

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 14 (1986/1987)

Številka 3

Strani 170-174

Jože Grasselli:

## TRIKOTNIŠKA ŠTEVILA

Ključne besede: matematika, teorija števil, trikotniška števila.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/14/831-Grasselli.pdf>

© 1986 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

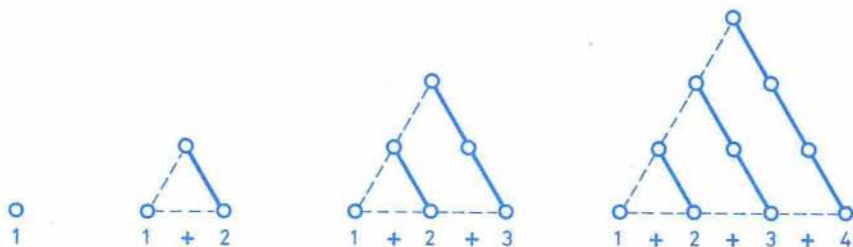
Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

## TRIKOTNIŠKA ŠTEVILA

Če vzamemo prvo, seštejemo prvi dve, prva tri, prva štiri, ... naravna števila, dobimo

$$\begin{aligned} t_1 &= 1 \\ t_2 &= 1 + 2 = 3 \\ t_3 &= 1 + 2 + 3 = 6 \\ t_4 &= 1 + 2 + 3 + 4 = 10 \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

Pitagora (580 – 500) je dal tem številom ime *trikotniška*. Števila 1, 3, 6, 10 povedo namreč, koliko je narisanih točk v enakostraničnih trikotnikih



s stranico 0, 1, 2, 3. Podobne slike lahko napravimo za nadaljnja trikotniška števila.

Trikotniško število  $t_n$  je vsota prvih  $n$  naravnih števil

$$t_n = 1 + 2 + 3 + \dots + n \tag{1}$$

Iz  $t_n$  najdemo naslednje trikotniško število  $t_{n+1}$  tako, da  $t_n$  za  $n + 1$  povečamo

$$t_{n+1} = t_n + (n + 1) \tag{2}$$

Ker je  $t_1 = 1$ , lahko iz obrazca (2) pri  $n = 1$  izračunamo  $t_2$ . Ko poznamo  $t_2$ , spet iz (2) pri  $n = 2$  izračunamo  $t_3$ . Iz znanega  $t_3$  pri  $n = 3$  najdemo  $t_4$ . In tako naprej. Napravimo si po tem navodilu preglednico za prvih 15 trikotniških števil:

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t_n$	1	3	6	10	15	21	28	36	45	55	66	78	91	105	120

Preglednica A

Preglednico bi mogli nadaljevati in bi sčasoma dosegli trikotniška števila  $t_n$  s poljubno velikim indeksom  $n$ . Precej zamudno bi bilo, če bi hoteli na ta način dobiti npr.  $t_{10000}$ . Ali se da morda  $t_n$  izračunati preprosteje? Odgovor na to vprašanje so poznali že Babilonci. Dognali so, da je

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

Če to ugotovitev upoštevamo v (1), dobimo za trikotniško število  $t_n$  zvezo

$$t_n = \frac{n(n+1)}{2} \quad (3)$$

Za  $n = 10000$  je torej

$$t_{10000} = \frac{1}{2} \cdot 10000 \cdot 10001 = 50005000$$

Oglejmo si nekaj lastnosti trikotniških števil.

Iz preglednice A povzemamo:

$$t_1 + t_2 = 1 + 3 = 4 = 2^2$$

$$t_2 + t_3 = 3 + 6 = 9 = 3^2$$

$$t_3 + t_4 = 6 + 10 = 16 = 4^2$$

V vseh treh primerih je vsota dveh zaporednih trikotniških števil kvadrat naravnega števila. Ali dobimo zmeraj kvadrat, ko seštejemo zaporedni trikotniški števili? Izračunajmo vsoto  $t_n + t_{n+1}$  z naslonitvijo na obrazec (3). Pride

$$t_n + t_{n+1} = \frac{1}{2}n(n+1) + \frac{1}{2}(n+1)(n+2) = \frac{1}{2}(n+1)(2n+2) = (n+1)^2 \quad (4)$$

Vidimo:

*Vsota dveh zaporednih trikotniških števil je kvadrat naravnega števila.*

To lastnost trikotniških števil so gotovo opazili že davno. Prvič je izpričana okrog leta 100 v spisih novopitagorejca Nikomaha. Ko se  $n$  spreminja po vseh naravnih številih 1, 2, 3, ..., opiše  $n+1$  vsa naravna števila razen 1. Zaradi (4)

so torej vsi od 1 večji kvadrati naravnih števil vsote po dveh zaporednih trikotniških števil.

Po preglednici A je:

$$8t_1 + 1 = 8 \cdot 1 + 1 = 9 = 3^2$$

$$8t_2 + 1 = 8 \cdot 3 + 1 = 25 = 5^2$$

$$8t_3 + 1 = 8 \cdot 6 + 1 = 49 = 7^2$$

Vrednost so spet kvadrati naravnih števil. Da gre tudi tukaj za splošno lastnost trikotniških števil, se lahko hitro prepričamo. Po obrazcu (3) je

$$8t_n + 1 = 8 \cdot \frac{1}{2} n(n+1) + 1 = 4n^2 + 4n + 1 = (2n+1)^2 \quad (5)$$

Ko preteče  $n$  vsa naravna števila, opiše  $2n+1$  vsa liha naravna števila razen 1. Zato iz (5) izhaja:

*Za ena zvečani osemkratnik trikotniškega števila je kvadrat lihega naravnega števila. Vsak od ena večji lihi kvadrat se izraža v tej obliki.*

To lastnost trikotniških števil omenja Nikomahov sodobnik Plutarh, pisec življenjepisov slavnihi grških in rimskih mož.

V preglednici A sta dva kvadrata:

$$t_1 = 1 = 1^2 \quad (6)$$

$$t_8 = 36 = 6^2$$

Ali pri nadaljevanju preglednice naletimo še na kakšen kvadrat? Euler (1707 – 1783) je pokazal, da bi se to zgodilo neskončnokrat. Imeti bi morali seveda neskončno časa, da bi preglednico brez kraja nadaljevali. Kadar je trikotniško število  $n(n+1)/2$  kvadrat naravnega števila  $m$ , drži enačba:

$$n^2 + n = 2m^2$$

Po Eulerjevi ugotovitvi obstaja neskončno parov naravnih števil  $n$ ,  $m$ , ki to enačbo izpolnijo. Dajo se dobiti obrazci, ki zajemajo vse rešitve. Navedimo prva štiri trikotniška števila, ki so kvadrati in pridejo za kvadratoma 1 in 36 iz (6).

To so:

$$t_{49} = 49 \cdot 25 = (5 \cdot 7)^2$$

$$t_{288} = 144 \cdot 289 = (12 \cdot 17)^2$$

$$t_{1681} = 1681 \cdot 841 = (41 \cdot 29)^2$$

$$t_{9800} = 4900 \cdot 9801 = (70 \cdot 99)^2$$

Omenili smo, da je med trikotniškimi števili neskončno kvadratov. Koliko pa je kubov? In bikvadratov (četrtih potenc)?

V preglednici A je kub le 1 in bikvadrat tudi samo 1. Če preglednico nadaljujemo brez kraja, nikdar več ne srečamo kuba ali bikvadrata. O tem govori trditev, ki jo je izrekel Fermat (1601 – 1665):

*Nobeno trikotniško število, ki je večje od 1, ni kub ali bikvadrat naravnega števila.*

Kako je Fermat svojo trditev utemeljil, ni znano. Prvič je trditev dokazana pri Eulerju. Zato drži, da enačba

$$n^2 + n = 2m^3$$

v naravnih številih nima druge rešitve kot  $n = m = 1$ . Isto velja za enačbo

$$n^2 + n = 2m^4$$

Razlika

$$t_{n+1} - t_n = n + 1$$

pove, da med  $t_n$  in  $t_{n+1}$  leži  $n$  naravnih števil. Zato zmeraj redkeje srečamo trikotniška števila, ko se pomikamo k vedno večjim naravnim številom. To kaže tudi spodnja preglednica B. V njej je za nekatere  $n$  navedeno, koliko je trikotniških števil do  $n$ .

$n$	število trikotniških števil do $n$
100	13
200	19
300	24
400	27
500	31
600	34
700	36
800	39
900	41
1000	44
10000	140
100000	446
1000000	1413
2000000	1999
3000000	2448

Iz preglednice preberemo, da je do milijona 1413 trikotniških števil. Ko gremo od milijona do dveh milijonov, naletimo na 586 trikotniških števil. Od dveh do treh milijonov leži 449 trikotniških števil. Ko postane  $n$  dovolj velik, seveda med  $n$  in  $n + 1000000$  ni nobenega trikotniškega števila več. Podobno za vsako naravno število  $d$ , med  $n$  in  $n + d$  ni trikotniških števil, če je le  $n$  zadosti velik.

Videli smo, da so trikotniška števila redka. Kljub temu se z njimi naravna števila preprosto izražajo. Tudi to njihovo lastnost je zapazil Fermat, ko je zatrnil:

*Vsako naravno število se da pisati kot vsota enega, dveh ali največ treh trikotniških števil.*

Preglednica B

