

## MERENJE HIDROGRAMA OTICAJA SUŽENJEM

Lajoš HOVANJ  
Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet u Subotici,  
Katedra za hidrotehniku i vodno inženjerstvo okoline

### REZIME

Za merenje proticaja na početku i na kraju oticaja kiše može da posluži suženje bez praga. Metod za dimenzionisanje odgovarajućeg suženja je razvijen tokom 1980-tih godina, na Građevinskom fakultetu u Beogradu, pod rukovodstvom profesora dr Georgije Hajdina. Ovaj metod se zasniva na tečenju bez uticaja viskoznosti i površinskog napona vode. Godine 2018-e u hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Subotici ispitivano je strujanje vode pod uticajem viskoznosti i površinskog napona u suženju bez praga. Cilj ovog rada je da se sa ovom dopunom osposobi suženje za merenje hidrograma oticaja.

**Ključne reči:** suženje, Paršalovo suženje, merenje proticaja, hidrogram

### 1. UVOD

Osnovne karakteristike hidrograma oticaja kiše su povećanje proticaja vode od nulte vrednosti na početku oticaja, i smanjenje proticaja do nulte vrednosti na kraju oticaja. Zbog ovih karakteristika za merenje proticaja otekle vode može da posluži samo takav metod merenja, kod kog nema smetnji oticanju vode, na pr. merenje proticaja suženjem bez praga.

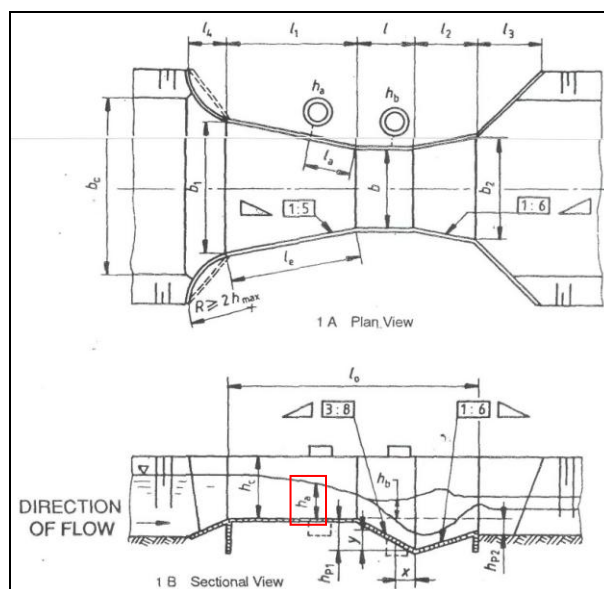
#### 1.1 Merenje proticaja vode suženjem bez uticaja na tečenje viskoznosti i površinskog napona vode

Jedan od najčešće korišćenih merača proticaja vode pomoću suženja je Paršalovo suženje (Slika 1).

Proticaj vode se određuje pomoću sledeće funkcije:

$$Q = C h_a^n \quad (1)$$

gde su:  $h_{a,\min} \leq h_a \leq h_{a,\max}$  merena dubina (Slika 1), a C i n koeficijenti prema tabeli 1.



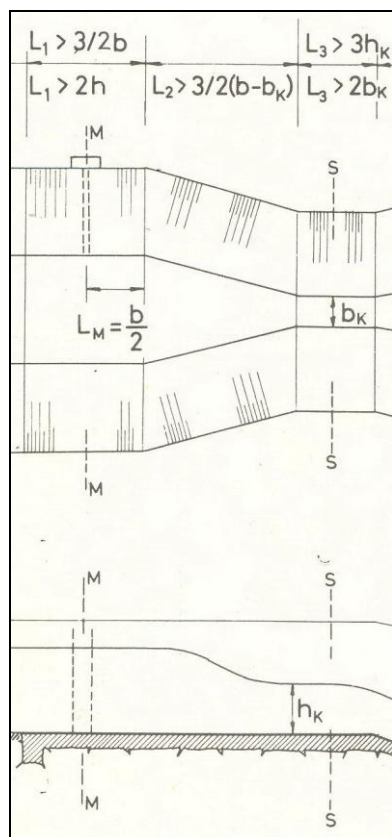
Slika 1. Paršalovo suženje prema međunarodnom standardu (ISO 9826:1992(E), IS 14371: 1996)

Tabela 1. Koeficijenti C i n u funkciji širine za manja Paršalova suženja prema međunarodnom standardu (ISO 9826:1992(E), IS 14371: 1996)

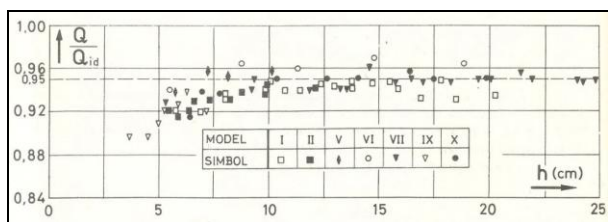
	b=0,152 m	b=0,25 m	b=0,30 m	b=0,45 m	b=0,6 m
$h_{a,\min}$ (m)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
$h_{a,\max}$ (m)	0,45	0,6	0,75	0,75	0,75
C	0,381	0,561	0,679	1,038	1,403
n	1,58	1,513	1,521	1,537	1,548

U datom dijapazonu merene dubine granice tačnosti merenja proticaja prema Heiner-u (2009) su od  $\pm 2\%$  do  $\pm 5\%$  (Heiner 2009). Osnovni problem ovog merača proticaja je postojanje praga u suženju, što ometa oticaj vode na početku i na kraju oticanja. Smanjenjem intenziteta i trajanja kiše zbog ove smetnje greška merenja hidrograma oticaja se povećava.

Mogućnost izbegavanja ovog problema pruža rezultat analize eksperimentalnih istraživanja dobijen na Građevinskom fakultetu u Beogradu, pod rukovodstvom profesora dr Georgije Hajdina, u vezi merenja proticaja suženjem (Hajdin 1980).



Slika 2. Potrebne dimenzije suženja za merenje proticaja vode prema ispitivanjima u Beogradu (Hajdin 1980)  
M – meri presek, S – suženi presek



Slika 3. Odnos proticaja pri realnom i idealnom fluidu  $Q$  i  $Q_{id}$  i merene dubine  $h$  za pravougaoni i trougaoni poprečni presek u suženju, prema rezultatu ispitivanja u Beogradu (Hajdin 1980)

Pri nepotopljenom tečenju vode vezu između proticaja  $Q$  i dubine vode u mernom preseku  $h$  daju sledeće jednačine (Slike 2 i 3) (Hajdin 1980):

- Bernulijeva jednačina za idealan fluid između mernog i suženog preseka:

$$z+h+\frac{Q_{id}^2}{2gA^2}=z_k+h_{kid}+\frac{Q_{id}^2}{2gA_{kid}^2} \quad (2)$$

- Frudov broj za idealan fluid u suženju:

$$\frac{Q_{id} B_{kid}}{gA_{kid}^3}=1 \quad (3)$$

- i veza između proticaja za realan i idealan fluid (sa granicama greške  $\pm 2\%$ ) pri  $h > 0,1$  m:

$$Q=0,95Q_{id} \quad (4)$$

gde su:  $z$ ,  $h$  i  $A$  kota dna, dubina vode i površina poprečnog preseka u mernom preseku,  $z_k$ ,  $h_{kid}$ ,  $B_{kid}$  i  $A_{kid}$  kota dna, dubina vode, širina vodnog ogledala i površina poprečnog preseka u suženju za idealan fluid, te  $g=9,81$  m/s<sup>2</sup> ubrzanje Zemljine sile teže.

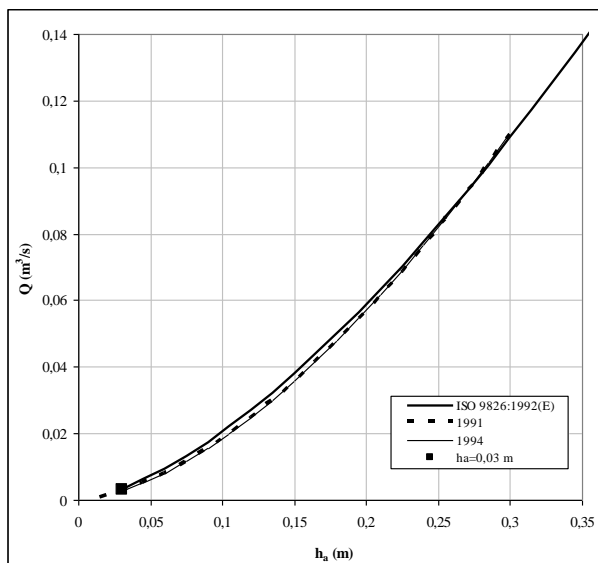
Korišćenjem ovih jednačina data je mogućnost dimenzionisanja suženja: a) bez praga u suženju i b) bez usporavanja u kanalu – na pr. za merodavan proticaj. Za  $Q_{max}$  iz jednačine (4) se utvrđuje proticaj za idealan fluid. Izjednačavanjem merene dubine za taj protok sa dubinom vode u kanalu bez suženja, za usvojeni oblik suženja pomoću jednačina (2) i (3) se utvrđuje dubina vode i širina vodnog ogledala u suženju. (Metod je proširen i za složeni oblik poprečnog preseka u suženju, gde se ovakav postupak izvodi za više proticaja.)

Funkcije (1) i (4) su namenjene za tečenje vode bez uticaja viskoznosti i površinskog napona.

## 1.2 Merenje proticaja vode suženjem uz uticaj viskoznosti i površinskog napona vode na tečenje

Merenjem na Paršalovom suženju širine  $b=0,305$  m Wright and Taheri (1991) su dokazali da za merene dubine  $0,015$  m  $< h_a < 0,305$  m važi funkcija  $Q=0,772h_a^{1,62}$  (Prilog 4) (Wright and Taheri 1991).

Pošto su za ovo suženje  $h_{a,min}=0,03$  m i  $h_{a,max}=0,75$  m (Tabela 1), ova popravka se odnosi i na deo dijapazona deklariranih ( $h_{a,min} < h_a < 0,3$  m) i nedeklariranih ( $h_a < h_{a,min}$ ) proticaja. Pri merenoj dubini  $h_{a,min} < h_a < 0,3$  m ova funkcija daje manji proticaj nego funkcija (1) međunarodnog standarda. Autori nisu naveli razlog ove pojave.



Slika 4. Veza proticaja i merene dubine  $h_a$  Paršalovog suženja širine 0,305 m prema funkcijama međunarodnog standarda, Wright and Taheri (1991) i Wright et al. (1994)

Prvi rad koji je naveo i razlog spomenute pojave je Wright et al. (1994) (Wright et al. 1994, Heiner 2009, Singh et al. 2014). Ispitali su Paršalovo suženje širine  $b=0,076, 0,152, 0,305$  i  $0,61$  m. Za proračun malih proticaja, zbog uticaja viskoznosti vode na strujanje predložili su nove koeficijente u funkciji (1) (Tabela 2).

Tabela 2. Koeficijenti C i n za utvrđivanje manjih proticaja pomoću funkcije (1) prema ispitivanju Wright et al. (1994)

	$b=0,076$ m	$b=0,152$ m	$b=0,305$ m	$b=0,61$ m
min. $h_a$ (m), ispitivan	0,0137	0,0131		
maks. $h_a$ (m)	0,134	0,085	0,305	0,075
C	0,199	0,451	0,778	1,429
n	1,607	1,648	1,622	1,55

Bez obzira na navedeni razlog ovi koeficijenti ne sadrže nikakvu karakteristiku viskoznosti vode. Slična konstatacija važi i za funkciju publikovanu 1991-e godine, koja sa funkcijom iz 1994-e godine prikazuje sličnu  $Q-h_a$  vezu (Slika 4).

Tokom 18-24.1.2014. godine i 6-14.1.2015. godine u hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Subotici ispitivana je mogućnost merenja proticaja Paršalovim suženjem širine  $b=0,0254$  m (Hovány and Gabrić 2014; Gabrić et al. 2015). Dubina vode je merena 2014-e godine mernom iglom (tačnosti 0,1 mm), a 2015-e ultrazvučnom sondom EasyTREK SPA-380-4 proizvođača Nivelco (tačnosti 1 mm). Tokom merenja osmatrana je i temperatura vode.

Na osnovu rezultata analize mogućnosti merenja hidrograma oticaja oštroičnim prelivom, 2018-e godine je ponuđena nova funkcija za utvrđivanje proticaja vode Paršalovim suženjem (Hovanj 2018):

$$\frac{Q}{b_a h_a} = f\left(\sqrt[3]{\frac{Re^2}{We}}\right) = f\left(\sqrt[3]{\frac{\sigma h_a}{\rho v^2}}\right) \quad (5)$$

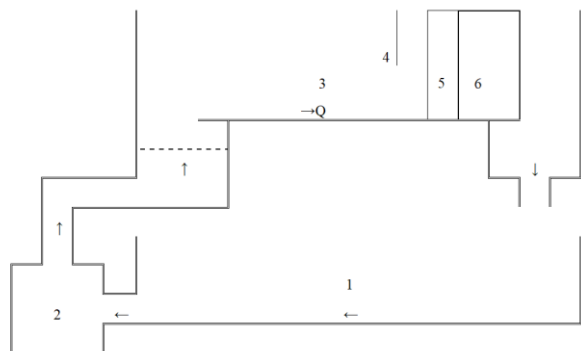
U ovoj funkciji su:  $b_a$  širina Paršalovog suženja kod mernog mesta,  $We$  i  $Re$  Veberov i Rejnoldsov broj,  $\rho$  gustina,  $\sigma$  koeficijent površinskog napona a  $v$  kinematski koeficijent viskoznosti vode. Na osnovu merenja iz 2015-e godine, za merene dubine  $0,007 \text{ m} \leq h_a \leq 0,133 \text{ m}$ , pri temperaturi vode između 12 i 16°C (prosečno 12,7°C), dobijen je polinom šestog reda funkcije tipa (5). Greške utvrđivanja proticaja su između -4,02 i +5,22%. Pošto je za ovo suženje minimalna merena dubina  $h_{a,min}=0,019 \text{ m}$ , u skladu sa funkcijama publikovanim 1991-e i 1994-e godine i ova funkcija važi i za deo deklariranih i nedeklariranih proticaja.

Cilj ovog rada je upotreba funkcije tipa (5) kod suženja bez praga merenjem nivoa vode mernom iglom (tačnosti  $\pm 0,1 \text{ mm}$ ) ili sondom (tačnosti  $\pm 1 \text{ mm}$ ).

## 2. OPIS INSTALACIJE

U hidrauličkoj laboratoriji Građevinskog fakulteta u Subotici suženje bez praga je ugrađeno na nizvodni kraj kanala širine  $B=0,1 \text{ m}$  i dužine 2,25 m (Slika 5).

Voda koja je iz rezervoara pomoću cprke dovedena u kanal, nakon nepotopljenog tečenja u suženju, pomoću cevi, ili se vratila u rezervoar, ili je dovedena u sud za zahvatanje vode.



Slika 5. Eksperimentalna instalacija  
1 – rezervoar za vodu, 2 – crpka, 3 – kanal širine B, 4 – merna igla, 5 – prelazni deo, 6 – suženje pravougaonog poprečnog preseka, širine  $b_s$  i dužine  $L_s$

Širina suženja je bila  $b_s=6,7$  cm a dužina  $L_s=24,5$  cm. Između kanala širine B i suženja širine  $b_s$  nalazi se prelazni deo sa nagibom 1:6. Prema preporuci navedenoj na slici br. 2 merni presek se nalazio za  $B/2=5$  cm uzvodno od uzvodnog preseka prelaznog dela. Kota dna mernog preseka je bila za 1,6 mm niža od kote dna suženja.

Nivo vode je meren mernom iglom tačnosti  $\pm 0,1$  mm.

Zahvatanje vode je trajalo najmanje 25 s. Težina vode je izmerena vagom od 5 grama tačnosti (do 15 kg-a težine) i od 10 g tačnosti (od 15 kg-a do 150 kg-a).

Tokom zahvatanja vode u blizini mernog preseka izmerena je temperatura vode. Temperatura vode tokom celog merenja je varirala između 19 i 21, prosečno  $19,47^\circ\text{C}$ . Gustina vode je merena menzutom zapremine  $1\text{ dm}^3$ , namenjenom za vodu temperature  $20^\circ\text{C}$ . Gustina vode je bila  $1\text{ kg/dm}^3$ . Zbog ove činjenice proticaj vode je računat pomoću sledeće jednačine:

$$Q = \frac{G_{\text{sud+voda}} - G_{\text{sud}}}{t} \quad (6)$$

gde su  $G_{\text{sud+voda}}$  težina suda i zahvaćene vode (kg),  $G_{\text{sud}}$  težina suda (kg) i  $t$  vreme zahvatanja vode (s).

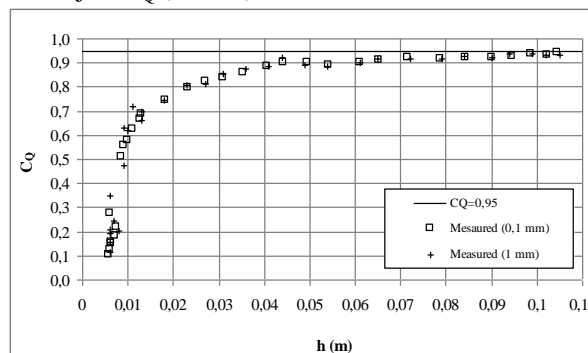
Greška određivanja proticaja je računata pomoću jednačine  $\text{Error} (\%) = 100 \cdot (Q_j - Q_{(6)}) / Q_{(6)}$ , gde su  $Q_j$  proticaj vode računat funkcijom navedenom na slici br. 7, i  $Q_{(6)}$  proticaj vode računat pomoću jednačine (6).

### 3. REZULTATI MERENJA

Tokom 5. i 6. novembra 2018. godine izvedena su 32 merenja.

Merena dubina se menjala između 0.0058 m i 0.1046 m.

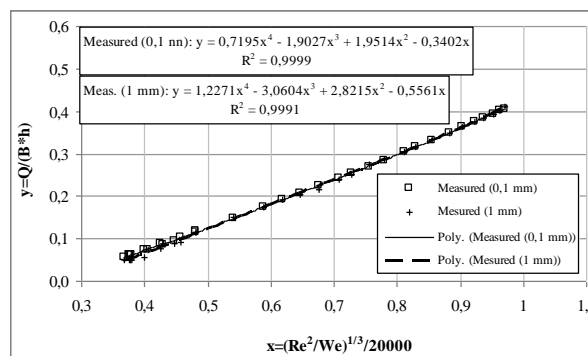
Pomoću jednačine (2) i (4) za svako merenje je utvrđen koeficijent  $C_Q$  (Slika 6).



Slika 6. Koeficijent  $C_Q$  za izmerene proticaje

Slično funkciji (9) za ispitivano suženje utvrđene su funkcije tipa (7):

$$\frac{Q}{Bh} = f\left(\sqrt[3]{\frac{Re^2}{We}}\right) = f\left(\sqrt[3]{\frac{\sigma h}{\rho v^2}}\right) \quad (7)$$



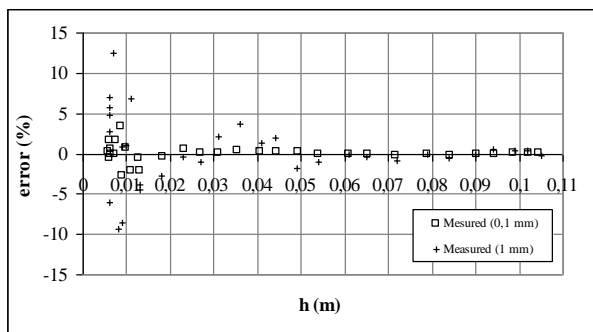
Slika 7. Funkcije tipa (7) za ispitivano suženje

### 4. DISKUSIJA

1. Prema dobijenim vrednostima koeficijenta  $C_Q$  rezultati merenja su potvrdili jednačinu (4) utvrđenu ispitivanjem na Građevinskom fakultetu u Beogradu (Slike br. 3 i 6): za  $h > 0,1$  m  $C_Q = 0,95$ .

2. Za razliku od funkcija (1) i (4), koje su namenjene za strujanje bez uticaja viskoznosti i površinskog napona, funkcije tipa (7) važe za  $h \leq 0,1046$  m (Slika 7). Uz metodu razvijenu u Beogradu time je omogućeno merenje hidrograma oticaja.

3. Korišćenjem jednačine navedene na slici br. 7 za proračun proticaja greška kod utvrđivanja proticaja će biti između -2,77% i +3,39%, pri tačnosti merenja nivoa  $\pm 0,1$  mm, odn. -9,31% i +12,51% pri tačnosti merenja  $\pm 1$  mm (Slika 8).



Slika 8. Greške merenja proticaja ispitivanog suženja

## 5. ZAKLJUČAK

Korišćenjem funkcije tipa (7) za utvrđivanje proticaja za  $h < 0,1$  m i metod razvijen u Beogradu za  $h > 0,1$  m omogućeno je merenje hidrograma oticaja.

Da bi dijapazon tačnosti merenja proticaja bio između -2,77% i +3,39% za  $h < 0,1$  m nivo vode treba meriti instrumentom tačnosti  $\pm 0,1$  mm.

## LITERATURA

- [1] International Standard ISO 9826:1992(E): *Measurement of liquid flow in open channels – Parshall and SANIIRI flumes*. International Organization for Standardization, Switzerland, 1992.
- [2] Indian Standard (1996), *Measurement of liquid flow in open channels – Parshall and Saniiri flumes*, IS 14371: 1996.
- [3] Heiner, B.J.: *Parshall Flume Staff Gauge Location and Entrance Wingwall Discharge Calibration Corrections* (2009). All Graduate Theses and Dissertations. Paper 480. <http://digitalcommons.usu.edu/etd/480>
- [4] Hajdin, G. (Odgovorni urednik) (1980): *Merni objekti za određivanje proticaja u otvorenim tokovima. Pripremljeno za seminar Merenje proticaja u otvorenim kanalima i sistemima sa slobodnom površinom MEPROKS '80 11.-12. aprila 1980*. Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Institut za hidrotehniku.
- [5] Wright, S.J. and Taheri, B. (1991): *Correction to Parshall Flume Calibrations at Low Discharges*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 120(2), str. 800-804.
- [6] Wright, S.J., Tullis, B.P. and Long, T.M. (1994): *Recalibration of Parshall flumes at low discharges*. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 117(5), str. 348-362.
- [7] Singh, J., Mittal, S.K. and Tiwari, H.L. (2014): *Discharge Relation for Small Parshall Flume in Free Flow Condition*. International Journal of Research in Engineering and Technology Volume: 03 Issue: 04 | Apr-2014, str. 317-321.
- [8] Hovány, L. and Gabrić, O. (2014): *Parshall Flume Calibration for Free Flow*. Subotica, Journal of Faculty od Civil Engineering. International Conference Contemporary Achievements in Civil Engineering 24.-25.4.2014., 25, str. 653-659.
- [9] Gabrić, O., Hovány, L., Horvat, M. and Horvat, Z. (2015): *Parshall Flume Calibration for Hydrograph Measurement*. Subotica, Međunarodna konferencija Savremena dostignuća u građevinarstvu 24. Aprila 2015., str. 583-588.
- [10] Hovanj, L. (2018): *Hidrogram oticaja meren Paršalovim suženjem – korišćenjem jedne jednačine*. Vodoprivreda 2018(294-296), str. 333-336.

## MEASURING RUNOFF HYDROGRAPHS USING A FLUME

by

Lajos HOVANY

University of Novi Sad, Faculty of Civil Engineering Subotica,  
Dept. of Hydraulic, Water Resources and Environmental Engineering,  
Kozaracka 2/a, 24000 Subotica

### Summary

A method for dimensioning flumes with horizontal bottom was developed at the Faculty of Civil Engineering in Belgrade (Serbia) during the 1980's, under the leadership of Professor Georgije Hajdin. This method was developed neglecting the influence of viscosity and surface tension of water. It is not suitable for measuring runoff hydrographs at the beginning and at the end of storm water runoff, since the flow is under the influence of viscosity and surface tension. In 2018,

in the hydraulic laboratory of the Faculty of Civil Engineering in Subotica (Serbia) flow of water under the influence of viscosity and surface tension in a flat bottom flume has been examined. The aim of this paper is to, with this addendum, enable flumes for measuring runoff hydrographs.

Key words: flume, Parshall flume, flow measurement, hydrograph

Redigovano 10.11.2020.