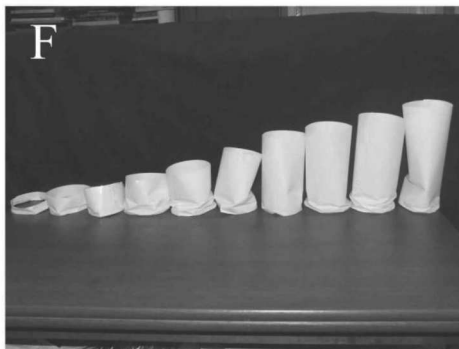
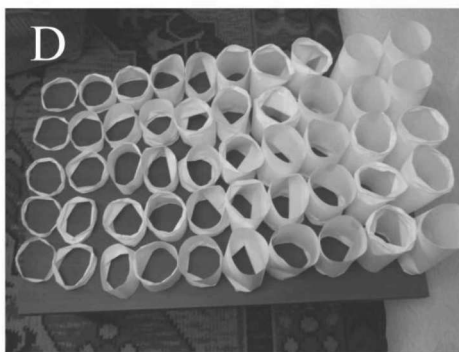


Megoldás. A felhasznált eszközök: digitális fényképezőgép, alumínium tál (3 literes), műanyag tál (3 literes), csempelap (15 cm × 15 cm), digitális mérleg (1 gramm pontosságú), víz (kb. 3 liter), A4-es (210 mm × 297 mm), famentes papírlapok (50 darab, 80 g/m²), cellulx ragasztószalag, olló, farúd, jegyzetfüzet, toll.

A mérés menete:

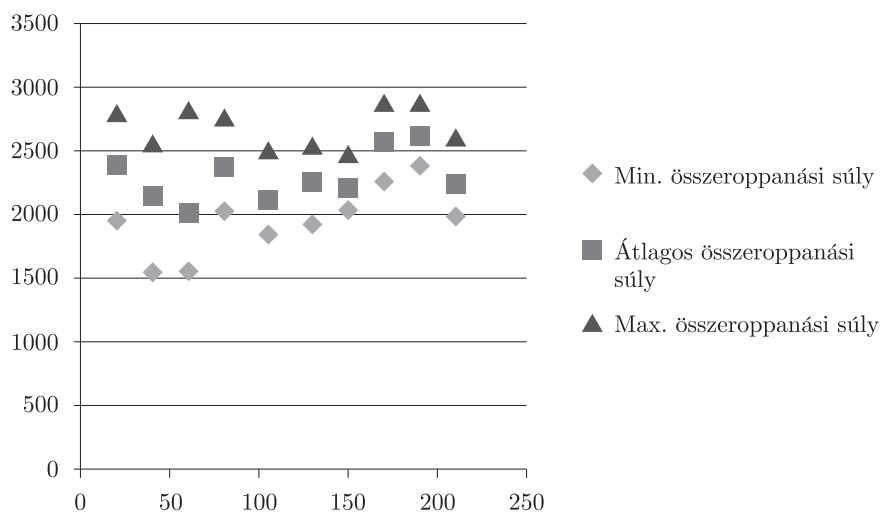
1. A feladat kiírása szerinti módon A4-es papírlapokból $H = 20, 40, 60, 80, 105, 130, 150, 170, 190, 210$ mm magasságú papírhengereket készítettem, minden magasságból 5 darabot, tehát összesen 50 darabot.
2. A ragasztást cellulx ragasztószalaggal végeztem a teljes H magasság mentén. A hosszabb papírcsőveket középben kezdetben nem tudtam rendesen összeragasztani, mert ha teljesen belenyúlok a papírcső közepébe és az ujjammal lenyomom a ragasztószalagot, akkor a cső megsérült, behorpadt volna. Ezért egy farudat dugtam a papírcsőbe, mert így az ujjammal már a cső sérülése nélkül nyomogathattam a papírhoz a ragasztót.
3. Egy-egy elkészült papírcsővet vízszintes, sima felületű asztalra állítottam, függőlegesen. A tetejére vízszintesen egy csempelapot tettem, hogy mindenhol egyenletesen érje a nyomás a papírcsővet.
4. A csempére rátettem az alumínium tálat, majd megkértem a segítőmet, hogy kezdje el a műanyag tálból önteni a vizet az alumínium tálba.
5. Addig öntötte a vizet, amíg az alatta lévő papírcső össze nem csuklott. Ebben a pillanatban kezemmel elkaptam a vízzel teli tálat, nehogy leboruljon és kiömljön a víz. Az összecsuklás pillanatában a segítőm abbahagyta a víz öntését, így éppen csak annyi víz került a tálba, hogy a tál, a csempe és a víz együttes súlyától összeroppanjon a papírcső.
6. A digitális mérleggel megmértem a csempe + az alumínium tál + a tálban lévő víz súlyát, így megkaptam azt a súlyt, amitől a papírcső összecsuklott.
7. A mérést megismételtem további 4, ugyanolyan magasságú papírhengerrel.
8. A fenti 5 mérést megismételtem további 9, különböző magasságú papírhengerrel is.
9. Az 50 mérési adatot (a papírhenger összecsuklásához szükséges súlyokat) táblázatba foglaltam, és az adatokat grafikonon ábrázoltam.
10. Az egyik mérés egyes lépéseiről fényképeket készítettem.



1. ábra. (A) A méréshez használt eszközök. (B) Víz csorgatása a papírhengeren lévő csempére helyezett alumínium tálba. (C) A csempe, az alumínium tál és a tálban lévő víz súlyának megmérése. (D) 10 különböző magasságú, magasságonként 5-5 darab, a terhelés hatására összecsuklott papírhenger fényképe. (E) 10 különböző magasságú, felül összecsuklott papírhenger fényképe. (F) 10 különböző magasságú, alul összecsuklott papírhenger fényképe

H (mm) magasság	papírhenger					átlag	a papírhenger összecsuklásának helye		
	1.	2.	3.	4.	5.		alul	középen	felül
210	1991	2114	2108	2606	2366	2237,0	0	0	5
190	2398	2650	2382	2757	2878	2613,0	2	0	3
170	2704	2499	2489	2263	2872	2565,4	4	1	0
150	2440	2035	2033	2472	2050	2206,0	3	0	2
130	1924	2139	2537	2278	2389	2253,4	2	3	1
105	1925	2498	2302	1848	1992	2113,0	5	0	1
80	2510	2026	2765	2742	1821	2372,8	4	0	2
60	1945	1561	1954	2822	1783	2013,0	3	1	1
40	2325	2001	1553	2469	2557	2181,0	1	3	1
20	2241	2383	1950	2575	2802	2390,2	0	5	0

Táblázat. A 10 különböző magasságú, darabonként 5-5 azonos papírhenger összecsuklásához szükséges súlyok tömege (gramm), azok átlaga (gramm), és a papírhenger összecsuklási helyeinek száma



2. ábra. A papírhenger összecsuklásához szükséges súly tömege (gramm, függőleges tengely) a henger H magasságának (mm, vízszintes tengely) függvényében

Kiértékelés: 1. A táblázatból és a 2. ábra grafikonjából arra a következtetésre jutottam, hogy a papírhenger összecsuklásához szükséges G súly gyakorlatilag nem függ a henger H magasságától.¹ Látható, hogy a súlyok átlaga összevissza (kaotikusan) változik; amint H nő, G átlaga a következőképpen változik: csökken, csökken, nő, csökken, nő, csökken, nő, nő, csökken. Továbbá mind a 10 vizsgált magasság esetén G minimuma és maximuma nagyon eltér egymástól és az átlagtól, vagyis nagy a mért G értékek szórása.

2. A táblázatból, valamint az 1.E és 1.F ábrákból látszik, hogy adott H magasságú papírhenger olykor alul, néha középen, máskor pedig felül csuclott össze. Az összecsuklás helye is véletlenszerű volt.

3. E véletlenszerűség és G nagy szórásának okai részben az alább felsorolt hibalehetőségekre vezethetők vissza. A pontos magyarázatot sajnos nem tudom.

Hibalehetőségek: 1. Amikor összecsuclott egy adott papírcső, még egy igen rövid ideig (néhány tized másodpercig) tovább folytatható az alumínium tálba a víz, mert az ember reflexei nem tökéletesek. Így egy picit több víz kerülhetett a tálba, mint amennyi a henger összecsuklásához kellett volna valójában. Ezen ismeretlen többletsúly véletlenszerűen változhatott.

¹Több versenyző ettől eltérő következtetésre jutott. Megállapították, hogy a magasabb papírhengerek már kisebb terhelés hatására is összeroskadnak, de ennek számszerű jellemzése az adatok nagy szórása miatt általában nem volt meggyőző. (A Javitó.)

2. Amikor abbahagytuk a víz öntését az alumínium tálba, az éppen a levegőben lévő vízoszlop még leért a tálba, így ezáltal is egy kis mennyiséggel több víz került a tálba. Ezen ismeretlen nagyságú többletsúly is véletlenszerűen változhatott.

3. Nem tudtam mindig tökéletesen egyformán vágni a papírlapokat, ezért néha az összeragasztott papírhenger egyik végén lépcsőszerű eltolódás keletkezett a ragasztás után. Az ilyen papírcsövek gyakran kisebb súly hatására csuklottak össze, mint a pontosabban összeragasztottak.