



UNIVERZITET U BEOGRADU

Elektrotehnički fakultet

Seminarski rad

ANALIZA LOGATOMSKE RAZUMLJIVOSTI GOVORA U UČIONICAMA ETF

Profesor: Miloš Bjelić

Studenti: Milovanović Minja 2020/0126

Marić Jovana 2020/0144

Kukanjac Milica 2020/0405

Beograd, jun 2023.

Sadržaj

Teorijski uvod.....	3
Problemi pri propagaciji.....	3
Akustički dizajn prostorije.....	5
Mere kvaliteta prenosa govora.....	6
Eksperimentalno određivanje logatomske razumljivosti.....	6
Analiza razumljivosti na osnovu glasova logatoma	15
Podela suglasnika prema zvučnosti	15
Podela suglasnika prema mestu nastanka.....	15
Podela suglasnika prema načinu izgovora	15
Podela vokala	16
Analiza logatomske razumljivosti bez ambijentalne buke.....	16
Analiza logatomske razumljivosti sa ambijentalnom bukom	16
Zaključak	17

Teorijski uvod

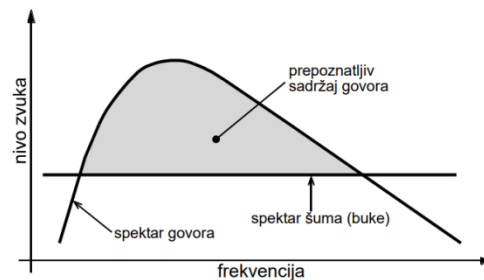
U inženjerskoj praksi postoji potreba da se oceni i kvalifikuje kvalitet prenosa govora kroz različite fizičke medijume. To podrazumeva dobijanje neke numeričke vrednosti koja ukazuje na razumljivost govora na mestu slušaoca koji taj govor sluša. Drugim rečima, cilj je dobiti parametar koji pokazuje koliko jasno i razgovetno se govor čuje na određenom mestu. Takva analiza se zahteva i pri proceni kvaliteta akustičkog dizajna amfiteatara i učionica, itd.

Razumljivost govora je pojam koji se direktno vezuje za stepen prepoznavanja govornog signala, i podrazumeva tačnost s kojom slušalac prima njegov sadržaj.



Problemi pri propagaciji

Fizički uticaj kanala na razumljivost govora može se odraziti prekrivanjem delova govornog signala nekim istovremeno prisutnim parazitskim signalima. Ova pojava je karakteristična upravo za prenos govora u osnovnom opsegu kroz linearne sisteme, što znači kroz akustičke sisteme prenosa kao što su prostorije. Zapravo, pojava prekrivanja govornog signala postaje primetna za slušaoca tek ako nivo prekrivajućeg signala postane suviše visok, što je prikazano na grafiku.



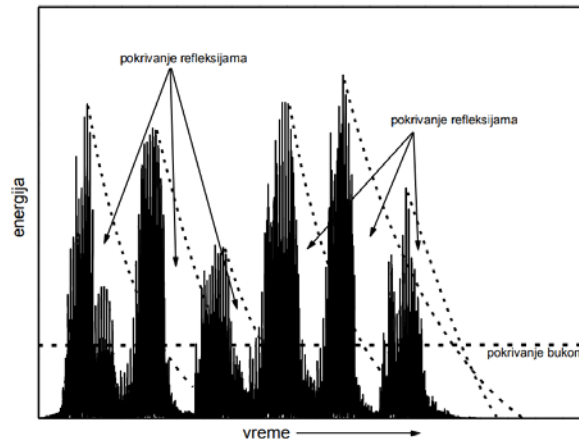
Principijelni prikaz u frekventijskom domenu prekrivanje spektra govora parazitskim šumom (bukom)

U električnom domenu parazitski signal koji prekriva govorni signal može biti aditivni šum ili druge vrste smetnji. Ove smetnje su obično slučajne prirode i nemaju nikakav informacioni sadržaj. U akustičkom domenu, što je za ovu temu važnije napomenuti, parazitski signal koji prekriva govorni signal naziva se ambijentalna buka. To je zvuk koji dolazi iz okoline govornika i slušaoca, a može biti uzrokovan različitim faktorima, poput bučnih prostora, saobraćaja, uređaja ili aktivnosti u blizini. Ambijentalna buka takođe nema informacioni sadržaj i smatra se neželjenim signalom.

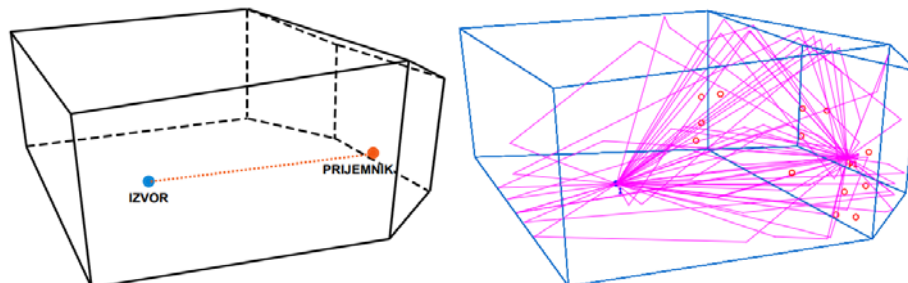
Kada je reč o razumljivosti govora, problem nastaje kada parazitski signal prekriva oblast u kojoj se nalazi najveći deo energije konsonanata. Konsonanti su elementi koji nose veći deo informacije u govoru, poput slova „b“, „d“, „g“, „k“, „p“, „t“ i drugih.

Prekrivanje tiših delova govornog signala može nastati na dva načina: kao vremenski uniformno pokrivanje aditivnim šumom i kao vremenski ograničeno pokrivanje refleksijama u prostoriji (reverberacijom) koje stižu sa kašnjenjem nakon jačih delova govornog signala (vokala).

Refleksije koje dolaze brzo nakon jakih delova obično ne ugrožavaju razumljivost, jer ne prekrivaju konsonante i druge bitne elemente govora. Međutim, kasnije refleksije, koje stižu sa većim kašnjenjem, mogu ozbiljno degradirati razumljivost govora. Kada govorni signal stigne do objekata u prostoriji (zidovi, podovi, nameštaj itd.), deo zvuka se reflektuje i vraća prema slušaocu. Ove refleksije mogu stići sa kašnjenjem nakon jačih delova govornog signala, posebno vokala. Ovo vremenski ograničeno prekrivanje se naziva "samomaskiranje", jer govorni signal sam sebe maskira svojim kasnijim refleksijama. Na taj način, energija se praktično razvuče u vremenu.



Ilustracija načina prekrivanje delova govornog signala aditivnim šumom (bukom) i refleksijama



Putanje zvuka u prostoriji: direktna putanja (levo) i putanje sa refleksijama (desno)

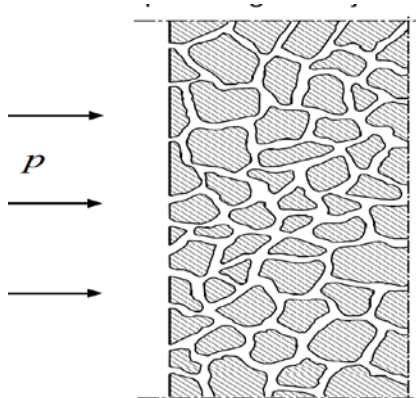
Problem nastaje i u oblasti oko govornika(izvora), ne samo u udaljenom prijemniku, kada energija koja ode na gore, pogodi plafon prostorije i na taj način se potroši. Pored toga, imamo pojavu da će se potom vratiti kao reflekovana energija, pa će slušalac koji se nalazi blizu izvora zvuka dobiti direktan zvučni signal i posle nekog vremena taj isti sadržaj samo zakašnjen, što narušava razumljivost govora.

Akustički dizajn prostorije

Da bi se rešili navedeni problemi, uvodimo pojam akustičkog dizajna prostorije, što je zapravo inženjerska delatnost u procesu projektovanja u kojoj se osmišljavaju i razrađuju fizičke intervencije kojim se zvučno polje u prostoriji prilagođava zahtevima čovekovog čula sluha.

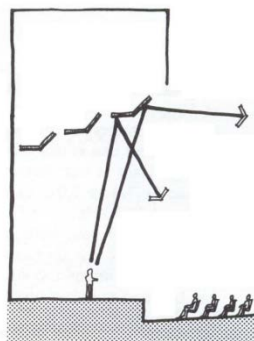
U okolnostima kada je energija zvuka bitna, a pri tome ne moraju biti prisutni izvori buke, na primer u velikim amfiteatrima i salama gde se očekuje dovoljno velika energija glasa govornika i u poslednjim redovima auditorijuma, zadatak akustičkog dizajna je da reši taj problem. Drugim rečima, kvalitet razumljivosti govora zavisi od toga koliko je akustički obrađena prostorija.

Neposredna realizacija akustičkog dizajna neke prostorije obuhvata osmišljavanje fizičkih elemenata (materijala, predmeta) koji se postavljaju u njoj da bi impulsni odziv zadovoljio tražene vrednosti njegovih numeričkih parametara. Neke od akustičkih mera koje se postavljaju u prostorijama radi podešavanja njihovog impulsnog odziva su apsorpcioni materijali i konstrukcije i reflektori.



- Apsorpcioni materijali:

Da bi se smanjilo vreme reverberacije koriste se različiti apsorbujući materijali koji se postavljaju unutar prostorija. Zvučni signal kada pogodi ovakav materijal i prođe kroz njega, izgubi deo svoje energije koji se pretvori u toplotu. Pri proslaku kroz pore troši se energija i zbog toga se dobar deo signala i ne reflektuje.



- Reflektori:

Ideja je da vratimo energiju koja se reflektuje o plafon iznad govornika, ali da pritom ona bude brzo vraćena ka dole. Na taj način se kašnjenje reflektovane komponente smanjuje, pa će i zvuk biti glasniji i razumljiviji.

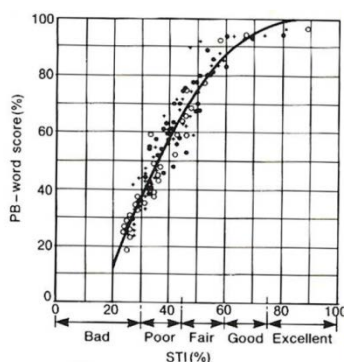
Mere kvaliteta prenosa govora

Jedini apsolutni pokazatelj razumljivosti dobija se eksperimentalno tako što se na ulazu u prenosni kanal emituje neki govor, a na njegovom izlazu slušaoci beleže ono što čuju. Poređenjem emitovanog i zabeleženog može se utvrditi procenat grešaka u prijemu. Ocena kvaliteta mogao bi biti, na primer, procenat tačno primljenih reči.

Pristup analizi kvaliteta prenosa govora može se vršiti preko logatomske razumljivosti, i ona predstavlja apsolutni pokazatelj kvaliteta koji se dobija neposrednim slušanjem emitovanog govora i pokazuje tačnost primljenog govornog sadržaja ili objektivne mere razumljivosti izvedene iz merenja impulsnog odziva prenosnog kanala i merenja odnosa signal/šum, među kojima je najznačajniji indeks prenosa govora (STI – Speech Transmission Index).

Kada je reč o logatomskoj razumljivosti, ideja je da samo reči bez smisla mogu dati izvesnu objektivnost u oceni kvaliteta prenosnog kanala jer isključuju mogućnost da slušaoci intuitivno nadoknade nedostatke u govornom signalu. Za te potrebe, posebno su sastavljene reči bez smisla koje se nazivaju logatomi. Logatomi se obično sastoje od tri ili četiri glasa u redosledu konsonant – vokal - konsonant ili konsonant – vokal – konsonant – vokal.

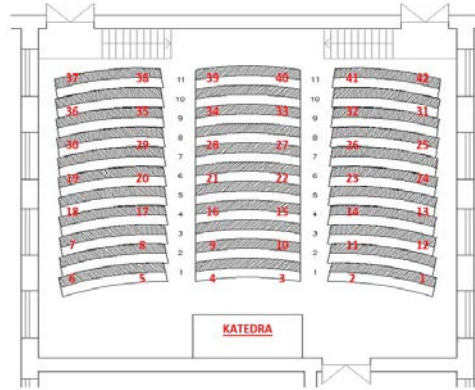
Drugi pristup preko STI indeksa može se koristiti i za predikciju u fazi projektovanja. Za svaku izmerenu ili izračunatu vrednost STI moguće je sa grafika odrediti vrednost logatomske razumljivosti koja se može očekivati u posmatranim okolnostima. Vidi se da su za sledeće vrednosti STI faktora klasifikovane razumljivosti: (0-0,3) – loša, (0,3-0,45) – nedovoljna, (0,45-0,6) – prihvatljiva, (0,6-0,75) – vrlo dobra, (0,75-1) – odlična.



Korelacija između vrednosti STI i logatomske razumljivosti izmerenih u različitim okolnostima i sa različitim prenosnim kanalima

Eksperimentalno određivanje logatomske razumljivosti

U amfiteatru 56 Elektrotehničkog fakulteta okupljen je veliki broj studenata, kojima su potom puštene grupe od po 50 logatoma. Slušaoci(studenti) raspoređeni su uniformno prema brojevima po celom amfiteatru, i njihov zadatak bio je da zapišu reči, odnosno logatome koje čuju.

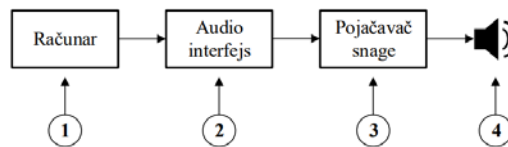


Pravilan raspored slušalaca u amfiteatru

Važno je napomenuti da je kao izvor, odnosno za 'izgovor' logatoma, korišćena veštačka glava, da bi se omogućilo precizno generisanje zvučnih signala, bez varijacije u dikciji.

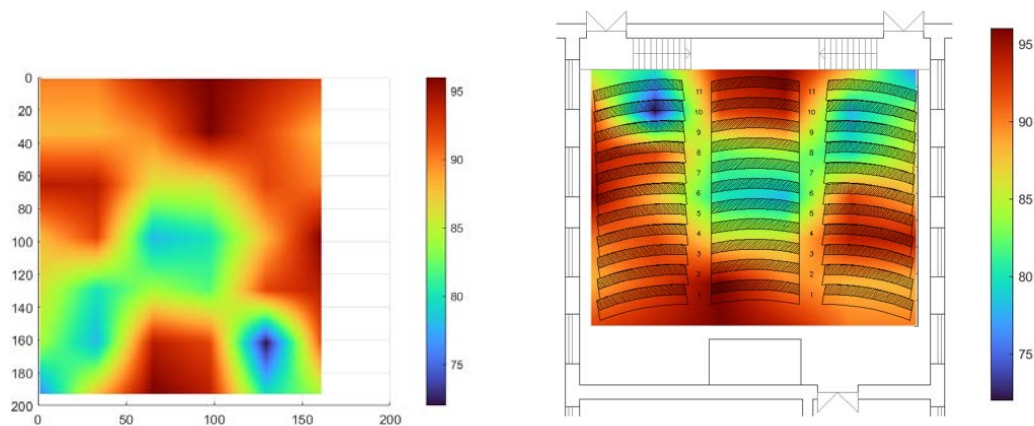
Sama postavka vežbe data je šemom:

1. Računar sa logatomima
2. Audio interfejs (AD/DA konvertor)
3. Pojačavač snage
4. Zvučnik



Prvi deo eksperimenta bio je merenje logatomske razumljivosti bez dodatnog pojačanja ambijentalne buke u prostoriji.

Obrada rezultata rađena je programskom okruženju Matlab. Dat je prostorni prikaz logatomske razumljivosti za amfiteatar 56 u kom se vršilo merenje.

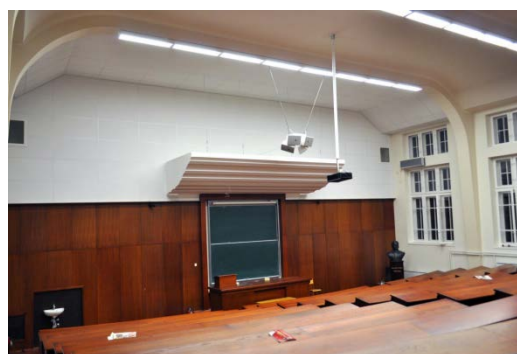


Amfiteatar 56

Možemo zaključiti da u velikom delu prostorije STI faktor uzima vrednosti koje odgovaraju vrlo dobroj pa i odličnoj razumljivosti. U delu gde je postavljena veštačka glava imamo jako dobru razumljivost, što je rezultat reflektora koji je postavljen iznad katedre. Takođe, vidimo da slušaoci koji su sedeli u poslednjim redovima imaju jako dobre rezultate, zbog apsorpcionih materijala koji su postavljeni na površinama prednjeg i zadnjeg zida, koji imaju ulogu da smanje reverberaciju. Zanimljivo je uočiti i to da studenti koji su sedeli levo od katedre imaju bolje rezultate razumljivosti, pa zaključujemo da je veštačka glava bila blago okrenuta ka toj strani.

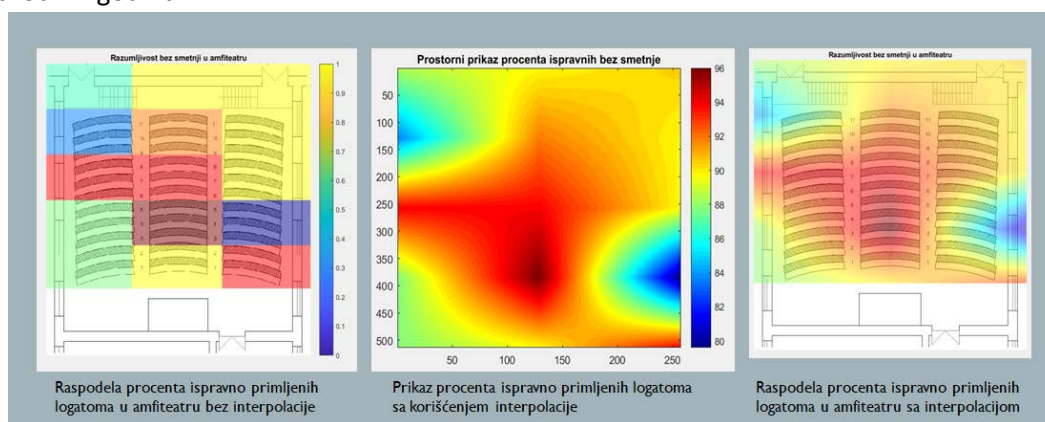


Amfiteatar 56

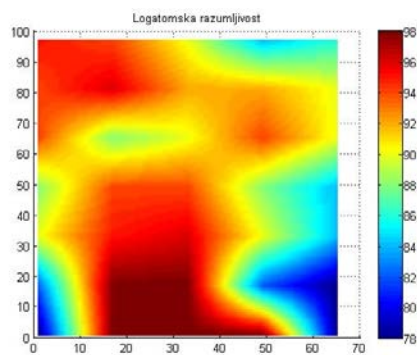


Amfiteatar 65

Prostorni prikazi logatomske razumljivosti za amfiteatar 65 i salu 62 gde se merenje vršilo prethodnih godina:



Amfiteatar 65



Učionica 62

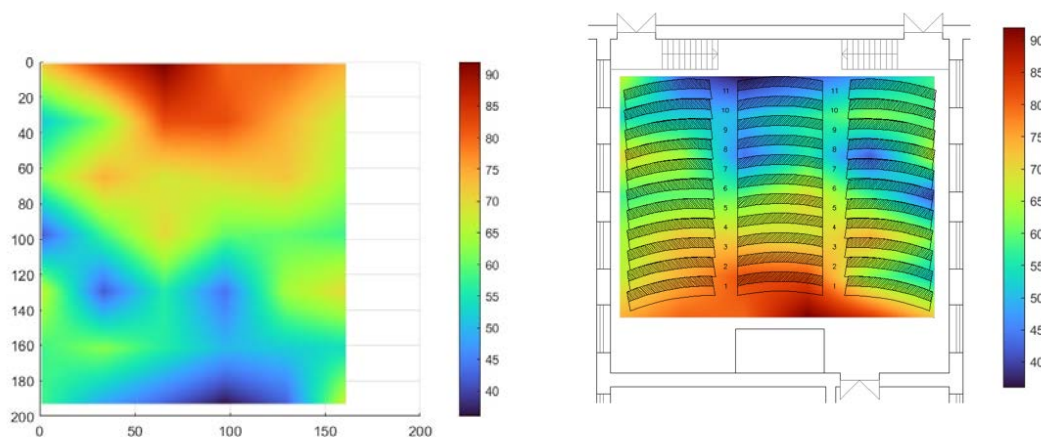
Zaključak je da je amfiteatar 65, slično kao amfiteatar 56, akustički obrađen, pa dobijamo jako dobre rezultate logatomske razumljivosti. Za salu 62 uočavamo nešto lošije rezultate razumljivosti, ali ako se u obzir uzme i to da je u ovoj sali postavljena apsorpciona konstrukcija na zidu, ovi rezultati su bolji nego u nekoj neobrađenoj učionici. Kao što je već pomenuto, zvuk koji uđe u pore ove konstrukcije, potroši deo energije dok prođe kroz njih, dok se na kraju nalazi rezonator koji dodatno oslabi neželjeni signal, i time dobijamo bolju razumljivost.



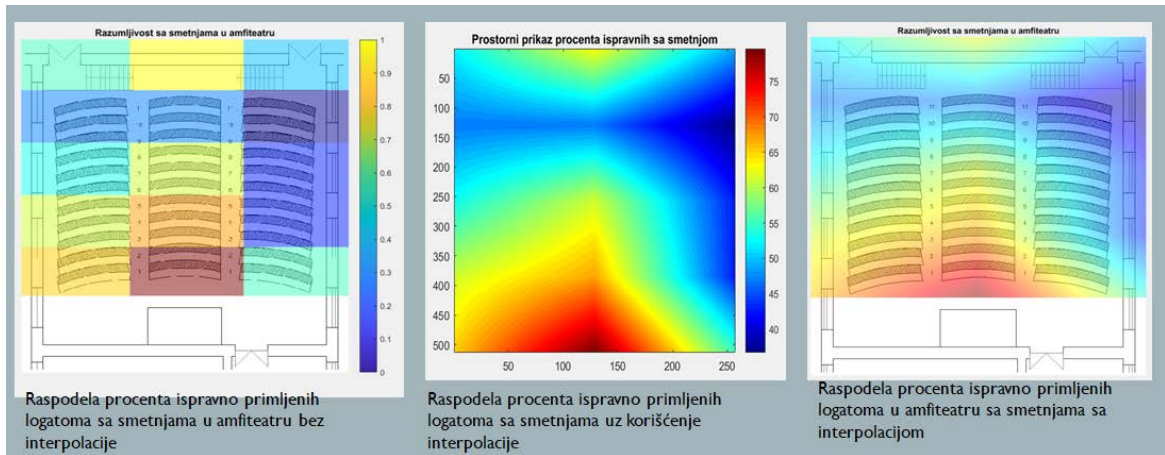
Model apsorpsione konstrukcije nalik konstrukciji postavljenoj u sali 62

Drugi deo eksperimenta bio je merenje logatomske razumljivosti sa dodatnim pojačanjem ambijentalne buke u prostoriji. Preko računara pušten je audio snimak buke u formi ljudskog žagora. Postavka i tok eksperimenta isti su kao u prethodnom delu.

Prostorni prikazi logatomske razumljivosti za amfiteatre 56 i 65, kada je generisana buka:



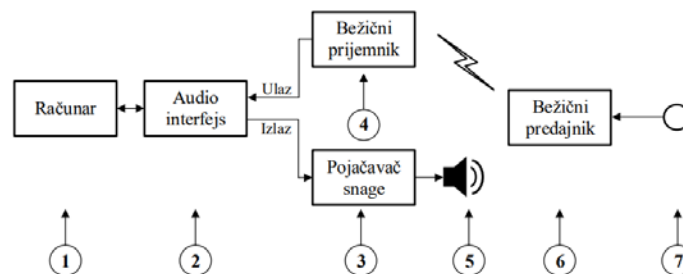
Amfiteatar 56



Amfiteatar 65

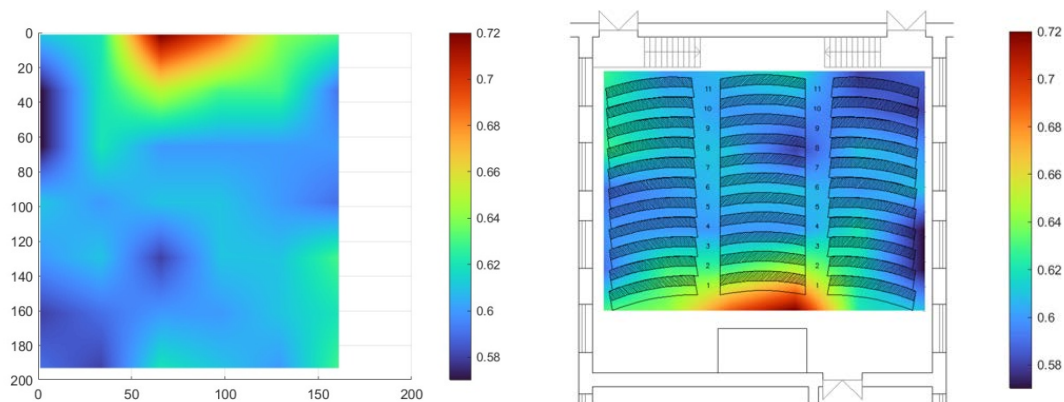
Uočavamo da se u ovom slučaju vrednost razumljivosti govora dosta smanjila, pogotovo u redovima koji su dalje od katedre, odnosno veštačke glave. Razumljivost je na mestima u poslednjim redovima nedovoljna, na sredini je prihvatljiva ili vrlo dobra, dok je kod katedre ostala odlična, pa zaključujemo da postojanje ambijentalne buke ne utiče isto na sve delove prostorije.

Poslednji deo eksperimenta bio je izmeriti vrednosti parametra STI u prostoriji. Za realizaciju vežbe koristi se sledeća oprema (označena brojevima u krugovima na slici): 1. Računar sa odgovarajućim softverom za snimanje impulsnog odziva 2. Audio interfejs (AD/DA konvertor) 3. Pojačavač snage 4. Bežični prijemnik 5. Zvučnik 6. Bežični predajnik 7. Mikrofon

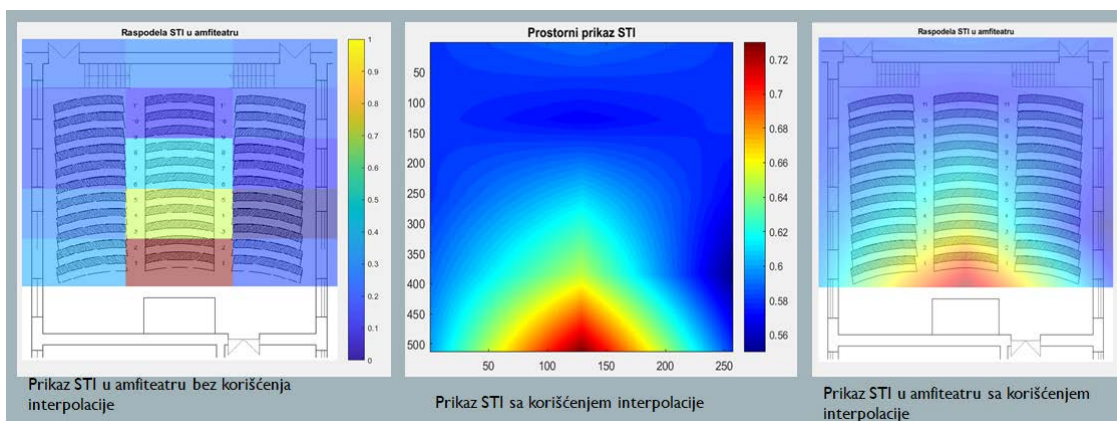


Za izvođenje vežbe podrazumeva se da se mikrofoni i zvučnici nalaze u istom akustičkom okruženju, odnosno u učionici. Zvučnik se nalazi kod katedre, a mikrofoni se pozicioniraju na mesta na kojima sede studenti. Na računaru je instaliran softver za snimanje impulsnog odziva sistema i izračunavanje STI parametra. Softver istovremeno generiše signal, koji se šalje preko pojačavača na zvučnik, i snima signal iz mikrofona, koji je preko bežičnog para predajnik–prijemnik povezan sa audio interfejsom. Na osnovu generisanog i snimljenog signala softver određuje impulsni odziv prostorije, za definisanu lokaciju zvučnika i mikrofona, i izračunava parametar STI. Merenje impulsnog odziva, odnosno izračunavanje parametra STI, vrši se za pozicije mikrofona koje odgovaraju pozicijama studenata, nakon izvršenog merenja impulsnog odziva svaki student beleži vrednost STI parametra za svoju poziciju.

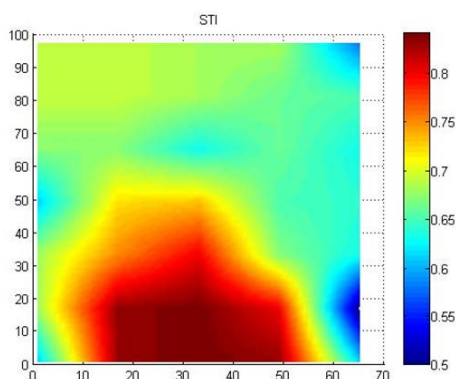
Prostorni prikaz parametara STI za sve analizirane učionice:



Amfiteatar 56



amfiteatar 65

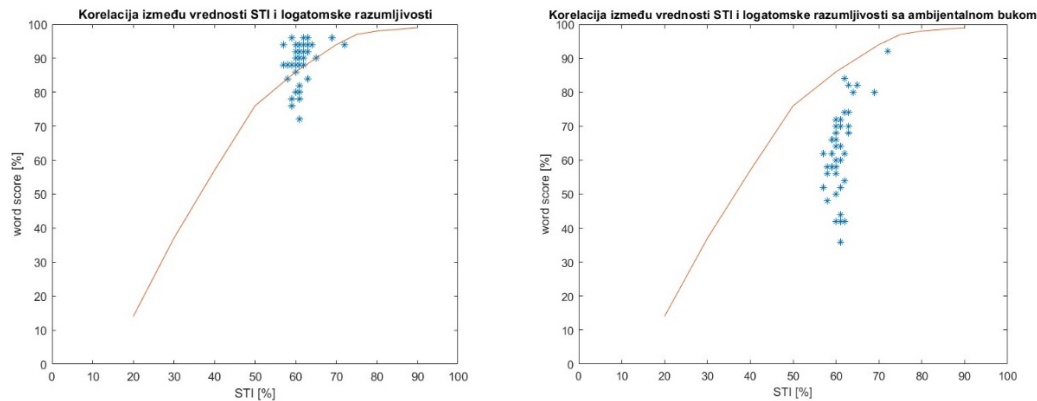


Učionica 62

Ukoliko posmatramo amfiteatar 56 i prostorni prikaz parametra STI vidimo rezultate koji su u velikoj meri očekivani. Najbolja razumljivost je oko izvora zvuka, dok ostatak prostorije ima približno jednak STI indeks, što je rezultat akustičke obrade koja je odrađena. U najgorem slučaju STI uzima vrednost 0.58 što je klasifikovano kao prihvatljiva razumljivost. Za amfiteatar 65 dobijeni su slični rezultati merenjem, dok za salu 62, kao i u prethodna dva slučaja, imamo

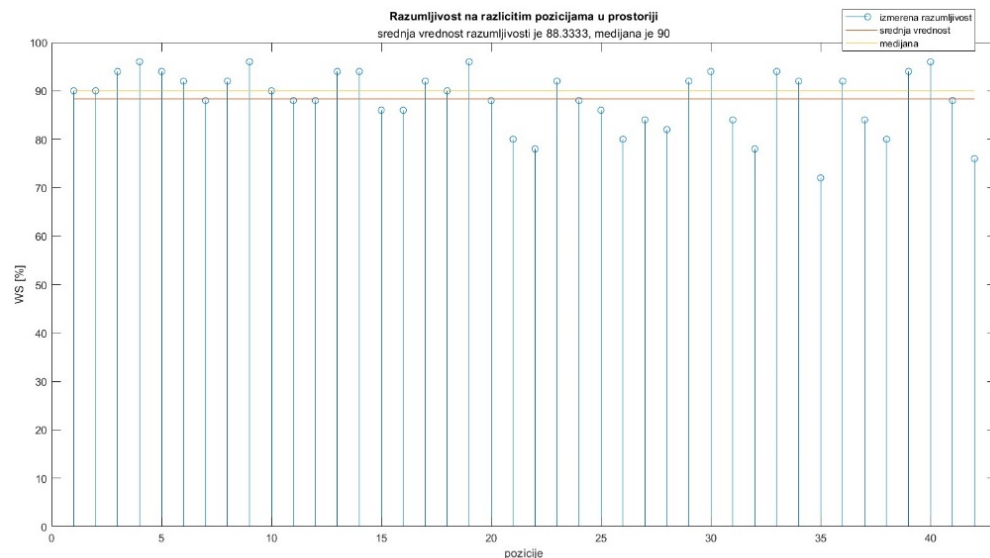
nešto lošije rezultate. U ovoj sali STI ima veće vrednosti na levoj polovini učionice, jer je na toj strani postavljena apsorpciona konstrukcija koja je prethodno pomenuta.

Kada govorimo o STI parametru i njegovoj povezanosti za logatomske razumljivosti govora, dobijeni rezultati koji su prethodno analizirani mogu se prikazati grafički. Prikazani su grafici korelacije za slučaj kada u prostoriji nije bila pojačana ambijentalna buka i slučaj kada smo je pojačali:

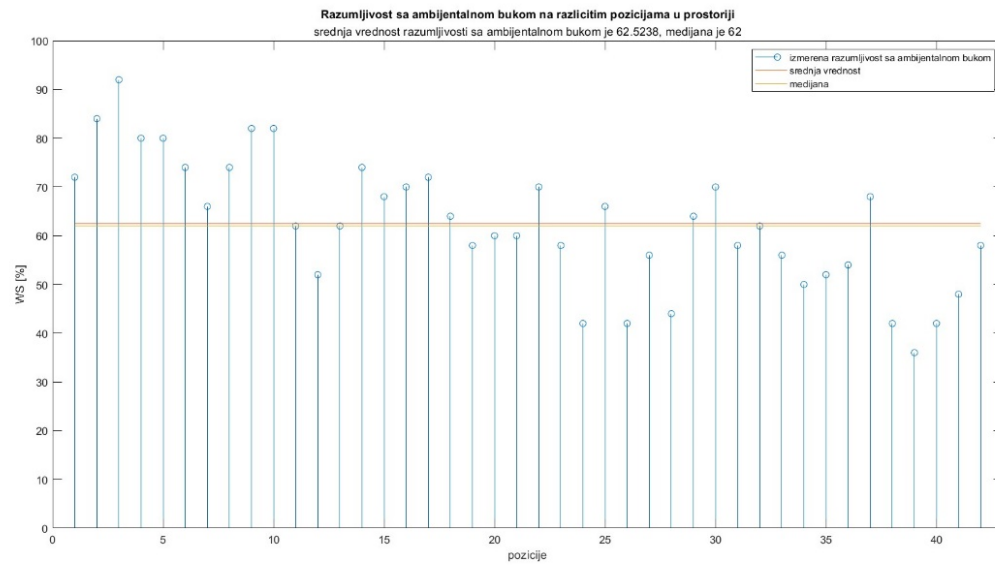


Ovi prikazi nam potvrđuju prethodno opisane rezultate, s obzirom na to da za slučaj bez buke imamo dosta bolje rezultate razumljivosti logatoma što je i logičan zaključak. Sa druge strane, kada je u prostoriji povećana ambijentalna buka, rezultati razumljivosti su nešto lošiji, pa se nalaze ispod teorijske krive.

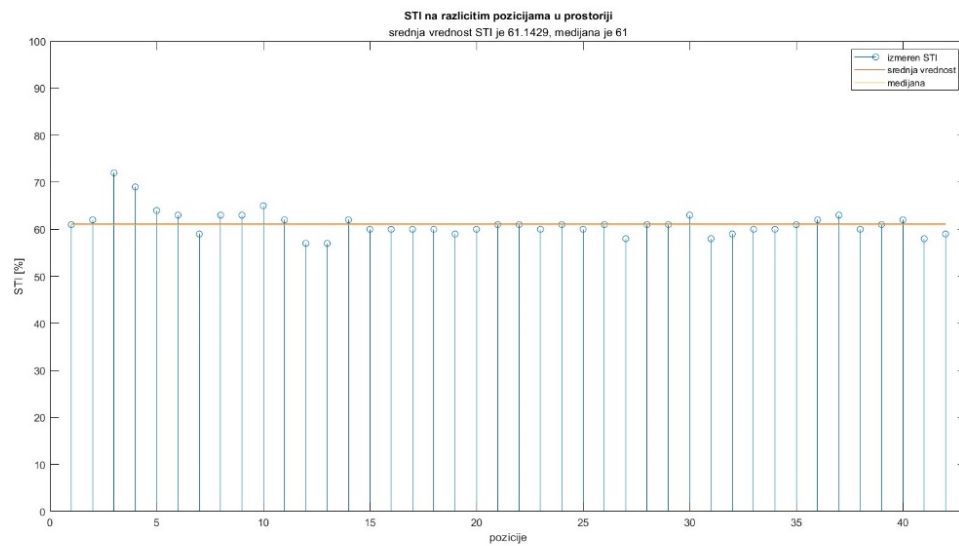
Vrednosti izmerene u ovom eksperimentu moguće je statistički analizirati i na sledeće načine:



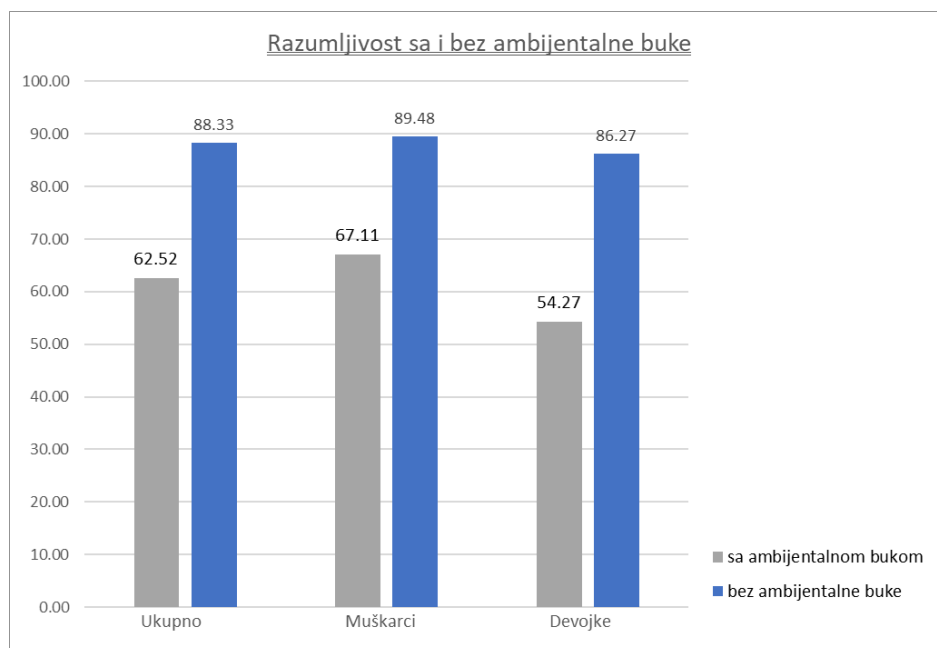
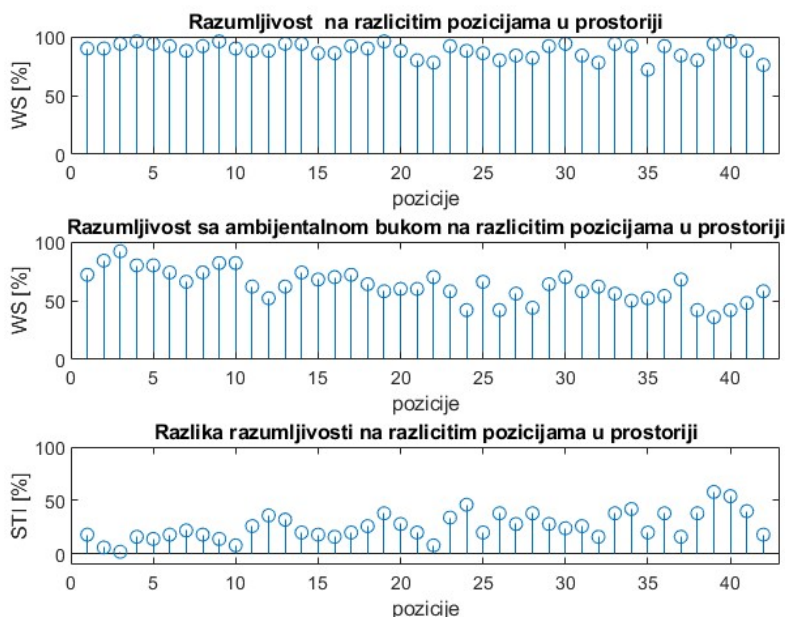
Srednja vrednost i medijana u slučaju bez ambijentalne buke



Srednja vrednost i medijana u slučaju sa ambijentalnom bukom



Srednja vrednost i medijana STI indeksa



Iz priložene obrade vidimo da, u proseku, bolje čuju muški slušaoci i u slučaju kada nema pojačane ambijentalne buke, i u slušaju kada je ona prisutna. Srednja vrednost razumljivosti u slučaju bez buke ima vrednost 88.33 što je između prihvatljive i vrlo dobre, za vrednost STI 0,6 na osnovu grafika. Kada je prisutna ambijentalna buka, srednja vrednost razumljivosti je 62,52 što se tumači kao nedovoljna logatomska razumljivost.

Analiza razumljivosti na osnovu glasova logatoma

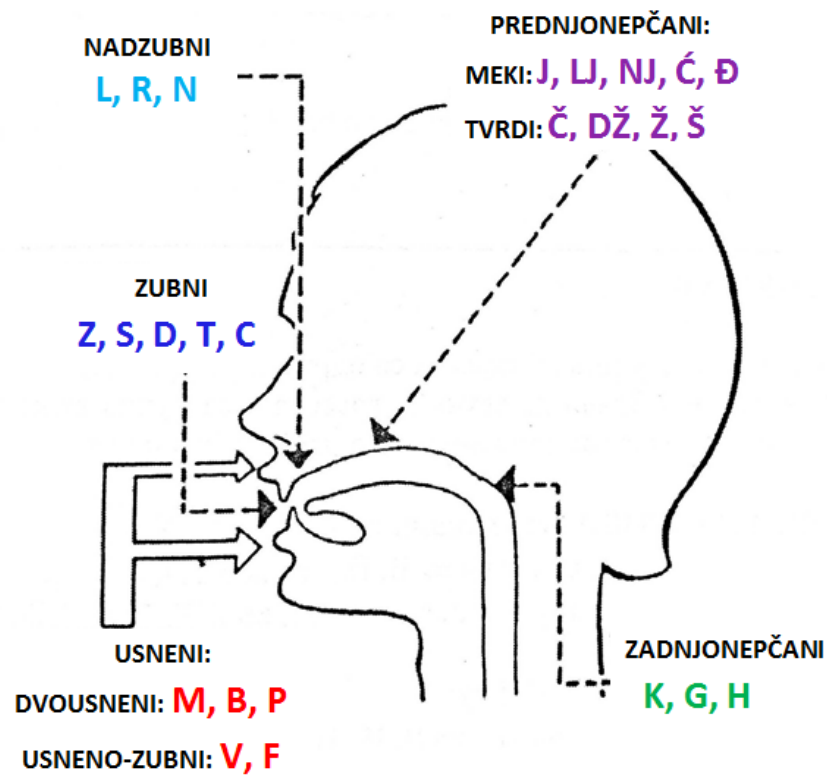
U nastavku je data podela glasova u srpskom jeziku.

Podela suglasnika prema zvučnosti

U zvučne glasove spadaju vokali i zvučni konsonanti, i to sonanti (M, N, NJ, J, L, LJ, R, V) i konsonanti koji imaju svoje bezvučne parnjake.

zvučni	B	D	G	Đ	DŽ	Ž	Z	/	/	/
bezvučni	P	T	K	Ć	Č	Š	S	F	H	C

Podela suglasnika prema mestu nastanka



Podela suglasnika prema načinu izgovora

U zavisnosti od toga na koji način vazдушna struja savlađuje prepreke koje stvaraju govorni organi, suglasnici se dele na:

- EKSPLOZIVNE (PRASKAVE): B, P, D, T, G, K
- NOSNE (NAZALNE): M, N, NJ
- STRUJNE (FRIKATIVE): Z, S, Ž, Š, F, H
- SLIVENE (AFRIKATE): Č(TŠ), Ć(TJ), C(TS), Đ(DJ), DŽ
- BOČNE (LATERALNE): L, LJ
- POLUVOKALE: V, J
- TREPERAVI (VIBRANT): R

Podela vokala

Podela samoglasnika izvršena je prema položaju jezika u usnoj duplji. Kada se jezik pokreće horizontalno nastaju prednji, srednji i zadnji vokali. Pri izgovoru prednjih vokala jezik dodiruje zube, pri izgovoru zadnjih jezik se kreće prema zadnjem delu usne duplje, dok se pri izgovoru vokala „a“ jezik povlači nazad. Kada se jezik pokreće vertikalno nastaju visoki, srednji i niski vokali.

VOKALI	PREDNJI	SREDNJI	ZADNJI
VISOKI	I		U
SREDNJI	E		O
NISKI		A	

Na osnovu prethodno navedenih podela glasova, detaljna analiza rezultata eksperimenata pokazuje da je najviše grešaka napravljeno u percepciji suglasnika koji imaju isto mesto nastanka ili isti način izgovora.

Analiza logatomske razumljivosti bez ambijentalne buke

Najviše grešaka napravljeno je u percepciji glasova „u“, „m“, i „r“. Vokal „u“ najčešće se mešao sa vokalima „i“(oba visoka) i „o“(oba zadnja). Umesto „m“ najčešće se čulo „n“, „nj“(nazalni); „v“ ili „l“(sonanti), dok se glas „r“ najviše mešao sa „v“ i „l“(sonanti). Međusobno su se mešali i prednjonepčani glasovi „ć“, „đ“, „č“ i „dž“.

Logatom „leju“ pogrešno je čulo 30 osoba, dok je logatom „njonju“ pogrešno čulo 27 osoba.

Najčešće greške su:

- 1) leju – leji (21)
- 2) faši – paši (20)
- 3) njonju – njonjo (14)
- 4) ljare – ljave (11)

Analiza logatomske razumljivosti sa ambijentalnom bukom

Najviše grešaka napravljeno je u percepciji praskavih glasova i sonanata. Praskavi glasovi najviše su se mešali sa svojim zvučnim/bezvučnim parnjacima, dok su se međusobno najviše mešali sonanti. Zadnji vokali „o“ i „u“ su se najviše mešali jedan sa drugim, dok se umesto vokala „u“(visoki) i „e“(prednji) često čulo „i“(prednji visoki). Glasovi „s“, „š“, „č“ i „ć“ mešali su se sa svojim zvučnim parnjacima.

Logatome „nenje“ i „lelji“ pogrešilo je 36 osoba.

Najčešće greške su:

- 1) **nenje** – **njenje**(16)
- 2) **ćudži** – **ćuči** (15)
- 3) **hivu** – **hiru** ; **dugi** – **duki** (13)
- 4) **zošo** – **zošu** ; **žožo** – **žožu** ; **vahe** – **vahi** ; **đočo** – **đodžo** (12)

Zaključak

Na osnovu rezultata merenja logatomske razumljivosti u tri različite učionice na Elektrotehničkom fakultetu, zaključujemo da se najbolji rezultati dobijaju u amfiteatrima. Razlog za ovakve rezultate jeste dobra akustička obrada ovih prostorija, konkretno primenom reflektora koji je postavljen iznad katedre gde se obično nalazi govornik, i apsorpcionih materijala postavljenih na površinama prednjeg i zadnjeg zida, koji imaju ulogu da smanje reverberaciju. Za analiziranu učionicu 62 uočavamo nešto lošije rezultate u odnosu na posmatrane amfiteatre. Ipak, zbog apsorpcione konstrukcije postavljene na zid ove učionice rezultati razumljivosti bolji su u odnosu na slučaj akustički neobrađene prostorije.

Važno je napomenuti i to da postoje nematerijalni faktori koji u nekim zadatim okolnostima utiču na razumljivost kao što su koncentracija slušaoca pri slušanju govora ili njihov kvalitet čula sluha. Pored fizičke analize, ovi faktori otežavaju objektivno sagledavanje uticaja fizičkih kanala i ocenu kvaliteta prenosa govora jer nisu predvidivi. Iz tog razloga, vrednosti parametra STI dobijene direktnim merenjem razlikuju se u određenoj meri od rezultata dobijenih pomoću logatomske razumljivosti.