*Megjegyzés: a SEBA csak ezt az egy értéket adja meg vitorlamérettől függetlenül

FORGÓSZÁRNYAS VÍZSEBESSÉGMÉRŐ MŰSZEREK SZÖGHELYZETÉNEK VIZSGÁLATA

A vizsgálat célja volt információt szerezni arról, hogy milyen mértékben befolyásolja a sebességmérés pontosságát a műszer szöghelyzete, azaz mekkora pontatlanságot okoz, ha a műszer tengelye nem párhuzamos a vízfolyás irányával, hanem ahhoz képest elfordul, azaz szöget zár be.

A méréseket a vízrajzi gyakorlatban legtöbbször használt műszerekkel végeztük, négy szöghelyzetben: az egyenes állás mellett (amikor a műszer tengelye az áramlás irányába mutat) 5, 10 és 20 fokos eltérés mellett. A vizsgált műszerek:

Gyártó	Műszertest típusa	Vitorla átmérője [mm]	Vitorla meredeksége [mm]
SEBA Hydrometrie	F1	80	125
SEBA Hydrometrie	F1	125	125
SEBA Hydrometrie	F1	125	250
OTT Hydrometrie	C31	125	250
SEBA Hydrometrie	M1	50	50
SEBA Hydrometrie	M1	50	250

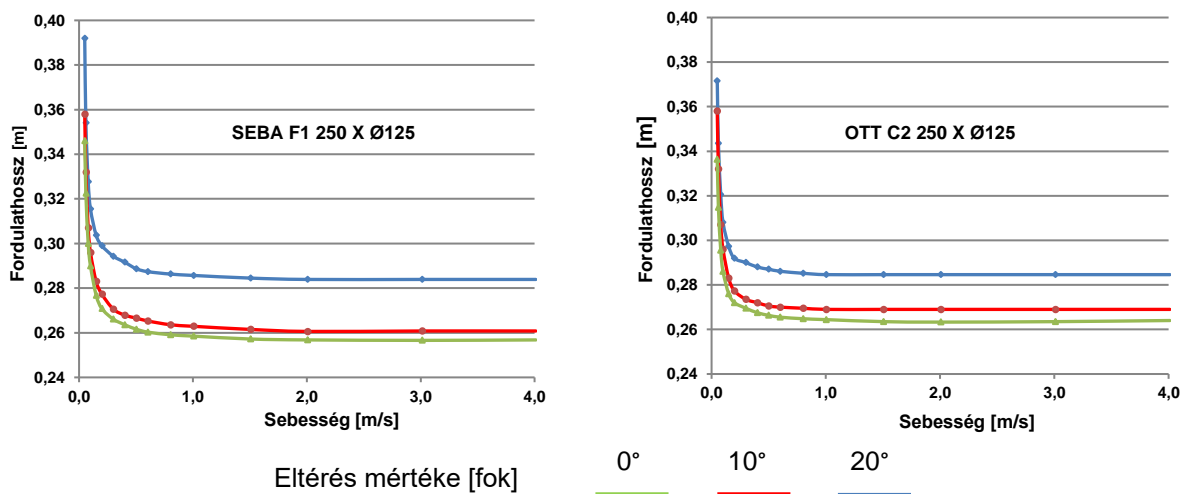
A mérésekhez a szöghelyzeteket az alábbi „segédeszköz” segítségével állítottuk be.



3. ábra Műszer szöghelyzetének beállítása

(A műszert rögzítő rúdra kartonlapot rögzítettünk, amin előzőleg bejelöltük a szögeket. A jelölések segítségével állítottuk be a műszer aktuális szög-helyzetét.)

A mérések részletes eredményeinek illusztrálása képpen az alábbi, 4. ábrán két műszer (SEBA F1 és OTT C2 típus, vitorla menetemelkedés 250 mm, átmérő 125 mm) esetében bemutatjuk a fordulathosszak változását a szöghelyzet függvényében.



4. ábra Fordulathosszak a műszer szöghelyzetének függvényében

A méréseket a kalibrációnál megszokott módon végeztük, tehát a tényleges áramlási sebességhez, azaz a műszer vontatási sebességéhez a mérés pontossága érdekében a pontosan mérhető fordulathosszakot rendeltük, és az egyenes állás esetében a fordulatszámokat az áramlási sebesség és a fordulathossz, azaz az egy fordulat megtételéhez szükséges úthossz segítségével számítottuk. Az egyenes, azaz normálisnak tekintett helyzetben mért adatok segítségével a szokásos módon meghatároztuk a műszer kalibrációs állandóit. Az elfordított helyzetben mérhető sebességeket a tényleges sebesség és az ebbe a helyzetben mért fordulathosszak segítségével számítottuk, az egyenes helyzetben meghatározott kalibrációs ada-

tok figyelembevételével. Az eredmények, azaz a sebességeltérés, és tulajdonképpeni hiba mértékét megadó, az adott szöghelyzet mellett számított értéknek a valódi sebességhez viszonyított relatív eltérése a táblázat utolsó két oszlopában, valamint a táblázatok adatait megjelenítő diagramokban láthatók. Meg kell jegyezni, hogy 5 fokos eltérés esetén az azonos sebességek mellett mért, illetve számított értékek mérési hibahatáron belül nem tértek el a normális, egyenes helyzetben mért értékektől, ezért ezeket a mérési eredményeket nem ábrázoltuk.

Az alábbi táblázatban a könnyebb áttekinthetőség érdekében műszertípusonként és vitorlaparaméterenként összefoglaltuk a 16 különböző sebességgel, a műszerek tengelyének 5 és 10 fokos eltérése mellett végzett mérések eredményeként nyert, illetve számított átlagolt eltéréseket a névleges sebességekre vonatkoztatva.

Műszer gyártó, típus	OTT, C31	SEBA, F1	SEBA, F1	SEBA, F1	SEBA, M1	SEBA, M1
Vitorla menet/átmérő [mm]	250/125	250/125	125/125	80/125	50/50	100/50
Méréstartomány [m/s]	0,05-4	0,05-4	0,04-3	0,05-3	0,04-1,2	0,08-4
5°-os szög, átlagos eltérés [%]	-2,48	-1,86	-3,94	-2,26	-3,32	-4,17
10°-os szög, átlagos eltérés [%]	-6,78	-8,83	-7,77	-6,69	-7,07	-6,33

4. táblázat Különböző műszerekkel, eltérő szöghelyzet mellett mért sebességértékek összehasonlítása

A következők kézenfekvők:

- 5 fokos irány-eltérésig a szöghelyzet nem terheli a mérések pontosságát,
- 5 fokosnál nagyobb irányeltérés a hiba mértéke a szög nagyobbodásával nő,
- a 10 illetve 20 fokos eltérések esetén mért adatok összehasonlításából látszik, hogy az eltérés mértékét csak kis mértékben befolyásolja a műszer típusa, gyártója, a vitorla tömege illetve anyaga. Az OTT C31 típusú műszer vitorlájának anyaga bronz, a többi könnyűfém (ötvözött alumínium). Ez utóbbiak fajlagosan könnyebbek. Nem lehetett egyértelmű összefüggést találni a vitorlák jellemzői és az eltérés mértéke között.

A tanulság egyértelmű és triviális: méréskor ügyelni kell a műszer helyzetére. Az 5 fokos irányeltérés szemmel már jól érzékelhető, így egyetlen kritériumot lehet megfogalmazni: méréskor a műszert az áramlás irányában kell tartani. Ez szondarudas mérés esetén könnyen teljesíthető, már ha nincs valami, az áramlás irányát a mérés helyén befolyásoló tényező, pl. vízfelszín alatti homokpad. Ez a kérdés inkább a mérőszelvény helyének megválasztására figyelmeztet. Súlyal történő mérés esetén fel kell tételezni, hogy a műszer automatikusan beáll a helyes irányba.

Megjegyzés: tisztességes gyártó adatlapján megadja a méréskor megengedhető szögeltérés határértékét, amit az OTT Hydrometrie GmbH 5 fokban határoz meg. Méréseink ezt az adatot megerősítik.

FORGÓSZÁRNYAS VÍZSEBESSÉGMÉRŐ MŰSZEREK MÉRÉSI PONTOSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Vizsgálatainkat az indulási sebességhez közeli tartományra (<0,3 m/s) korlátoztuk, mivel ez a tartomány a legérzékenyebb, azaz ebben a tartományban legnagyobb a fordulatszám-sebesség összefüggés gradiensének változása (lásd 2. ábrát).

Vizsgálatainkhoz feltételeztük, hogy a műszer jól karbantartott, jó állapotban van, és a műszer tengelye párhuzamos az áramlás irányával, azaz a szöghiba kizárható, valamint a kalibráció pontosnak tekintethető. Tehát a szubjektív hiba lehetősége kizárható. Ily módon a mérési pontosság vizsgálatát leszűkítettük a fordulatszám meghatározásával kapcsolatos hibalehetőségek és azok hatásának vizsgálatára.

A fordulatszám, pontosabban a mérés időtartama alatti fordulatok számának meghatározására két lehetőség van:

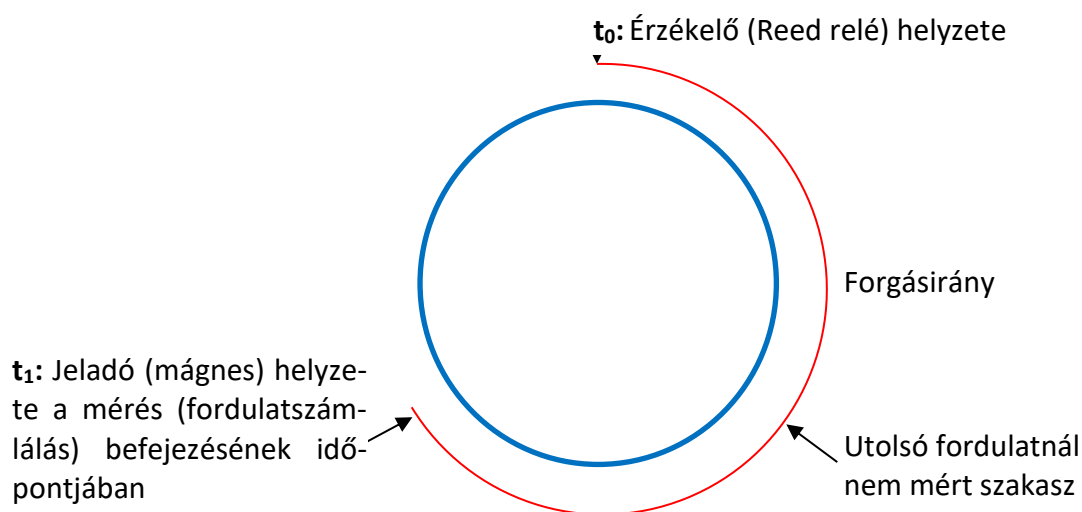
- meghatározott ideig tartó számlálás,
- meghatározott fordulatszám megtételéhez szükséges idő mérése.

Fordulatszámolás meghatározott ideig

Megvizsgáltuk, hogy a számlálás időtartama milyen mértékben befolyásolja a mérés pontosságát. Ezekre a vizsgálatokra az készített, hogy kis sebességek esetében, alacsony fordulatszám mellett problémát okoz az értelemszerűen egész fordulatok számának adott időtartamig, a hazai gyakorlat szerint 40 s-ig tartó meghatározása. Az indulási sebesség környékén az általános célú, 250 mm menetemelkedésű nagy műszerek jellemzően 7-8-at fordulnak 40 s alatt, így a két fordulat közötti időben jelentkező veszteség komoly hibát okozhat.

A manapság gyártott, illetve gyakorlatban alkalmazott forgószárnyas vízsebességmérőknél a tengellyel együtt forgó mágnes a jeladó, az érzékelő pedig Reed relé, aminek érintkezői mágneses tér hatására záródnak.

A helyzetet az alábbi ábra szemlélteti:

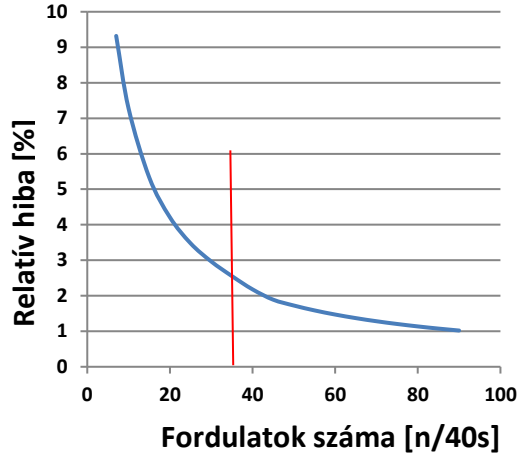
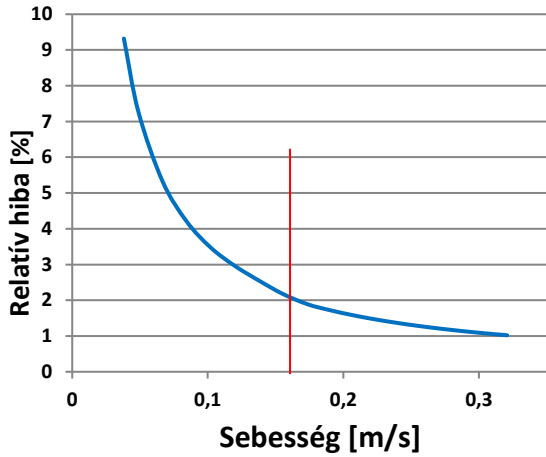


5. ábra A számlálás vége előtt létrejövő veszteség szemléltetése

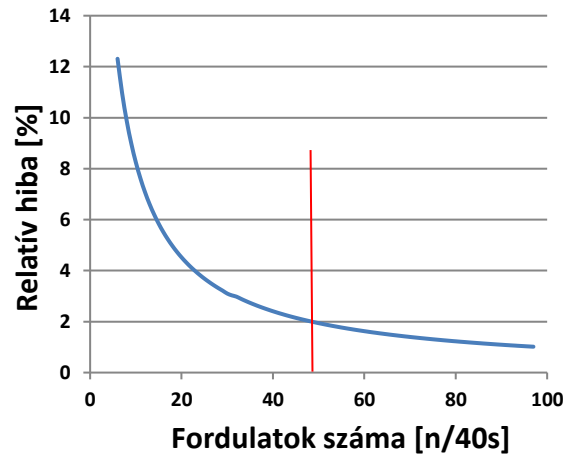
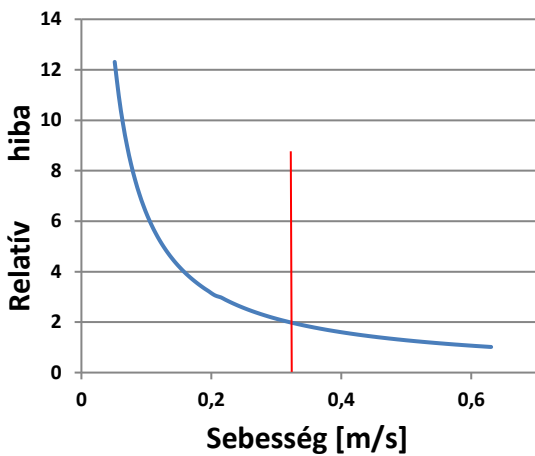
Látható, hogy a t_1 időpont helyzete, azaz az utolsó, még mért t_0 fordulattól eltelt idő bizonytalan.

A mérőcsatornában, sebességek mellett (ez esetekben 0,3 m/s-nél kisebb tartományban), kifogástalan állapotú, új csapágyakkal felszerelt, friss, a SEBA cég által szállított olajjal feltöltött SEBA F1 típusú műszerrel, 125 és 250 mm menetemelkedésű, 125 mm átmérőjű vitorlával, valamint SEBA M1 típusú kisméretű műszerrel, 50 mm menetemelkedésű és 50 mm átmérőjű vitorlával vizsgáltuk a mérés időtartamának pontosságra gyakorolt hatását. A műszereket a mérések előtt a mérőcsatornában kalibráltuk. A fordulatszámot nem meghatározott ideig tartó számlálással, hanem adott fordulatszám (esetünkben 30 fordulat) eléréséhez

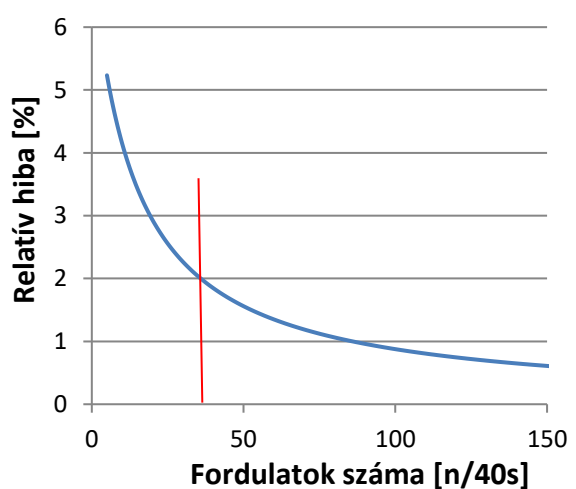
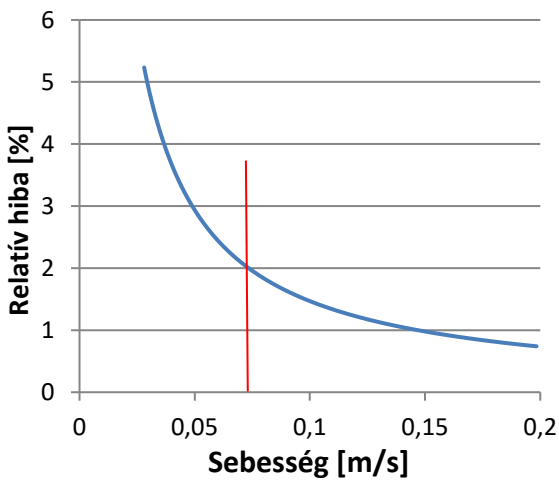
szükséges idő mérésével határoztuk meg. Az eredményeket az alábbi diagramok szemléltetik, ábrázolva a két egymást követő fordulat megtétele között előálló hiba maximális mértékét a sebesség, valamint a 40 s számlálási időtartamra vonatkoztatott fordulatszám függvényében. Ezeknek a méréseknek a segítségével határoztuk meg az **elméletileg várható** maximális hiba mértékét.



6. ábra 125 mm átmérőjű, 125 mm menetemelkedésű vitorla relatív hibája



7. ábra 125 mm átmérőjű, 250 mm menetemelkedésű vitorla relatív hibája



8. ábra 50 mm átmérőjű, 50 mm menetemelkedésű vitorla relatív hibája

Látható, hogy 250 mm menetemelkedésű vitorla esetében a relatív hiba kb. 0,34 m/s sebességnél éri el a gyakorlati mérések során elvárható 2 %-ot, 125 mm menetemelkedésű vitorlánál ez már 0,17 m/s sebességhatár körül következik be, míg ez a pontosság 50 mm menetemelkedésű vitorlánál már 0,07 m/s sebességhatár körül elérhető. A másik ábra azt szemlélteti, hogy mekkora lehet a 40 s alatt mértfordulatszámokhoz (impulzusszámokhoz) tartozó maximális hiba.

Ez a hiba rendszeres, értelemszerűen a mérési körülményekből következik. A hiba mindig a kisebb fordulatszámra vonatkozik, hiszen a számláló a következő impulzus beérkezéséig, azaz a következő teljes fordulat megtételéig ezt számot mutatja, és értéke nulla és az itt legrosszabb esetként ábrázolt érték között időben lineárisan növekszik két fordulat között. A fordulat helyett a mért villamos impulzusokban gondolkodva ez azt jelenti, hogy egy impulzusnak a számlálóba érkezésekor a hiba értéke nulla, és közvetlenül a következő impulzus beérkezésekor éri el a maximális értéket.

A következtetés kézenfekvő, triviális: a várható legnagyobb sebesség által behatárolt, legkisebb menetemelkedésű vitorlát kell használni, valamint figyelembe kell venni a vízfolyás keresztmetszelyét. Az érvényes szabályozás szerint a pontkiosztásnál két fontos szabályt kell érvényesíteni: a vitorlaátmérők nem fedhetik egymás, és a minimális mérési pontok száma 5, de törekedni kell a 10 elérésére. Ebből az következik, hogy 125 mm átmérőjű vitorla esetén (figyelembe véve a szerkezeti magasságot is) legalább $h > 5 \cdot 12,5 + 1,5 = 64$ cm vízmélységben használható a műszer, ugyanez 80 mm-es vitorla esetén $h > 41$ cm, 50 mm-es esetén $h > 26$ cm és 30 mm-es esetén $h > 15,5$ cm. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a fentieknél kisebb vízmélységben nem lehet mérni forgószárnyal, de akkor a mért pontok számát csökkenteni kell. Csökkenhet a vízhozammérés pontossága, ha a minimálisan 5 függélyből legalább 3-ban nincs meg az 5 pontos pontkiosztás.

Figyelembe véve a magyarországi vízfolyások sebességviszonyait, az 5. és 6. ábra alapján, valamint a műszerekre specifikált méréshatárookra, elmondható, hogy 250 mm menetemelkedésű vitorlát nem érdemes használni. (Pedig sajnos a hazai gyakorlatban ebből van a legtöbb.) Ennek felső méréshatára a gyártók szerint 10 m/s, míg a 125 mm menetemelkedésű vitorláé 5 m/s. Ez utóbbi vitorla az előbbinél értelemszerűen nagyobb forgatónyomatékokat produkál.

A maximális hibát csökkenteni lehet a mérési idő növelésével és az adott időtartamú mérések ismétlésével (feltételezve, hogy a detektált impulzusok a műszer véletlenszerű hibájából nem mindig ugyan abban az időpontban képződnek), de teljesen kiküszöbölni elméleti okból nem lehetséges, legfeljebb határértéket lehet hozzárendelni. Itt azért meg kell jegyezni, hogy a sebességmérés nem öncélú, a mérés legtöbb esetben a vízhozam meghatározását szolgálja.

A rögzített ideig tartó mérést terhelő rendszeres hibát el lehet kerülni oly módon, hogy a mérést nem meghatározott időtartamhoz, hanem meghatározott fordulatszámhoz, pontosabban a fordulatok számához tartozó idő mérésére vezetjük vissza. Ez történt régebben, amikor elektromos vagy elektromechanikus számlálók hiányában még 20 fordulatonként impulzust adó műszereket használtak, és a 20 fordulatonként megszólaló csengőhangok közötti időt stopperórával mérték. Ennek az eljárásnak nehézsége, hogy fordulatszámától függően különböző impulzusszámhoz tartozó időket kellene rendelni. Gondolni kell arra, hogy például egy 125 mm menetemelkedésű vitorla fordulatszáma a 0,04-0,05 m/s indulási sebesség környékén kb. 0,2 n/s, míg ugyan ez a vitorla 3 m/s sebességnél már közel 12-t fordul. Tehát

a fordulatszám-tartomány mintegy két nagyságrendet fog át. Így 40 s alatt az összes fordulatok száma 8, illetve 480. Ha el akarnánk érni az 6. ábra szerinti 1%-os relatív hibahatárt, akkor ehhez kb. 92 fordulatot kellene megszámlálni, aminek mérési ideje 460 s, azaz nem egészen 8 perc lenne.

Négy műszer esetében megvizsgáltuk, hogy kis sebességek esetén (0,05-0,2 m/s sebességtartományban) hogyan hat a mérés (fordulatszámilálás) időtartama a mérés pontosságára. Az eredményeket az alábbi táblázatokban foglaltuk össze. Azért választottuk a mérési tartomány kezdeti szakaszát, mert itt a legnagyobb az érzékenység, azaz a sebesség-fordulathossz összefüggés változási gradiense itt a legnagyobb (lásd a 2. ábrát), így az esetleges hibák itt jelentkeznek legnagyobb mértékben. A mérés időtartama és a mérési pontosság közötti összefüggést szemléltető táblázatok:

Mérés ideje	Névleges sebesség [m/s]											
	0,05		0,06		0,08		0,1		0,15		0,2	
	Mért seb.	Eltérés	Mért seb.	Eltérés	Mért seb.	Eltérés	Mért seb.	Eltérés	Mért seb.	Eltérés	Mért seb.	Eltérés
[s]	[m/s]	[%]	[m/s]	[%]	[m/s]	[%]	[m/s]	[%]	[m/s]	[%]	[m/s]	[%]
SEBA 250/125vitorlájú műszer												
20	0,039	-22,71	0,051	-15,72	0,076	-5,485	0,089	-11,27	0,139	-7,517	0,189	-5,393
30	0,047	-5,881	0,055	-9,042	0,080	-0,226	0,097	-2,851	0,147	-1,907	0,198	-1,186
40	0,045	-10,09	0,057	-5,536	0,076	-5,485	0,095	-4,954	0,145	-3,310	0,196	-2,238
60	0,047	-5,881	0,059	-2,030	0,080	-0,226	0,097	-2,851	0,147	-1,907	0,198	-1,186
80	0,048	-3,778	0,060	-0,277	0,079	-1,541	0,098	-1,799	0,148	-1,206	0,199	-0,660
120	0,047	-5,881	0,059	-2,030	0,078	-2,855	0,099	-0,747	0,147	-1,907	0,198	-1,186
OTT 250/125vitorlájú műszer												
20	0,050	-0,371	0,050	-16,98	0,075	-6,097	0,097	-3,041	0,138	-7,739	0,189	-5,496
30	0,046	-8,807	0,054	-9,946	0,079	-0,825	0,096	-3,867	0,147	-2,115	0,197	-1,278
40	0,050	-0,371	0,056	-6,431	0,075	-6,097	0,097	-3,041	0,145	-3,521	0,195	-2,333
60	0,050	-0,371	0,058	-2,916	0,079	-0,825	0,097	-3,041	0,147	-2,115	0,197	-1,278
80	0,050	-0,371	0,059	-1,159	0,078	-2,143	0,097	-3,041	0,148	-1,412	0,195	-2,333
120	0,050	-0,371	0,060	0,333	0,079	-0,825	0,097	-3,041	0,150	-0,252	0,197	-1,278
SEBA 125/125 vitorlájú műszer												
20	0,049	-2,98	0,056	-7,25	0,077	-3,645	0,099	-1,48	0,149	-0,985	0,199	-1,757
30	0,047	-5,842	0,056	-7,247	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,199	-1,757
40	0,049	-2,98	0,059	-1,294	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,201	-0,774
60	0,049	-2,984	0,058	-3,278	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,201	-0,665
80	0,049	-2,984	0,059	-1,294	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,202	-0,119
120	0,049	-2,984	0,058	-3,278	0,077	-3,348	0,099	-1,484	0,150	-0,552	0,202	-0,119
SEBA 50/50vitorlájú műszer												
20	0,049	-2,98	0,056	-7,25	0,077	-3,645	0,099	-1,48	0,149	-0,985	0,199	-1,757
30	0,047	-5,842	0,056	-7,247	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,199	-1,757
40	0,049	-2,98	0,059	-1,294	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,201	-0,774
60	0,049	-2,984	0,058	-3,278	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,201	-0,665
80	0,049	-2,984	0,059	-1,294	0,077	-3,645	0,099	-1,484	0,149	-0,985	0,202	-0,119
120	0,049	-2,984	0,058	-3,278	0,077	-3,348	0,099	-1,484	0,150	-0,552	0,202	-0,119

5. táblázat Mérési időtartam és a mérési pontosság közötti összefüggés

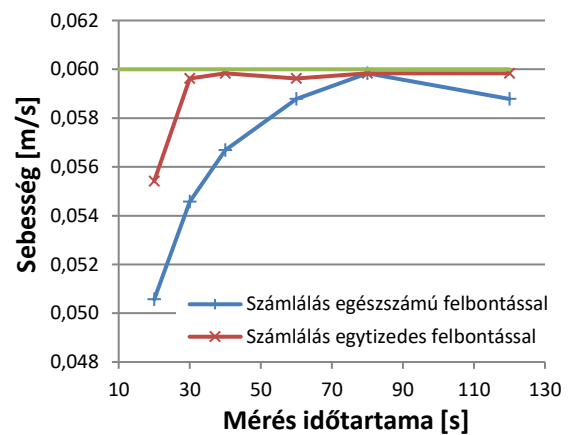
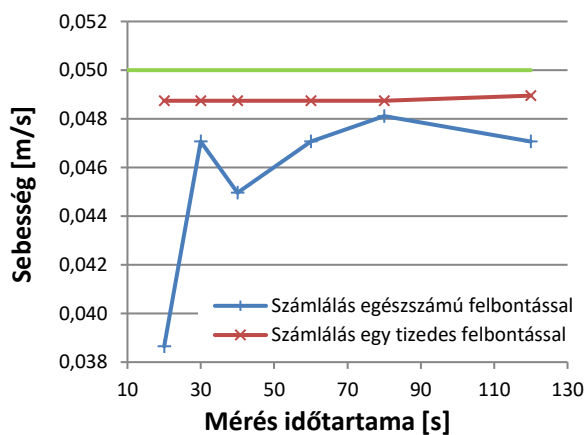
Az indulási sebesség, illetőleg a kis sebességek mérésének problémáit boncolgatva nem szabad elfelejtenünk arról, hogy a vízhozam meghatározása érdekében végzett sebességmérés

több függvényben és több mélységben, tehát több pontban mért vízsebesség-értékek felhasználásával történik, és nem feltételezhető, hogy minden egyes mérést az itt ismertett lehetséges maximális hiba terhel.

A fordulatszámológó felbontóképességének hatása a mérési pontosságra adott ideig tartó mérések esetén

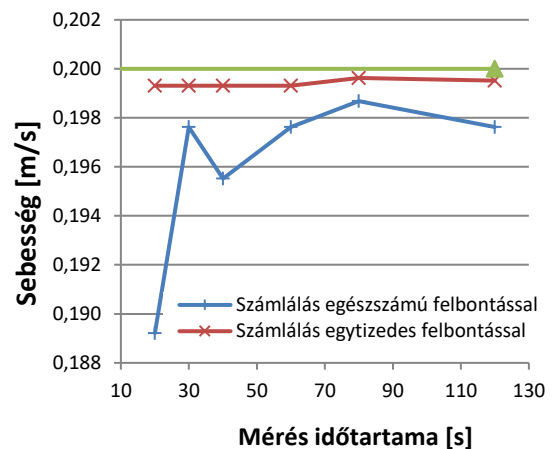
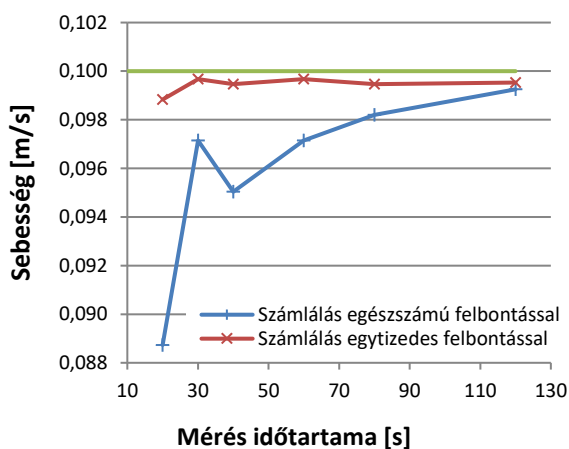
A mérés időtartamának hatását tovább boncolgatva megvizsgáltuk a számláló felbontóképességének hatását. A fejezet elején lévő vizsgálatoknál alapul vettük, hogy a számláló egész számú fordulatszámot jeleznek ki. Ezen túlmenően egy konkrét esetben, SEBA 250/125 mm menetemelkedésű vitorla adatait figyelembe véve megvizsgáltuk, hogy milyen mértékben javulna a helyzet, ha a számláló képesek lennének az egész számok megjelenítése mellett plusz egytizedes jegy pontosságú mérésekre, illetőleg az eredmény kijelzésére egy tizedes pontossággal. Azért választottuk ezt a vitorlát, mivel egyrészt ebből van a legtöbb a vízrajzi csoportok készletében, másrészt – mint azt már az előzőekben említettük – a használatos vitorlák közül adott sebesség mellett ennek fordulatszáma a legkisebb, így a lehetséges hibaérzékenysége is ennek a legnagyobb.

Az alábbi diagramok a különböző vízsebességek mellett végzett vizsgálatok eredményeit szemléltetik.



a) Névleges sebesség 0,05 m/s

b) Névleges sebesség 0,06 m/s



c) Névleges sebesség 0,1 m/s

d) Névleges sebesség 0,2 m/s

9. ábra Mérési pontosság vizsgálata a számláló kétféle felbontása mellett, különböző sebességek esetén

Mint látható, a mérés időtartamának meghosszabbítása nem eredményezi feltétlenül a mérés pontosságának javulását. Példa erre a 7. ábra (sebesség 0,08 m/s), amelyen látható, hogy 40 s mérés esetén is előállhat a számított sebesség kiugróan nagy eltérése a névlegeshez képest. A következtetés kézenfekvő: egytizedes kijelzést lehetővé tevő számlálót kell használni. A gyakorlatunkban alkalmazott számlálók nagy hányada (pl. SEBA Z4 és Z6, régebbi gyártású OTT számlálók, DATAQUA impulzuszámláló) ezt a feltételt nem teljesítik. Egyedül az OTT Hydrometry cég Z400 típusjelű számlálója képes ennek a feltételnek megfelelni.

A ME-10-231-16:2009 Műszaki Előírás a mérés időtartamára vonatkozóan egyetlen mondatot tartalmaz: „A mérés ideje egy-egy pontban nem lehet 40 s-nál rövidebb, 20 fordulatonként jelző műszer esetén a tényleges mérés kezdetétől legalább két jelzést kell megvárni (lásd még Muszkalai-Starosolszky: Vízhozammérési zsebkönyv). Az utóbbi követelmény értelmében mérés időigénye minimum 40 fordulat megtételéhez igazodna. WMO Technical Regulations című anyagában 30 s minimális mérési időt javasolnak. Ennek a követelménynek a hazai 40 s előírás megfelel.

Fordulatszámolás meghatározott fordulatszám eléréséig

Megvizsgáltuk a meghatározott fordulatszám eléréséhez tartozó idő mérésének opcióját, ami elvileg kiküszöböli az előző pontban tárgyalt számlálási hiba lehetőségét.

Az alábbi táblázatban bemutatjuk, hogyan alakul a mérési idő egy SEBA 250x125, 125x125 és 50x50 mm méretű vitorla esetében (menetemelkedés x átmérő), 10-20-30-40 fordulat megtételénél.

Számlálandó fordulatok száma												
Vitorla:	250x125				125x125				50x50			
Fordulat:	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
Sebesség [m/s]	Mérés időtartama [s]											
0,05	71,0	141,8	212,2	282,5	39,1	79,2	118,3	158,5	19,0	37,9	56,8	75,7
0,06	53,4	106,4	159,8	212,9	30,8	61,4	92,2	122,7	15,1	29,7	44,7	57,9
0,08	37,2	56,0	93,2	112,1	21,4	43,6	64,9	87,1	9,9	19,8	29,7	39,6
0,1	29,2	58,3	87,5	116,6	16,8	33,2	50,0	66,5	7,5	15,0	22,5	30,0
0,15	18,5	36,9	55,4	73,7	10,3	20,7	31,0	41,3	4,6	9,2	13,9	18,5
0,2	13,5	27,0	40,5	54,0	7,5	14,9	22,4	29,8	3,3	6,5	9,8	13,1

5. táblázat Meghatározott fordulatszámhoz tartozó időtartamok a sebesség függvényében

A vízrajzi mérésekhez általában használt számlálók (az OTT cég által gyártott, Z400 és a SEBA Z4 és Z6) képesek időmérési üzemmódra. Tehát eszköz oldalról nincs akadálya ennek a mérési módnak. Azonban az esetenként hosszú mérési időtartam, főleg a nagyobb menetemelkedésű vitorlák, így a legáltalánosabban használt 250 mm menetemelkedésűek esetében a módszer alkalmazása ellen szól.

A felsorolt okok miatt ennek a számlálási módnak alkalmazása a mindennapi vízrajzi gyakorlatban nehézkesnek tűnik. Hasznos lehet azonban speciális célvizsgálatok, vagy kutatási feladatok, illetve jellemzően kis sebességű vízfolyások esetében.

Ezért az említett 250x150 mm méretű vitorlákra vonatkozóan, kis sebességek esetén (0,05-0,3 m/s) megvizsgáltuk a 10, illetve 20 fordulattal tartó mérési idővel elérhető mérési pontosságot, és az eredményeket összehasonlítottuk a 40 s-ig tartó méréssel nyerhető pontossággal. Különböző sebességek mellett 10-10 mérést végeztünk. Némileg önkényesen a 10 mérés átlagát fogadtuk el valódi sebességnek, és az egyedi mérések relatív hibáját ehhez

viszonyítva határoztuk meg. Megvizsgáltuk a vitorla egy fordulatanak megtételéhez szükséges idők szórását is.

A 6. táblázatban a fontosabb paraméterek összehasonlítása látható névleges sebességértékek szerint csoportosítva.

Fordulatok száma	Névleges sebesség [m/s]	0,05	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3
10	Fordulatok ideje [s]	65,33	50,64	35,91	28,18	13,41	8,88
	Fordulatidők szórása	0,005	0,005	0,003	0,002	0,001	0,004
	Relatív hiba [%]	0,00	-0,11	0,00	-0,22	0,46	0,00
	Maximális hiba [%]	-2,36	-2,68	-0,98	-1,76	1,68	0,41
20	Fordulatok ideje [s]	131,14	102,19	72,04	56,34	26,81	17,78
	Fordulatidők szórása	0,013	0,013	0,004	0,002	0,001	0,004
	Relatív hiba [%]	0,000	-0,017	0,000	-0,396	0,723	0,000
	Maximális hiba [%]	-2,910	-2,360	1,340	-1,860	1,780	0,630
40 s mérési idő	Fordulatok száma	6	7	10-11	14	28	43
	Összes fordulat ideje [s]	37,82	36,22	38,83	39,44	38,87	39,48
	Összes fordulat idejének szórása	2,545	1,121	1,316	0,4370	0,273	0,340
	Fordulatok számának relatív hibája [%]	-5,441	-7,039	-3,104	-1,412	-2,818	-1,299
	Fordulatok számának max. hibája [%]	-16,20	-8,44	-8,29	-2,86	-3,46	-2,21

6. táblázat. Az eredmények összehasonlítása

A kuszának tűnő eredményeket elemezve csak triviális következtetéseket lehet levonni:

- meghatározott fordulatszám elérésének időtartamáig tartó mérés esetén a hiba mértéke a fordulatszám növelésével csökken;
- meghatározott időtartamig tartó mérés esetén a hiba mértéke a fordulatszám növelésével csökken;

Meg kell jegyezni, illetve hangsúlyozni kell, hogy méréseinket laboratóriumi körülmények között végeztük, így feltételezhető, hogy a beállított sebességértékek mérés során állandók voltak. Gyakorlati viszonyok között ez nem mondható el, a pulzáció jelensége befolyásolhatja a fordulatszám mérésének pontosságát. A pulzáció hatását a vitorla forgó tömege mérsékli. A mindennapi gyakorlatban a vízsebesség mérésének elvárható pontossága 2 %. Természetesen az előbbi, triviálisnak tekintett következtetések ez esetben is érvényesek. Biztosan állítható azonban, hogy amíg a meghatározott időtartamig tartó mérés esetén mért fordulatszám alatta marad a meghatározott fordulatszám elérésének időtartamáig tartó méréssel nyert fordulatszámig, ez utóbbi mindenképpen pontosabb eredményt szolgáltat azonos körülmények között. Ez a határ például az előzőekben vizsgált esetben (250x125 mm-es vitorla) 0,15 m/s körül van, azaz az elvárható 2%-os pontosságnál nagyobb sebességnél.

Összefoglalva a fordulatszám-lálás kétféle módjával kapcsolatosan írtakat megállapítható, hogy

- a meghatározott fordulatszám elérésének időtartamáig tartó mérés pontosabb eredményt ad az elvárható 2%-os hibahatárig,
- de meg kell jegyezni, hogy a kétféle módszerrel mért fordulatszámok feldolgozása a vízhozam meghatározása céljából, bár esetenként pontosabb sebesség-adatokat szolgáltatna, nehézkes lenne, így nem javasolható,
- legjobb megoldás a határozott ideig tartó mérés a jelenlegi gyakorlattól eltérően nem a csak egész fordulatszámot kijelző számláló, hanem az ennél egy nagyságrenddel nagyobb felbontású, azaz egytizedes pontossággal kijelző számláló alkalmazásával.

Meg kell még jegyezni, hogy az időmérés pontosságát nem vizsgáltuk, ezt pontosnak lehet tekinteni. A gyártók az idő mérésének pontosságára 0.01 s-ot specifikálnak, így az időmérés pontossága nem okoz rendszeres hibát, nem befolyásolja érdemben a fordulatszám mérésének pontosságát.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

1. A karbantartás fontossága. Fontos a műszerek tisztántartása. Különös gondot kell fordítani a csapágycsukló kenésére szolgáló, megfelelő minőségű olaj használatára.
2. A kalibrálás fontossága. Fontos a rendszeres kalibrálás. Hibás működés feltételezése, vagy a műszer javítása esetén ellenőrizni kell a műszer megfelelő működését, aminek része kell legyen a kalibrálás is.
3. A körülményektől (vízmélység, várható maximális sebesség) függően a legkisebb menetemelkedésű vitorlát kell alkalmazni, kerülni kell a 250 mm menetemelkedésű vitorlák használatát.
4. Méréskor ügyelni kell a műszer szöghelyzetére, tehát arra, hogy a műszer tengelye merőleges legyen az áramlás irányára.
5. Az adott fordulatszámig tartó mérés helyett változatlanul a határozott idejű mérést javasoljuk a napi vízrajzi mérések céljára.
6. A gyakorlat számára az elméleti, rendszeres hibával ugyan terhelt, határozott ideig, 40 s-ig tartó fordulatszám-látás javasolható, az alábbi, 6. pontban javasolt igény szem előtt tartása mellett.
7. Lehetőség szerint egytizedes felbontású kijelzést lehetővé tevő fordulatszám-látót kell használni, így lényegesen csökkenthető a hiba mértéke.
8. Javaslat az ME-10-231-16:2009 Műszaki Előírás említett, *A mérőeszközök kezelése és karbantartása* című pontját kiegészíteni az alábbiakkal:
9. a műszert csak a saját, erre a célra gyártott hordlájában elhelyezve szabad szállítani, amely biztosítja a műszertest és a tartozékok rögzítését, megelőzendő azok hordozás közbeni károsodás elleni védelmét és tisztaságát;
10. a hordlájában tartott vitorlát a szennyeződés elkerülése érdekében műanyag zacskóval kell burkolni;
11. mérés előtt, még a telephelyen meg kell győződni a műszer mérésre való alkalmasságáról, ehhez ellenőrizni kell a vitorla szabad, akadálymentes forgását, a műszertest és az alkatrészek tisztaságát, valamint az olajsíntet a vitorla üregében, szükség esetén gondoskodni kell a pótlásról;
12. használat előtt szubjektív tesztet kell végezni, aminek során a vízszintesen tartani, és a vitorlát kézzel megforgatva meg kell figyelni a lassulást, és ha a szabad kifutás akadályozására utaló jeleket észlelünk, pl. gyors, határozott leállást, a műszert szét kell szedni, meg kell tisztítani, és friss olajjal kell feltölteni;
13. forgószárnyas műszerekhez csak a gyártó által előírt minőségű, nem szennyezett, 3 évnél nem régebben tárolt olajat szabad használni;
14. hosszabb időre raktárba helyezés előtt a műszert fel kell tölteni az előző pontban említett olajjal;
15. hosszabb idejű tárolás után, de évenként minimum egy alkalommal, célszerűen az első mérési periódus előtt tiszta körülmények között, tehát nem a terepen, szét kell szerelni, belső alkatrészeit zsíroldó folyadékkal – célszerűen foltbenzinnel – ki kell tisztítani, majd kiszáritás után friss olajjal fel kell tölteni.

MEGJEGYZÉSEK:

A felhasznált adatok a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság műszerkalibráló csatornájában végzett mérések eredményeként keletkeztek. A méréseket jól karbantartott, jó állapotban lévő, tisztítás után friss olajjal feltöltött műszerekkel végeztük. A mérések megkezdése előtt a műszereket kalibráltuk, és a számításokhoz felhasználtuk a műszerek frissen meghatározott kalibrációs állandóit.

Mivel a mért értékek függenek a műszerek pillanatnyi állapotától, így az ismertetett szám-
adatok nem tekinthetők abszolút érvényűnek. Célunk általános érvényű jelenségek, tenden-
ciák bemutatása volt, amikből általános érvényű következtetéseket vontunk le (pl. a műsze-
rek szöghelyzete, mértfordulatszámok egy tizedes pontossággal történő kijelzése).

FELHASZNÁLT IRODALOM

Dr. Stelczer Károly (1986): A vízrajzi szolgálat 100 éve (Vízdok)

Európai szabvány (2001): Hydrometry – The application of propeller-type current meters and their calibration, honosítva – ENV 14028

International Standard ISO 1455: Liquid flow measurement in open channels – Calibration of rotating-element current meters in strait open tanks

Horváth Ignác: Az 1876-iki vízáradáskor a Duna budapesti szakaszán megejtett vízsebesség mérésekről (Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjtemény – jelzet: BQ 0910/52)

MSZ EN ISO 748 nemzetközi szabvány (honosítva): Hidrometria. Folyadékáram mérése nyitott csatornáknban sebességmérőkkel vagy úszókkal

Muszkalay L.-Starosolszky Ö. (1959): Vízhozammérési zsebkönyv, Műszaki könyvkiadó

Muszkalay L.-Starosolszky Ö.-Börzsönyi A. (1971): Vízhozammérés, VÍZDOK

OTT Universalflügel: C31 adatlap

OTT Hydrometrie: Signal Counter Z400 – Operating Instruction

SEBA Hydrometrie: Messflügel adatlap

Vízrajzi észlelések és mérések előírásai – felszíni vizek vízhozamának mérése sebesség-terület módszer alkalmazásával – ME-10-231-16:2009

WMO (1974): Guide to Hydrological Practices

WMO (1976): Modern Developments in Hydrometry, (WMO-No. 427)

WMO (1976): Hidrológiai eljárások útmutatója

WMO (2006): Technical Regulations – Hydrology, (WMO-No. 49)