

JUGOSLOVENSKI  
STANDARDSA OBAVEZNOM  
PRIMENOM  
od 1980-02-16Toplotna tehnika u građevinarstvu  
METODA PRORAČUNA DIFUZIJE VODENE  
PARE U ZGRADAMAJ U S  
U.J5.520  
1980.

Pravilnik br. 31-19792/1 od 1979-11-26; Službeni list SFRJ, br. 3/80.

*Heat in civil engineering. Diffusion of water vapour in buildings*

## 1 Predmet standarda

Ovim standardom se utvrđuje metoda za proračun gustine difuzijskog toka vodene pare kroz građevinske konstrukcije, proračun količine kondenzata i isušnja građevinske konstrukcije u uslovima eksploatacije zgrade.

## 2 Izračunavanje temperature na granici dva sloja građevinske konstrukcije i na površinama koje se graniče s vazduhom

Da bi se izračunale temperature na granici dva sloja građevinske konstrukcije i na površinama koje se graniče s vazduhom, potrebno je poznavati:

- temperaturu vazduha sa obe strane konstrukcije,
- sastav građevinske konstrukcije, tj. redosled slojeva, debljinu slojeva  $d$  i vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti  $\lambda$  materijala pojedinog sloja,
- vrednost koeficijenta prelaza toplote  $\alpha_i$  koji se odnosi na unutrašnju graničnu površinu i koeficijenta prelaza toplote  $\alpha_e$  koji se odnosi na spoljašnju graničnu površinu.

Pad temperature  $j$ -tog sloja građevinske konstrukcije  $\Delta t_j$  računa se po formuli:

$$\Delta t_j = \frac{\Delta t}{R_k} \cdot R_j$$

gde je:

$\Delta t$  — razlika temperature vazduha s obe strane konstrukcije, u  $^{\circ}\text{C}$ ,

$R_k$  — ukupni otpor građevinske konstrukcije toplotnom protoku, u  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ,

$R_j$  — otpor toplotnom protoku  $j$ -tog sloja građevinske konstrukcije, u  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ .

Pri izračunavanju pada temperature između vazduha i površine konstrukcije  $\Delta t_i$ , odnosno  $\Delta t_e$ , umesto  $R_j$  u gornju formulu se uvrštava  $1/\alpha_i = R_i$  odnosno  $1/\alpha_e = R_e$ ,

gde je:

$R_i$  — otpor prelazu toplote koji se odnosi na unutrašnju graničnu površinu,  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ ,

$R_e$  — otpor prelazu toplote koji se odnosi na spoljašnju graničnu površinu  $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ .

Temperatura granične površine građevinske konstrukcije prema prostoru unutar zgrade  $\vartheta_i$  data je izrazom:

$$\vartheta_i = t_i - \Delta t_i - \text{temperatura vazduha unutar zgrade u } ^{\circ}\text{C}.$$

Temperatura na granici prvog i drugog sloja građevinske konstrukcije (numeracija slojeva ide iz prostorije prema spoljašnjem prostoru) data je izrazom:

$$\vartheta_1 = \vartheta_i - \Delta t_1 \text{ itd.}$$

Temperaturne granične površine  $\vartheta_e$  građevinske konstrukcije prema prostoru izvan zgrade date su izrazom:

$$\vartheta_e = \vartheta_{n-1} - \Delta t_n$$

gde je  $\vartheta_{n-1}$  temperatura na granici između poslednjeg i pretposlednjeg sloja konstrukcije.

### 3 Određivanje pritiska zasićenja vodene pare

Za temperature vazduha s obe strane građevinske konstrukcije, kao i za temperature na površinama i na granici slojeva konstrukcije, koje su izračunate prema t. 2, pripadaju pritisci zasićenja vodene pare  $p'_i$  u kPa, koji se određuju prema tabeli.

### 4 Određivanje parcijalnog pritiska vodene pare

Parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu unutar zgrade  $p_i$  dat je izrazom:

$$p_i = \varphi_i \cdot p'_i \text{ (kPa)},$$

gde je:

$\varphi_i$  — relativna vlažnost vazduha unutar zgrade,

$p'_i$  — pritisak zasićenja vodene pare vazduha unutar zgrade, u kPa.

Parcijalni pritisak vodene pare u vazduhu izvan zgrade  $p_e$  dat je izrazom:

$$p_e = \varphi_e \cdot p'_e \text{ (kPa)}$$

gde je:

$\varphi_e$  — relativna vlažnost vazduha izvan zgrade,

$p'_e$  — pritisak zasićenja vodene pare vazduha izvan zgrade, u kPa.

Teoretski parcijalni pritisak vodene pare  $p_j$  na granici između sloja  $j$  i  $j+1$  može se odrediti i analitički prema izrazu:

$$p_j = \frac{p_i - p_e}{\sum_{l=r}^n r} \cdot \sum_{j+1}^n r + p_e$$

Parcijalni pritisak vodene pare unutar konstrukcije ne može biti veći od pritiska zasićenja na tom mestu.

### 5 Izračunavanje relativnih otpora difuziji vodene pare

Da bi se izračunali relativni otpori difuziji vodene pare pojedinih slojeva građevinske konstrukcije potrebno je poznavati: sastav građevinske konstrukcije, tj. redosled slojeva, debljinu slojeva  $d$  i vrednost faktora otpora difuzije vodene pare  $\mu$  materijala pojedinog sloja.

Relativni otpor difuziji vodene pare  $j$ -tog sloja građevinske konstrukcije izračunava se po formuli:

$$r_j = d_j \cdot \mu_j$$

gde je:

$d_j$  — debljina  $j$ -tog sloja građevinske konstrukcije, u m,

$\mu_j$  — faktor otpora difuziji vodene pare materijala  $j$ -tog sloja.

## 6

## Dijagram difuzije

U modificiranom grafičkom prikazu poprečnog preseka građevinske konstrukcije, u kojem su pojedini slojevi, umesto u debljinama, izraženi u relativnim otporima difuziji vodene pare dotičnih slojeva, ucrtana se linija pritiska zasićenja vodene pare  $p_s'$  i linija parcijalnog pritiska vodene pare  $p$ .

Pri tome mogu nastupiti tri slučaja prikazana na slici 1:

- slika 1 a) — ne dolazi do kondenzacije vodene pare unutar građevinske konstrukcije,
- slika 1 b) — dolazi do kondenzacije vodene pare u jednoj ravni građevinske konstrukcije, koja se zove (ravan) ravnina kondenzacije,
- slika 1 c) — dolazi do kondenzacije vodene pare u jednoj zoni građevinske konstrukcije koja se zove zona kondenzacije.

Opisani grafički prikaz zove se dijagram difuzije.

## 7

## Proračun gustine difuzijskog toka vodene pare

## 7.1

Za slučaj prikazan na slici 1 a), tj. kada ne dolazi do kondenzacije vodene pare unutar građevinskih konstrukcija, gustina difuzijskog toka vodene pare kroz građevinsku konstrukciju  $q_m$  data je izrazom:

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_i - p_e}{\Sigma r}$$

gde je:

$q_m$  — gustina difuzijskog toka vodene pare, u  $\text{g/m}^2 \text{ h}$ ,

$p_i$  — parcijalni pritisak vodene pare vazduha unutar zgrade, u kPa,

$p_e$  — parcijalni pritisak vodene pare vazduha izvan zgrade, u kPa,

$\Sigma r$  — suma relativnih otpora difuziji vodene pare svih slojeva građevinske konstrukcije, u m.

Koeficijent 0,62 dobijen je na računskoj pretpostavci da je srednja temperatura slojeva konstrukcije  $6 - 7^\circ \text{C}$ .

Gustina difuzijskog toka vodene pare koja ulazi u građevinsku konstrukciju jednaka je gustini difuzijskog toka koji izlazi iz te konstrukcije.

## 7.2

Za slučaj prikazan na slici 1 b), tj. kada dolazi do kondenzacije vodene pare u ravni kondenzacije, gustina difuzijskog toka vodene pare koji ulazi u građevinsku konstrukciju nije jednaka gustini difuzijskog toka vodene pare koji izlazi iz građevinske konstrukcije.

Gustina difuzijskog toka vodene pare koji ulazi u građevinsku konstrukciju data je izrazom:

$$q_{m_1} = 0,62 \cdot \frac{p_i - p_k'}{r'}$$

gde novouvedeni simboli imaju ova značenja:

$q_{m_1}$  — gustina difuzijskog toka vodene pare koji ulazi u građevinsku konstrukciju, u  $\text{g/m}^2 \text{ h}$ ,

$p_k'$  — pritisak zasićenja vodene pare u ravni kondenzacije, u kPa,

$r'$  — suma relativnih otpora difuziji vodene pare slojeva građevinske konstrukcije koji se nalaze između unutarnje površine konstrukcije i ravni kondenzacije, u m.

Gustina difuzijskog toka vodene pare koji izlazi iz građevinske konstrukcije data je izrazom:

$$q_{m_2} = 0,62 \cdot \frac{p_k' - p_e}{r''}$$

gde novouvedeni simboli imaju ova značenja:

- $q_{m2}$  — gustina difuzijskog toka vodene pare koji izlazi iz građevinske konstrukcije, u  $\text{g/m}^2 \text{ h}$ ,  
 $r''$  — suma relativnih otpora difuziji vodene pare slojeva građevinske konstrukcije koji se nalaze između ravni kondenzacije i spoljne površine konstrukcije, u m.

7.3 Za slučaj prikazan na slici 1 c), tj. kada dolazi do kondenzacije vodene pare u zoni kondenzacije, za gustinu difuzijskog toka važe sledeći izrazi:

$$q_{m1} = 0,62 \cdot \frac{p_i - p_{k1}'}{r'}$$

$$q_{m2} = 0,62 \cdot \frac{p_{k2}' - p_e}{r''}$$

gde novouvedeni simboli imaju ova značenja:

- $p_{k1}'$  — pritisak zasićenja vodene pare na ravni koja deli unutrašnji suvi deo građevinske konstrukcije od zone kondenzacije, u kPa,  
 $p_{k2}'$  — pritisak zasićenja vodene pare na ravni koja deli zonu kondenzacije od spoljašnjeg suvog dela građevinske konstrukcije, u kPa.

## 8 Izračunavanje količine kondenzata

Za slučajeve prikazane na slici 1 b) i c), količina kondenzovane vodene pare  $q_m'$  u  $\text{g/m}^2 \text{ h}$  koja ostaje unutar građevinske konstrukcije data je izrazom:

$$q_m' = q_{m1} - q_{m2}$$

Ukupna količina kondenzovane vodene pare  $q_{mz}'$  u  $\text{g/m}^2$  unutar građevinske konstrukcije na završetku razdoblja difuzije vodene pare data je izrazom:

$$q_{mz}' = q_m' \cdot 24 \cdot d$$

gde je  $d$  ukupno trajanje pojave difuzije vodene pare u danima za promatrano razdoblje.

## 9 Izračunavanje povećanja vlažnosti materijala sloja građevinske konstrukcije u kojem se kondenzovala vodena para

Na završetku razdoblja difuzije vodene pare, povećanje vlažnosti materijala sloja građevinske konstrukcije u kojem se kondenzovala vodena para koja je difuzijom prodrila u konstrukciju, dato je izrazom:

$$X_{dif}' = X_{dif} \cdot 100 = \frac{q_{mz}' \cdot 100}{d_r \cdot \rho_0}$$

gde je:

- $X_{dif}$  — vlažnost materijala sloja građevinske konstrukcije usled kondenzacije vodene pare koja je difuzijom prodrila u konstrukciju, u kg/kg,  
 $q_{mz}'$  — ukupna količina kondenzovane vodene pare unutar građevinske konstrukcije na završetku razdoblja difuzije, u  $\text{kg/m}^2$ ,  
 $d_r$  — računski debljina sloja konstrukcije u kojem se vodena para kondenzovala, u m,  
 $\rho_0$  — gustina suvog materijala sloja konstrukcije u kojem se vodena para kondenzovala, u  $\text{kg/m}^3$ .

10

### Izračunavanje ukupne vlažnosti materijala sloja građevinske konstrukcije u kojem se kondenzovala vodena para

Ukupna vlažnost materijala sloja građevinske konstrukcije u kojem se kondenzovala vodena para data je izrazom:

$$X_{uk}' = X_{uk} \cdot 100 = X_r' + X_{dif}' = (X_r + X_{dif}) \cdot 100$$

gde je:

$X_{uk}$  — ukupna vlažnost mase materijala sloja građevinske konstrukcije u kojem se kondenzovala vodena para, u kg/kg,

$X_r$  — prosečna računska vlažnost mase materijala sloja građevinske konstrukcije u kojem se kondenzovala vodena para, u kg/kg.

11

### Proračun isušenja građevinske konstrukcije

Ako je parcijalni pritisak vazduha sa obe strane građevinske konstrukcije manji od pritiska zasićenja vodene pare u ravni kondenzacije, odnosno na ravnama koje omeđuju zonu kondenzacije, dolazi do isušenja građevinske konstrukcije, pojavom difuzije vodene pare iz građevinske konstrukcije prema spoljašnjosti.

Za slučaj prikazan na slici 2a, gustina difuzijskog toka vodene pare koji izlazi iz građevinske konstrukcije data je izrazom:

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_k' - p_i}{r'} + 0,62 \cdot \frac{p_k' - p_e}{r''}, \text{ g/m}^2 \text{ h}$$

Za slučaj prikazan na slici 2b, gustina difuzijskog toka vodene pare koja izlazi iz građevinske konstrukcije data je izrazom:

$$q_m = 0,62 \cdot \frac{p_{k_1}' - p_i}{r'} + 0,62 \cdot \frac{p_{k_2}' - p_e}{r''}$$

12

### Proračun potrebnog vremena za isušenje građevinske konstrukcije

Potrebno vreme za isušenje građevinske konstrukcije dato je izrazom:

$$d = \frac{1,3 \cdot q_{mz}'}{q_m \cdot 24}$$

gde je:

$d$  — potrebno vreme za isušenje građevinske konstrukcije od kondenzovane vodene pare, koja je pojavom difuzije ušla u građevinsku konstrukciju, u danima,

$q_{mz}'$  — ukupna količina kondenzovane vodene pare unutar građevinske konstrukcije na završetku razdoblja difuzije vodene pare, u kg/m<sup>2</sup>,

$q_m$  — gustina difuzijskog toka vodene pare koji izlazi iz građevinske konstrukcije, u kg/m<sup>2</sup> h, proračunato prema t. 11.

Koeficijent 1,3 uzima u obzir usporavanje isušenja usled postepenog smanjenja protoka.

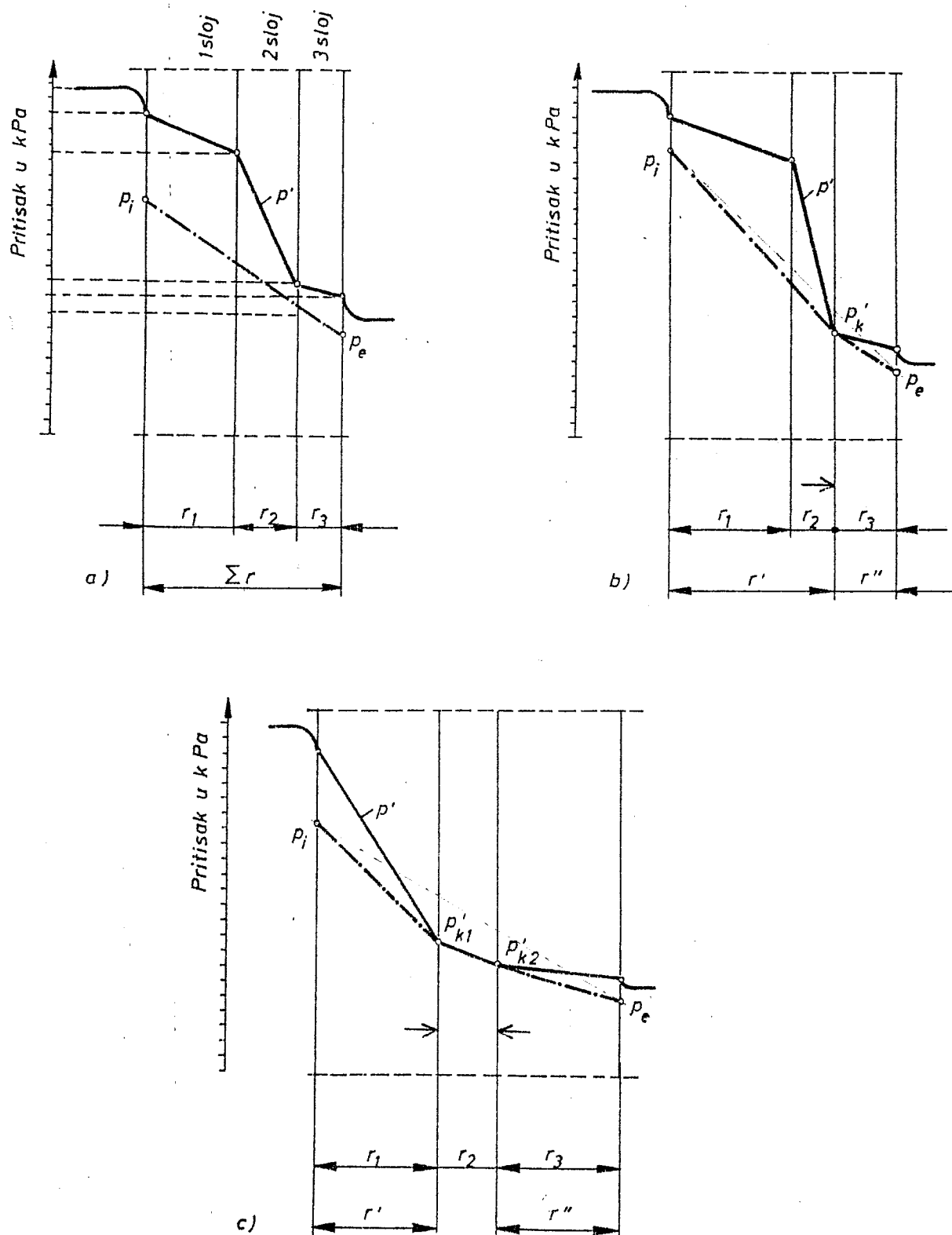
Veza sa drugim standardima

JUS U.J5.001 — Toplotna tehnika u građevinarstvu. Nazivi i definicije

JUS U.J5.600 — Toplotna tehnika u građevinarstvu. Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada

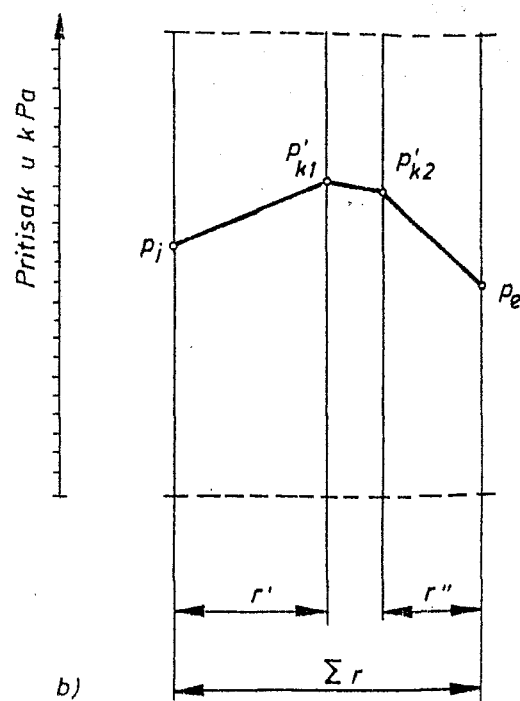
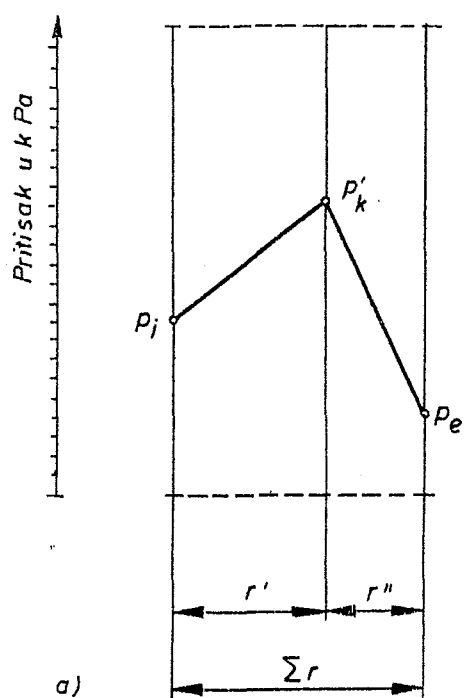
Tempe- ratura (°C)	Pritisak zasićenja vodene pare p' u kPa									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
35	5,624	5,653	5,684	5,716	5,748	5,780	5,812	5,844	5,876	5,908
34	5,320	5,348	5,377	5,408	5,439	5,478	5,499	5,529	5,560	5,590
33	5,031	5,057	5,087	5,115	5,143	5,172	5,201	5,231	5,260	5,289
32	4,755	4,781	4,808	4,835	4,863	4,889	4,917	4,945	4,973	5,001
31	4,493	4,518	4,543	4,570	4,595	4,622	4,647	4,673	4,700	4,727
30	4,243	4,267	4,291	4,316	4,340	4,366	4,390	4,415	4,440	4,466
29	4,006	4,028	4,051	4,075	4,099	4,122	4,146	4,170	4,194	4,218
28	3,780	3,800	3,823	3,846	3,868	3,890	3,912	3,936	3,959	3,982
27	3,565	3,586	3,607	3,627	3,648	3,671	3,692	3,714	3,735	3,758
26	3,361	3,380	3,400	3,420	3,440	3,460	3,482	3,502	3,527	3,543
25	3,167	3,186	3,205	3,223	3,243	3,262	3,283	3,301	3,321	3,340
24	2,983	3,001	3,019	3,038	3,055	3,074	3,093	3,111	3,130	3,149
23	2,809	2,826	2,842	2,859	2,877	2,894	2,913	2,930	2,947	2,965
22	2,643	2,659	2,675	2,691	2,709	2,725	2,742	2,758	2,775	2,791
21	2,486	2,502	2,517	2,533	2,547	2,563	2,579	2,595	2,611	2,627
20	2,337	2,351	2,366	2,381	2,395	2,410	2,426	2,441	2,455	2,471
19	2,196	2,210	2,223	2,238	2,251	2,266	2,279	2,294	2,309	2,323
18	2,063	2,075	2,089	2,102	2,115	2,129	2,142	2,155	2,169	2,182
17	1,937	1,949	1,961	1,974	1,986	1,999	2,013	2,025	2,037	2,050
16	1,817	1,829	1,841	1,853	1,865	1,877	1,889	1,901	1,913	1,925
15	1,704	1,716	1,726	1,738	1,749	1,760	1,772	1,782	1,794	1,806
14	1,598	1,608	1,618	1,629	1,640	1,650	1,661	1,672	1,682	1,696
13	1,497	1,506	1,517	1,526	1,537	1,546	1,557	1,568	1,577	1,588
12	1,402	1,412	1,421	1,430	1,440	1,449	1,458	1,468	1,477	1,488
11	1,312	1,321	1,330	1,338	1,348	1,357	1,365	1,374	1,384	1,393
10	1,227	1,236	1,244	1,252	1,261	1,269	1,277	1,286	1,294	1,304
9	1,147	1,156	1,164	1,172	1,178	1,186	1,194	1,202	1,212	1,220
8	1,072	1,080	1,086	1,094	1,102	1,097	1,117	1,125	1,132	1,140
7	1,001	1,008	1,016	1,022	1,029	1,036	1,044	1,050	1,058	1,065
6	0,935	0,941	0,948	0,954	0,961	0,968	0,974	0,981	0,988	0,994
5	0,872	0,878	0,884	0,890	0,897	0,902	0,909	0,916	0,922	0,928
4	0,813	0,818	0,825	0,830	0,836	0,842	0,848	0,854	0,860	0,866
3	0,758	0,762	0,768	0,774	0,780	0,785	0,790	0,796	0,799	0,808
2	0,705	0,710	0,716	0,721	0,726	0,732	0,736	0,741	0,746	0,752
1	0,657	0,661	0,667	0,670	0,676	0,681	0,685	0,690	0,696	0,701

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
+0	0,610	0,615	0,620	0,624	0,628	0,633	0,637	0,643	0,647	0,652
-0	0,610	0,605	0,600	0,596	0,591	0,587	0,581	0,576	0,572	0,567
-1	0,561	0,557	0,553	0,548	0,544	0,539	0,535	0,531	0,525	0,521
-2	0,516	0,513	0,508	0,504	0,500	0,496	0,492	0,488	0,484	0,480
-3	0,475	0,472	0,468	0,464	0,460	0,456	0,452	0,448	0,444	0,440
-4	0,436	0,433	0,429	0,425	0,423	0,419	0,415	0,412	0,408	0,404
-5	0,401	0,397	0,395	0,391	0,388	0,384	0,381	0,377	0,375	0,371
-6	0,368	0,365	0,361	0,359	0,356	0,352	0,349	0,347	0,344	0,340
-7	0,337	0,335	0,332	0,329	0,327	0,323	0,320	0,317	0,315	0,312
-8	0,309	0,307	0,304	0,301	0,299	0,296	0,293	0,291	0,288	0,285
-9	0,283	0,281	0,279	0,276	0,273	0,271	0,269	0,267	0,264	0,261
-10	0,260	0,257	0,255	0,252	0,251	0,248	0,245	0,244	0,241	0,240
-11	0,237	0,235	0,233	0,231	0,230	0,227	0,225	0,223	0,221	0,219
-12	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,204	0,201	0,200
-13	0,198	0,196	0,195	0,193	0,191	0,189	0,188	0,185	0,184	0,183
-14	0,181	0,179	0,177	0,176	0,175	0,173	0,171	0,169	0,168	0,167
-15	0,165	0,164	0,163	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,153	0,152
-16	0,151	0,149	0,148	0,147	0,145	0,144	0,143	0,141	0,140	0,139
-17	0,137	0,136	0,135	0,133	0,132	0,131	0,129	0,128	0,127	0,125
-18	0,125	0,124	0,123	0,121	0,120	0,119	0,117	0,116	0,116	0,115
-19	0,114	0,112	0,111	0,111	0,109	0,108	0,107	0,105	0,105	0,104
-20	0,103	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,097	0,096	0,095	0,095



Slika 1





Slika 2