

*Dr. F. I. HAVLIČEK*

## **O GRAFIČKOM RJEŠAVANJU AKUSTIČKIH PROJEKATA**

Kod projektiranja velikih dvorana obično se služimo sekundarnim zvukom za jačanje intenziteta na udaljenim mjestima. Pored pazvuka bacaju refleksije na ploham valove zvuka po mogućnosti prema zadnjim redovima sjedišta dvorane. Ali iskustvo je pokazalo, da za glazbene priredbe ne smije razlika u duljini puteva direktnog i indirektnog vala biti veća od 12—15 m, odnosno od 1/20 sek, ako želimo, da se ispravno čuju i brze kompozicije.

Projektiramo li veliku dvoranu, t. j. dvoranu za maksimalno dopuštene razlike u duljini puta zvučnih valova, moramo stalno kontrolirati, da li smo ostali s ploham refleksije u granicama dopuštenih razlika.

Naša grafička metoda pojednostavnjuje znatno ove kontrole i omogućuje direktno funkcionalna rješenja.

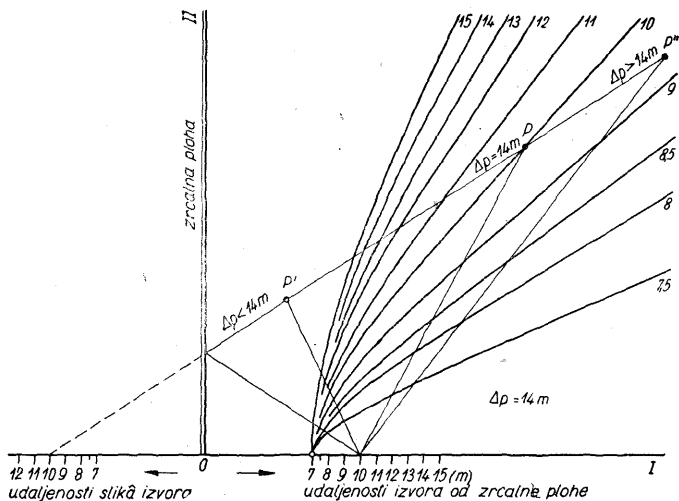
Na sl. 1. predstavlja pravac II plohu refleksije, a na pravcu I označena su mjesta izvora zvuka u raznim udaljenostima na desnoj strani; na lijevoj strani nalaze se zrcalna mjesta izvora zvuka.

Tražimo li na primjer, da razlika između putova direktnog i indirektnog (t. j. reflektiranog) vala bude 14 m, dobivamo geometrijsko mjesto svih točaka ravnine ovog svojstva s pomoću pramena hiperbola. Na ovakvoj hiperboli označeno je odgovarajuće mjesto izvora. Uzme li se, recimo, izvor zvuka udaljen 10 m od plohe refleksije, razlika u putu zvučnih valova za točku P na hiperboli s oznakom 10 m izlazi baš 14 m. Za točku P' je razlika manja, a za točku P'' veća nego 14 m. Područje lijevo od pojedinih hiperbola je dakle dopušteno s obzirom na iskorišćavanje refleksija, a područje desno je zabranjeno područje.

Na sl. 2. zamišljenoj na prozirnomo papiru, naznačena je simetrala S koncertne dvorane, i mjesto na kojem se nalazi

solist. Oko solistova mjesta nacrtana je kružnica K sa polumjerom 30 m, koja označuje udaljenost zadnjih redova (30 m predstavlja već blizinu dopuštene granice bez električkog pojačavanja).

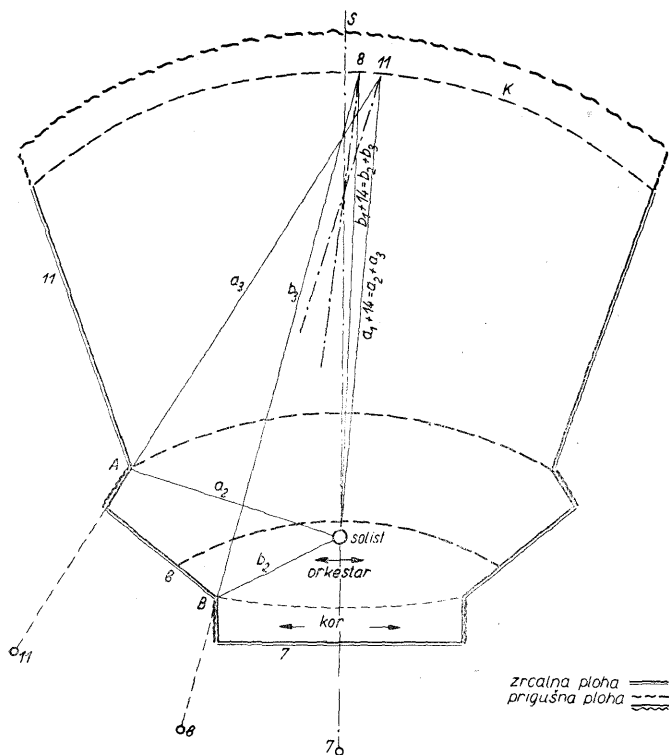
Položimo li sliku 2. na dijagram slike 1., tako da solistovo mjesto dođe na razna mjesta izvora zvuka na pravcu I, i okrećemo li papir oko solistova mjesta, pokazivat će dio ravnine između pravca II i odgovarajuće hiperbole dopušteno područje. Pravac II predstavlja stijenu refleksije. Vidimo, da za uda-



Sl. 1.

ljenost od 11 m može služiti prilično duga ravnina za refleksiju sve do točke A. Ako bismo produžili ravninu dalje prema podiju, padale bi refleksije već desno od granične hiperbole II. Priključit ćemo stoga još jednu ravninu udaljenu 8 m od izvora zvuka; nju možemo produžiti do točke B, koja predstavlja u okviru projekta prirodnu granicu podija prema mjestu, koje je predviđeno za kor. Stražnja granica je ravnina udaljena 7 m od solistova mjesta. Za ovu ravninu nema zabranjenih područja. Na slici su još naznačene zrcalne točke izvora za

ravnine refleksije 11, 8 i 7. Da ne bi bilo previše linija na slici, izostavljeni su primjeri reflektiranih zraka. Sl. 2. pokazuje kako ta grafička metoda vodi k funkcionalnom rješenju, koje daje arhitektu dobre mogućnosti za njegove dispozicije.

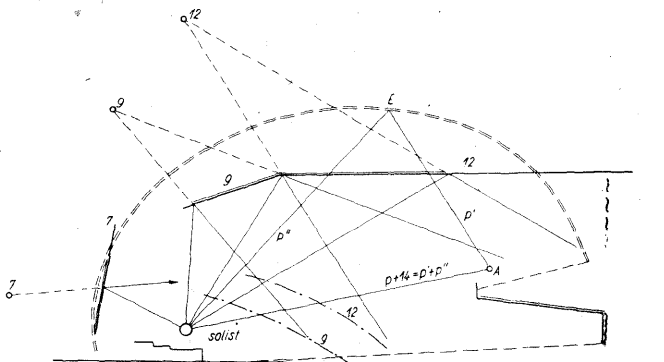


Sl. 2.

Na sl. 3. vidimo kako nam služi dijagram sl. 1. za određivanje oblika stropa koncertne dvorane s ispravnom refleksijom. Postupak je isti kao kod tlocrta. Solistovo mjesto

stavimo na udaljenosti 7, 9 i 12 m i gledamo, da li sjedište leži u dopuštenom području.

Katkada nas zanima, gdje se uopće može smjestiti ploha refleksije, koja ne će davati veće razlike u putu od dopuštene. To pitanje pojavljuje se obično kod adaptacija već sagrađenih dvorana. Na sl. 3. zanima nas na primjer ovo područje za mjesto A na balkonu s obzirom na solistovo mjesto. Ako je  $p$  udaljenost mjesta od solista u metrima, tražimo da je  $p' + p'' = p + 14$  i taj nam uvjet daje elipsu E sa žarištima u A i na mjestu



Sl. 3.

solistovu. Sama elipsa E ne dolazi u obzir kao ploha refleksije, kako je poznato, jer bi se svi valovi na njoj reflektirali u A i tamo uzrokovali nesnošljivi intenzitet, a ostala mjesta ne bi dobila sekundarnog zvuka od stropa.

U slučaju, da se radi o cijelom orkestru, čini se na prvi mah, da bi trebalo raspraviti o svim mjestima na naprijed navedeni način. Ali normalna dispozicija orkestra smještava pojedine izvore zvuka, t. j. instrumente, među glazbenike, i valovi pojedinih instrumenata se više ne šire tako pravilno kao na primjer u slučaju prve violine, već zbog ogiba stvaraju kompliciran sustav, gdje orkestar djeluje kao cjelina. Ovaj poželjni efekt često jačamo time, da iznad samog orkestra smjestimo jednu plohu refleksije. Glazbenike u prvom redu orkestra možemo smjestiti nešto malo u krugu, tako da ne dobijemo refleksije u zabranjenom području.

Svojstva naših električkih pojačala ne dopuštaju besprijeckornu reprodukciju. Želimo li dakle projektirati velike dvorane za umjetničke priredbe, moramo iskoristiti mogućnosti sekundarnog zvuka. Kako pazvuk smijemo povećavati samo vrlo oprezno, preostaju nam samo refleksije, koje treba iskoristiti do krajnje mjere. Nomografske metode za rješavanje akustičkih problema poput gornje nisu autoru poznate iz literature.

*(Primljeno na sjednici Odjela za matematičke, fizičke  
i tehničke nauke dne 20. XII. 1949.)*



## S A D R Ź A J

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Dr. Ing. DANILO BLANUŠA                                                          |     |
| Jedna vrst integralnih teorema Besselovih funkcija . . . . .                     | 5   |
| Dr. STANKO BILINSKI                                                              |     |
| Homogene mreže zatvorenih orijentabilnih ploha . . . . .                         | 129 |
| Dr. Ing. E. HERMAN i Ing. J. STIPETIĆ                                            |     |
| O procesu izlučivanja aluminijskog hidrata na osnovi Bayerova postupka . . . . . | 165 |
| Dr. V. S. VRKLJAN                                                                |     |
| De Brogliejeva teorija čestica sa spinom 1 i Ehrenfestov teorem                  | 211 |
| Dr. V. S. VRKLJAN                                                                |     |
| O magnetskom momentu mezona sa spinom 1 . . . . .                                | 221 |
| Dr. ĐURO KUREPA                                                                  |     |
| Problem mjere i monotona preslikavanja djelimično uređenih skupova . . . . .     | 229 |
| Dr. ĐURO KUREPA                                                                  |     |
| Dokaz principa totalne indukcije . . . . .                                       | 238 |
| Dr. F. I. HAVLIČEK                                                               |     |
| O grafičkom rješavanju akustičkih projekata . . . . .                            | 249 |

