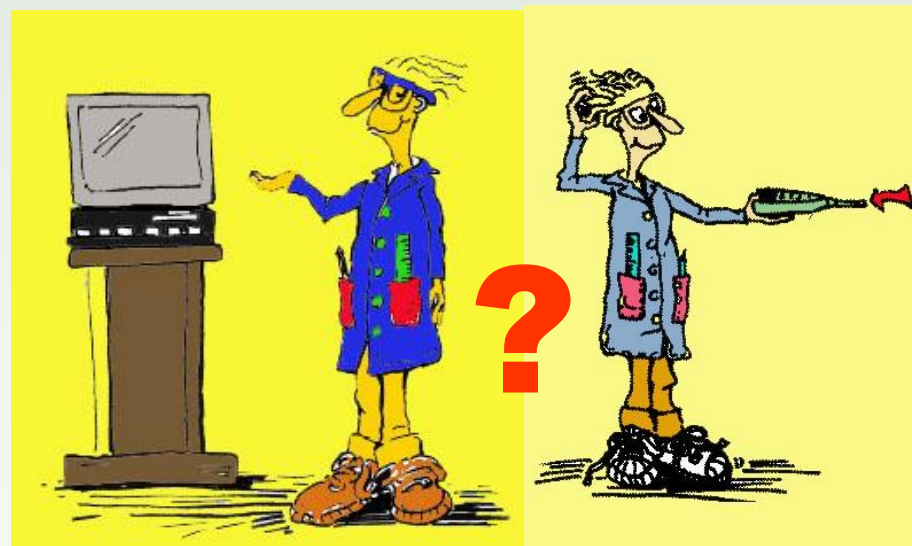


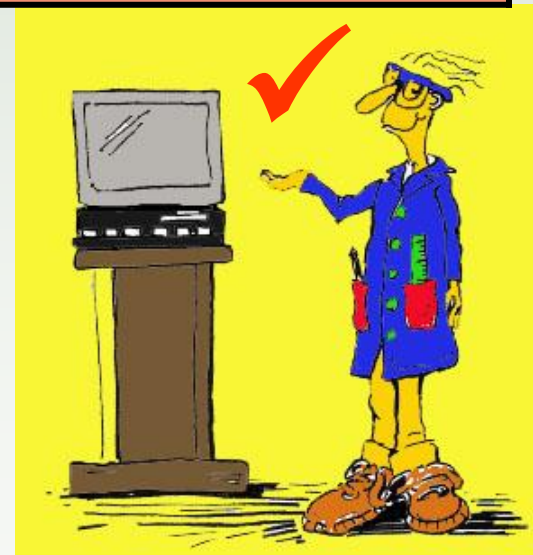
Prognoza ili merenje? (1)

- Nivoi buke na mestu prijemnika mogu se primenom modela izračunati umesto da se pristupi proceduri merenja. Takođe, primenom modela može se izračunati prostiranje buke od jedne do druge tačke.
- U sledećim situacijama je izračunavanje bolji i možda jedini praktični metod za ocenu nivoa buke:
 - ⊕ Kada se merenje sprovodi u uslovima visoke pozadinske buke, npr. kada se određuje saobraćajna buka pored fabrike preseraka.
 - ⊕ Kada je potrebno prognozirati nivo buke za npr. izradu planske dokumentacije.
 - ⊕ Kada je potrebno uporediti alternative u razvoju i primeni mera za redukciju buke.
 - ⊕ Kada je potrebno izraditi konturne mape buke.
 - ⊕ Kada je ograničen pristup nekim mernim tačkama.



Prognoza ili merenje? (2)

Prednosti	Nedostaci
Detaljne informacije o kritičnim izvorima	Potreban veoma veliki broj informacija o topografiji terena, geometriji objekata i karakteristikama izvora
Detaljne informacije za mnogo pozicija	
Nezavisnost od meteoroloških uslova	Tačnost rezultata zavisi u mnogome od veštine i iskustva osobe koja stvara model
Ocena hipotetičkih situacija	
Jednostavnost ažuriranja situacije	
Manja osetljivost na pozadinsku buku	



Algoritam (1)

- Nivoi buke se izračunavaju primenom međunarodnih ili nacionalnih standarda koji definišu algoritme izračunavanja.
- Algoritmi su uglavnom orijentisani ka određenom tipu izvora buke i njihova primena je ograničena samo za taj izvor buke.
- Izuzetak predstavlja ISO 9613 koji određuje nivo buke na osnovu zvučne snage izvora buke. Poznavanjem zvučne snage izvora algoritam iz ovog standarda se može primeniti na bilo koji izvor.
- Algoritmi se baziraju na primeni dvodelnog modela. U prvom se modelira izvor buke a u drugom prostiranje buke (od referentne tačke do posmatrane tačke). Primena oba modela daje nivo buke u tački.



Algoritam (2)

- Standardizovani najčešće korišćeni algoritmi su empirijske prirode i baziraju se na prostim pravilima fizike. Mnogi od njih se mogu primeniti korišćenjem olovke i papir. Potreba da se nivo buke računa u više tačaka i da se istovremeno posmatra više izvora dovela je do korišćenja računara koji omogućuju brže izračunavanje, analizu i prezentaciju rezultata u različitim formama.
- Potrebno je definisati model sa izvorima buke, topografijom terena i geometrijom objekata koji mogu uticati na prostiranje buke. Zatim se definiše jedna ili više tačaka za izračunavanje i računaru se daje zadatak da izvrši proračune.
- Svi algoritmi daju ukupni ekvivalentni nivo buke u dB(A) a neki imaju mogućnost izračunavanja nivoa buke u oktavnim opsezima, gde se ukupni nivo dobija sumiranjem dobijenih rezultata.
- Postoji mogućnost izračunavanja dugotrajnih nivoa buke, odnosno ukupnih ekvivalentnih nivoa buke za duži vremenski period (ceo dan ili deo dana).

Algoritam (3)

➤ Nivo buke u nekoj tački se računa korišćenjem jednačine:

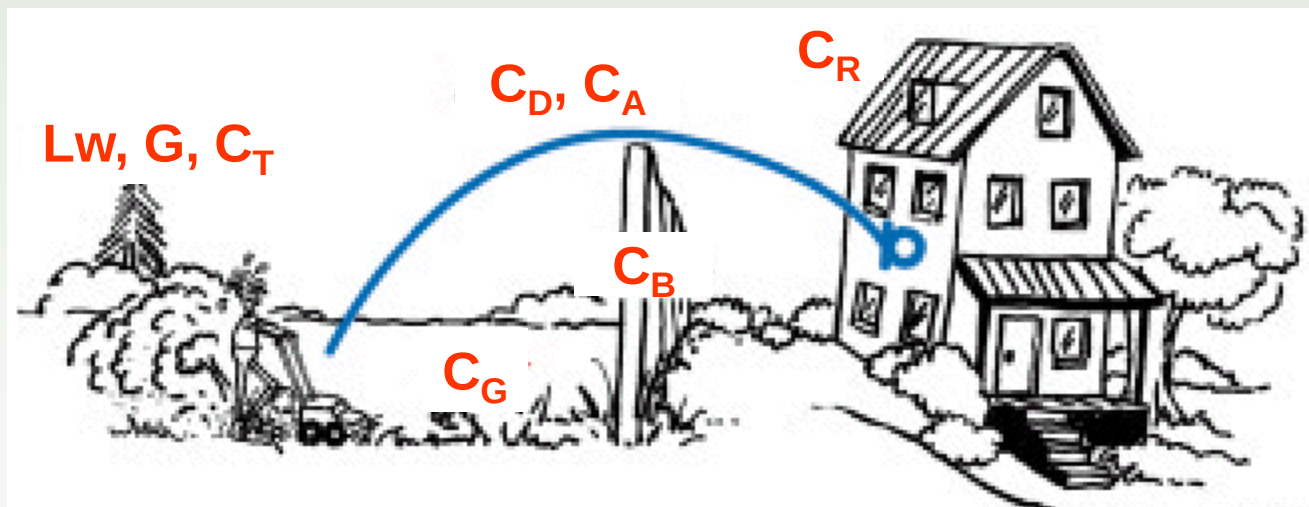
$$L = L_W + G + C_T + C$$

- ✚ L – nivo buke u dB
- ✚ L_W – nivo zvučne snage u dB
- ✚ G – indeks direktivnosti u dB
- ✚ C_T – korekcija u dB ako izvor nije stalno aktivan
- ✚ C – korekcija zbog slabljenja pri prostiranju u dB

➤ Slabljenje pri prostiranju može se predstaviti kao zbir:

$$C = C_D + C_A + C_B + C_G + C_Z + C_R$$

- ✚ C_D – korekcija zbog divergencije
- ✚ C_A – korekcija zbog apsorpcije vazduha, $C_A < 0$
- ✚ C_B – korekcija zbog barijere, $C_B < 0$
- ✚ C_G – korekcija zbog apsorpcije terena, $C_G < 0$
- ✚ C_R – korekcija zbog refleksija, $C_R > 0$
- ✚ C_Z – korekcija zbog zelenila, $C_Z < 0$



Preciznost i tačnost prognoze

- Algoritmi su uglavnom optimizirani na osnovu nacionalnih baza podataka o emisiji saobraćajne buke i iz tih razloga mogu biti manje precizniji za primenu u drugim zemljama gde godina starosti i struktura vozila može biti drugačija.
- Topografski podaci, podaci o nivou zvučne snage mašina i strukturi saobraćajnog protoka su ulazni podaci čiji kvalitet značajno utiču na preciznost i tačnost rezultata. Korišćenje GIS za generisanje topografskih podataka, merenje zvučne snage mašina ili brojanje saobraćaja na izabranim tačkama može smanjiti rizik og grešaka pri proračunu.
- Veština i iskustvo korisnika algoritma u oceni buke u životnoj sredini i sa samim algoritmom ima veoma važnu ulogu u optimiziranju rezultata.
- Korektno korišćenje algoritma za scenarija za koja je algoritam i projektovan daje preciznost koja se kreće u granicama od 3dB.



Standardi za prognozu drumskog saobraćaja

- Za prognozu buke drumskog saobraćaja koriste se različiti nacionalni standardi:



■ **RLS 90 - Nemačka**

■ RVS 3.02 - Austrija

■ NMPB - Francuska

■ CRTN – UK

■ FHWA - USA



- Ne postoji jedinstveni međunarodni standard. Evropska komisija preporučuje za upotrebu u zemljama Evropske unije francuski standard NMPB.
- Svi standardi kao rezultat daju ukupni nivo buke u dB(A). Ne uzima se u obzir razlika u spektrima buke koju generišu pneumatici, motor, prenosni sistem i izduvni sistem. Pretpostavlja se da putnička i teretna vozila imaju isti oblik spektra buke nezavistan od brzine.
- Frekvencijski oktavni spektar buke u opsegu 125Hz÷4kHz može se dobiti korigovanjem ukupnog nivoa buke vrednostima datim u tabeli.

f[Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
ΔL[dB]	-14	-10	-7	-4	-7	-12

RLS 90

- Nemački standard RLS 90 (iz 1990.) je nacionalni standard za prognozu drumskog saobraćaja koji se zbog svojih karakteristika koristi u mnogim zemljama koje nemaju svoje standarde.
- RLS 90 tretira vozila kao tačkaste pokretne izvore. Definiše referentni nivo buke:
 - **na rastojanju 25m od ose saobraćajnice**
 - **na visini 4m u odnosu na teren**
- Za izračunavanje referentnog nivoa buke, koji predstavlja nivo emisije buke na posmatranoj poziciji, potrebni su sledeći podaci:
 - ⊕ broj automobila i kamiona u toku jednog sata
 - ⊕ brzina automobila i kamiona koja mora biti konstantna
 - ⊕ nagib puta, ako je veći od 5%
 - ⊕ karakteristike površine puta
- Standardom se vozilo tretira kao kamion ako njegova težina premašuje 2.8t.

Akustički centar izvora buke je na rastojanju 0.5m iznad površine kolovoza.

RLS 90 – jednačine standarda (1)

Ukupni referentni nivo buke na rastojanju 25m i visini 4m

$$L_0 = L_{0,E} + C_V + C_{Ng} + C_{PP}$$



⊕ $L_{0,E}$ – ukupni osnovni nivo buke za brzine: 100km/h (automobili) i 80km/h (kamioni)

⊕ C_V – korekcija zbog brzine

⊕ C_{Ng} – korekcija zbog nagiba puta

⊕ C_{PP} – korekcija zbog površine puta

Ukupni osnovni nivo buke na rastojanju 25m i visini 4m

$$L_{0,E} = 37.3 + 10 \log [N \cdot (1 + 0.082 \cdot p)] \text{ [dB(A)]}$$

⊕ N – ukupan broj vozila u toku jednog sata

⊕ p – procenat kamiona u ukupnom broju vozila, u %

Korekcija zbog brzine

$$C_V = L_A - 37.3 + 10 \log \left[\frac{100 + (10^{0.1 \cdot D} - 1) \cdot p}{100 + 8.23 \cdot p} \right] \text{ [dB(A)]}$$

$$L_A = 27.7 + 10 \log [1 + (0.02 \cdot v_A)^3] \text{ [dB(A)]}$$

⊕ L_A – nivo buke automobila u funkciji brzine

⊕ v_A – brzina automobila
min. 30km/h, max. 130km/h



$$D = L_K - L_A$$

⊕ L_K – nivo buke kamiona u funkciji brzine

⊕ v_K – brzina kamiona
min. 30km/h, max. 80km/h



$$L_K = 23.1 + 12.5 \log v_K \text{ [dB(A)]}$$

RLS 90 – jednačine standarda (2)

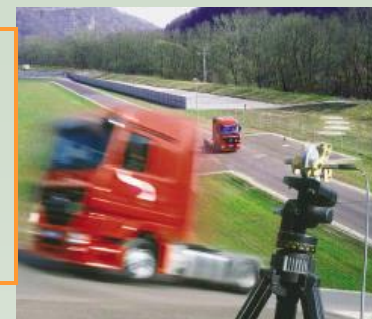
Korekcija zbog nagiba puta

za $|g| > 5\%$

$$C_{Np} = 0.6 \cdot |g| - 3 \text{ [dB(A)]}$$

g – nagib puta u %

Povećanje buke je isto i za uzbrdice i za nizbrdice!



Korekcija zbog karakteristika površine puta

C_{PP} [dB(A)]	Površina puta	maksimalno dozvoljene brzine		
		30km/h	40km/h	≥ 50 km/h
	1	2	3	4
1	Asfalt	0	0	0
2	Beton	1.0	1.5	2.0
3	Kaldrma sa glatkom teksturom	2.0	2.5	3.0
4	Kaldrma sa grubom teksturom	3.0	4.5	6.0

- Za površine puta novijih konstrukcija nivo buke za brzine iznad 60km/h se smanjuje, tako da je korekcija za presvučenu betonsku podlogu -2dB(A) a za porozni asfalt sa više od 15% pora -5dB(A) .

RLS 90 – jednačine standarda (3)

- Iz opštih jednačina datih u standardu mogu se izvesti jednačine koje definišu referentni nivo buke posebno za putnička i teretna vozila. Ukupni referentni nivo dobija se energetske sabiranjem ova dva nivoa.



$$L_{0,A} = 27.7 + 10 \log N_A + 10 \log [1 + (0.02 \cdot v_A)^3] \text{ [dB(A)]}$$

✚ N_A – broj automobila u toku jednog sata

✚ v_A – brzina automobila
min. 30km/h, max. 130km/h

$$L_{0,K} = 23.1 + 10 \log N_K + 12.5 \log v_K \text{ [dB(A)]}$$

✚ N_K – broj kamiona u toku jednog sata

✚ v_K – brzina kamiona
min. 30km/h, max. 80km/h

Ukupni referentni nivo buke na rastojanju 25m i visini 4m

$$L_0 = 10 \log (10^{0.1 \cdot L_{0,A}} + 10^{0.1 \cdot L_{0,K}}) + C_{Np} + C_{PP} \text{ [dB(A)]}$$

RLS 90 – jednačine standarda (4)

Merodavni nivo buke na mestu prijema

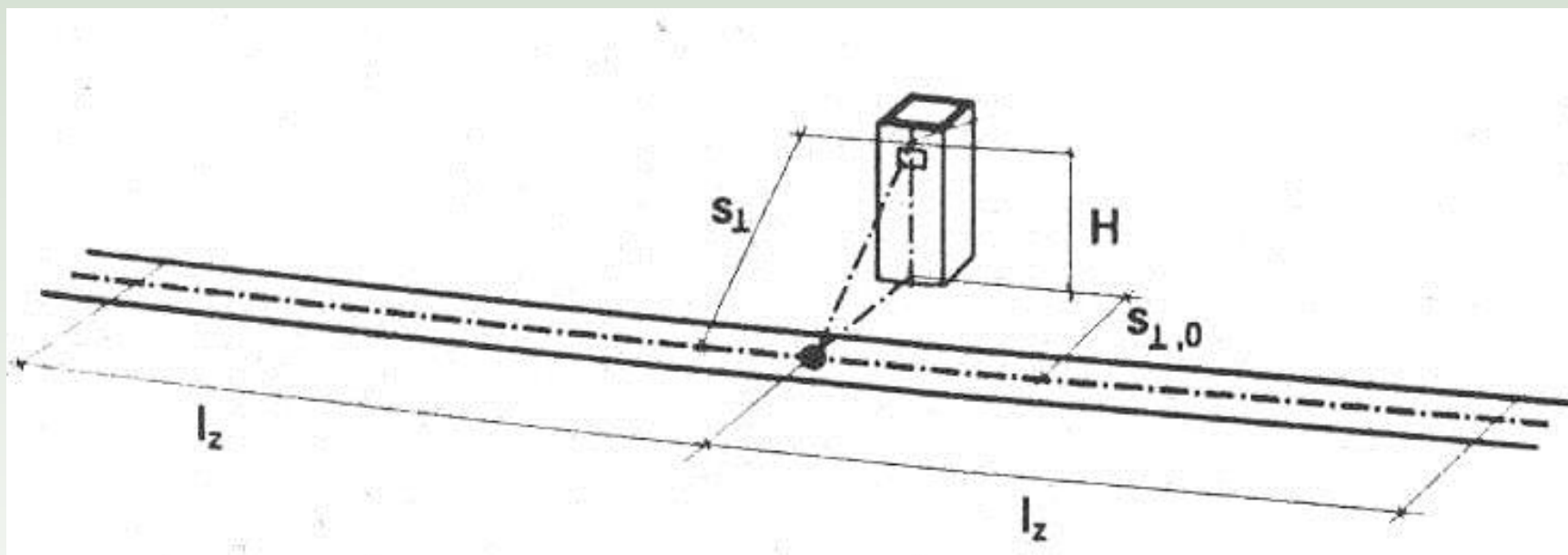
Određuje se za dnevni (6:00-22:00) i noćni period (22:00-06:00), posebno.

$$L_m = L_0 + C_D + C_G + C_B + C_Z + C_R$$

- ⊕ C_D – korekcija za uticaj divergencije (širenja) talasnog fronta i apsorpcije vazduha
- ⊕ C_G – korekcija za uticaj apsorpcije terena
- ⊕ C_B – korekcija za uticaj barijere
- ⊕ C_Z – korekcija za uticaj zelenih zasada
- ⊕ C_R – korekcija za uticaj refleksija

RLS 90 – jednačine standarda (5)

- Korekcije koje određuju slabljenje nivoa buke usled prostiranja zvučnih talasa izračunavaju se na osnovu najkraćeg rastojanja prijemne tačke do pozicije akustičkog centra izvora buke $s_{\perp}$.



Standardi za prognozu železničkog saobraćaja

- Za prognozu buke železničkog saobraćaja koriste se različiti nacionalni standardi:

- **Schall 03 - Nemačka**
- ÖAL 30 - Austrija
- RLM2 – Skandinavске zemlje
- CoRTN – UK



- Ne postoji jedinstveni međunarodni standard. Evropska komisija preporučuje za upotrebu u zemljama Evropske unije zajednički standard skandinavskih zemalja RLM2.
- Svi standardi se baziraju na izračunavanju osnovnog nivoa buke ili referentnog nivoa buke na osnovu brzine vozova, dužine i broja vozova. Referentni nivo buke predstavlja nivo emisije buke u posmatranoj tački.
- Svi standardi izračunavaju ekvivalentni nivo buke na poziciji prijemnika. RLM2 daje i maksimalni nivo buke. Nemački metod podrazumeva da se od izračunatog nivoa buke oduzima 5dB. Razlog leži u pretpostavci da isti nivo smetnje kao i drumski saobraćaj ima voz ako je njegov nivo buke veći za 5dB.

SCHALL 03

- Nemački standard SCHALL 03 (iz 1990.) je nacionalni standard za prognozu železničkog saobraćaja.
- SCHALL 03 definiše referentni nivo buke (nivo emisije buke):
 - **na rastojanju 25m od ose saobraćajnice**
 - **na visini 3.5m iznad gornje ivice šine**
- Za izračunavanje referentnog nivoa buke na posmatranoj poziciji, potrebni su sledeći podaci:
 - ⊕ tip voza
 - ⊕ procenat disk kočnica
 - ⊕ dužina voza
 - ⊕ brzina voza
 - ⊕ tip pruge
- Referentni nivo buke se određuje za određenu klasu vozova istog tipa, brzine i procenta vozila sa disk kočnica. Referentni nivo buke za sve grupe vozova određuje se energetske sabiranjem nivo buke za dan i noć.

Akustički centar izvora buke je na rastojanju 0.6m iznad terena (pozicija gornje ivice šine)

SCHALL 03– jednačine standarda (1)

Referentni nivo buke za
određenu klasu vozova

$$L_{0,E,i} = 51 + C_{TV} + C_p + C_N + C_L + C_V$$

- ⊕ C_{TV} – korekcija za uticaj tipa voza
- ⊕ C_p – korekcija za uticaj procenta vozila sa disk kočnicama
- ⊕ C_N – korekcija za uticaj broja vozova
- ⊕ C_L – korekcija za uticaj dužine voza
- ⊕ C_V – korekcija za uticaj brzine voza

Korekcija za uticaj tipa voza

	Tip voza	C_{TV}
1	Vozovi sa dozvoljenom brzinom većom od 100km/h sa apsorberima na točkovima	-4
2	Vozovi sa disk kočnicama na točkovima (modeli 403,420,472)	-2
3	Vozovi sa točkovima sa disk kočnicama (Bx vagoni i lokomotive)	-1
4	Podzemna železnica	2
5	Gradski motorni vozovi	3
6	Ostali tipovi	0

SCHALL 03– jednačine standarda (2)

Korekcija za uticaj procenta vozila u kompoziciji sa disk kočnicama

$$C_p > 0$$

$$C_p = 10 \log(5 - 0.04 \cdot p) \text{ [dB]}$$

✚ p – procenat vozila sa disk kočnicama, u %

Korekcija za uticaj broja vozova

$$C_N > 0, N > 1$$

$$C_N = 10 \log(N) \text{ [dB]}$$

✚ N – broj vozova u toku jednog sata

Korekcija za uticaj dužine voza

$$C_L > 0, L > 100\text{m}$$

$$C_L = 10 \log(0.01 \cdot L) \text{ [dB]}$$

✚ L – dužina voza, u m

Korekcija za uticaj brzine

$$C_v > 0, v > 100\text{km/h}$$

$$C_v = 20 \log(0.01 \cdot v) \text{ [dB]}$$

✚ v – brzina vozova, u km/h

SCHALL 03– jednačine standarda (3)

Merodavni nivo buke na mestu prijema

Određuje se za dnevni (6:00-22:00) i noćni period (22:00-06:00), posebno.

$$L_m = 10 \log \left[\sum_{i=1}^k 10^{0.1 \cdot L_{0,E,i}} \right] + C_{TP} + C_D + C_G + C_B + C_Z + S + C_R$$



k – broj različitih klasa vozova



C_{TP} – korekcija za uticaj tipa pruge



S – korekcija za manji uticaj smetnji koje izaziva buka vozova

$$S = -5[\text{dB}]$$



C_R – korekcija za uticaj divergencije i apsorpcije vazduha



C_G – korekcija za uticaj apsorpcije terena



C_B – korekcija za uticaj barijere



C_R – korekcija za uticaj refleksija



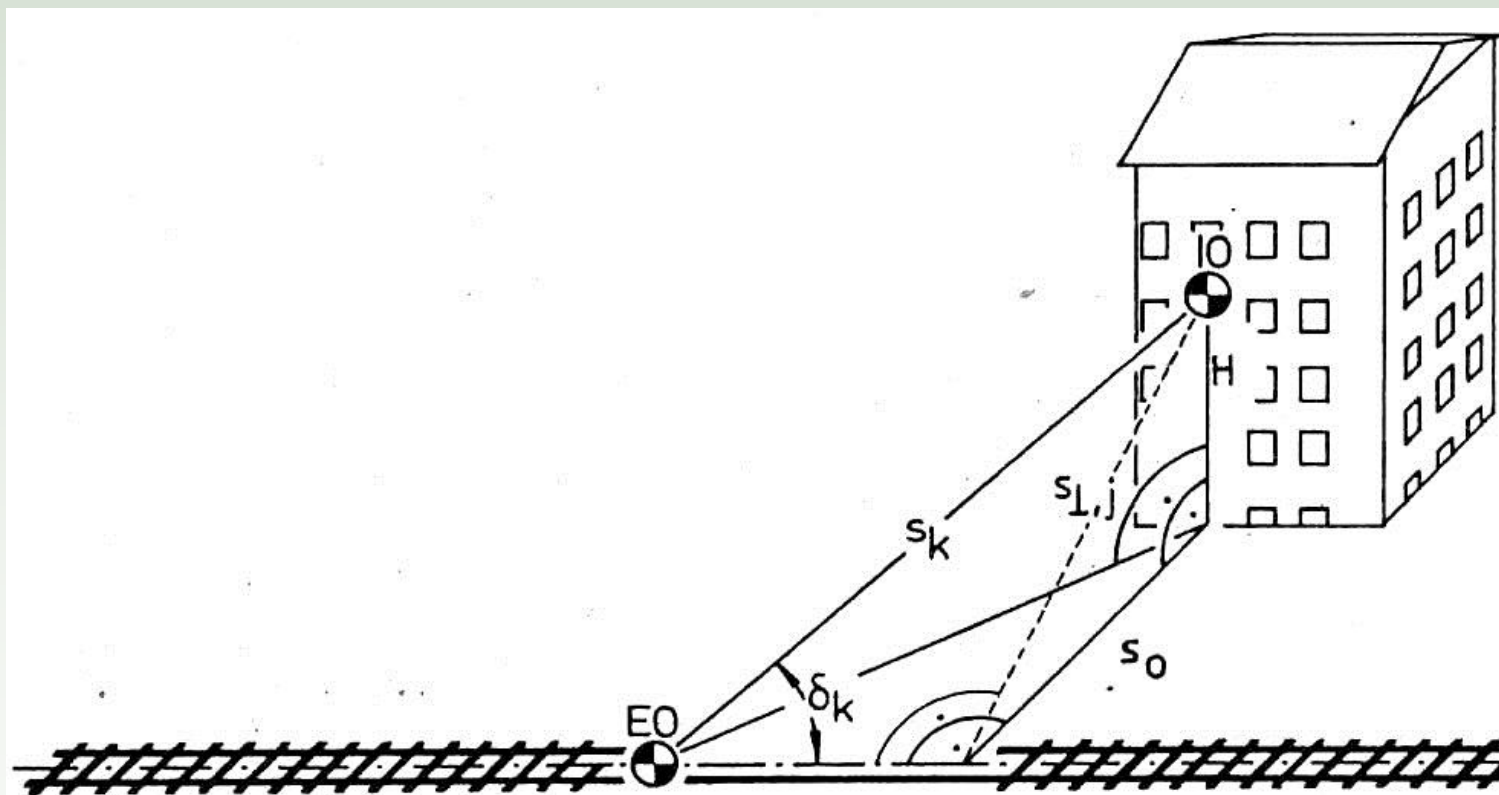
C_Z – korekcija za uticaj zelenih zasada

Korekcija za uticaj tipa pruge

	Tip pruge	C_{TP}
1	Tramvajske šine – šine sa travnatom okolinom	-2
2	Podloga od šodera – betonski pragovi specijalne konstrukcije	0
3	Podloga od šodera – drveni pragovi	0
4	Podloga od šodera – betonski pragovi	2
5	Tvrd kolosek i šine položene na uličnom kolovozu	5

SCHALL 03– jednačine standarda (4)

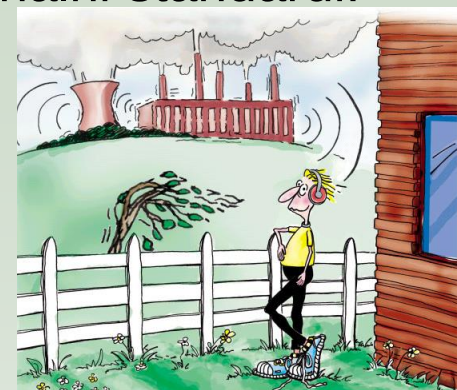
- Korekcije koje određuju slabljenje nivoa buke usled prostiranja zvučnih talasa izračunavaju se na osnovu najkraćeg rastojanja prijemne tačke do pozicije akustičkog centra izvora buke $s_{\perp}$.



Standardi za prognozu industrijske buke

➤ Za prognozu industrijske buke koriste se različiti nacionalni standardi:

- VDI 2714, VDI 2720, VDI 2571 - Nemačka
- DIN 18005 - Nemačka
- ÖAL 28 - Austrija
- ISO 9613 – Deo 2
- Nordic General Prediction Method - Skandinavske zemlje



➤ Za prognozu industrijske buke postoji međunarodni standard ISO 9613 kojeg Evropska komisija preporučuje za upotrebu u zemljama Evropske unije.

➤ Svi standardi se baziraju na izračunavanju nivoa buke na posmatranoj poziciji na osnovu zvučne snage izvora buke karakteristikama zračenja. Postoje izvesne razlike u konceptu i formulama koje definišu prostiranje buke.

➤ Uglavnom svi standardi omogućavaju određivanje oktavnog spektra referentnog nivoa buke. Date su jednačine za izračunavanje nivoa buke za pojedinačnu frekvenciju. Ukupni nivo se dobija energetskim sabiranjem nivoa buke na pojedinačnim frekvenvcijama.

ISO 9613

- Međunarodni standard ISO 9613-2 (iz 1996.) je opšti standard za prognozu prostiranja buke na otvorenom prostoru a u cilju prognoze nivoa buke u životnoj sredini za različite izvore.
- Metod kao rezultat daje A-ponderisani ekvivalentni nivo buke ali omogućava izračunavanje i oktavnih nivoa buke u opsegu od 63Hz do 8kHz pomoću datog algoritma.
- Za izračunavanje nivoa buke potrebni su sledeći podaci:
 - ⊕ zvučna snaga izvora – oktavni spektar
 - ⊕ direktivnost izvora
 - ⊕ pozicija izvora u odnosu na reflektujuće površine – prostorni ugao
 - ⊕ rastojanje prijemene tačke do izvora buke
 - ⊕ karakteritike i geometrija terena
- Metod je primenljiv na veoma široki opseg izvora buke u životnoj sredini. Primenljiv je direktno ili indirektno za drumski i železnički saobraćaj, industrijske izvore buke, buku građevinskih mašina.

ISO 9613– jednačine standarda

Oktavni nivo buke u opsegu od 63Hz do 8kHz:

$$L_f = L_W + G + D_\Omega - C$$

- ⊕ L_W – oktavni nivo zvučne snage
- ⊕ G – indeks direktivnosti
- ⊕ D_Ω – korekcija za prostorni ugao zračenja
- ⊕ C – slabljenje pri prostiranju buke

$$D_\Omega = 10 \log \frac{4\pi}{\Omega}$$

⊕ Ω – prostorni ugao zračenja

Ukupni nivo buke za sve izvore i njihove likove u ogledalu

$$L_A = 10 \log \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^8 10^{0.1[L_f(ij) + A_f(j)]} \right] [\text{dB(A)}]$$

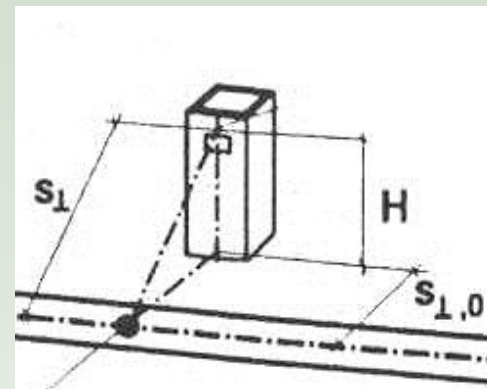
- ⊕ n – ukupan broj izvora
- ⊕ j – indeks koji označava osam standardnih oktavnih frekvencija
- ⊕ $A_f(j)$ – slabljenje A-krive za određenu frekvenciju
- ⊕ $L_f(ij)$ – nivo buke i-tog izvora za j-tu standardnu oktavnu frekvenciju

Slabljenje buke pri prostiranju (1)

**Ukupno slabljenje nivoa buke
pri prostiranju buke od
emisione do prijemne tačke**

$$C = C_D + C_G + C_B + C_Z - C_R$$

- ⊕ C_D – korekcija za uticaj divergencije (širenja)
talasnog fronta i apsorpcije vazduha
- ⊕ C_G – korekcija za uticaj apsorpcije terena
- ⊕ **C_B – korekcija za uticaj barijere**
- ⊕ C_Z – korekcija za uticaj zelenih zasada
- ⊕ C_R – korekcija za uticaj refleksija



Korekcija za uticaj divergencije i apsorpcije vazduha

**Drumski i železnički
saobraćaj**

$$C_D = 15.8 - 10 \cdot \log s_{\perp} - 0.0142 \cdot s_{\perp}^{0.9} \text{ [dB]}$$

✚ $s_{\perp}$ – najkraće rastojanje prijemne do emisione tačke

**Industrija – tačkasti izvori
buke**

$$C_D = -11 - 20 \log d - \frac{d}{200} \text{ [dB]}$$

✚ d – najkraće rastojanje prijemne do emisione tačke

Slabljenje buke pri prostiranju (2)

Korekcija za uticaj apsorpcije terena i meteoroloških uslova

Drumski i železnički
saobraćaj

$$C_G = -4.8 \cdot 10^{-\frac{1}{2.3} \left[\frac{h_m}{s_{\perp}} \left(8.5 + \frac{100}{s_{\perp}} \right) \right]^{1.3}} \quad [\text{dB}]$$

$$C_G < 0 \quad [\text{dB}]$$

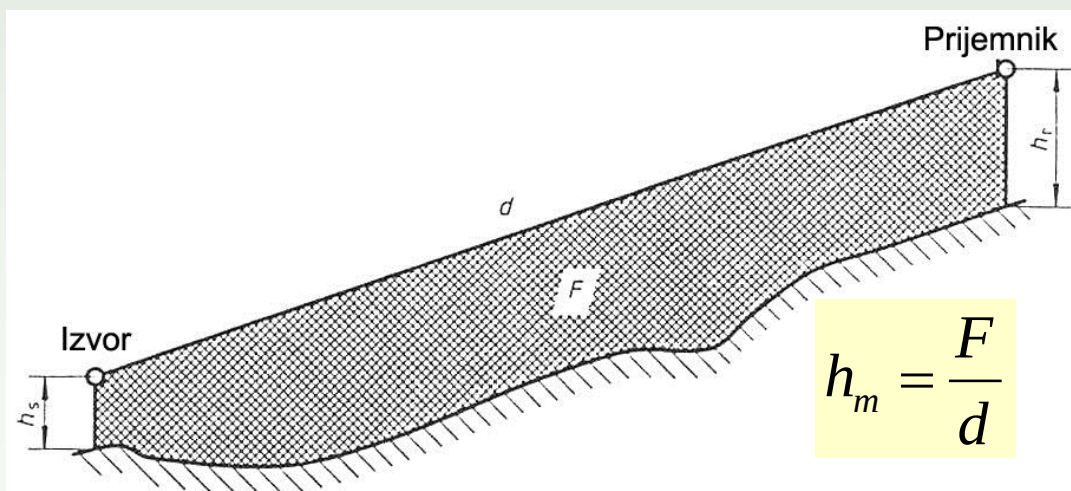
✚ $s_{\perp}$ – najkraće rastojanje prijemne do emisione tačke

Industrija – tačkasti izvori
buke

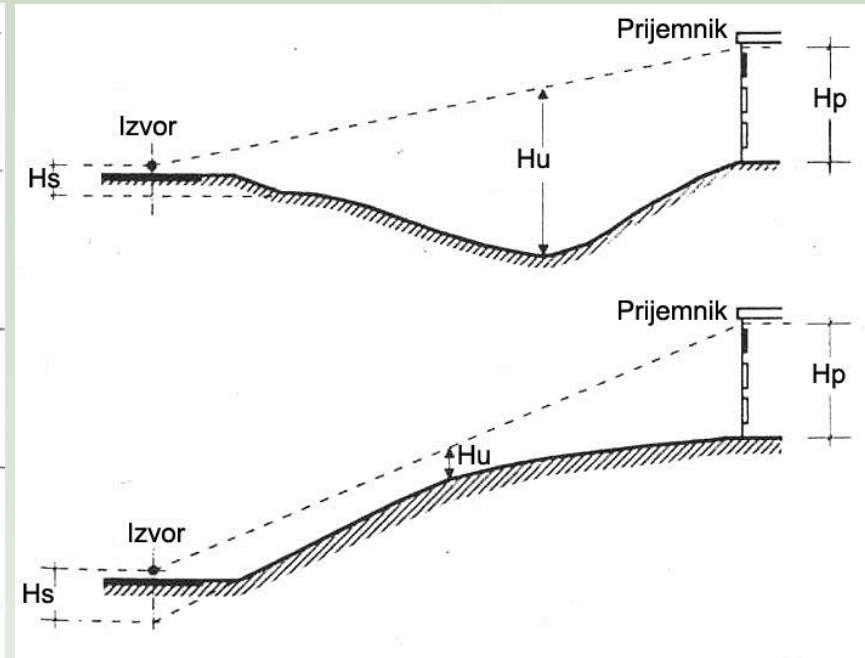
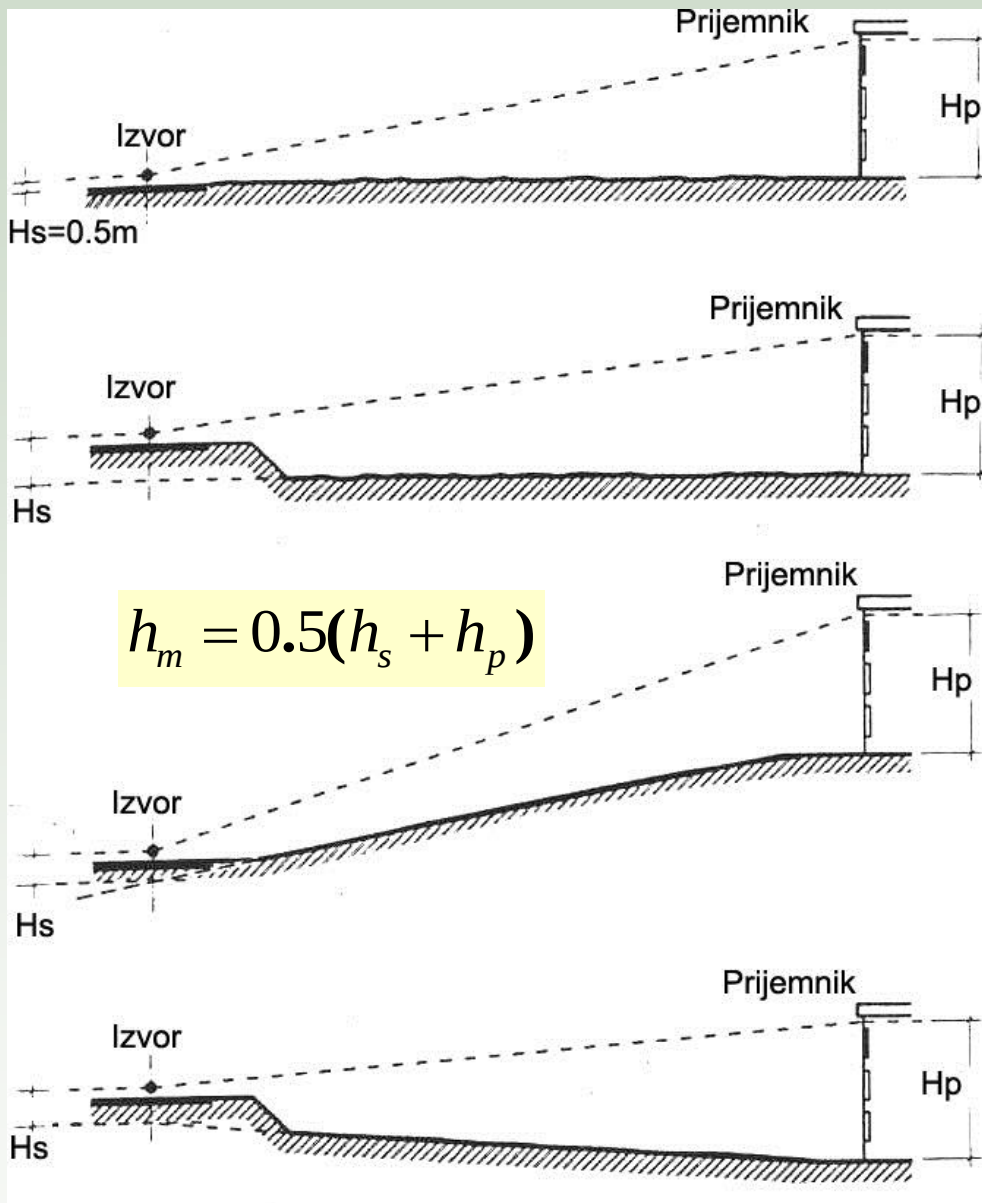
$$C_G = \frac{h_m}{d} \left(34 + \frac{600}{d} \right) - 4.8 \quad [\text{dB}]$$

✚ d – najkraće rastojanje prijemne do emisione tačke

✚ h_m – srednja visina linije koja povezuje prijemnu i emisionu tačku iznad terena



Slabljenje buke pri prostiranju (3)



$$h_m = 0.25(h_s + 2h_u + h_p)$$

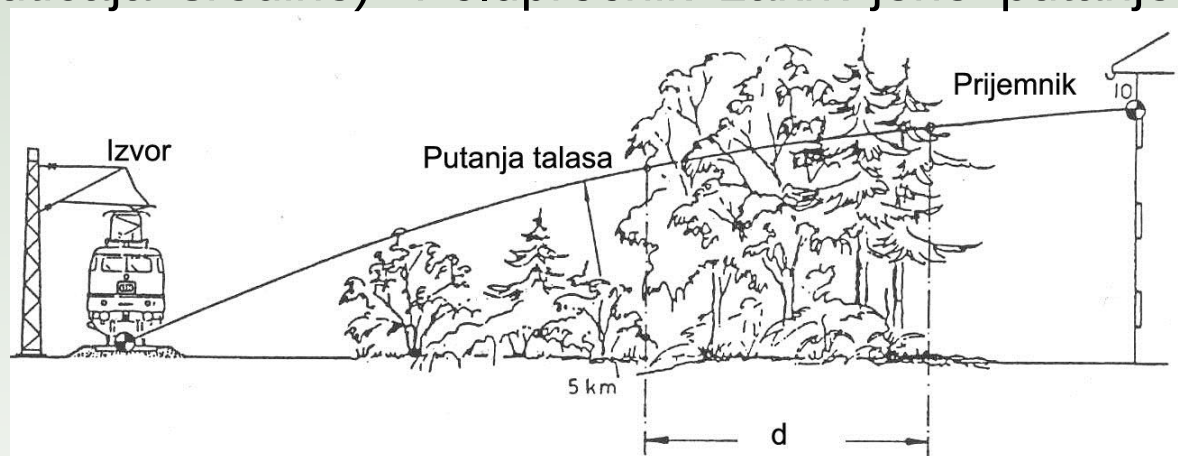
Slabljenje buke pri prostiranju (4)

Korekcija za uticaj zelenih gustih zasada

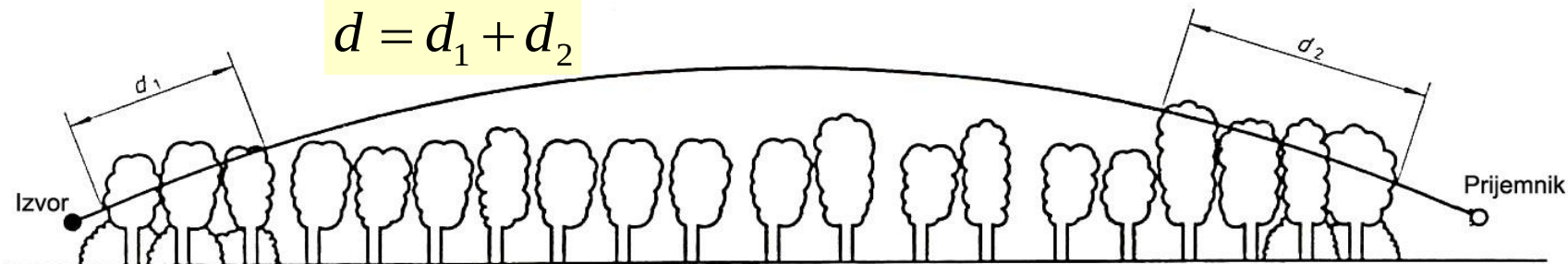
$$C_z = -0.06 \cdot d \text{ [dB]} \quad C_z \geq -5 \text{ [dB]}$$

✚ d – deo zasada kroz koji se prostire zvučni talas

- Pri izračunavanju dužine zasada kroz zasade, treba voditi računa da se talas ne prostire pravolinijski, već po zakrivljenoj putanji (posledica savijanja talasa usled uticaja sredine). Poluprečnik zakrivljene putanje iznosi 5km.



$$d = d_1 + d_2$$



Slabljenje buke pri prostiranju (5)

Korekcija za uticaj refleksija

➤ Ako saobraćajnica prolazi izmedju dva niza paralelnih stambenih objekata, potpornih zidova ili barijera onda se nivo buke na mestu prijemne tačke povećava zbog uticaja višestruke refleksije zvučnih talasa.

Potpuno reflektujuće površine

$$C_R = 4 \frac{h}{w} \text{ [dB]} \quad C_R \leq 3.2 \text{ [dB]}$$

Reflektujuće površine obložene apsorpcionim materijalom

$$C_R = 2 \frac{h}{w} \text{ [dB]} \quad C_R \leq 1.6 \text{ [dB]}$$

✚ w – međusobno rastojanje reflektujućih površina
✚ h – srednja visina reflektujućih površina

