

# Primena karakteristika jednakog kvaliteta „kašnjenje-eho-gubitak paketa” u projektovanju Internetskih govornih veza

Aleksandar Lebl, Dragan Mitić, Predrag Petrović, Vladimir Matić, Mladen Mileusnić, Žarko Markov

IRITEL a.d.

Beograd, Srbija

[lebl@iritel.com](mailto:lebl@iritel.com), [mita@iritel.com](mailto:mita@iritel.com), [presa@iritel.com](mailto:presa@iritel.com), [vmatic@iritel.com](mailto:vmatic@iritel.com), [mladenmi@iritel.com](mailto:mladenmi@iritel.com), [zmarkov@iritel.com](mailto:zmarkov@iritel.com)

**Abstract**— U ovom radu se prikazuju karakteristike jednakog kvaliteta veze za pojedine tipove kodera/kompresora, primenjene u Internetskim govornim vezama. Brojni su činioci koji zajednički utiču na kvalitet Internetske govorne veze. U radu se razmatra istovremeni uticaj kašnjenja, gubitka paketa i odjeka za pojedine tipove kodera/kompresora. Na osnovu prikazanih grafika može se utvrditi kako varijacije jednog od pomenutih parametara utiču na potrebne varijacije druga dva parametra, ukoliko se želi određeni kvalitet veze. Na kraju rada jednim primerom je ilustrovana primena karakteristika „kašnjenje-eho-gubitak paketa”.

**Ključne reči**- VoIP; E-model; koder/kompresor; karakteristike jednakog kvaliteta

## I. UVOD

Karakteristike slanja govornog signala preko Interneta su uslovljene uticajem čitavog niza činilaca, koji su bili nepoznati u klasičnoj telefoniji, ili je njihov uticaj bio daleko manje izražen nego kod prenosa preko Interneta. Ti činioci su brojni: primena raznovrsnih tipova kodera (kompresora), formiranje paketa, koji udružuju veći broj kodovanih odbiraka signala, kašnjenje paketa, džiter kašnjenja paketa, gubitak paketa, postupak nadoknade izgubljenih paketa, odjek u vezi, itd. Među ovim činiocima značajan je uticaj kašnjenja paketa, verovatnoće gubitka paketa i odjeka. Uticaj ovih činilaca, kao i drugih prethodno pomenutih, je takav da se njihov efekat sabira, dovodeći zajedničkim dejstvom do umanjavanja kvaliteta veze. Ako jedan činilac znatno umanjuje kvalitet veze, drugi (ili ostali) činioci ne smeju značajnije smanjivati kvalitet veze. Međutim, postojeće karakteristike, koje se koriste u projektovanju Internetskih veza, su takve da se sa jednog grafika ne može istovremeno oceniti uticaj većeg broja činilaca. Naprimera, rad [1] se ograničava na prikaz istovremenog uticaja dva bitna činioca: kašnjenja i gubitka paketa.

U ovom radu uvodimo još dva elementa u analizu: eho i polazno kašnjenje u pripremi paketa za slanje. Ograničavamo se na prikaz karakteristika kvaliteta za kodere/kompresore G.711, G.723.1 i G.729.

## II. PRIMENA E-MODELA U ANALIZI INTERNETSKOG GOVORNOG SIGNALA

Jedan od načina za procenu kvaliteta Internetske govorne veze je E-model. E-model je proračunski model za analizu kvaliteta govorne veze. Njegova karakteristika je da uvodi jedinstvenu brojnu ocenu kvaliteta govorne veze. Delovanje pojedinih činilaca, koji utiču na kvalitet govorne veze, izražava se brojnom vrednošću umanjavanja kvaliteta veze u odnosu na kvalitet idealne veze. Skup mogućih kvaliteta veze nalazi se u opsegu od  $R=0$  do  $R=100$ , a svaki od činilaca pojedinačno uvodi umanjjenje. Umanjenja prouzrokovana dejstvom svih činilaca se sabiraju i daju zbirno umanjjenje u odnosu na kvalitet idealne veze.

Za kvalitet idealne veze uzima se 94, što je nešto manja vrednost od maksimalno predviđenih 100. Vrednost 94 odgovara kvalitetu lokalne ISDN veze, koja ima najbolji kvalitet [2].

Pojedine brojčane ocene kvaliteta veze imaju značenja prikazana u tabeli I.

TABELA I. ZNAČENJE POJEDINIH KVALITETA VEZE ( $R$ )

Kvalitet veze	Opis kvaliteta
90-100	Vrlo zadovoljavajući
80-90	Zadovoljavajući
70-80	Neki korisnici nezadovoljni
60-70	Mnogi korisnici nezadovoljni
50-60	Skoro svi korisnici nezadovoljni
<50	Neprihvatljiv

Osnovna jednačina E-modela povezuje ukupni činilac dobrote veze ( $R$ ) sa pokazateljima pojedinih uticaja na kvalitet veze. Ona se prikazuje izrazom iz [2]:

$$R=R_0-I_S-I_D-I_e+A \quad (1)$$

U ovom izrazu pojedine veličine su:

$RO$  – kvalitet idealne veze;

$I_S$  – „simultaneous impairment factor“: činilac koji objedinjuje istovremene ometajuće pojave, kao što su odstupanja korisničkih strana od standardnih vrednosti, preveliki uticaj sopstvenog glasa govornika i šum kvantizacije;

$I_D$  – činilac umanjenja kvaliteta veze zbog kašnjenja: činilac koji iskazuje uticaj kašnjenja govornog signala i odjeka (kod govornika i kod slušaoca) na smanjenje kvaliteta veze;

$I_e$  – činilac umanjenja kvaliteta veze: činilac koji iskazuje uticaj kompresora, gubitka paketa i postupaka nadoknade paketa;

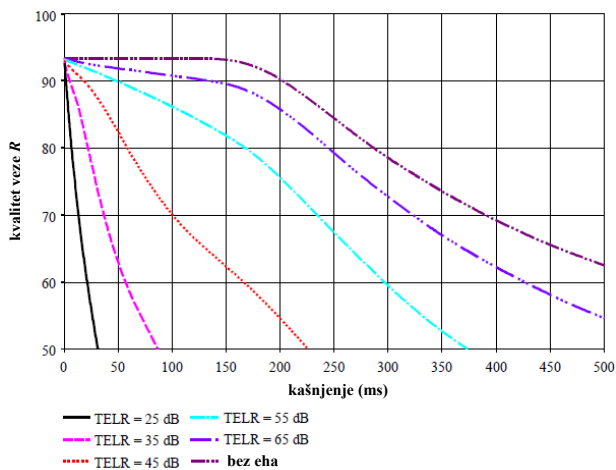
$A$  – činilac unapređenja kvaliteta veze koji je psihološke prirode i pokazuje subjektivni osećaj poboljšanja veze ukoliko se očekuje loša veza ili se ne očekuje njeno ostvarenje.

Činioci  $I_S$ ,  $I_D$  i  $I_e$  umanjuju kvalitet veze, dok ga činilac  $A$  povećava.

U ovom radu ograničavamo se na analizu činilaca  $I_D$  i  $I_e$ , koji su i najvažniji. Prvo je dat pregled sastavnih elemenata ovih činilaca i postojeći način prikaza njihovih uticaja. Posle toga su date zbirne karakteristike ovih uticaja za pojedine tipove kodera/kompresora.

### III. KRATAK PRIKAZ UTICAJA POJEDINIH ČINILACA

Prikaz uticaja samo kašnjenja i odjeka (odnosno uticaj  $I_D$  činioca) na kvalitet veze dat je u [3], [4]. Na Sl. III.1 u [3], odnosno Sl. 4 u [4] prikazana je zavisnost činioca dobrote veze od kašnjenja, pri čemu „Talker Echo Loudness Rating“ (TELR) predstavlja parametar za ove karakteristike (TELR je razlika snage izvornog signala i signala odjeka). Ovde je ta karakteristika data na Sl. 1. Karakteristika se može predstaviti i kao grafik TELR u zavisnosti od kašnjenja, pri čemu je činilac dobrote veze parametar na graficima (Sl. 2a i Sl. 2b u [3]).



Slika 1. Zavisnost faktora dobrote veze ( $R$ ) od kašnjenja i odjeka (TELR).

Uticaj gubitaka paketa na kvalitet veze izražava se formulom (7-29) iz [2]:

$$I_{e-eff} = I_e + \frac{(95 - I_e) \times P_{pl}}{B_{pl} + BurstR} \quad (2)$$

gde je značenje pojedinih promenljivih:

$I_{e-eff}$  – efektivni činilac umanjenja kvaliteta veze. To je vrednost  $I_e$  korigovana zbog uticaja gubitka paketa;

$P_{pl}$  – verovatnoća gubitka paketa (u procentima);

$BurstR$  – faktor grupisanosti, prikazuje uticaj grupnih gubitaka paketa. Vrednost ovog faktora za slučajne gubitke paketa (koji se razmatraju u ovom radu) je 1;

$B_{pl}$  – faktor robustnosti, koji predstavlja otpornost na gubitke paketa.

Vrednosti činioca  $I_e$  za neke tipove kodera/kompresora prikazane su u tabeli II, prema vrednostima datim u tabeli I.1 u [5].

TABELA II. UMANJENJE KVALITETA GOVORNOG SIGNALA ZA POJEDINE VRSTE KODERA/KOMPRESORA.

Koder/kompresor	Širina opsega (kb/s)	$I_e$
G.711	64	0
G.729	8	10
G.723.1	6.3	15

Vrednosti faktora  $B_{pl}$  prikazane su u tabeli I.3 u [5]. Neke od vrednosti iz ove tabele date su u tabeli III.

TABELA III. VREDNOSTI FAKTORA ROBUSTNOSTI ZA POJEDINE TIPOVE KODERA/KOMPRESORA

Koder/kompresor	$B_{pl}$
G.711 bez PLC	4,3
G.711 sa PLC	25,1
G.723.1	16,1
G.729	19

### IV. PRORAČUN PARAMETARA ZA POJEDINE GRAFIKE

Da bi se došlo do karakteristika, koje prikazuju zajednički uticaj kašnjenja, eha i gubitka paketa, polazi se od karakteristika sa Sl. 1, koje uključuju samo uticaj kašnjenja i eha na faktor dobrote veze. Vrednosti očitane sa ovog grafika ustvari će predstavljati vrednosti u slučaju da nema gubitka paketa ( $P_{pl}=0$ ). Za kašnjenja veća od 0 ms, umanjuje se vrednost kvaliteta veze za onoliko jedinica, koliko se odredi

TABELA IV. PRORAČUNATE I APROKSIMATIVNE VREDNOSTI UMANJENJA KVALITETA VEZE ZA RAZLIČITE VEROVATNOĆE GUBITKA PAKETA U SLUČAJU PRIMENE G.711 KODERA SA NADOKNADOM IZGUBLJENIH PAKETA (PLC)

$P_{pl}$	$I_{e-eff}$ (proračun)	$I_{e-eff}$ (aproksimacija)
0	0	0
1	3,64	5
2	7,01	7
3	10,14	10
5	15,78	15

na osnovu jednačine (1), uz pomoć vrednosti  $I_e$  i  $B_{pl}$  uzetih iz tabela II i III.

TABELA V. PRORAČUNATE I APROKSIMATIVNE VREDNOSTI UMANJENJA KVALITETA VEZE ZA RAZLIČITE VEROVATNOĆE GUBITKA PAKETA U SLUČAJU PRIMENE G.711 KODERA BEZ NADOKNADE IZGUBLJENIH PAKETA

$P_{pl}$	$I_{e-eff}$ (proračun)	$I_{e-eff}$ (aproksimacija)
0	0	0
1	17,92	18
2	30,16	30
3	39,04	40
5	51,08	50

TABELA VI. PRORAČUNATE I APROKSIMATIVNE VREDNOSTI UMANJENJA KVALITETA VEZE ZA RAZLIČITE VEROVATNOĆE GUBITKA PAKETA U SLUČAJU PRIMENE G.723.1 KOMPRESORA

$P_{pl}$	$I_{e-eff}$ (proračun)	$I_{e-eff}$ (aproksimacija)
0	15	15
1	19,68	20
2	23,84	25
4	30,92	30
5	33,96	35

TABELA VII. PRORAČUNATE I APROKSIMATIVNE VREDNOSTI UMANJENJA KVALITETA VEZE ZA RAZLIČITE VEROVATNOĆE GUBITKA PAKETA U SLUČAJU PRIMENE G.729 KOMPRESORA

$P_{pl}$	$I_{e-eff}$ (proračun)	$I_{e-eff}$ (aproksimacija)
0	10	10
1	14,25	15
2	18,1	18
4	24,78	25
5	27,71	28

U tabelama IV do VII date su vrednosti  $I_{e-eff}$  dobijene proračunom i aproksimativne vrednosti, koje se koriste za prikazivanje grafika. Prikazane su vrednosti za G.711 koder sa nadoknadom izgubljenih paketa (*Packet Loss Concealment* – PLC) (tabela IV), G.711 koder bez nadoknade izgubljenih paketa (tabela V), G.723.1 kompresor (tabela VI) i G.729 kompresor (tabela VII). Kada se radi o vrednostima  $I_{e-eff}$  za koder G.711 sa nadoknadom izgubljenih paketa (tabela IV u radu), iste ove aproksimativne vrednosti bile su predviđene u starijim verzijama ITU-T preporuka (tabela I.3 u [6]).

Još jedan element o kome treba voditi računa pri određivanju vrednosti kašnjenja za prikaz željenih karakteristika je i kašnjenje u procesu pripreme paketa za slanje (tj. polazno kašnjenje -  $T_p$ ) [7], [8]. Ovo kašnjenje obuhvata vreme prikupljanja uzoraka govornog signala, koji se paketizuje (*accumulation delay*), vreme potrebno da se sagledaju

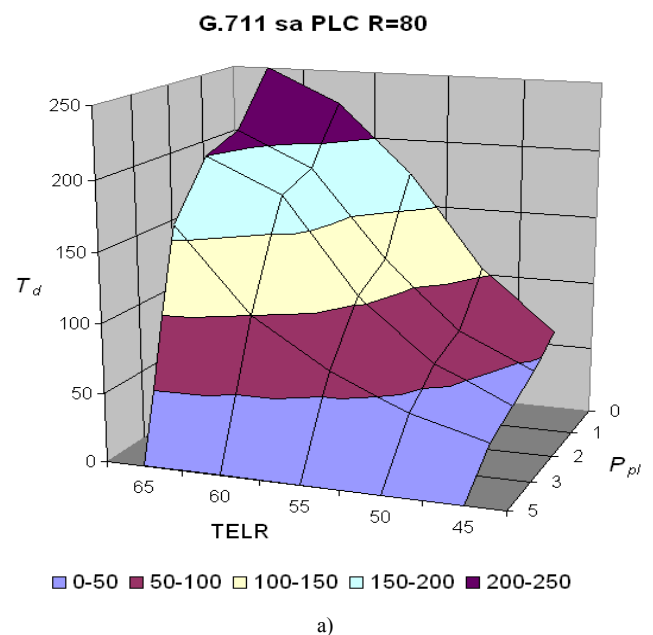
karakteristike sledećeg segmenta govornog signala (*look-ahead delay*) i vreme procesorske obrade potrebno da se proračuna sadržaj paketa (*processing delay*). U tabeli VIII date su maksimalne vrednosti kašnjenja u procesu pripreme paketa za slanje za pojedine kodere/kompresore. Ukoliko se radi o G.711 koderu, ovo kašnjenje je zanemarljivo.

TABELA VIII. MAKSIMALNE VREDNOSTI POLAZNOG KAŠNJENJA ZA POJEDINE TIPOVE KODERA/KOMPRESORA

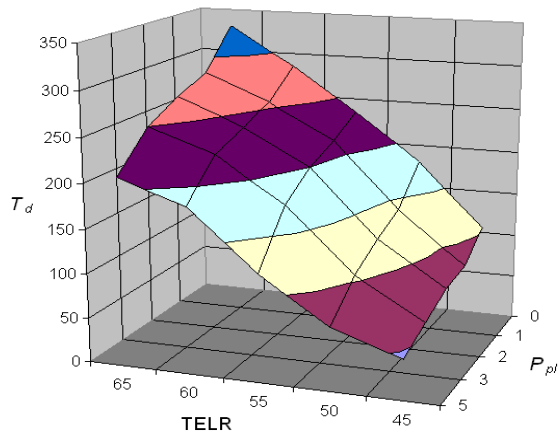
Koder/kompresor	$T_p$ (ms)
G.711	0,375
G.723.1	97,5
G.729	35

## V. KARAKTERISTIKE ZA POJEDINE KODERE/KOMPRESORE

Karakteristike jednakog kvaliteta u oblasti kašnjenje ( $T_d$  u ms) – odjek (TELR u dB) - verovatnoća gubitka paketa ( $P_{pl}$  u %) prikazane su za G.711 koder sa PLC (Sl. 2), G.711 koder bez PLC (Sl. 3), G.723.1 kompresor (Sl. 4) i G.729 kompresor (Sl. 5). Kašnjenje u procesu pripreme paketa, koje je značajno kod G.723.1 i G.729 kompresora uključeno je kod prikaza karakteristika, tako da kašnjenje na grafiku odgovara kašnjenju u mreži. Na osnovu tabele I može se naći kakav kvalitet veze odgovara kojem od grafika sa Sl. 2-5.



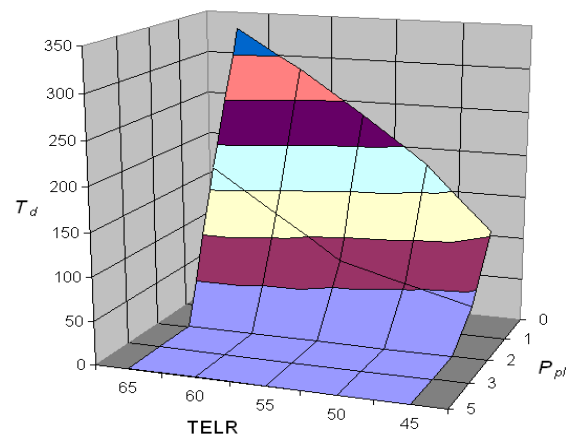
**G.711 sa PLC R=70**



■ 0-50 ■ 50-100 ■ 100-150 ■ 150-200 ■ 200-250 ■ 250-300 ■ 300-350

b)

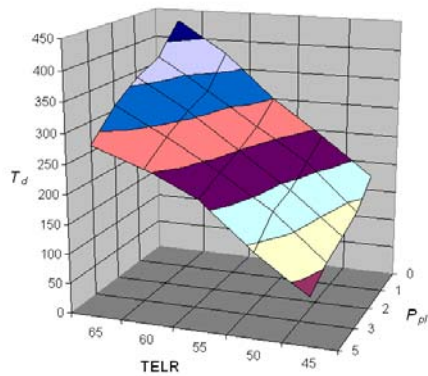
**G.711 bez PLC R=70**



■ 0-50 ■ 50-100 ■ 100-150 ■ 150-200 ■ 200-250 ■ 250-300 ■ 300-350

a)

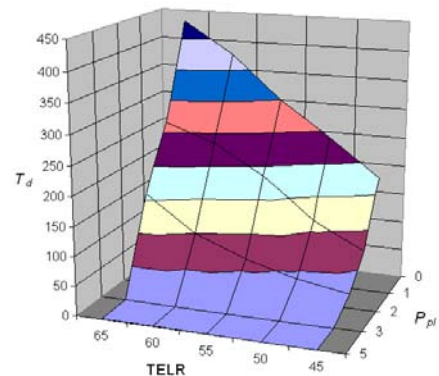
**G.711 sa PLC R=60**



■ 0-50 ■ 50-100 ■ 100-150 ■ 150-200 ■ 200-250 ■ 250-300 ■ 300-350 ■ 350-400 ■ 400-450

c)

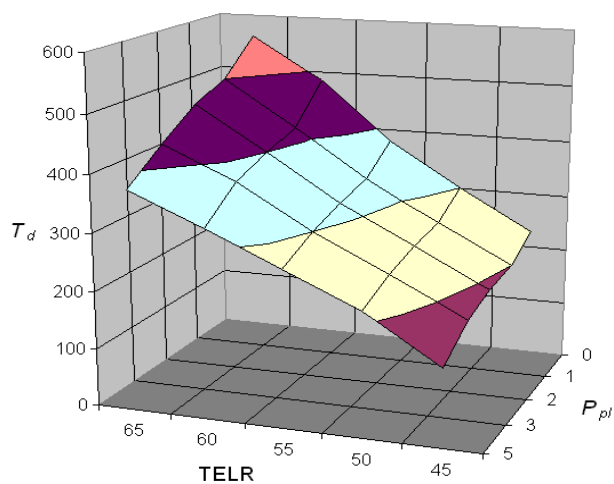
**G.711 bez PLC R=60**



■ 0-50 ■ 50-100 ■ 100-150 ■ 150-200 ■ 200-250 ■ 250-300 ■ 300-350 ■ 350-400 ■ 400-450

b)

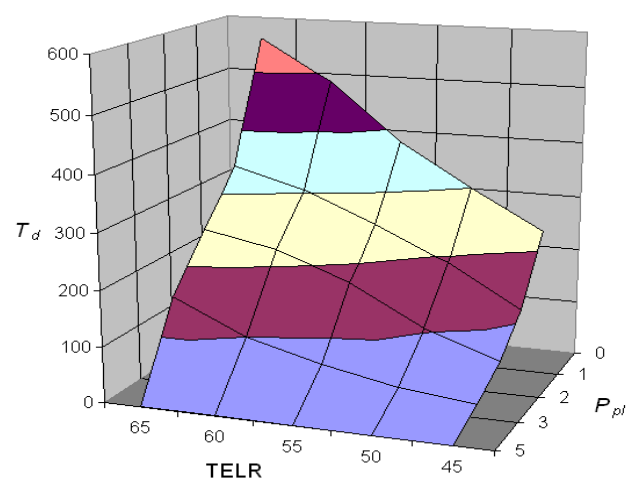
**G.711 sa PLC R=50**



■ 0-100 ■ 100-200 ■ 200-300 ■ 300-400 ■ 400-500 ■ 500-600

d)

**G.711 bez PLC R=50**

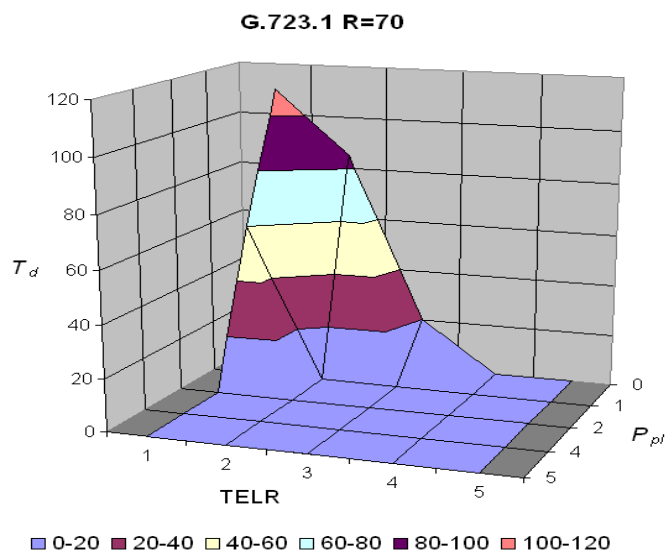


■ 0-100 ■ 100-200 ■ 200-300 ■ 300-400 ■ 400-500 ■ 500-600

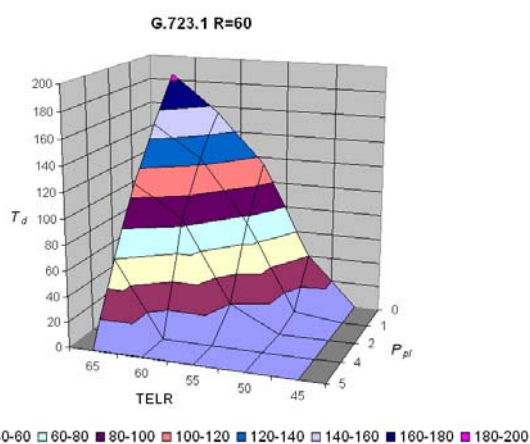
c)

Slika 2. Karakteristike jednakog kvaliteta kašnjenje-odjek-gubitak paketa za G.711 koder sa PLC.

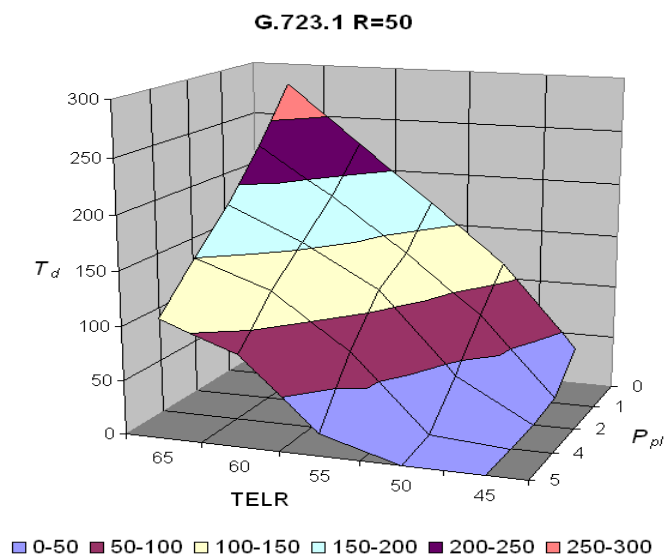
Slika 3. Karakteristike jednakog kvaliteta kašnjenje-odjek-gubitak paketa za G.711 koder bez PLC.



a)

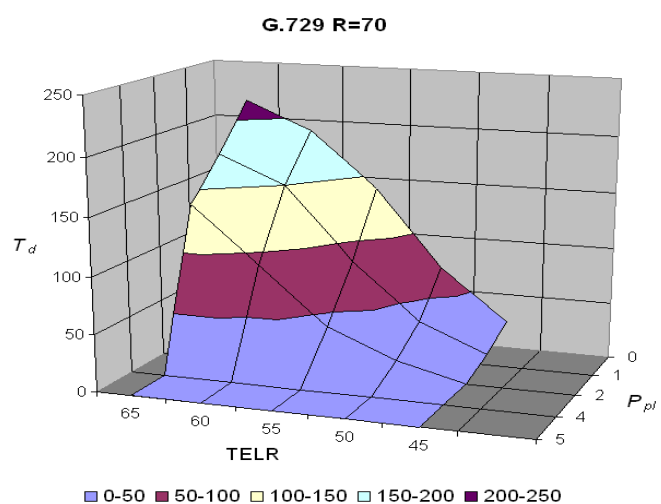


b)

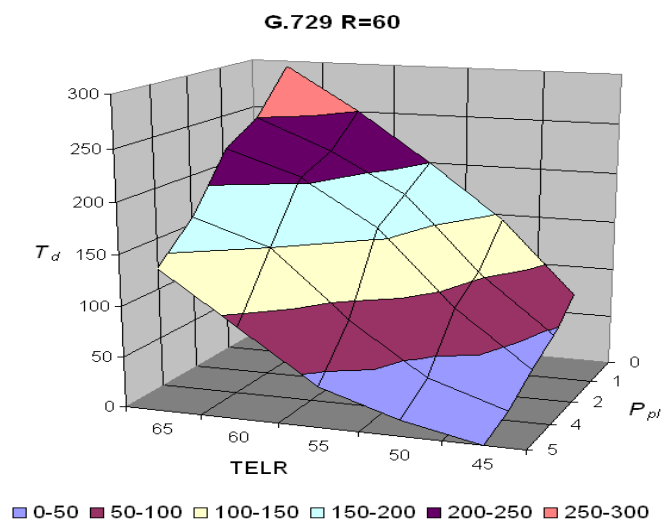


c)

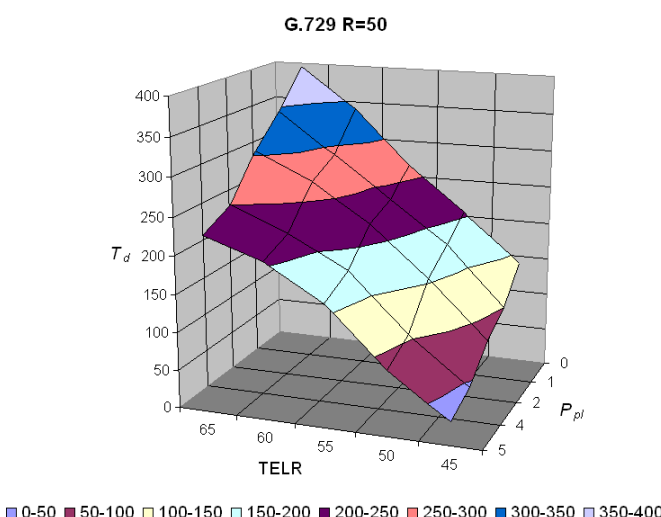
Slika 4. Karakteristike jednakog kvaliteta kašnjenje-odjek-gubitak paketa za G.723.1 kompresor.



a)



b)



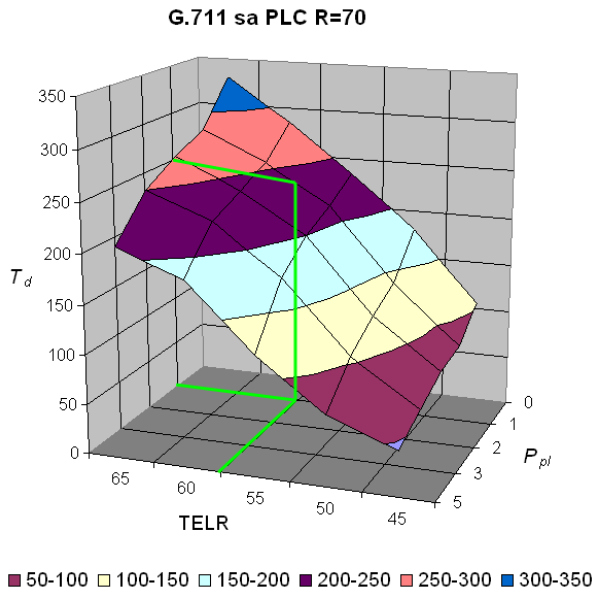
c)

Slika 5. Karakteristike jednakog kvaliteta kašnjenje-odjek-gubitak paketa za G.729 kompresor.

## VI. PRIMER ODREĐIVANJA KARAKTERISTIKA VOIP VEZE

**Primer:** Na jednom Internetskom linku koristi se G.711 kodek sa nadoknadom izgubljenih paketa. Želimo da ostvarimo kvalitet govorne veze najmanje  $R=70$ . Verovatnoća gubitka paketa na linku je  $P_{pl}=1\%$ , a odnos govornog signala i signala odjeka je  $TELR=60\text{dB}$ . Koliko maksimalno kašnjenje na linku se sme dozvoliti u ovom slučaju?

**Rešenje:** Na Sl. 6 ilustrovano je kako se uz pomoć grafika, koji su uvedeni ovim radom, određuje maksimalno kašnjenje na linku. Vrednost koja se očitava je 250ms.



Slika 6. Primer određivanja karakteristika Internetske VoIP veze korišćenjem karakteristika „kašnjenje-eho-gubitak paketa”.

## VII. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane karakteristike jednakog kvaliteta kašnjenje-eho-gubitak paketa za pojedine kodere/kompresore, koji se koriste u Internet telefoniji. Pomenuti parametri predstavljaju najvažnije činioce za određivanje kvaliteta VoIP veze. Karakteristike omogućavaju lakše određivanje kvaliteta veze na osnovu jednog očitavanja sa grafika, a bez razmatranja uticaja većeg broja parametara, koje istovremeno treba uzeti u obzir. Ujedno, ove karakteristike omogućavaju znatno lakše međusobno poređenje različitih uticaja na kvalitet veze i izbor adekvatne vrednosti željenih parametara.

## ZAHVALNICA

Rad je realizovan u okviru projekta TR32051, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] M. Mileusnić, A. Lebl, D. Mitić, Ž. Markov, „About Delay Loss Equivalency Characteristics in Packet Telephony“, *Automatika*, Vol. 55, No1, pp. 64-68, February 2014.
- [2] ITU-T Recommendation G.107: The E-model, a computational model for use in transmission planning, June 2015.
- [3] ITU-T Recommendation G.131: Talker-echo and its control, November 2003.
- [4] TIA Telecommunications Systems Bulletin: Voice Quality Recommendations for IP Telephony, TSB-116-A, March 2006.
- [5] ITU-T Recommendation G.113: Transmission impairments due to speech processing, November 2007.
- [6] ITU-T Recommendation G.113, Appendix I: Provisional planning values for the equipment impairment factor  $I_e$ , October 2001.
- [7] ITU-T Recommendation G.114: One-way transmission time, May 2003.
- [8] D. Mitić, M. Mileusnić, M. Stanić, A. Lebl, Ž. Markov: „Delay-Quality Characteristics of Voice Coders/Compressors“, *International Scientific Conference „Unitech 2015“*, Gabrovo, November 2015, pp. II-88 – II-91.

## ABSTRACT

In this paper the characteristics of equal connection quality for some coder/compressor types, implemented in Internet speech connections, are presented. Factors, which have influence on Internet speech communication quality, are numerous and have common impact on connection quality. On the basis of presented characteristics it is possible to determine how variations of one of considered parameter affect the variations of two other parameters, if it is desired to achieve the certain voice quality. One example at the end of paper illustrates the application of the characteristics „delay-echo-packet loss”.

## THE APPLICATION OF EQUAL QUALITY CHARACTERISTICS „DELAY-ECHO-PACKET LOSS“ TO INTERNET VOICE CONNECTION PLANNING

Aleksandar Lebl, Dragan Mitić, Predrag Petrović, Vladimir Matić, Mladen Mileusnić, Žarko Markov