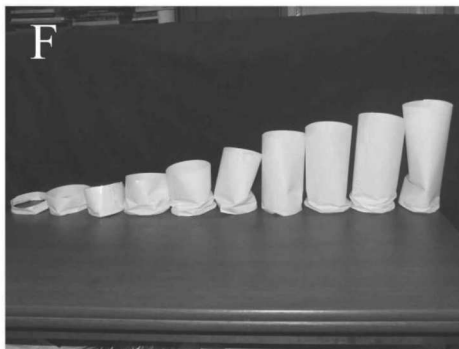
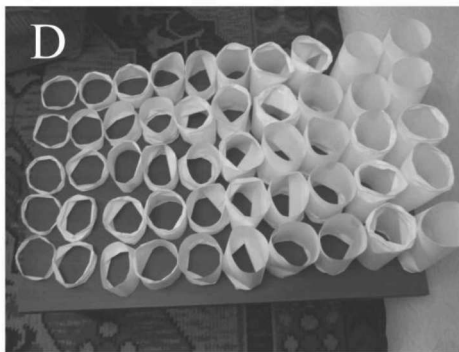


Megoldás. A felhasznált eszközök: digitális fényképezőgép, alumínium tál (3 literes), műanyag tál (3 literes), csempelap (15 cm × 15 cm), digitális mérleg (1 gramm pontosságú), víz (kb. 3 liter), A4-es (210 mm × 297 mm), famentes papírlapok (50 darab, 80 g/m²), cellulx ragasztószalag, olló, farúd, jegyzetfüzet,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

A mérés menete:

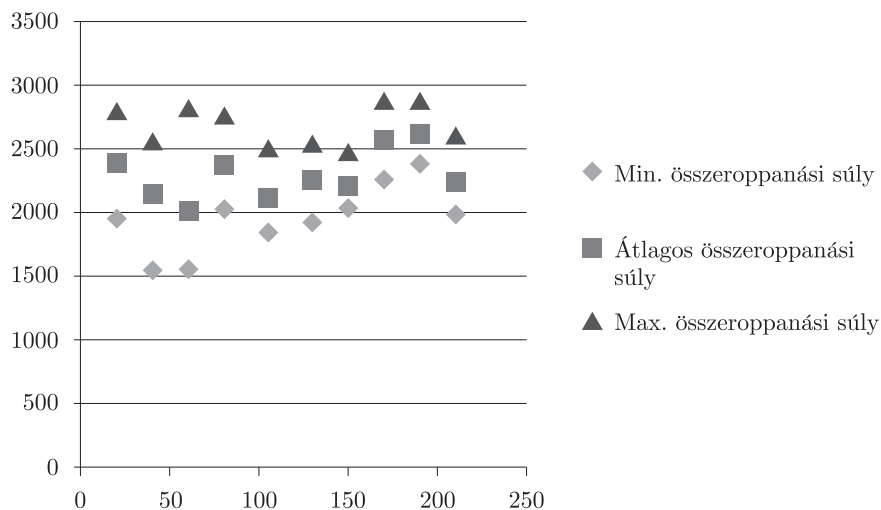
1. A feladat kiírása szerinti módon A4-es papírlapokból $H = 20, 40, 60, 80, 105, 130, 150, 170, 190, 210$ mm magasságú papírhengereket készítettem, minden magasságból 5 darabot, tehát összesen 50 darabot.
2. A ragasztást cellulx ragasztószalaggal végeztem a teljes H magasság mentén. A hosszabb papírcsőveket középen 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 segítőtmet, 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 mérés 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 csuklott 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 összecsuklott egy adott papírcső, még egy igen rövid ideig (néhány tized másodpercig) tovább folyhatott 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 vízszlop 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.