

Megoldás. A méréseket egy kb. 40 cm oldalhosszúságú négyzet keresztmetszetű, lekerekített sarkú mosdóban végeztem. Kétféle lefolyást vizsgáltam: a nagyjából örvénymentes és az örvényes esetet. Ragasztószalagon készítettem cm-beosztást, azt ragasztottam a mosdó szélére. Ha azt az időt mérem, amíg a víz teljesen lefolyik, akkor az utolsó centiméter nagyon pontatlanná teszi a mérést, hisz ott a víz már lassan mozog, hozzátapad a mosdó aljához, és különben sem egyértelmű, hogy mikor folyt le teljesen a víz. Ezért a „nullszintet” a mosdó aljától kb. 1 cm-re vettem föl, ettől a szinttől mértem a vízmagasságot, és idáig mértem a kifolyási időt. Miután feltöltöttem a mosdót a kívánt szintig, egy ideig vártam, míg a víz billegése, forgása lecsillapodik. A víz tetejére hungarocell törmelékot szórtam, és vártam, amíg a darabok mozgása megáll. (Amikor a víz látszólag már megnyugodott, a tetején úszó kis darabkák még egy ideig mozogtak; ezt a mozgást a hungarocell törmelék nélkül nem vettem volna észre.)

A dugót egy lánc segítségével húztam ki. Ha nem csináltam a vízzel semmit, akkor a kifolyás utolsó 1–2 centiméterénél csak egy nagyon vékony nyakú tölcser jelent meg. Ha viszont a dugó kihúzása előtt egy vonalzó segítségével megforgattam a vizet (kb. 5–6 másodperces periódusidővel), akkor az utolsó néhány centiméteren az előzőnél sokkal szélesebb tölcser jelent meg. (Érdekes, hogy a tölcser nem fokozatosan, hanem hirtelen jelenik meg.) Ez a két különböző lefolyás volt számomra az „örvénymentes” és az „örvényes” eset.

Ha a jelenséget úgy modellezzük, hogy a kifolyás során a víz billegése elhanyagolható, a lefolyó szájának mérete sokkal kisebb a mosdó méreténél, valamint a víz felgyorsulásának ideje elhanyagolhatóan kicsi, akkor érvényes a Bernoulli-törvény és a vízszint h magasságának időbeli változására fennáll a

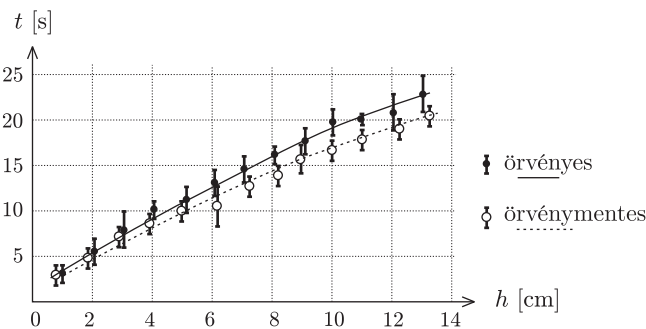
$$k\sqrt{h} = -\frac{dh}{dt}$$

egyenlet, ahol k állandó. Innen a kezdeti H magasság és a kifolyás T ideje közötti kapcsolat:

$$T = \frac{2}{k}\sqrt{H}.$$

Ezen elméleti megfontolás alapján tehát azt várjuk, hogy a kifolyás ideje a kezdeti vízmagasság négyzetgyökével lesz arányos. Ez azonban csak első tájékozódásnak, durva becslésnek tekinthető, hiszen kis kezdeti magasságnál számottevővé válhat a folyadék felgyorsulásának ideje, a nullszint és a mosdó aljának eltérése, nagyobb vízmagasságnál pedig a billegés és a folyadék belső súrlódása jelentős energiavesztéseket okozhat.

A mérések során a kezdeti vízmagasságot cm-enként változtattam 1 cm és 13 cm között. Mindegyik vízmagasságnál 3 mérést végeztem az örvénymentesnek vélt lefolyásnál, majd további 3 mérést az örvényes esetben. A mérési adatokat táblázatba foglaltam, átlagot és szórást számoltam, majd grafikusán ábrázoltam mindkét esetet (lásd az *ábrát*).



Számítógép segítségével hatványfüggvényt illesztettem a mérési adatokra. Örvénymentes esetben a legjobban illesztő függvény (a magasságot centiméterben, az időt másodpercben mérve):

$$T_1(h) = 2,9 \cdot h^{0,76},$$

örvényes esetben pedig

$$T_2(h) = 3,2 \cdot h^{0,78}.$$

Látható, hogy a hatványkitevő mindkét esetben nagyobb, mint amit a fent vázolt modellből becsültünk. Megfigyelhető, hogy mindegyik kezdeti magasságnál az örvényes kifolyás tartott tovább, az időkülönbség a magassággal nő és 12–13 cm kezdőmagasságnál eléri a 2 s-ot.

Kíváncsi voltam a „tölcser” szerepére az örvényes lefolyásnál. Vajon a lefolyás ideje azért változik meg, mert a folyadék kissé forog (és a kifolyás végén megjelenő tölcsernek ebben semmi szerepe nincsen, az csak „látvány”), vagy az idő éppen a tölcser miatt nő meg? Ezek megválaszolására egy bizonyos magasságnál (13 cm-nél) alaposabban megvizsgáltam a lefolyást. Megmértem a teljes lefolyási időt, továbbá a széles nyakú tölcser megjelenésének elég egyértelmű pillanatát. Ezután (a mobiltelefonom stopperje segítségével) megmértem, hogy örvénymentes lefolyásnál mennyi idő alatt folyik le a víz abból a magasságból, amelynél a másik esetben a tölcser megjelent. Az adatokból egyértelműen kiderült, hogy a lefolyási idő megnövekedése csak közvetett következménye annak, hogy az elején kissé

megforgattuk a vizet. A forgás miatt széles tölcsér alakul ki, és a tölcsér megjelenése miatt lelassul a kifolyás. Az első 11 cm-en pl. csak 0,1 s különbséget találtam a kétféle kifolyás között (ez a mérési hibahatáron belül nullának tekinthető), azonban az utolsó 2 cm-en az örvényes lefolyás úgy lelassul, hogy 1,4 s-mal tovább tart, mint az örvénymentes.

Az időmérés leolvasási hibája a reakcióidőm, kb. 0,2 s, ennél azonban szinte mindig nagyobb volt az adatok statisztikus szórása; ez utóbbi határozza meg tehát a mérés pontosságát. A hiba így 0,2–0,4 s között van.