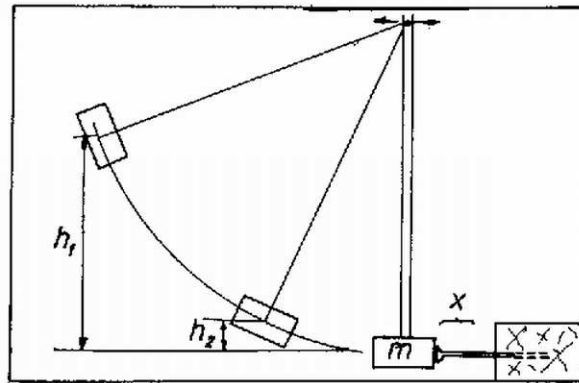


A szög behatolását a fába a szög hegyénél és a szög oldalánál fellépő erők akadályozzák. Az előbbi a fa hasításához és összenyomásához szükséges erő, amely függ a szög átmérőjétől és a fej kiképzésétől. A második a szög oldalán fellépő súrlódási erő, amely függ a szög átmérőjétől és egyenesen arányos a szög fában levő részének a hosszával, mivel a szögre felületegységként ható nyomóerő valószínűleg független a szög hosszától.

A behatolási mélység energiafüggésének vizsgálatában a szögnek átadott energia mérése jelent nehézséget.



1. ábra

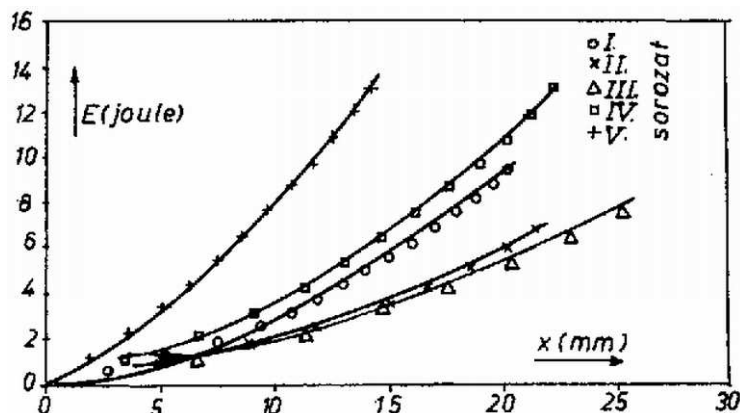
A mérést *Kucsera Gábor* (Pécs, Nagy Lajos Gimn., I. o. t.) dolgozata alapján ismertetjük. Mérési elrendezését az 1. ábra mutatja. Az  $m$  tömegű, súlytalannak vehető rúdon levő testet  $h_1$  magasságról elengedve az az ütközés után  $h_2$  magasságig pattan vissza. Az egyéb tényezőket (pl. súrlódás, a légellenállás, az ütköző testek felmelegedése, deformálódása) elhanyagolva, az átadott energia:

$$\Delta E = mg(h_1 - h_2).$$

*Kucsera Gábor* mérését úgy végezte, hogy egy szegre többször ütött – mindig azonos  $h_1$  magasságról engedve el a kalapácsot – kb. azonos energiával. A behatolást tolómérővel mérte meg.

	$i$	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$\Delta E$ (J)	E (J)	$\Delta x$ (mm)	x (mm)	$E/x$ (N)
I. sorozat	1	150	12	0,609	0,609	2,6	2,6	234,2
	2	150	10	0,618	1,227	2,5	5,1	240,6
	3	150	10	0,618	1,845	2,4	7,5	246,0
	4	150	10	0,618	2,463	1,8	9,3	264,8
	5	150	9	0,623	3,085	1,4	10,7	288,3
	6	150	8	0,627	3,712	1,2	11,9	311,9
	7	150	8	0,627	4,339	1,1	13,0	333,8
	8	150	7	0,631	4,970	1,0	14,0	355,0
	9	150	6	0,636	5,606	1,0	15,0	373,7
	10	150	6	0,636	6,242	1,0	16,0	390,1
	11	150	6	0,636	6,878	1,0	17,0	404,6
	12	150	5	0,640	7,518	0,9	17,9	420,0
	13	150	5	0,640	8,185	0,9	18,8	435,4
	14	150	5	0,640	8,798	0,8	19,6	448,9
	15	150	4	0,644	5,442	0,6	20,2	467,4
II. sorozat	1	200	10	0,839	0,839	4,8	4,8	174,8
	2	200	8	0,847	1,686	3,9	8,7	193,8
	3	200	8	0,847	2,533	3,1	11,8	214,7
	4	200	7	0,852	3,386	2,8	14,6	231,8
	5	200	7	0,852	4,237	2,0	16,6	255,2
	6	200	7	0,852	5,089	1,9	18,5	275,1
	7	200	6	0,856	5,945	1,6	20,1	295,8
	8	200	6	0,856	6,801	1,2	21,3	319,3
III. sorozat	1	250	11	1,055	1,055	6,6	6,6	159,6
	2	250	10	1,059	2,114	4,8	11,4	185,4
	3	250	8	1,068	3,182	3,2	14,6	217,9
	4	250	7	1,073	4,256	3,0	17,6	243,0
	5	250	7	1,703	5,328	2,8	20,4	261,2
	6	250	7	1,073	6,401	2,6	23	278,3
	7	250	6	1,077	7,478	2,2	26,2	296,7
IV. sorozat	1	250	6	1,077	1,077	3,4	3,4	316,8
	2	250	6	1,077	2,154	3,2	6,6	326,4
	3	250	5	1,082	5,236	2,5	9,1	359,2
	4	250	5	1,082	4,318	2,2	11,3	382,1
	5	250	4	1,085	5,403	1,8	13,1	412,4
	6	250	3	1,090	6,493	1,6	14,7	441,7
	7	250	3	1,090	7,583	1,5	16,2	468,1
	8	250	3	1,091	8,674	1,5	17,7	490,1
	9	250	3	1,090	9,764	1,3	19,0	513,9
	10	250	3	1,090	10,854	1,2	20,2	537,3
	11	250	3	1,091	11,945	1,1	21,3	560,8
	12	250	3	1,090	18,035	1,0	22,3	584,5
V. sorozat	1	250	5	1,082	1,082	1,8	1,8	601,1
	2	250	5	1,082	2,164	1,7	3,5	618,8
	3	250	5	1,082	3,246	1,5	5,0	649,2
	4	250	4	1,085	4,331	1,2	6,2	698,5
	5	250	4	1,085	5,416	1,2	7,4	731,9
	6	250	3	1,090	6,506	1,1	8,5	765,4
	7	250	3	1,090	7,596	1,1	9,6	791,2
	8	250	3	1,091	8,687	1,1	10,7	811,9
	9	250	3	1,090	9,777	1,0	11,7	835,6
	10	250	3	1,090	10,867	0,9	13,6	862,5
	11	250	3	1,091	11,958	0,8	13,4	892,9
	12	250	3	1,090	13,048	0,8	14,3	918,9

1. táblázat



2. ábra

A mérés eredményeit az 1. táblázat tartalmazza, illetve a 2. ábra szemlélteti. Az 1. táblázat jelölései a következők:  $i$  a szögre mért ütés sorszáma;  $E$  a szögnek átadott összes energia;  $\Delta x$  a szög behatolásának nagysága az adott ütés következtében;  $x$ : a szög teljes behatolása. A kalapács tömege 450 g, az inga hossza 350 mm.

Az egyes mérési sorozatok adatait az 1. táblázat első négy oszlopa tartalmazza. (*Kucsera Gábor* minden esetben fenyőfába szálirányban kalapálta be a szöget.)

Az 1. táblázatból látható, hogy az egyes sorozatokban a szögnek átadott energia nem változott túlságosan, illetve közelítőleg arányos volt  $h_1$ -gyel. A 2. ábrán rajzolt görbékét összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy az első három sorozatban (azonos típusú szög, különböző energia) a szög annál mélyebbre hatolt be a fába, minél nagyobb energiát kapott, de az energiabehatolás összefüggés nem lineáris, továbbá attól is függ, hogy mekkora az egyes ütések energiája, A vastagabb szögek (IV. és V. sorozat) természetesen nehezebben hatolnak be a fába.

A bevezetőben említettek szerint a szögre ható fékezőerő

$$F + px,$$

ahol  $F$  a szög hegyénél ható erő,  $p$  pedig a szög palástjának egységnyi hosszára ható súrlódási erő. Az első tag munkája:  $Fx$ , a második tagé pedig (a rugó energiájának kifejezéséhez hasonlóan):  $(1/2)px^2$ . Így a szög behatolásához szükséges energia:

$$(1) \quad E = Fx + (1/2)px^2$$

Osszuk el az egyenlet mindkét oldalát  $x$ -szel:

$$E/x = F + (1/2)px.$$

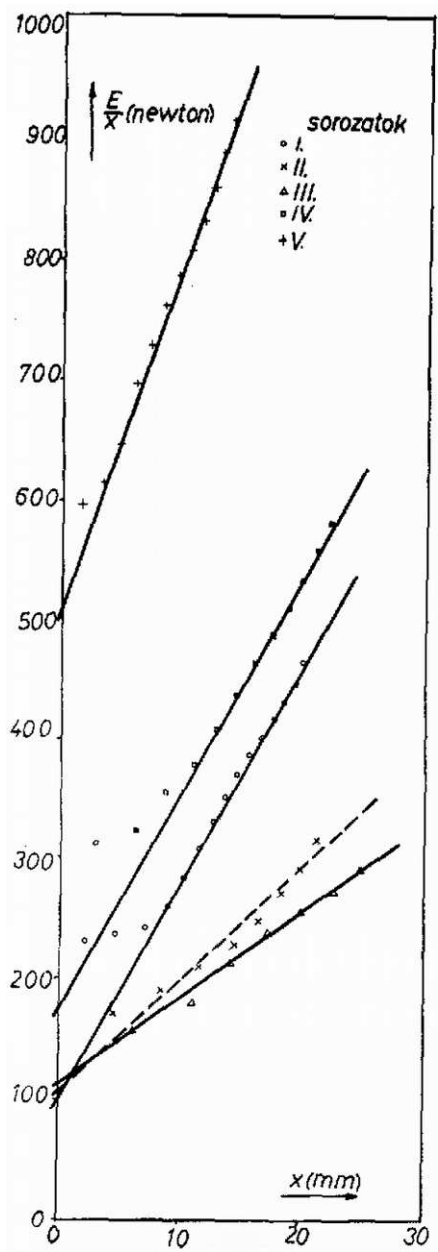
Ha ennek megfelelően  $E/x$ -et ábrázoljuk  $x$  függvényében (1. táblázat, 3. ábra), egyenest kell kapnunk, amelynek tengelymetszete  $F$ , meredeksége  $(p/2)$ . A 3. ábrán láthatjuk, hogy a II. mérési sorozat kivételével a görbék jó közelítéssel lineárisak, legalábbis a kezdeti szakasztól eltekintve.

Sorozat	A szög átmérő (mm)	A szög hossza (mm)	$h$ (mm)	$F$ (N)	$p$ (N / mm)
I.	1,6	30	150	93	44,0
II.	1,6	30	200	105	18,8
III.	1,6	30	250	114	14,3
IV.	2,2	45	250	170	44,0
V.	3,0	65	250	504	56,7

2. táblázat

(A II. mérési sorozat pontjaira szaggatott vonallal rajzoltunk egyenest, amely kissé bizonytalan.) A tengelymetszet és meredekség adatokat a 2. táblázat tartalmazza. Eszerint a vékony szög  $F$  értéke kb. 100 N, a nagyobb átmérőjű szögekre nagyobb. A felületre ható súrlódási erő azonban a vékony szög esetében függ az ütés energiájától – nagyobb energiánál kisebb, továbbá azonos ütési energia mellett (III., IV., V. sorozat) nagyobb átmérőjű szög esetén nagyobb.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a mérési eredmények jól leírhatóak az (1) összefüggéssel a kezdeti szakaszt kivéve. (A II. sorozatban feltehetőleg kissé hibás részbe hatolt a szög.)



3. ábra