



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Promet  
Modul: Cestni promet

## **MERITVE V PROMETU – VRSTE SENZORJEV IN HRUP**

Mentor: mag. Brane Lotrič  
Lektorica: Tea Konte

Kandidat: Gregor Tanko

Kranj, maj 2009

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju mag. Branetu Lotriču, za konkretna navodila in usmerjanju pri izdelavi diplomskega dela, ter Ani Peklenik za pomoč pri tehničnem delu naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Tei Konte za lektoriranje mojega diplomskega dela.

Posebna zahvala gre moji puncu, ki me je ves čas izobraževanja podpirala, bodrila in mi nudila veliko podporo.

## **IZJAVA**

» Študent Gregor Tanko izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Lotrič Braneta. «

» Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletnih straneh šole. «

V Kranju, 18.5.2009

Gregor Tanko

## POVZETEK

Ljudje smo že od rojstva »potopljeni« v morje zvokov. Hitro spoznamo, da je zvok za nas koristen, saj nam omogoča komunikacijo ter uživanje v številnih prijetnih zvokih. Nekateri glasni zvoki pa nas opozarjajo na nevarnost in kmalu spoznamo, da je sluh zares dragocen dar. Določeni zvoki, ki nas obkrožajo, pa motijo naše sposobnosti komunikacije. Lahko onemogočijo poslušanje želenih zvokov ali motijo našo sposobnost koncentracije pri opravljanju nalog, razmišljanju in delu, lahko nas prestrašijo, motijo naše spanje, celo ogrožajo zdravje, če povzročajo psihološke strese. V tem primeru je zvok nezaželen. Imenujemo ga hrup. Hrup je vsak zvok, ki vzbuja nemir, moti človeka in škoduje njegovemu zdravju ali počutju in škodljivo vpliva na okolje. Značilnost današnjega časa je nenehno naraščanje mobilnosti, saj je to naša osnovna potreba. Danes si težko predstavljamo življenje brez uporabe cestnega in železniškega prometa, vozil, ki potujejo po vodi ali zraku. Uporaba sredstev, ki jih uporabljamo za potovanje iz kraja v kraj, je vzrok množične in različne izpostavljenosti hrupu. Število in intenziteta teh dejavnikov nas spravljajo v stalen in včasih neznosen stres. V Sloveniji obremenjenost s hrupom še ni popolnoma sistematično obdelana, čeprav hrup prizadene veliko število ljudi.

Če obremenitev presega mejne ravni, predpisi nalagajo upravljavcem virov hrupa izvedbo ukrepov za zmanjšanje širjenja hrupa v okolje:

- zmanjšanje emisije hrupa pri viru, tj. zmanjšanje zvočne moči vira,
- omejevanje širjenje hrupa s funkcionalnimi pregradami,
- zaščita bivalnih prostorov z izboljšano zvočno izolacijo oken, zvočno izolacijo fasadnih ali obodnih elementov.

Pri varovanju okolja pred hrupom je pomembno prostorsko načrtovanje, in sicer predvsem pri zmanjševanju hrupa cestnega prometa. Ukrepi obsegajo različna dela in ukrepe za zmanjševanje emisij hrupa.

**Ključne besede:** hrup, promet, naprave za analizo zvoka, protihrupne zaščite

## ABSTRACT

People are from the birth "immersed" into the sea of sounds. We quickly realize that the sound is useful, because it allows us to communicate, and give us the enjoyment of many pleasant sounds. On the other hand particular sounds represent danger lurking at us and we soon realize hearing is really a valuable gift. Certain sounds that surround us disrupt our communications. They can make listening of desired sounds impossible or interfere with our concentration in the performance of tasks, thinking and working may scare us, disturb our sleep, and even health, when psychological stress is caused. In such cases, the sound is undesired and we call it noise. Noise is any sound that gives rise to anxiety, interferes with human beings and damages their health or welfare and has detrimental impact on environment. The main characteristic of modern times is an increase in mobility, because it is our basic need. Today we can not imagine mobility without the use of road and rail traffic or cars traveling by water or air. Use of vehicles, which are used to travel from place to place are the cause of massive and different noise exposure. The number and intensity of these factors, puts our living environment in a constant and sometimes unbearable stress. In Slovenia noise is not yet systematically regulated, although the noise affects a large proportion of the total population.

When noise exceeds the maximum noise level margin, managers must, on the basis of regulations, reduce the spread of noise in the environment:

- reduce noise emissions at source, i.e. source of sound power source
- limiting the spread of noise with functional barriers
- protection of living areas with improved sound insulation windows, noise insulation of façades or circumferential components.

For environmental protection against noise, spatial planning is essential, especially in reducing road traffic noise. Measures to reduce road traffic noise include various works and steps to reduce noise emissions.

## KAZALO

1 UVOD.....	1
2 VRSTE SENZORJEV IN NAPRAVE ZA MERJENJE V CESTNEM PROMETU .....	3
2.1 MEHANSKI SEZNORJI.....	3
2.2 PNEVMATSKI SENZORJI.....	3
2.2.1 METRO COUNT .....	3
2.3 PIEZOELEKTRIČNI SENZORJI .....	5
2.4 UPOROVNI SENZORJI.....	5
2.5 ZANČNI SENZORJI .....	5
2.5.1 QLD-6CX .....	5
2.6 MAGNETNO SLIKANJE VOZIL.....	7
2.6.1 NU-METRICS.....	7
2.7 RADAR.....	8
2.7.1 RADAR MULTANOVA.....	9
2.8 LASER.....	11
2.9 VIDEODETEKCIJA .....	12
2.10 MERILEC HRUPA.....	13
2.11 MERILEC ZA MERJENJE KOLIČINE ALKOHOLA.....	16
2.11.1 ALKOTEST DRÄGER 7410 .....	16
2.12 TEHTANJE VOZIL .....	17
2.12.1 SISTEMI WIM, VGRAJENI V VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO .....	17
2.12.2 MOSTNI SISTEMI WIM (BWIM).....	18
2.12.3 NIZKOHITROSTNI SISTEMI WIM (LSWIM) .....	18
2.13 LASERSKI MERINIK HITROSTI .....	18
3 ZVOK .....	19
4 HRUP .....	20
4.1 PREDPISI O HRUPU V NARAVNEM IN BIVALNEM OKOLJU .....	21
4.2 STOPNJE VARSTVA PRED HRUPOM .....	22
5 NAPRAVE ZA ANALIZO ZVOKA IN HRUPA .....	24
5.1 FILTRI ZVOKA.....	25
5.2 MIKROFONI .....	27
5.3 KALIBRATORJI .....	27
5.4 MERILCI HRUPA .....	28
6 PROTIHRUPNI UKREPI .....	30
6.1 IZVOR HRUPA .....	30
6.2 KONSTRUKTIVNE REŠITVE ZA UBLAŽITEV HRUPA.....	31
6.3 ZMANJŠEVANJE ČEZMERNEGA CESTNEGA HRUPA .....	31
6.4 OSNOVNE ZAKONITOSTI NAČRTOVANJA PROTIHRUPNIH KONSTRUKCIJ.....	32
6.5 VRSTE PROTIHRUPNIH ZAŠČIT .....	32
6.5.1 PROTIHRUPNI NASIPI .....	33
6.5.2 PROTIHRUPNE OGRAJE .....	34
6.5.3 GALERIJE IN POKRITI UKOPI.....	40
6.5.4 NASADI (OZELENITVE) KOT PROTIHRUPNA ZAŠČITA.....	41
6.5.5 OBLIKOVANJE IN RAZPOREDITEV ZGRADBE.....	41
7 SKLEP .....	42
8 LITERATURA .....	44

KAZALO SLIK .....	45
KAZALO TABEL .....	46

# 1 UVOD

V dvajsetem stoletju je bilo veliko odkritij in veliko teh povzročča hrup. Ta je obstajal že veliko prej, le da ga je bilo malo. Z razvojem industrije, vlakov, avtomobilov, letal itd. je postal preobsežen. Poleg tega je čezmeren hrup prinesel veliko slabosti pri človeku, kot so razdražljivost, oglušlost itd. Zaradi tega so ljudje ustvarili meritve in predpise, s katerimi bi se zaščitili pred hrupom.

V 21. stoletju se je proizvodnja zelo povečala, poleg nje pa tudi cestni promet, ki prinaša največ hrupnega onesnaženja. Res je, da so se industrije preselile v nerazvite države, kar pa ne zmanjšuje količine hrupa, saj se je le premestil iz enega kraja v drug. Za rešitev cestnega hrupa so začeli delati vozila, ki bi proizvajala čim manj hrupa, poleg tega so izboljšali gume. Začeli so načrtovati in graditi ceste, ki bi absorbirale ali odbijale hrup tako, da ne bi škodil okolici. Zaradi zakonov omejitve hrupa so začeli izdelovati naprave, s katerimi so lahko določili količino hrupa. Če je bila ta prevelika, so lahko vplivali na okolico, da so ga zmanjšali (npr. protihrupne ograde, omejitve hitrosti prometa v mestnem prometu, prometne zapore v središču mesta, uvedba krožnega prometa). V ceste so vložena zelo velika finančna sredstva. Zato jih je treba ohraniti v stanju, ki bo omogočilo varno, udobno in gospodarno uporabo. Problem, kot je hrup, to onemogoča. Javnost dojema hrup kot eno izmed glavnih okoljskih težav. Njegovi vplivi na ljudi so lahko fiziološki in psihološki, saj posega v osnovne dejavnosti, kot so spanje, počitek, študij in komunikacija. Povezan je s številnimi človekovimi dejavnostmi, največji vpliv pa imajo cestni, železniški in letalski hrup. To je težava zlasti za mestno okolje; približno 75 % evropskega prebivalstva živi v mestih, obseg prometa pa se še vedno povečuje. Ker se okoljskemu hrupu ne moremo izogniti, mu je izpostavljen bistven delež prebivalstva. »V zeleni knjigi EU Prihodnja politika o hrupu je navedeno, da približno 20 % prebivalstva EU trpi zaradi stopenj hrupa, o katerih zdravstveni strokovnjaki menijo, da so nesprejemljive, ki lahko povzročijo razdraženost, motnjo spanja in škodljive vplive na zdravje. Izpostavljenost hrupu povzroča motnje spanja, razdražljivosti in motnje sluha in tudi druge zdravstvene težave, kot so bolezni srca in ožilja« ([www.eea.europa.eu/sl/themes/noise/about-noise](http://www.eea.europa.eu/sl/themes/noise/about-noise), 20. 12. 2008). »Švicarski zvezni urad za okolje, gozd in krajino (BUWAL) je objavil raziskavo o negativnih vplivih cestnega prometa na zdravje ljudi. Ta namreč dokazuje, da hrup kot stresni dejavnik povečuje tveganje za nastanek bolezni srca in obtočil ter infarkta« ([www.cipra.org/sl/alpmedia/novosti/681/](http://www.cipra.org/sl/alpmedia/novosti/681/), 20. 12. 2008). Zdravja pa ne ogrožajo samo redkejši primeri hujših bolezni, npr. srčni infarkt, temveč tudi manjše motnje spanja in težave, ki jih imajo ljudje zaradi hrupa pri medsebojnem sporazumevanju, je ugotovil švicarski zvezni urad. Že stopnja hrupa, ki ga povzroča 200 motornih vozil na uro, poveča tveganje za nastanek bolezni srca in obtočil. Ker se je izkazalo, da protihrupna zaščita, ki so jo postavili na nekaterih strmehjših delih ceste, ni učinkovita, se v Švici vedno bolj navdušujejo za subvencioniranje zvočno izoliranih oken ([www.cipra.org/sl/alpmedia/novosti/681/](http://www.cipra.org/sl/alpmedia/novosti/681/), 20. 12. 2008).

Poznamo več virov hrupa: od cestnega prometa, železniškega prometa, zračnega prometa, na katere se bomo osredotočili v diplomskem delu. Poleg omenjenih naj omenimo še hrup na gradbiščih, v industriji, zgradbah, pri gospodinjstvih strojih, ki se uporabljajo na prostem. Pravno podlago varstva pred hrupom ureja Uredba o hrupu v naravnem in življenjskem okolju (Ur.l. RS, št. 45/1995), ki v 1. členu določa:



- mejne vrednosti ravni hrupa v naravnem in življenjskem okolju,
- način določanja in vrednotenja ravni hrupa,
- ukrepe za zmanjševanje in preprečevanje čezmernega hrupa.

Določbe te uredbe veljajo za zunanji hrup, ki ga v posameznih območjih naravnega in življenjskega okolja povzročajo stalne ali občasne emisije hrupa enega ali več virov obremenjevanja okolja s hrupom.

## 2 VRSTE SENZORJEV IN NAPRAVE ZA MERJENJE V CESTNEM PROMETU

### 2.1 MEHANSKI SEZNORJI

Mehanski senzori delujejo tako, da se odzivajo na reakcijo, ki je vezana na deformacijo, katere posledica je teža vozila. Ti senzori so na vozni površini oz. so vgrajeni v cestišče. To jim povečuje življenjsko dobo. Uporablja se jih za štetje osi in posredno štetje vozil, včasih pa tudi za merjenje osnega tlaka ter določanje skupne teže vozila.

### 2.2 PNEVMATSKI SENZORJI

Pnevmatski senzori so sestavljeni iz posebne gumijaste cevi. Te se lahko položi na cestišče za določen čas (se jih pritrdi na cestišče) ali pa trajno (vreže v cestišče žleb, v katerega se vstavi cev). Ko kolo vozila udari na cev, nastane v njej kratkotrajen tlačni sunek. Pretvornik na koncu cevi spremeni sunek tlaka v električni signal. Z napravo se da šteti glede na smer gibanja (če sta dve cevi), meriti hitrost, zasedenost, klasificirati po hitrosti in po številu osi.

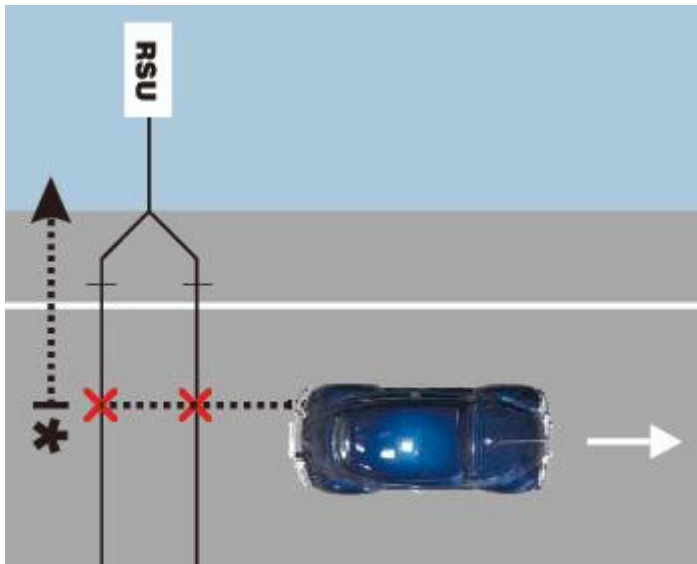
#### 2.2.1 METRO COUNT

Metro Count (slika 1) je pnevmatski senzor, katerega potek smo si ogledali. Ta meri hitrost vozila, zasedenost in jih klasificira.



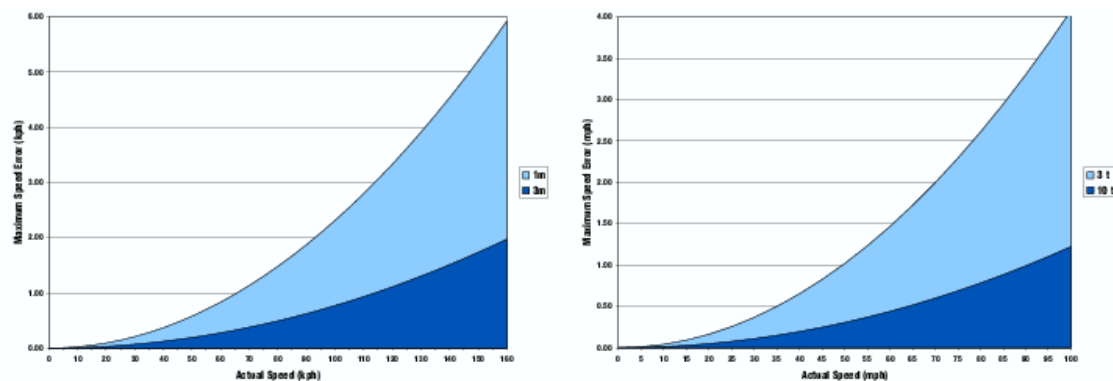
Slika 1: Metro Count

Za čim manjše napake pri meritvi hitrosti moramo gumijasto cev pritrditi na cestišče tako, da se ne bo premikala. Poleg tega mora biti postavljena pravokotno, saj je tudi to eden izmed pogojev za natančno merjenje (gume avtomobila morajo prevoziti gumijasto cev pravokotno). Če je  $10^\circ$  odklona od določenega kota, nastane maksimalna napaka 1 %.



Slika 2: Način postavitve gumijaste cevi

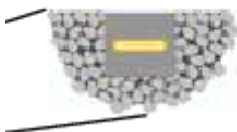
Na odčitavanje hitrosti vplivata tudi razmik med gumijastimi cevmi in teža vozila. Večji je razmik med cevmi, tem manjša je napaka. Čim večja je teža, tem manjša je napaka.



Slika 3: Grafa prikazujeta napake pri odčitavanju hitrosti vozila

## 2.3 PIEZOELEKTRIČNI SENZORJI

Piezoelektrični senzorji uporabljajo za delovanje spremenljive sile ali tlak (ta nastane ko vozilo prevozi senzor) na površini piezoelektričnega kristala. Ta ustvarja naboj, ki se spremeni v ustrezen signal, primeren za nadaljnjo obdelavo. Mehanska zaščita je namenjena senzorju, da se ta ne bi poškodoval. Ko vozilo zapelje čez senzor, se v njem inducira naboj oziroma signal, ki se ga lahko uporabi za zaznavanje, klasifikacijo in določanje teže vozila v gibanju. Prometni parametri, ki se jih dobi s senzorji, so: volumen, smer, hitrost, razdalja med vozili, število osi, hitrostni razredi, klasifikacija po oseh in tehtanje v gibanju.



Slika 4: Piezoelektrični senzor

## 2.4 UPOROVNI SENZORJI

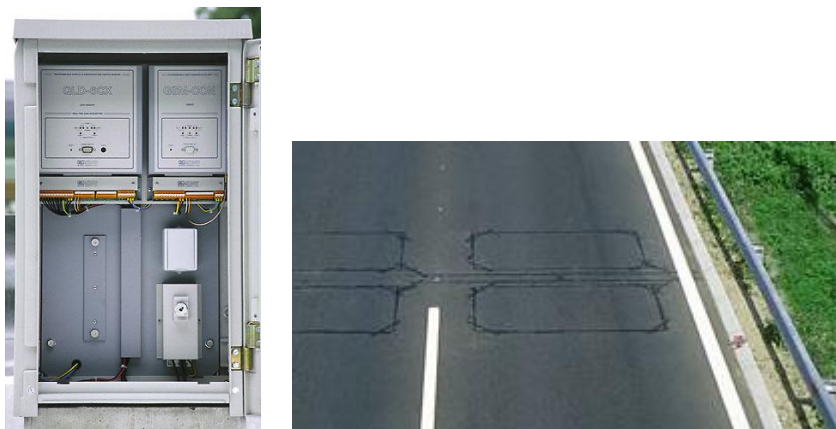
Uporovni senzorji so gibki gumijasti profili, ki vsebujejo uporovne plasti. Mehanska deformacija profila pri prevozu vozila spremeni njegovo upornost. Z ustreznim vezjem se sprememba uporov spremeni v napetostni signal.

## 2.5 ZANČNI SENZORJI

Zančni senzorji delujejo tako, da se osnovni senzorski element položi v vozno površino vkopano navitje. To navitje imenujemo zanka, ki je obsega približno 1,5 m<sup>2</sup> cestišča. Napaja se jo z izmenično napetostjo frekvence med približno 30 kHz in 100 kHz. Vozilo, ki se približa zanki in jo prevozi, s svojimi kovinskimi deli vpliva na njeno induktivnost. Spremembo induktivnosti nato obdelata spremljajoča elektronika v ustrezen električni signal.

### 2.5.1 QLD-6CX

Eden izmed zančnih senzorjev, za katerega smo si ogledali potek delovanja, je QLD-6CX (Slika 5). Ta zaznava, klasificira in meri hitrost vozila.



Slika 5: QLD-6CX

Klasifikacija vozil poteka na podlagi analize predhodnega pojava, ki predstavlja spremembo induktivnosti v času in se pri QLD-6CX pretvori v spremembo osnovne frekvence nihajnega kroga (frekvenčna modulacija). Tako ob prehodu vozila čez zanko dobimo karakteristično obliko predhodnega pojava, ki je precej podoben za posamezne skupine vozil. Pri tem se vozila razvrstijo v večje število razredov in podrazredov (tabela 1).

Razred	Podrazred	Opis
<b>A</b>		<b>Osebni avtomobili</b>
	<b>A0</b>	Motorna kolesa
	<b>A1</b>	Osebni avtomobili, terenska vozila, večnamenska vozila
	<b>A2</b>	Osebni avtomobili, terenska vozila, večnamenska vozila z prikolico
	<b>A3</b>	Kombi s prikolico ali brez nje
<b>B</b>		<b>Tovorna vozila</b>
	<b>B1</b>	Manjši tovornjaki
	<b>B2</b>	Srednje veliki tovornjaki
	<b>B3</b>	Veliki tovornjaki
	<b>B4</b>	Tovornjaki s priklopnikom
<b>C</b>	<b>C1</b>	<b>Avtobusi</b>
<b>D</b>	<b>XX</b>	<b>Neprepoznana vozila</b>

Tabela 1: Razredi, ki jih prepozna QLD-6CX (te se lahko tudi spremeni)

QLD-6CX lahko zazna vozilo do hitrosti 400 km/h, toda za uspešno klasificiranje mora biti hitrost vozila od 5 do 200 km/h. Natančnost zaznavanja vozil je 99,9 %. Natančnost klasifikacijskega zaznavanja je 95 %. Napaka pri odčitavanju hitrosti za 50 km/h je 1,4 %. Napaka pri odčitavanju hitrosti za 200 km/h je 5,4 %.

## 2.6 MAGNETNO SLIKANJE VOZIL

Magnetno slikanje vozil je sistem, ki je zasnovan na magnetno-uporovnih senzorjih, ki zaznavajo tudi najmanjše spremembe smeri zemeljskega magnetnega polja. Vozilo pri približevanju in prevozu detektorja, montiranega na cestišču, povzroči velike spremembe lokalnega magnetnega polja. Te povzročajo precejšnje spremembe upornosti magnetnih uporov, ki v Wheatstonovi mostični povezavi dajo ustrezni električni signal, ki je namenjen kot podlaga za nadaljnje procesiranje.

### 2.6.1 NU-METRICS

Nu-metrics je podjetje, ki proizvaja Hi-Star (oz. Highway Statistical Traffic Analysis Recorder) (slika 6). Ta šteje, klasificira in meri hitrost vozila.

Na Hi-Star se namesti zaščitni ovoj in se ga pritrdi na sredino ceste (slika 7, 8). Ta deluje tako, da ko vozilo prevozi detektor, montiran na cestišču, povzroči spremembo lokalnega magnetnega polja.



Slika 6: Hi-Star



Slika 7: Hi-Star zaščitni ovoj



Slika 8: Kraj namestitve Hi-Stara

Natančnost štetja vozil je 99,0 %. Natančnost štetja pri počasnih ali zaustavljenih vozilih je 95,0 %. Napaka pri merjenju hitrosti je  $\pm 4,2$  % (za model NC-97).

## 2.7 RADAR

Radar (ang. Radio Detection And Ranging) je kombinacija oddajnika (mikrovalovni) in sprejemnika (antena). Oddajnik je mikrovalovni, in to označuje obseg frekvence v elektromagnetnem spektru od 0,3 do 300 GHz. Mikrovalovi so kratki valovi valovne dolžine od 10 m do 1 mm. Radarji se uporabljajo za štetje, merjenja hitrosti in klasifikacijo vozil ter delujejo v centimetrskem področju na podlagi odboja radarskih valov od kovinskih predmetov. Poznamo dva principa merjenja: detekcija odboja in časa preleta ali merjenje Dopplerjeve frekvence. S prvim načinom se s korelacijo časovnih zamikov med oddanimi in sprejetimi signali lahko šteje, meri hitrost in smer (oddaljevanje ali približevanje) ter oddaljenost do opazovanega objekta, kar omogoča detekcijo tudi mirujočih vozil. Z drugim načinom se da šteti in natančno meriti hitrost in smer. Naprava, ki deluje po tem principu, pa ne zazna mirujočih ali počasi gibajočih se vozil. Radarske naprave navadno postavijo ob ali nad cestišče. V prvem primeru govorimo o stranski namestitvi (side-fire), v drugem pa o tlorisni namestitvi (forward-looking).



### 2.7.1 RADAR MULTANOVA

Radarski radar Multanova deluje po principu dopplerjevega efekta. Ta je sestavljen iz sonde, ki je nameščena na sprednjem delu vozila ali v zadnjem času prosto na stojalu oddaja radarske žarke, ki se odbijajo od prihajajočega ali odhajajočega vozila. Računalnik nato izračuna razliko v času, in to spremeni v hitrost.



Slika 9: Radar Multanova

Za te merilnike hitrosti veljajo zakonska določila, in sicer:

- Če je pri stacionarnem merjenju hitrosti na isti cesti hkrati v uporabi več merilnikov hitrosti, ki delujejo na istem frekvenčnem območju, mora biti razdalja med njimi najmanj 100 metrov.
- Če se pri stacionarnem merjenju hitrosti z istim merilnikom hkrati opravljajo meritve v obeh smereh vožnje, je treba za dokumentiranje meritev uporabiti fotoaparati ali videosistem.

Pri izmerjenem rezultatu se pri stacionarnem merjenju hitrosti upoštevata varnostni razliki:

- 5 km/h pri merilnem rezultatu do vključno 100 km/h;
- 7 km/h pri merilnem rezultatu nad 100 km/h.

Dopplerski radar deluje po principu odboja elektromagnetnih valov, ki jih pošilja v smer predmeta, ki mu želimo izmeriti hitrost. Frekvenca odbitega valovanja je odvisna od mirovanja ali gibanja.

1.) Gibanje sprejemnika k izvoru:

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

2.) Oddaljevanje sprejemnika od izvora:



$$f = f_0 \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

3.) Približevanje izvora k sprejemniku:

$$f = f_0 \cdot \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-1}$$

4.) Oddaljevanje izvora od sprejemnika:

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-1}$$

v .....relativna hitrost vozila

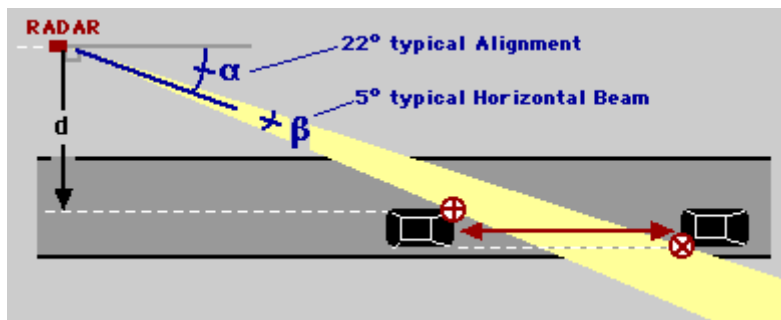
c.....hitrost širjenja zvoka v zraku (340 m/s)

f.....frekvenca (s<sup>-1</sup>)

f<sub>0</sub>.....frekvenca oddana od radarja (s<sup>-1</sup>)

Problem radarja je, ker se snop radarja ne more usmeriti natančno v smeri gibanja vozila. Nameščen bi moral biti na sredini vozišča. V resnici je postavljen tako, da snop radarja in os cestišča tvorita kot  $\alpha$  22 stopinj. Pri izračunu prave frekvence hitrosti je treba ta kot upoštevati. Tako se hitrost izračuna s formulo:

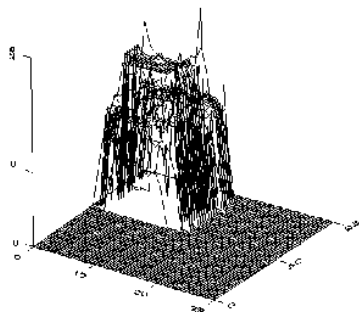
$$v_{vozila} = \frac{v}{\cos 22^\circ}$$



Slika 10: Kraj namestitve radarja za natančno merjenje

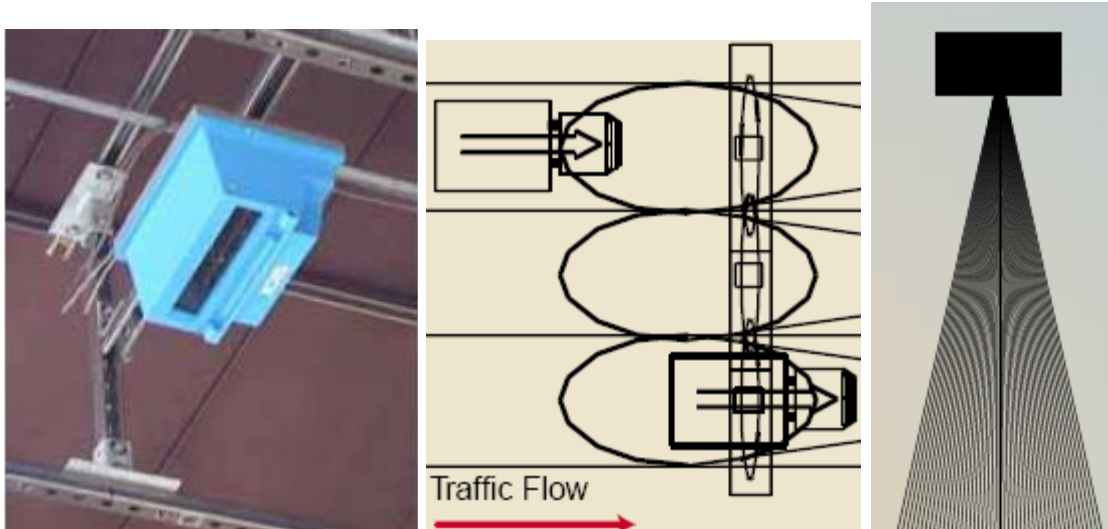
## 2.8 LASER

Laser (ang. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je električno-optična naprava, ki seva izrazito ozek snop koherentne in monokromatske svetlobe kontinuirano ali pulzno. S primerno optiko se le lahko zmanjša (ob hkratnem povečanju premera) odvisno od namena uporabe. Za potrebe zaznavanja, štetja, merjenja hitrosti in kategorizacije vozil se uporabljajo leserji, ki sevajo v nevidnem (NIR – Near Infra Red) področju. Ti laserji so majhni, poceni in porabijo malo električne energije za napajanje. Običajno, za uporabo v prometu, delujejo tako, da oddajajo zelo kratke sunke (nekaj milisekund). Za zaznavanje, merjenje hitrosti in kategorizacijo vozil laserska naprava deluje kot daljinomer. V njej je vgrajen laser, ki služi kot oddajnik, ki pošlje sunek svetlobe na merjeno vozilo. Del odbite svetlobe prestreže sprejemna optika naprave, ki jo pošlje na detektor svetlobe. Ta spremeni sunek v ustrezni električni signal, ki s pomočjo interne elektronike in vgrajenim mikroprocesorjem služi kot podlaga za štetje, merjenje in posredno izračunavanje hitrosti ter kategorizacijo vozil. Za montaže uporabljajo obstoječe objekte, kot so nadvoz in drogovi.



Slika 11: Uporaba laserske naprave za klasifikacijo vozil

Laserska naprava (Slika 12) oddaja lateralno premaknjena snopa v obliki pahljače. Signale iz naprave se vodi v krmilnik z vgrajenim spominom za shranjevanje podatkov v omarico ob cestišču ali v prometni center. Tak sistem je predviden za uporabo v cestninjenju ABC za kategorizacijo vozil.



Slika 12: Laserska naprava za merjenje v prometu in njena namestitvev

## 2.9 VIDEODETEKCIJA

Videlodetekcija v prometu obsega: videonadzor, zaznavanje, merjene hitrosti, klasifikacijo, zaznavanje nesreč in prepoznavanje registrskih tablic. Za videonadzor se uporabljajo analogne in digitalne kamere. Zaradi prednosti pri digitalnem prenosu slike se čedalje več uporabljajo digitalne kamere. Pri videonadzoru se ne zahteva posebnih kamer. Pri zaznavanju in klasifikaciji pa pridejo v poštev digitalne kamere s posebnimi zahtevami. Te so navadno postavljene na prosto, npr. drogovi javne razsvetljave, delujejo lahko ob različnih pogojih osvetlitve (podnevi, ponoči) in vremenskih pogojih (dež, sneg, megla), in to 24 ur na dan, mesece in leta. Za prepoznavanje registrskih tablic so uporabne le hitre digitalne kamere z zelo kompleksnim programskim orodjem. Naprava, ki opravlja funkcijo prepoznavanja, mora registrirati tablico vozila pri maksimalni hitrosti. Videoslike zajemajo dve dimenziji, zato vsak posnetek vsebuje precejšnje število podatkov. To omogoča, da se lahko izlušči več različnih prometno pomembnih podatkov. Njihova slaba stran je, da zahtevajo zmogljiv procesor. Sistem videodetekcije omogoča statistične preglede prometa in ugotavljanje izrednih razmer na prometnicah. Podatki za statistični pregled prometnih tokov, ki jih ponuja videotehnologija, so: najvišje hitrosti, zasedenost, čakalne vrste, prisotnost, ustavljena ali počasi vozeča vozila ter neznani predmeti na cestišču. Za zaznavanje vozil je potreben preprost procesor. Princip delovanja videosistema za zaznavanje je: videokamera je treba montirati visoko (po možnosti višje kot 10 m) na ustrezen drog. Na videosliko dane prometne situacije se s pomočjo ustrezne programske opreme nanese virtualne detektorje (števence, zanke ...). Vse se shrani kot datoteka, ki se jo z osebnim računalnikom naloži v videokontrolnik, povezan s kamero. S tem postane videosistem operativen. Podatki se shranjujejo v spomin kontrolnika.



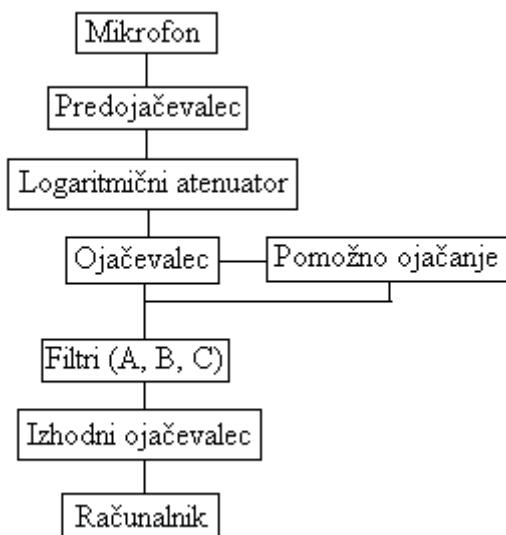
Slika 13: Videonadzor prometa na križišču

## 2.10 MERILEC HRUPA

Eden izmed senzorjev in naprav za merjenje v cestnem prometu je tudi merilec hrupa (slika 14). Ta deluje tako, da ustrezen senzor oziroma tipalo spremeni zvočni tlak v sorazmerno velik napetostni signal, kar pomeni, da spremeni akustično nihanje v električno. Za to potrebujemo mikrofona.

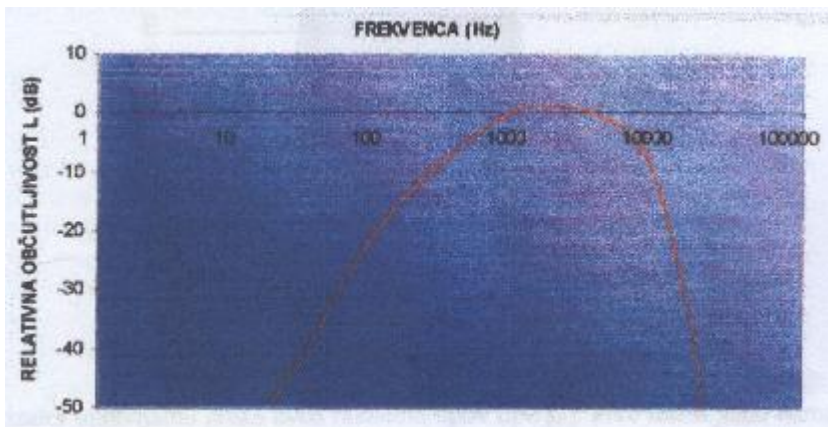


Slika 14: Analizator zvoka 2260



Slika 15: Shema tipičnega merilca hrupa

Filtriranje zvoka je proces, s katerim se izloči del zvočnih valov z določeno frekvenco oziroma valovno dolžino, medtem ko se druge prepušča. Filter torej omogoča selektivno prepuščanje zvočnih valov. Če želimo dobiti vrednosti ravni, kot jo zaznava človeško uho, moramo pri meritvah ravni zvoka z instrumentom uporabljati poseben filter, imenovan A-filter (slika 16).



Slika 16: Prikaz delovanja A-filtra

Za brezhibno merjenje hrupa moramo uporabiti kalibrator (slika 17). Pred vsako meritvijo je treba instrument preveriti in kalibrirati ter podatke o kalibraciji vnesti v zapisnik.



Slika 17: Kalibrator

Hrup je vsak zvok, ki v naravnem in življenjskem okolju vzbuja nemir, moti človeka in škodi njegovemu zdravju ali počutju oziroma škodljivo vpliva na okolje. Pred njim se lahko zaščitimo na različne načine:

- stavba mora biti načrtovana tako, da so bivalni prostori obrnjeni stran od zunanjih virov hrupa;
- zunanje stene, predvsem okna in zunanja vrata, morajo biti primerno zvočno izolirani;
- na fasadno steno vgradimo pregrade, ki ščitijo pred hrupom;
- zemljišča v okolici stavbe morajo biti primerno oblikovana z brežinami, zidovi in ustrezno nasaditvijo;
- z nasipi, pregradami;
- z zmanjševanjem prometa na določenih odsekih itd.

Tako lahko ustrezno zvočno zaščito na prostem dosežemo z ustreznimi ovirami pri različnih valovnih dolžinah zvoka. Valovno dolžino zvoka izračunamo po enačbi:

$$\lambda = c/f$$

$\lambda$  .....valovna dolžina (m)

c.....hitrost širjenja zvoka v zraku (340 m/s)

f.....frekvenca ( $s^{-1}$ )

Imisija hrupa je raven hrupa L na določenem kraju imisije v zunanjem okolju, ki je posledica učinkov enega ali več virov hrupa ter se izraža v decibelih dB(A) (je enota za logaritemsko razmerje moči, ki odgovarjajo frekvenčnemu zaznavanju človeškega ušesa). Ta je opredeljena po enačbi:

$$L = 20 \log (p(t) / p_0)$$

L.....raven hrupa

p(t).....tlak zvočnega valovanja na kraju imisije

p<sub>0</sub>.....referenčni zvočni tlak : p<sub>0</sub> = 20 μPa

## 2.11 MERILEC ZA MERJENJE KOLIČINE ALKOHOLA

Z merilci za merjenje količine alkohola poskušamo ugotoviti vsebnost alkohola v organizmu posameznega človeka, za katerega je bil odrejen preizkus. Največkrat se to dogaja pri prekrških ali kaznivih dejanjih, povezanih z alkoholom. V praksi se uporabljata dve metodi merjenja. Prva je merjenje koncentracije alkohola v izdihanem zraku, druga pa merjenje koncentracije alkohola v krvi. Pri obeh se uporabljata različni enoti za izmerjeno količino alkohola. Tako imamo odčitek pri aparatih na izdihan zrak v mg/l, pri alkoholometrični analizi pa g/kg.

Priprave za merjenje alkohola v izdihanem zraku delimo na:

- aparate, ki dopuščajo sklepanje na stanje pod vplivom alkohola, in
- aparate, ki vsebnost alkohola v izdihanem zraku merijo in ustrezno pokažejo.

V prvo skupino sodijo: alkotest Dräger (testne cevčice), alkoskop Vega (zadnjih slovenska policija zaradi določb novega zakona ne uporablja več), alkotest Dräger 7310 in alkotest Dräger 7410.

V drugo skupino pa uvrščamo aparate: Breathalyser, Alcomat, Intoximeter 3000, alkotest Dräger 7010, alkotest Dräger 7110. Vsi iz te skupine zaradi drugačne merilne tehnike in vrste tehničnih izboljšav podajajo pravilnejše in koncentraciji alkohola v krvi primerljivejše vrednosti.

### 2.11.1 ALKOTEST DRÄGER 7410

Alkotest Dräger 7410 (slika 18) danes najbolj uporabljajo. Naredili so ga v Nemčiji. Pokaže oceno koncentracije alkohola v krvi z dvema decimalkama. Če se preiskovanec ne strinja z rezultatom opravljenega testa alkohola v izdihanem zraku, lahko zahteva, da mu odvzamejo kri.





Slika 18: Alkotest **Dräger 7410**

Pri alkotestu Dräger 7410 koncentracijo alkohola v izdihanem zraku meri polprevodniški keramični senzor. Prevodnost senzorja se spreminja premo sorazmerno s koncentracijo alkohola v izdihanem zraku.

Uporabi se ga lahko, ko je minilo najmanj 15 minut od zadnje popite alkoholne pijače. Natančnost merjenja je  $\pm 5\%$ .

## 2.12 TEHTANJE VOZIL

Tehtanje vozil je pomembno, saj čezmerna osna ali težna obremenitev uničuje ceste. Za tehtanje vozil se uporablja metoda WIM (oz. Weigh-In-Motion System).

Po načinu uporabe jih delimo na:

- stalne (senzorji in sklop za zajemanje podatkov deluje na isti lokaciji),
- delno premične (senzorji so vgrajeni v cestišče in sklop za zajemanje in obdelavo podatkov se priključi po potrebi) in
- v celoti premične (senzorje in sklop zajemanja podatkov se prestavlja iz objekta na objekt).

Po konstrukciji in načinu vgradnje pa na tiste, ki so vgrajene v voziščno konstrukcijo (WIM) in na mostne sisteme BWIM (oz. Bridge WIM).

### 2.12.1 SISTEMI WIM, VGRAJENI V VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO

Eden izmed sistemov WIM, ki je vgrajen v voziščno konstrukcijo, je piezoelektrični senzor. Za natančno merjenje se zahteva, da je vozna površina pred senzorjem in po njem ravna. Senzor je širok manj kot 2 cm.



### 2.12.2 MOSTNI SISTEMI WIM (BWIM)

Mostni sistemi WIM določajo težo vozila v gibanju. Na začetku so ga uporabljali za analizo mostnih konstrukcij, pozneje pa za zbiranje osnih tlakov vozil. Meritev poteka tako, da se mostno konstrukcijo uporablja kot tehtnico. Ko vozilo pelje čez most, se most pod težo upogne. Na mostu so prilepljeni merilni trakovi MT, ki merijo upogib. Glede na deformacijo se potem izračuna teža vozila.

### 2.12.3 NIZKOHITROSTNI SISTEMI WIM (LSWIM)

Nizkohitrostni sistemi WIM LSWIM (oz. Low Speed WIM) so sistemi za tehtanje vozil pri nizkih hitrostih. Ti so namenjeni za natančno tehtanje vozil, če hitrost vozila ne presega 15 km/h. Pod kolesi sta dozi za merjenje sile. Ena izmed možnosti je, da se meritve lahko izvajajo z merilnimi lističi, ki merijo deformacijo bremena, čez katero se zapelje kolo.

## 2.13 LASERSKI MERINIK HITROSTI

Pri laserskih merilnikih se hitrost določa na podlagi, ki jo opravi svetloba, usmerjena v laserski žarek. Ta potuje od točke do točke meritve (bližajoče ali oddaljajoče se vozilo). Meritev traja pol sekunde in med tem žarek potuje pet- do šestkrat. Pogoj za uspešno meritev je izurjenost merilca, da žarek usmeri na čim bolj pravokotni del vozila. Laserska pištola lahko meri hitrost od 0 do 250 km/h na razdalji od 30 do 500 m. Izmerjena hitrost odstopa največ  $\pm 3\%$  meritve. Hitrost meritve je odvisna od spretnosti merilca.



Slika 19: **Traffi Patrol**

### 3 ZVOK

Zvok je izmenično nihanje, ki se prenaša skozi zrak, človek pa ga zaznava s slušnim organom oziroma ušesom. Nastaja kot mehansko nihanje določenih predmetov in ima najrazličnejše oblike. Število nihajev v časovni enoti označujemo s pojmom frekvenca. Hitrost razširjanja zvoka je neodvisna od frekvence. V zraku se zvok širi s hitrostjo 340 m/s (pri sobni temperaturi). Hitrost se spreminja s temperaturo (z višanjem narašča).

Zvok je eno od najpomembnejših komunikacijskih sredstev med ljudmi. Vsak zvok ali govor nosi neko določeno informacijo, ki je lahko razumljiva ali nerazumljiva, koristna ali nekoristna. Če v informaciji prevladuje razumljiva in/ali koristna komponenta, govorimo o govoru, signalu ali melodiji, če pa v informaciji prevladuje nerazumljiva in/ali nekoristna komponenta, govorimo o motnji ali hrupu (tudi šumu in trušču). Hrup je torej nezaželena oblika zvoka, katerega definicija ni odvisna samo od jakosti zvoka ali njegove frekvence, temveč od poslušalca samega (njegovega zdravstvenega stanja, starosti, spola, socialnega, kulturnega in ekonomskega položaja ter njegove utrujenosti) in od časa ter kraja, kjer se pojavlja. Hrup je torej predvsem subjektivna kategorija, ki negativno vpliva na zdravje in počutje ljudi (in živali). Zvok je nezaželen le z lastnostmi hrupa oziroma, če je preglasen, nerazumljiv in moti koncentracijo pri delu, študiju, pouku ali počitku. Zvok ali govorna komunikacija se lahko spremeni v nezaželen zvok ali hrup tudi s časom. Po drugi strani pa je lahko zvok tudi nadležen, boleč ali celo zdravju škodljiv, če njegova raven presega 85 oziroma 90 dB(A). Čezmerni hrup povzroča poškodbe sluha, psihofizične motnje, travmo, motnje v krvnem obtoku, utrujenost, vpliva na koncentracijo pri delu, študiju in počitku. Človeško uho lahko zazna najrazličnejše tone, zvoke, šume in njihove lastnosti (višino, trajanje, jakost, barvo itd.), vendar vse to samo v določenem obsegu frekvenc in višine zvočnega tlaka. Slišnost ušesa je odvisna od mehanskih lastnosti prenosnega sistema (togosti bobniča in prenosnega sistema, ki ovirata prenos zelo nizkih frekvenc) in mase ter vztrajnosti elementov srednjega ušesa, ki ovirata prenos zelo visokih frekvenc. Tako je slišnost ušesa omejena na frekvenčno območje med 20 Hz in 20 kHz in na jakost od 0 dB (prag slišnosti) do 135 dB(A) (prag bolečine). Slišno polje ali dinamično območje ušesa se lahko zoži, tako po frekvenci kot po jakosti, zaradi zdravstvenih, dednih, starostnih in profesionalnih vzrokov. Najpogostejši so profesionalni ali delovni vzroki, ki nastanejo zaradi čezmerne ravni hrupa. Hrup je najbolj škodljiv v najbolj slišnem področju zvočnega spektra, med 1000 in 4000 Hz. Žal večina strojev in naprav povzroča najbolj izrazit hrup prav v tem območju slišnega spektra. Statistika kaže, da je več kot 50 % celotne populacije v Sloveniji obremenjeno s čezmerno ravni hrupa, da je približno 20 % delovne populacije izpostavljeno čezmerni ravni hrupa na delovnem mestu in da je celo približno 10 % celotne populacije naglušne. Čezmerni hrup (zlasti impulznega značaja) vpliva na spremembo psihofizičnega stanja, povzroča na primer travmo, prestrašenost, razdražljivost, glavobol, motnje v krvnem obtoku, povišan krvni tlak, prebavne motnje, vnetje želodčne sluznice (gastritis) in podobno. Najnovejše nemške raziskave so pokazale, da je slab učni uspeh učencev, ki obiskujejo šole v bližini Münchenskega letališča, posledica čezmernega hrupa letal pri pristajanju in vzletanju. Druge raziskave so spet pokazale, da je umrljivost prebivalcev zaradi infarkta ob zelo prometnih mestnih cestah višja za celo do 30 %.

## 4 HRUP

Hrup je zvok s trajanjem, jakostjo ali drugo lastnostjo, ki je fiziološko ali psihološko škodljiva človeku ali drugim živim bitjem. Hrup je v bivalnem oziroma življenjskem okolju in v naravnem okolju. Hrup, ki je v življenjskem okolju, štejemo k splošnemu hrupu, značilnemu za urbano okolje z vsemi običajnimi viri: prometom, stroji, industrijo, gradnjo in s podobnimi značilnimi dejavnostmi. Kot naravno okolje razumemo zlasti neokrnjeno naravo, narodne parke itd., kamor seže tudi hrup iz naseljenega okolja: hrup prometnic, lastnih dejavnosti obiskovalcev teh območij, vzdrževalnih delih v gozdovih ipd. Zahtevnejša območja, kjer je mirno okolje nujno, so npr. okolje zdravilišč, rekreacijskih centrov ter bolnic. Življenjsko okolje so prostori, kjer ljudje bivajo in kamor seže hrup iz zunanega okolja ali nastaja zaradi običajnih dejavnosti, npr. zaradi gospodinjskih aparatov, hišnih inštalacij, dvigal, govora, glasbe itd. Hrup je pogost v lokalih, kjer zaradi preglasne glasbe ni mogoč pogovor. Izpostavljeni smo še vrsti drugih virov hrupa, včasih celo nevarnim. Zdravniki otologi ugotavljajo prizadetost sluha že pri mladih, okvare utemeljeno pripisujejo obiskom diskotek, preglasni reprodukciji glasbe ali drugim glasnim dejavnostim v prostem času. V urbanih področjih se raven hrupa nenehno zvišuje. Nekaj zaradi prometa, drugo pa prispeva industrija, obrtni objekti ter gostinski lokali. Eden od virov, ki najbolj obremenjuje prebivalstvo s hrupom, je zaradi svojega obsega promet, predvsem cestni.

Zvok glede na zaznavanje človeka delimo na:

0 dB(A)	– prag zaznavanja zvoka
10 dB(A)	– šelestenje listja
30 dB(A)	– šepetanje
60 dB(A)	– pogovor
<b>65 dB(A)</b>	– <b>meja med zvokom in hrupom</b>
90 dB(A)	– motor na oddaljenosti 8 metrov
120 dB(A)	– oklepno vojaško vozilo
<b>135 dB(A)</b>	– <b>meja bolečine</b>
150 dB(A)	– vzlet letala

Posledice izpostavljenosti hrupu:

- poškodovane »lasne« celice v notranjem ušesu se ne obnovijo – trajna poškodba sluha
- čezmerno izločanje hormonov
- omotičnost, težko dihanje
- otežena koncentracija in stres
- zmanjšana kakovost življenja

Na koga se lahko obrnete, če menite, da so v vašem okolju dovoljene ravni hrupa prekoračene?

- Zdravstveni inšpektorat RS, nadzor hrupa v prostorih, občutljivih za hrup (učilnice, bolnišnice ...)
- Inšpektorat RS za okolje in prostor, nadzor virov hrupa v industriji in obrtni dejavnosti ter prometu

- Policija, tel: 113, intervenira, ko je zaradi hrupa moteno delo, počitek ali rekreacija

## 4.1 PREDPISI O HRUPU V NARAVNEM IN BIVALNEM OKOLJU

Pravno podlago za varstvo pred hrupom daje Zakon o varstvu pred hrupom v naravnem in bivalnem okolju (Ur. l. SRS, št. 15/1976, 29/1986, RS, št. 32/1993, 29/1995, 45/1995, 41/2004). Predpisi, ki spreminjajo ta predpis, so:

- Zakon o spremembah zakona o varstvu pred hrupom v naravnem in bivalnem okolju (Ur. l. SRS št. 29/1986 – za katerega veljajo spremembe);
- Zakon o prevzemu državnih funkcij, ki so jih do 31. 12. 1994 opravljali organi občin (Ur. l. RS, št. 29/1995, 44/1996 Odl.US: U-I-98/95 – prenos upravnih nalog, ki so v zakonu določene kot pristojnosti občinskih organov, na upravne enote);
- Uredba o hrupu v naravnem in življenjskem okolju (Ur. l. RS št. 45/1995, 66/1996, 59/2002, 41/2004 – pri katerem prenehajo veljati 16., 18., in 19. člen) in
- Zakon o varstvu okolja (Ur.l. RS št. 41/2004 – pri katerem 7. 5. 2004 prenehajo veljati 7., 8. in 9. člen tega zakona).

Varstvo pred hrupom je eden od temeljnih pogojev za normalno življenje in delo človeka. Za zdravje sta škodljiva tako emisija kot imisija hrupa. Varstvo pred hrupom je skupno in individualno. Skupno je zakonsko določeno in je pravica in dolžnost vseh, medtem ko je individualno obveznost in pravica vseh in vsakogar, da omejuje in preprečuje hrup v svojih dejavnostih. Področje varstva pred hrupom je v prvi vrsti varovanje bivalnega (stanovanjsko) in delovnega okolja, kjer se človek najdlje zadržuje. Uredba o hrupu v naravnem življenjskem okolju pa se nanaša na varstvo človeka v komunalnem in naravnem okolju, posebej v naravnih zdraviliščih, območjih, ki so namenjena rekreaciji in turizmu, v naravnih rezervatih oz. narodnih parkih, ter na drugih območjih, ki so posebej zavarovana z občinskimi in drugimi državnimi odloki.

Glede na oblike varstva pred hrupom razlikujemo:

- aktivno varstvo, kjer s tehnološkimi ukrepi protihrupno vplivamo na izvore emisije, in
- pasivno varstvo, kjer stremimo k prestrežanju vplivov hrupa z absorpcijskimi snovmi in odbojnimi ovirami (ozelenitve, protihrupne ograje, nasipi).

Najučinkovitejše varstvo pred hrupom je tisto, ki hrup prepreči že pri nastajanju (izvoru hrupa). Izvor je lahko stroj, naprava ali dejavnost, proces in tudi delovanje človeka. Aktivnosti pri preprečevanju hrupa si prizadevajo za čim večje zmanjšanje števila možnih izvorov hrupa, lokalizacijo emisij, omejevanje imisij in odboja zvočnih valov. Varstvo pred hrupom se zato ukvarja:

- s funkcionalnim preoblikovanjem virov hrupa (industrijsko oblikovanje);
- z ustreznim oblikovanjem okolja (usmerjanje prometa skozi krajino in mesto);
- z meritvami hrupa na izpostavljenih mestih;

- z uvajanjem absorpcijskih materialov in oblog in
- s predhodno obdelavo načrtov z vidika zmanjševanja hrupa.

Ukrepi za varstvo pred hrupom so lahko:

- aktivni (omejitev hitrosti, zeleni val, prepoved vožnje v določenem času itd.) in
- pasivni (zvočna izolacija oken, fasadni elementi, ozelenitve, protihrupne ograje).

## 4.2 STOPNJE VARSTVA PRED HRUPOM

Stopnje varstva pred hrupom, določene glede na občutljivost posameznega območja naravnega ali življenjskega okolja za učinke hrupa, so:

I. stopnja: za območje, ki potrebuje povečano varstvo pred hrupom, kot je naravno območje, namenjeno turizmu in rekreaciji, neposredna okolica bolnišnic, zdravilišč in okrevališč ter območje naravnih parkov.

II. stopnja: za območje, kjer ni dopusten noben poseg v okolje, ki je moteč zaradi hrupa. To je območje, ki je primarno namenjeno bivanju oz. zgradbam z varovanimi prostori, popolnoma stanovanjsko območje, okolica objektov vzgojno-varstvenega in izobraževalnega programa ter programa osnovnega zdravstvenega varstva, območje igrišč ter javnih parkov, javnih zelenic ter rekreacijskih površin.

III. stopnja: za območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je manj moteč zaradi povzročanja hrupa, kot je trgovsko-poslovno-stanovanjsko območje, ki je hkrati namenjeno bivanju oz. zgradbam z varovanimi prostori in obrtnim ter podobnim proizvodnim dejavnostim (mešano območje), območje, namenjeno kmetijski dejavnosti, in javno središče, kjer se opravljajo upravne, trgovske, storitvene ali gostinske dejavnosti.

IV. stopnja: za območje, kjer je dopusten poseg v okolje, ki je zaradi hrupa lahko bolj moteč, to je območje brez stanovanj, namenjeno industrijski ali obrtni in drugi podobni proizvodnji, transportni, skladiščni ali servisni dejavnosti ter hrupnejšim komunalnim dejavnostim.

Območje naravnega ali življenjskega okolja	Dnevna raven (od 6:00 do 22:00)	Nočna raven (od 22:00 do 6:00)
I. stopnja	70	70
II. stopnja	60	50
III. stopnja	55	45
IV. stopnja	50	40

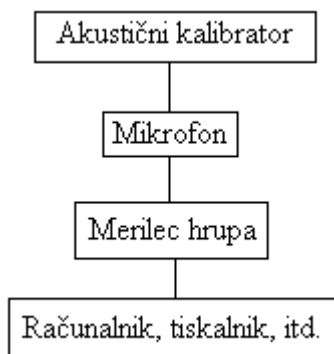
Tabela 2: Mejne nočne in dnevne dovoljene ravni za posamezen vir hrupa v dB(A)

<b>Območje naravnega ali življenjskega okolja</b>	<b>Dnevna raven (od 6:00 do 22:00)</b>	<b>Nočna raven (od 22:00 do 6:00)</b>
<b>I. stopnja</b>	80	70
<b>II. stopnja</b>	69	59
<b>III. stopnja</b>	63	53
<b>IV. stopnja</b>	57	47

Tabela 3: Kritične dnevne in nočne dovoljene ravni hrupa za posamezna območja v dB(A)

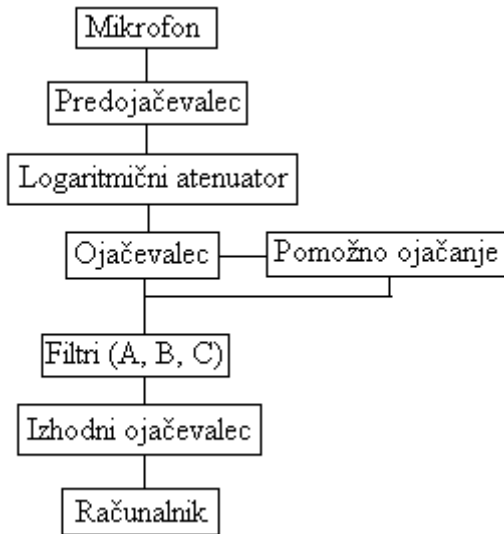
## 5 NAPRAVE ZA ANALIZO ZVOKA IN HRUPA

Hrup se lahko meri na več načinov. Glede na uporabo bi naprave za to lahko delili na dva dela. Ena je ročna oziroma majhna in se jo da prenašati (primer je analizator zvoka 2260), druga je večja, sestavljena iz več delov. Oba dela imata iste komponente. V Evropi sta se pri napravah za merjenje in analizo zvoka in hrupa uveljavila dva proizvajalca: Bruel & Kjaer iz Danske in Ono Sokki iz Japonske. Osnovni element je mikrofonski, ki zaznava zvočne valove. Pred začetkom meritev je treba mikrofonski umeriti tako, da se ga postavi v ustrezni akustični kalibrator. Kalibrator je sestavljen iz posebnega resonatorja za mikrofonski in pretvornika, ki v njem proizvede zvočni tlak znanega nivoja pri dani vhodni napetosti. Na prikazalniku merilne naprave se zapiše odziv mikrofonski na različne vrednosti kalibracijskega signala. To so nato referenčne vrednosti ravni za primerjanje s signali, ki jih proizvede neznano zvočno polje.



Slika 20: Shema diagrama sistema za merjenje hrupa

Na Sliki 20 je prikazana shema merilca hrupa. Vhodni signal iz mikrofonski se vodi na predojačevalca. Ojačani signal je speljan na kalibriran atenuator, nastavljen v določenih stopnjah. Signal se nato znova ojača in vodi na enega od treh standardnih filtrov A, B, C, ki spremenijo signal v skladu z aproksimacijami standardnih krivulj. Na koncu se izhod registrira na računalnik.



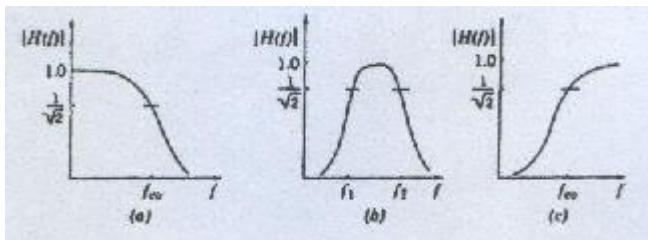
Slika 21: Shema tipičnega merilca hrupa

## 5.1 FILTRI ZVOKA

Filtriranje zvoka je proces, s katerim se izloči del zvočnih valov z določeno frekvenco oziroma valovno dolžino, medtem ko druge prepušča. Filter torej omogoča selektivno prepuščanje zvočnih valov. Filtri, ki se uporabljajo v kombinaciji z napravami za analizo zvoka, so elektronska vezja, ki imajo nekaj vhodnih in izhodnih terminalov. Sestavljeni so iz kondenzatorjev, induktorjev in drugih komponent.

Obstajajo trije osnovni tipi filtrov:

- nizkopasovni (slika 22a),
- srednjepasovni (slika 22b) in
- visokopasovni (slika 22c).



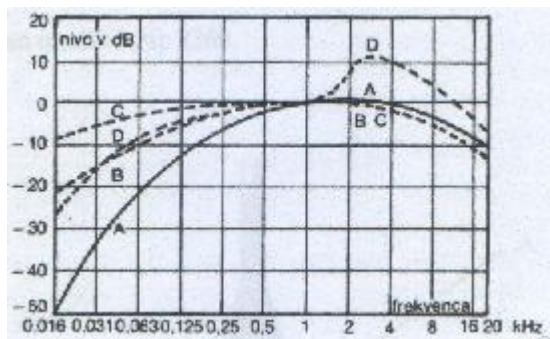
Slika 22: Tipi filtrov

Poleg elektronskih filtrov obstajajo tudi mehanski dušilci, plinske celice pod povečanim tlakom, akustični filtri, resonatorji, zvočne pasti, utišniki in hidravlični filtri. To so naprave, ki jih uporabljajo pri ločevanju komponent signala ali zvoka. Delujejo na podlagi



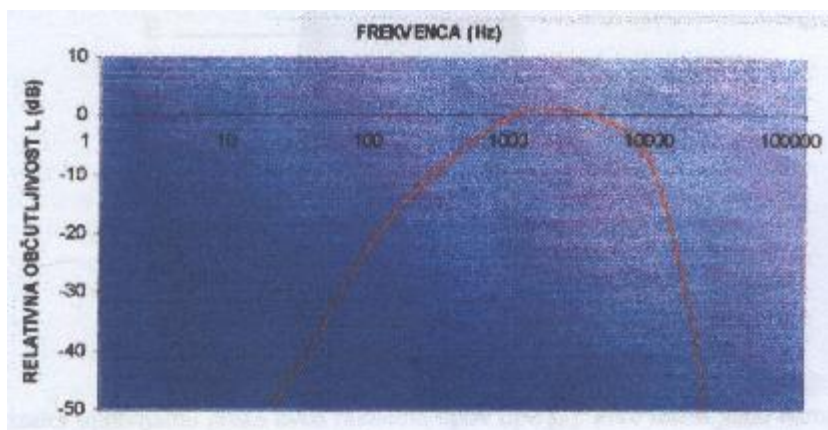
frekvenc signalov. Te naprave prepuščajo komponente zvoka, v enem ali več frekvenčnih pasovih.

Instrumenti za merjenje ravni hrupa so navadno širokopasovni in zaznavajo hrup v večjem frekvenčnem območju, kot jih zaznava človeško uho. Če želimo s takim instrumentom dobiti vrednosti, kot jih zaznava človeško uho, je treba pri meritvah ravni zvoka z instrumentom uporabljati posebne filtre za t. i. frekvenčno uteženje, ki so standardni ter označeni s črkami A, B, C in D.



Slika 23: Karakteristike frekvenčnih filtrov A, B, C in D

Če hočemo dobiti vrednosti ravni, kot jih zaznava človeško uho, moramo pri meritvah ravni zvoka z instrumentom uporabljati poseben filter, filter A. Če se pri meritvah uporablja ta filter, se merjena vrednost ravni hrupa podaja v dB(A), torej zmanjša prispevek hrupa frekvenc, nižjih od 1 kHz in višjih od 16 kHz, ki bi sicer vplivale na rezultat brez uporabe filtra.



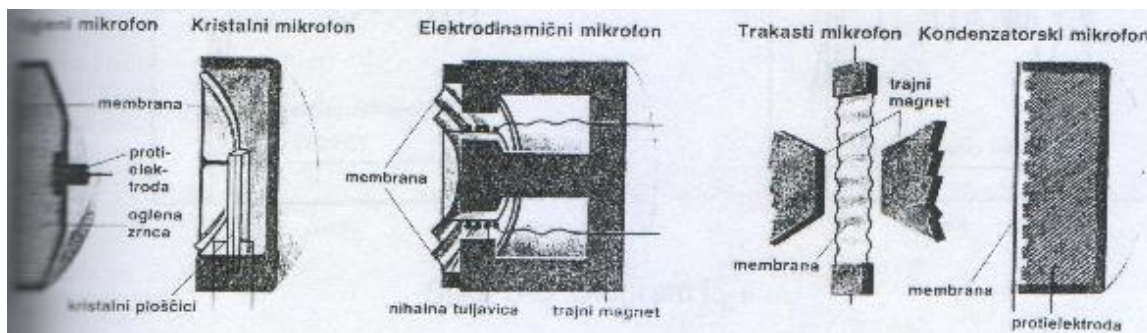
Slika 24: Prikaz delovanja filtra A

## 5.2 MIKROFONI

Za merjenje zvoka je nujno potreben ustrezen senzor oziroma tipalo, ki zvočni tlak spremeni v sorazmerno velik napetostni signal, kar pomeni, da spremeni akustično nihanje v električno. Za senzorje se vedno uporabi mikrofone:

- ogljeni,
- kondenzatorski in
- kristalni.

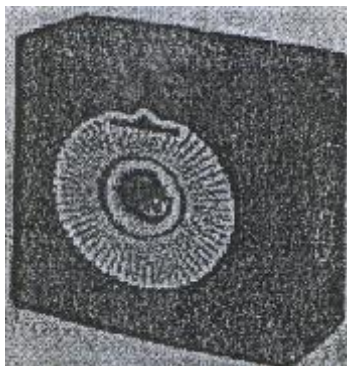
Najpreprostejši je ogljeni mikrofoni, ki se ga uporablja v telefonskem aparatu. Sestavljen je iz membrane in protielektrode iz oglja, med katerima je plast ogljenih zrn. Električna upornost plasti ogljenih zrn je odvisna od stisnjenosti plasti. Če med membrano in protielektrodo pritismo enosmerno napetost, teče med njima tok, katerega jakost niha v ritmu posnetih zvočnih signalov. V kondenzatorskem mikrofoni je tanka membrana, ki s fiksno protielektrodo tvori kondenzator, katerega kapacitivnost se z nihanjem tlaka spreminja. Mikrofoni, vključen v ustrezen tokokrog, ki spremembe kapacitivnosti pretvori v električni signal. Merilna naprava signal obdelava in ga registrira. Za meritve hrupa se kondenzatorski mikrofoni pogosto uporablja zaradi njegove dobre občutljivosti, linearnega odziva in neobčutljivosti na tlak, vlažnost in temperaturo v okolici. Kristalni mikrofoni je zgrajen podobno kot kondenzatorski, le da je kondenzator izpolnjen s piezoelektriko. Membrana, ki niha v taktu s tlakom, pritiska na ploščico PZE na površini, kjer se pojavi naboj. Količina in predznak naboja sta odvisna od trenutnega tlaka. Merjenje naboja ni preprosto. Navadno se ob mikrofoni veže nabojni ojačevalec, ki naboj spremeni v ustrezen električni signal.



Slika 25: Tipi mikrofoni

## 5.3 KALIBRATORJI

Pred vsako meritvijo je treba instrument preveriti in kalibrirati ter podatke o kalibraciji vnesti v zapisnik. Kalibracija je pomembna, da se izognemo napakam, ki so posledica slabe izbire mikrofona ali njegove mehanske poškodbe. Kalibrator na spodnji sliki se namesti na mikrofoni merilnika. Podroben postopek kalibracije je opisan v navodilih za uporabo posameznega merilnika.



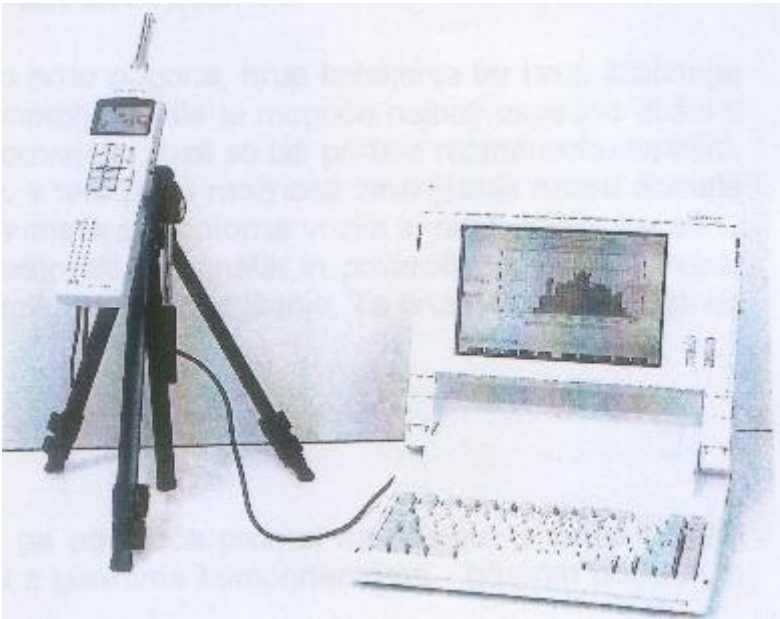
Slika 26: Kalibrator modela 4321

## 5.4 MERILCI HRUPA

V svetu sta vodilna proizvajalca naprav za merjenje in analizo hrupa Bruel & Kjaer iz Danske in Ono Sokki iz Japonske. Modularni merilnik in analizator zvoka tipa 2260, proizvajalca Bruel & Kjaer, imenovan tudi Investigator, je osnovan za uporabo specializiranih programskih paketov, ki pokrivajo merjenje in analizo zvoka ter vibracij. Instrument se napaja z baterijo, kar omogoča uporabo kjer koli na terenu. Merilnik je mogoče programirati in je kombinacija računalniške tehnologije multi-Dtm ter je programabilen dvokanalni prenosni analizator v realnem času. Ko je analizator programiran z modulom BZ 7201, postane namenski merilnik in analizator zvoka. Modul BZ 7201 je uporabni oz. aplikacijski program za analizo zvoka, ki spremeni instrument 2260 v tip 1, to je merilnik in analizator zvoka. Programiran instrument tipa 2260 lahko meri, analizira in zapisuje hkrati množico parametrov (multi-Dtm), to pa pomeni, da za enako analizo porabi manj časa. Signal iz mikrofona potuje skozi filter za frekvenčno uteženje in filter anti-aliasing na pretvornik A/D. Digitalni signal se nato obdela, rezultati pa so prek različnih izhodnih enot na voljo za prikaz ali za prenos na druge naprave. Podatke in rezultate meritev se lahko shrani v interni pomnilnik analizatorja ali spominsko kartico ter pozneje prenese na osebni računalnik ali pa se jih prek vgrajenega serijskega vmesnika pošlje neposredno na osebni računalnik ali tiskalnik. Podatke, ki jih prenesemo na računalnik, lahko s pomočjo naprave Bruel & Kjaer v programu Evidence, tip 7696, ki se uporablja v okolju Windows, dodatno obdelamo in izdelamo poročilo o meritvi. Podatke se lahko prav tako prenese v katerega od urejevalnikov besedil ali v preglednico Excel.



Slika 27: Analizator zvoka 2260



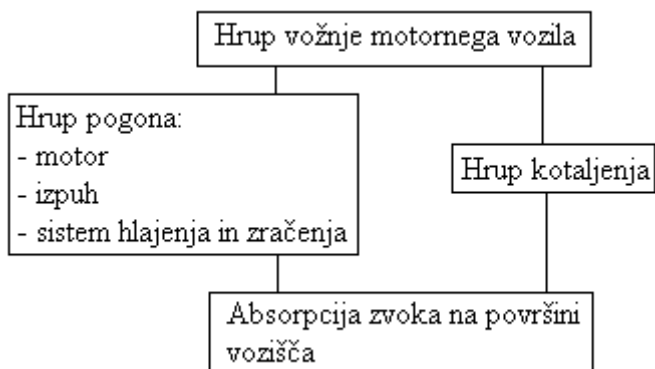
Slika 28: Merilec hrupa, priključen na računalnik

## 6 PROTIHRUPNI UKREPI

Hrup motornih vozil sestavljajo hrup pogona, hrup kotaljenja ter hrup zračnega upora vozečega vozila. Proizvajalci vozil so bili pri hrupu motorja vozila razmeroma uspešni, vendar so v tem možnosti zmanjšanja hrupa skorajda izčrpane. Tudi proizvajalci pnevmatik za motorna vozila si razmeroma uspešno prizadevajo optimirati vozne lastnosti pnevmatik in povzročene emisije hrupa, vendar brez večjih nadaljnjih možnosti za zmanjšanje. Ta hrup je odvisen tudi od vrste vozišča.

### 6.1 IZVOR HRUPA

V celotnem spektru hrupa, ki ga povzroča promet na cestah, je treba najprej upoštevati hrup motornih vozil z glavnima sestavinama – hrupom pogona in hrupom kotaljenja.



Slika 29: Izvori hrupa pri motornih vozilih

Pri hitrosti vožnje do 50 km/h, to je pretežno v naseljih, kjer je pogojeno tudi pogostejše pospeševanje vozil, prevladuje – še posebno pri tovornih vozilih – hrup pogona, ki je odvisen predvsem od števila obratov motorja ter izbranega prestavnega razmerja. V teh pogojih je lahko hrup pogona precej večji od hrupa kotaljenja. Na odprtih cestah, kjer so hitrosti vožnje večje, predvsem pa tudi bolj enakomerne, pri osebnih vozilih postopoma prevladuje hrup kotaljenja, ki je pretežno določen s hrupom, ki nastaja pri naleganju pnevmatik na vozno površino. V teh pogojih torej značilnosti vozne površine večinoma določajo raven hrupa, ki ga povzročajo vozila. Pri tovornih vozilih pa je pri večjih hitrostih vožnje hrup pogona podoben hrupu kotaljenja. Medtem ko je hrup pogona odvisen predvsem od odbijanja zvoka (ki prihaja od vozila) na vozni površini, je hrup kotaljenja odvisen od medsebojnega učinka določenih parametrov vozne površine (teksture obrabne plasti) in pnevmatike (velikostni red površine nalaganja).

## 6.2 KONSTRUKTIVNE REŠITVE ZA UBLAŽITEV HRUPA

Najprimernejši in pogost ukrep za aktivno znižanje imisije prometnega hrupa je postavitve ovire med izvorom hrupa (prometnico) in imisijskim mestom. Za to se največkrat uporabljajo nasip, stena ali kombinacija obeh, manj pa galerije in pokriti vkopi. Odločitev o postavitvi protihrupne zaščite je pogojena predvsem z velikostjo osnovnih imisijskih ravni prometnega hrupa na izvoru (ob cesti) in s stopnjo zahtevnosti območja, skozi katerega poteka prometnica, na katero so vezane dovoljene imisijske ravni v naravnem in bivalnem okolju.

Izbira oblike in tipa protihrupne zaščite je odvisna predvsem od:

- tega, po kakšnem naravnem in bivalnem okolju poteka prometnica,
- vzdolžnega poteka (nivelete) ceste glede na višinski položaj okolice, ki jo varujemo,
- vrste pozidave ob cesti,
- upoštevanja različnih odbojev od objektov in
- od predvidene protihrupne zaščite.

Od vsega tega in še od lokacije protihrupne zaščite v prostoru glede na varovano imisijsko točko sta odvisni dolžina in višina protihrupne zaščite. V splošnem velja, da je zaščita bolj učinkovita, če je bližje izvoru in je vedno daljša od območja, ki ga varujemo, saj mora preprečevati uklon hrupa. Če zaradi reliefa okolice in širine ceste (predvsem avtoceste) s postavitvijo stranske zaščite ne dosežemo zadostnega znižanja ravni v imisijski točki, lahko izjemoma ustrezno steno postavimo tudi na sredinski, vmesni pas. Z običajnimi protihrupnimi zaščitami (stene, nasipi, kombinacija teh dveh) lahko v idealnih pogojih znižamo imisijske ravni tudi do 15 dB(A).

## 6.3 ZMANJŠEVANJE ČEZMERNEGA CESTNEGA HRUPA

Za zmanjševanje čezmernega cestnega hrupa lahko uporabimo tri različne prijeme:

1.) Pri izvoru (emisijaska pozicija), tako da se:

- zmanjša število vozil,
- zmanjša hitrost vozil,
- izboljša aerodinamičnost vozil,
- omeji čas, ko smejo posamezna vozila na cesto,
- omeji hrupnost motorja z notranjim izgorevanjem in njegovega izpuha,
- uporablja tihe prevleke vozniških površin.

Ukrepi zmanjševanja ravni hrupa pri izvoru so najbolj smiselni, najučinkovitejši, ekološko in prostorsko prijazni ter večinoma najcenejši.

2.) Na prizadetem območju (imisijaska pozicija):

V tem položaju se s hrupom ne borimo neposredno, temveč ga sprejemamo kot dejstvo in se mu le pasivno upremo, kar pomeni, da izvajamo pasivne protihrupne ukrepe. Predvsem izboljšamo karakteristiko zvočne izolativnosti posameznih šibkih

protihrupnih gradbenih elementov objekta, na primer oken in vrat. Toda tako ostaja veliko nerešenih problemov.

3.) Postavitev ovire (prepreke širjenja hrupa med emisijsko in imisijsko točko):  
Takim ukrepom pravimo aktivni protihrupni ukrepi, saj s tovrstnim objektom aktivno preprečujemo širjenje hrupa v prostoru.

## **6.4 OSNOVNE ZAKONITOSTI NAČRTOVANJA PROTIHRUPNIH KONSTRUKCIJ**

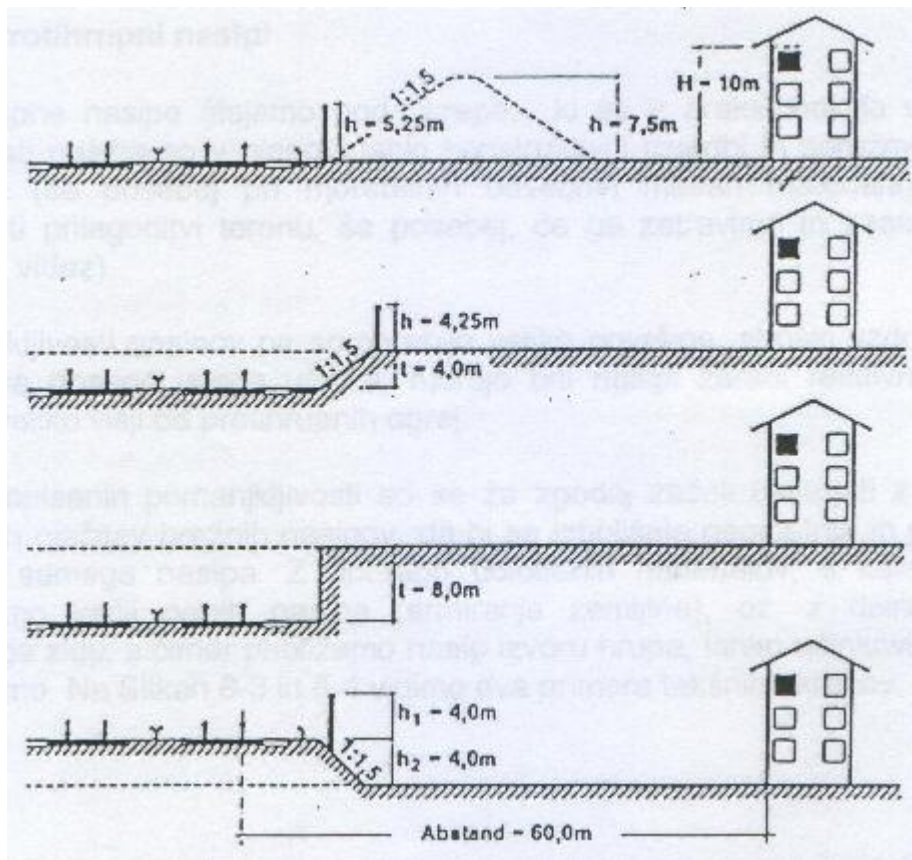
Protihrupni ukrep mora biti učinkovit. Njegovo učinkovitost se dokazuje s kakovostjo elementov objekta (izolativnost in absorptivnost panelov) in kakovostno izvedbo ter meritvami izvedenega objekta. S kakovostnimi materiali in pravilno lokacijo v prostoru zagotovimo trajnost in ustreznost protihrupnih ukrepov. Pravilna postavitev objektov je pomembna tudi s stališča prometne varnosti. Posameznim cestnim odsekom se določijo enotni, arhitektonsko-oblikovalski pristopi, ki jih uskladimo s pogoji in stališči krajinskega oblikovanja in namestitve protihrupnih ukrepov. Pri izbiri vrste protihrupnih objektov je značilna raznovrstnost. Temeljna značilnost naše krajine je pestrost, ki se kaže tudi pri izbiri vrste protihrupne konstrukcije. Posebno se v začetni fazi izbire upošteva mnenje krajinskega arhitekta, saj značaj močno urbaniziranega cestnega zaledja ali območja na prehodu v ruralno, zahteva drugačen pristop. Osnovni princip, ki ga uporabljamo, je čim manj agresivnosti v prostoru. To pri protihrupnih objektih dosegamo z ozelenelimi zemeljskimi konstrukcijami. Imamo tudi posebne primere, kjer želimo prikazati protihrupno konstrukcijo kot prostorski arhitekturni objekt in ga temu primerno prikažemo v vsej njegovi razsežnosti.

## **6.5 VRSTE PROTIHRUPNIH ZAŠČIT**

Vsaka akustična pregrada mora ustrezati naslednjim pogojem:

- hrup, ki prihaja skozi oviro, mora biti za 10 dB (A) manjši od hrupa, ki se lomi čez oviro;
- ovira ne sme vsebovati odprtin;
- ovira naj bi bila dovolj visoka, da prekine vidno črto med izvorom in opazovalcem, in dovolj dolga, da prepreči širjenje hrupa na koncu ovire.





Slika 30: Slika prikazuje različne možnosti zvočne zaščite

Ponavadi je mogoče doseči zmanjšanje za 10 dB (A) z uporabo zidov ali nasipov razumnih višin in dolžin. Zmanjšanje za 15 dB (A) dosežemo veliko težje, po navadi zahteva zelo visoke strukture, uporabo materialov z lastnostmi visoke prevodne izgube in pozornost detajlov konstrukcije za zagotovitev čim manjših odprtih in lukenj. Navadno je pomembna dolžina ovire. Doseči več kot 23 dB (A) zmanjšanja je skoraj nemogoče. Če načrtovana zahteva zmanjšanja preseže 20 dB (A), mora načrtovalec ceste upoštevati uporabo drugih ukrepov zmanjšanja hrupa, za doseg zelenega hrupa v okolici (predori ali pokrita korita).

### 6.5.1 PROTIHRUPNI NASIPI

Protihrupne nasipe štejemo pod ukrepe, ki se v praksi najdlje uporabljajo. Prednosti nasipa so v njegovi lahki konstruktivni izvedbi in v sorazmerno nizkih stroških (še posebno pri morebitnih odvečnih masah materiala) ter veliki možnosti prilagoditvi terenu, predvsem če ga zasadimo (estetski videz).

Pomanjkljivosti nasipov pa so:

- porabijo veliko površine,
- visoki stroški vzdrževanja in



- za doseg istega učinka morajo biti zaradi razmeroma položnih brežin veliko višji od protihrupnih ograj.



Slika 31: Zemeljski nasip

### 6.5.2 PROTIHRUPNE OGRAJE

Na splošno delimo protihrupne ograje (stene) na tiste, ki zvok absorbirajo, in tiste, ki zvok reflektirajo oz. odbijejo. Za določitev teh dveh tipov ograj se uporablja faktor, ki nam pove, za koliko dB (A) se zniža raven hrupa pri odbitem hrupu v primerjavi z ravno hrupa emisije. V skladu z akustičnimi lastnostmi so stene razvrščene v naslednje kategorije:

#### 1.) Kategorije absorpcijskih sposobnosti sten

Uporaba sten, ki zvok reflektirajo, se opušča, saj z njimi ne dosežemo vedno zadovoljivih učinkov.

#### 2.) Pri reflektirajočih stenah nastane večkratni odboj, s čimer zaide del hrupa tudi v varovano območje

Stene so izdelane iz različnih materialov. Poznamo kovinske, betonske, lesene, stene iz umetnih vlaken, kombinirane in druge. Uporaba določene vrste stene je odvisna od okolja, ki ga varujemo, in morebitne omejitve pri tehnični izvedbi. Pri višjih stenah je treba upoštevati tudi morebitni bočni veter (burja, jugo).

#### 3.) Kombinacija nasipa in stene

Pri odločanju o izbiri posameznih sten je poleg drugih akustičnih, tehničnih in vizualnih dejavnikov pomembno tudi sprotno vzdrževanje.

##### a) Kovinske ograje

Uporaba teh ograj je pri nas razmeroma razširjena. S prednje strani (prihrupna stran) se navadno uporabljajo perforirane ravne in trapezno oblikovane pločevine iz aluminija, visokokakovostnega jekla ali pocinkane železne pločevine. Z zadnje strani pa se uporablja neperforirana pločevina. Med obe pločevini se vgradijo plošče iz mineralnih vlaken. Da bi se povečala masa stene in s tem dušenje zvoka, se lahko vgradijo še

plošče iz betona. Elementi takšne ograje se izdelajo v tovarnah, na gradbišču pa se samo postavijo na že vnaprej pripravljene jeklene nosilce.

Prednosti metalnih ograj so:

- hitra montaža,
- dolga življenjska doba v primerjavi s proizvodnimi stroški in
- protipožarna zaščita.

Pomanjkljivosti sta:

- možna korozija in
- optična neprilagodljivost okolici.

#### b) Stene iz umetnih vlaken

Pri teh sistemih se pretežno uporabljajo škatlasti elementi iz umetnih vlaken, ki so na prihrupni strani perforirani. Ti škatlasti elementi so kakor pri metalnih stenah zapolnjeni s ploščicami iz mineralnih vlaken. Plošče so lahko dodatno zaščitene s folijo. Na zadnji strani so te škatle zaprte s pokrovi iz umetnih vlaken. Za povečanje mase takšne protihrupne zaščite, se lahko uporabi polnilo iz težkih materialov.

Prednosti protihrupne zaščite iz umetnih vlaken so:

- primerna cena,
- hitra montaža in
- nezahtevno vzdrževanje.

Pomanjkljivosti sta:

- zaradi nihanja cene nafte imajo takšni sistemi konkurenco v drugih, cenovno stabilnejših materialih in
- slaba protipožarna zaščita.

#### c) Betonske ograje

Doslej so bile pri nas najbolj razširjene protihrupne ograje. Uporabljale so se predvsem odbijajoče stene. Zdaj gre trend v smeri uporabe absorbirajočih betonskih ograj. Pri tem moramo ločiti predvsem dva primera. Pri prvem ima beton vlogo absorpcije zvoka, medtem ko je pri drugem le nosilna konstrukcija, drugi materiali pa prevzamejo nalogo absorpcije zvoka. Betonske stene so lahko različno oblikovane, in to monolitno (panelno) ali pa so sestavljene iz posameznih elementov (posebej oblikovanih ali že znanih izdelkov – betonskih cevi, robnikov, korit itd). Strukturirana površina vpija zvočne valove. Absorpcijska zmogljivost je do 10 dB (A). Betonska stena različnih oblik in barv se lahko namesti kot element med stebre, lahko pa je tudi samostojna konstrukcija z integriranimi stebri.

Prednosti betonskih ograj so:

- velika obstojnost,
- možna dobra prilagodljivost z bivalnim okoljem,

- zelo dobra protipožarna zaščita in
- pri večjih višinah ograje teža pozitivno vpliva na kompenzacijo vetra.

Pomanjkljivosti so:

- precej visoki stroški izdelave,
- počasnejša in zahtevnejša montaža ter
- slaba prilagodljivost z naravnim okoljem.

#### d) Lesene ograje

Za te vrste ograj se uporablja obstojen les, ki je še dodatno zaščiten. Konstrukcija je lahko v celoti lesena ali je delno iz betona in jekla. Lahko se izdelata najrazličnejše oblike panelov. Lahko se prepletajo ozki trakovi kakovostnega lesa ali pa je panel sestavljen iz drugačnih elementov. Med te pa so kot pri vseh drugih vrstah ograj vgrajene plošče iz mineralnih vlaken. Panele se postavlja med navpične lesene ali kovinske nosilce, ki so ugreznjeni v zemljo ali zabetonirani v betonske temelje. Drugi način uporabe lesa je pri poševnih brežnih nasipih, kjer jim bi radi povečali naklon. Med nekoliko poševno vgrajene lesene nosilne stebre, se vgradijo lesene opornice. Nastale odprtine pozneje zapolnimo s prstjo in jih zasadimo.

Prednost lesenih protihrupnih ograj je:

- naravni zunanji videz, ki se optimalno ujema z naravnim in bivalnim okoljem.

Pomanjkljivosti sta:

- visoki stroški vzdrževanja v primerjavi z drugimi izvedbami in
- slaba protipožarna zaščita.

#### e) Transparentne protihrupne ograje

Pri nas je to nov tip protihrupnih ograj (iz transparentnih materialov). Visoke protihrupne ograje in zidovi lahko večkrat delujejo na voznika motornih vozil, zelo monotono in neugodno. Kot alternativa takšnim rešitvam se lahko uporabijo transparentne – prozorne zvočne ovire, ki so zadovoljiva rešitev za voznike in tudi za prebivalce ob prometnici. To vrsto protihrupne zaščite je najprimerneje uporabljati na objektih (nadvozi, mostovi), na visokih nasipih, kjer ne omejujejo pogleda voznika na okolico, ter na vstopih in izstopih iz galerije. Lahko jih uporabimo kot nadkritje v pokritih vkopih, tako se rešimo težav v zvezi z osvetlitvijo. Taka rešitev je priporočljiva tudi tam, kjer je cesta v neposredni bližini stanovanjskih ali poslovnih objektov, kjer bi postavitve klasične protihrupne zaščite (stena, nasip) psihološko omejevala funkcionalni prostor okoli varovanih objektov. Na mestih, kjer je protihrupna zaščita neposredno ob cestišču z zelo gostim prometnim tokom, je priporočljivo uporabiti transparentni material, ker s tem vozniku ne ustvarimo občutka bočne ovire, kar povečuje prepustnost cestnega odseka in tudi prometno varnost. Za transparentne protihrupne ograje se uporablja akrilne ali polikarbonatne umetne mase. Na trgu so raznovrstna komercialna imena za ti dve vrsti umetnih mas. Da bi zadovoljivo varovale pred prometnim hrupom, morajo biti ograje iz akrilnega stekla, debele najmanj 15 mm, iz polikarbonata pa najmanj 12 mm.

Zgornja meja ni predpisana, v praksi pa se ne uporablja debelejših od 20 mm. Za potrditev ustreznosti kakovosti materialov je treba opraviti več predhodnih preizkusov (odpornosti proti udarcem kamenja, protipožarne varnosti, odpornosti na temperaturne spremembe in staranja materiala). Pri nas vse te in podobne preizkuse opravlja ZAG (Zavod za gradbeništvo Slovenije).

Najustreznejša pritrnitev ploskve je vijačenje na aluminijaste stebričke; Zagotavlja stabilnost tudi pri sunkih vetra. Pri načrtovanju postavitve transparentnih protihrupnih ograj je treba posvetiti pozornost morebitnim neprijetnim odbojem svetlobe. Zaradi tega se priporoča rahlo obarvanje oz. pigmentiranje prozornih ograj. Pigmentiranje zmanjšuje tudi nevarnost ptičjih trkov v ograjo, nanje pa lahko nalepimo različne silhuate, ki ptiče opozarjajo na ovire. Ta opozorila se vključuje tudi v predpise.

Za dušenje hrupa so na voljo rezultati:

- 15 mm debela protihrupna transparentna ograja iz umetne snovi zmanjša hrup za 29 dB (A),
- 20 mm debela pa za 32 dB (A).

V obeh primerih gre za zmanjšanje hrupa tik za ograjo. Efektivno zmanjšanje v imisijski točki je, tako kot pri vseh protihrupnih zaščitah, odvisno od osnovnih ravni prometnega hrupa ter lokacije in oblike zaščite glede na geometrijo ceste in imisijsko točko.

Prednosti protihrupne transparentne ograje so:

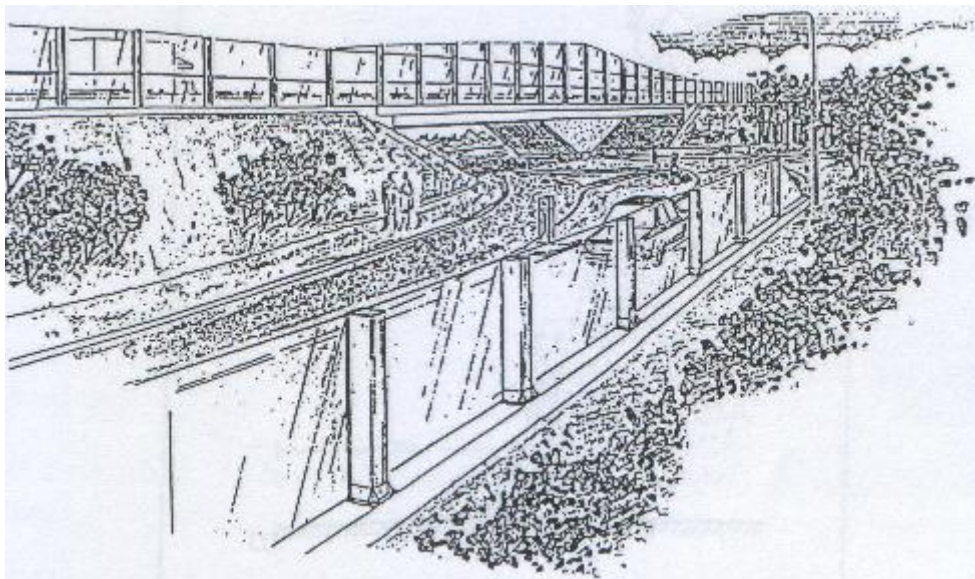
- ne omejuje varovanega okolja, ki je zelo blizu zaščitne stene,
- ne zahtevajo dodatne osvetlitve v pokritih vkopih in
- lahko jih kombiniramo z drugimi materiali.

Pomanjkljivosti so:

- te ograje naj bi bile povezava z okoljem, vendar je iz ameriških in francoskih izkušenj znano, da zaradi loma svetlobe na takšnih ograjah lahko dobimo enak občutek prostorske utesnjenosti, kakor pri drugih oblikah ograj,
- umazanost je vidnejša in bolj moteča kot pri drugih vrstah ograj in
- proti uporabi takšnih ograj so predvsem društva za zaščito ptic.



Slika 32: Protihrupna ograja iz poliakrilnega stekla



Slika 33: Transparentna protihrupna ograja

f) Kombinacija ograje in nasipa

Izvedba takšne kombinacije je pri nas že znana. Uporabimo jo takrat, ko zaradi omejenega prostora ni mogoče zgraditi nasipa potrebne višine, zato na ustrezno nižji in ožji nasip na vrhu postavimo ograjo iz poljubnih elementov. Ni potrebno, da je stena absorbirajoča, ker navadno refleksije v teh višinah nimajo več škodljivega vpliva. Prednost takšne ograje je, da nam služi kot prostorska ločitev med voziščem in morebitno pešpotjo na nasipu. Z optičnega vidika takšna izvedba ne deluje negativno.

g) Sestavljena stena – nasip obložen z betonskimi elementi

Pomanjkljivosti protihrupnih nasipov zaradi položnosti brežin so z uvedbo različnih betonskih elementov, ki se poljubno sestavljajo, odpravljene. Danes je na trgu veliko sistemov, ki so skoraj vsi zasnovani na uporabi manjših, neojačanih profiliranih betonskih elementov, zapolnjenih s prstjo, ki se sestavljajo podobno kot lego kocke. Med seboj se povezujejo s pomožnimi deli. Stene so lahko pokončne, stopničaste ali v obliki parabole. Elementi se lahko sestavljajo tako, da na eni ali na obeh straneh stene ostajajo prazna mesta, kamor lahko zasadimo rastline. V tem primeru je mogoče tudi namakanje. Mogoče pa se je odločiti tudi za popolnoma zaprte konstrukcije, kar daje videz stene. Takšna zaščita je primerna za porasla, naravna okolja. Elementi se izdelujejo v različnih barvah (sivi, rdeči, črni in rjavi barvi).



Slika 34: Nasip, obložen z betonskimi oblikovanci

#### h) Poraščene »stene«

Podobno kot obložen nasip ali sestavljena stena, kjer so združene prednosti stene in nasipa, je znan tudi sistem t. i. poraščene stene. Podlaga za poraščeno steno je posebej oblikovan okvir, ki ga postavijo na zemeljsko podlago. Konstrukcijo oblikujejo glede na karakteristike tal in okolice. Za ogrodje ponavadi uporabljajo posebej obdelano in prevlečeno železo, tako da je njegova življenjska doba daljša od 25 let. Z notranje strani se na ogrodje pritrdi zaščita iz mreže ali iz kakršnega koli drugega materiala, ki preprečuje izpiranje podlage (prsti). Skozi to mrežo se v humusno podlago zasadijo rastline. Ko rastline zrastejo, dobimo zeleno in živo steno. Na strani, ki je obrnjena proti cesti, uporabimo le nekaj vrsti rastlin, da dobimo bolj mirno podobo, na strani, obrnjeni proti naseljem, pa za privlačnejšo podobo osnovne rastline dopolnimo s cvetočimi.

Prednosti sta:

- poskušajo uporabljati čim več naravnih materialov in
- značilna lastnost teh sten je, da so poleg dobre protihrupne zaščite tudi okrasne, saj se izredno dobro vključujejo v okolje.

Slabosti sta:

- vzdrževati jih morajo vrtnarji in
- v daljših sušnih obdobjih je potrebno namakanje.

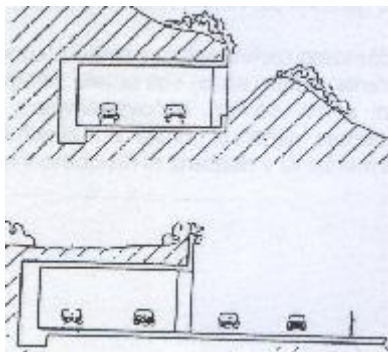




Slika 35: Poraščena stena

### 6.5.3 GALERIJE IN POKRITI UKOPI

Z galerijami (delnimi strešnimi konstrukcijami) oziroma s pokritimi vkopi nedvomno dosežemo največje znižanje ravni hrupa. Za takšne konstrukcije pa se ne odločimo samo zaradi hrupne obremenjenosti občutljivega okolja, temveč tudi iz drugih opravičljivih prometno-tehničnih vzrokov (strma pobočja, plazovit teren itd.). Pri takšnih konstrukcijah niso visoki le investicijski stroški, temveč tudi vzdrževanje, morebitna osvetlitev, prezračevanje itd. Pri delnih strešnih konstrukcijah v nasprotju s celotno pokritimi vkopi (tuneli) umetna osvetlitev in prezračevanje nista potrebna.



Slika 36: Prikaz delnih strešnih konstrukcij

#### **6.5.4. NASADI (OZELENITVE) KOT PROTIHRUPNA ZAŠČITA**

Uporaba nasadov za protihrupno zaščito je navadno precenjena. Le ustrezna, zadosti gosta in visoka zasaditev pripomore k dušenju prometnega hrupa (hrup se zmanjša za 5 dB (A) za prvih 30 m in še približno 5 dB (A) za drugih 30 m, kar je skupaj maksimalno 10 dB (A)). Uporablja se kot kombinacija z nasipi in/ali stenami. Omeniti je treba tudi psihološki dejavnik ozelenitve: ozelenitev nasipov in sten omogoča lažjo vizualno vključitev, sicer motečih konstrukcij v okolje, zaradi lastnih šumov (šelesenje listja, ptičje petje) se omili negativni učinek prometnega hrupa, nevidni (zastrti) izvori hrupa se zdijo manj moteči.

#### **6.5.5 OBLIKOVANJE IN RAZPOREDITEV ZGRADBE**

Cestni hrup lahko uspešno zmanjšamo takrat kadar načrtno in urbanistično izkoristimo gradbeno-tehnične možnosti določenih objektov. Odprte gradnje (posamezne stavbe ali dvojčki ter vrstne hiše do dolžine 50 m), ne preprečijo prehoda zvoku med objekti, zato s tako vrsto gradnje ne moremo ustvariti tako imenovane tihe cone. Za ta namen se uporablja strnjena gradnja, ki varuje zadaj ležeče površine in objekte. Učinek zaščite je tem večji, čim višje in daljše so strnjene gradnje. Izogibati se je treba odprtih prehodov kot na primer dovozov na dvorišča, ker se manjša učinek zaščite. Prostori, ki mejijo na cestno stran, so zaradi refleksije na nasprotni strani ležečih fasadah slabše zaščiteni. V takih primerih je treba uporabiti pasivno zvočno zaščito. Predvsem pa je za protihrupno zaščito najbolje, če umestimo v prvo vrsto, med cesto in bivalnim naseljem, objekte, ki ne zahtevajo zvočne zaščite. To so garaže, skladišča, obrtne delavnice ipd. Primerna gradbena oblika in dobra lokacija objekta (spodnji prostor, ki so izpostavljeni imisiji prometnega hrupa se uporabijo za trgovske oz. poslovne namene in terasasta oblika gradnje), lahko zmanjšata vdor prometnega hrupa v notranje prostore. Tudi razporeditev notranjih prostorov lahko prispeva k zmanjšanju hrupa v bivalnih prostorih (spalnica, kuhinja, dnevna soba). Vdor prometnega hrupa v bivalne prostore lahko preprečimo s primerno zvočno zaščito zunanjih gradbenih elementov (okna, stene, strehe, primerna fasada). Vse to so elementi pasivne zvočne zaščite. Vrsta in obseg posegov ter potrebne akustične kriterije na oknih, zunanjih stenah, strehah in stropnih konstrukcijah najdemo v predpisih in uredbah v Uradnem listu RS.



## 7 SKLEP

V 21. stoletju se je proizvodnja zelo povečala, poleg tega se je povečal tudi cestni promet, ki prinaša največ hrupnega onesnaženja. Res je, da so se industrije preselile v nerazvite države, kar pa ne zmanjšuje količine hrupa, saj se je ta premestil iz enega kraja v drug. Torej, z razvojem je nastal hrup, ki se ga s trenutnimi tehnološkimi sposobnostmi ne moremo rešiti. To pomeni, da se moramo soočiti z njim in ga poskusiti zmanjšati. Dejavniki, ki povzročajo hrup, so:

- slabo stanje cestišč,
- prevelike hitrosti vozil,
- neustrezen prometni režim in
- neustrezno načrtovanje gradnje cestišč.

Hrup je zvok s trajanjem, jakostjo in drugo lastnostjo, ki je fiziološko ali psihološko škodljiv človeku ali drugim živim bitjem. V urbanih okoljih se raven hrupa nenehno zvišuje. Nekaj zaradi prometa, drugo pa prispeva industrija, obrtni objekti ter gostinski lokali. Velikokrat se tudi sami vede ali nevede izpostavljamu hrupu, marsikdaj se ne zavedamo, kaj nas moti. Posledice hrupa in poškodbe sluha se pojavijo pri ljudeh, ki so izpostavljeni močnim virom zvoka. Meja med zvokom in hrupom je 65 dB (60 dB – pogovor, 65 dB avtomobil, ki vozi s hitrostjo 50 km/h, na oddaljenosti 20 m, 90 dB – motor na oddaljenosti 8 metrov, 135 dB – meja bolečine).

Vplivi hrupa na ljudi so lahko fiziološki in psihološki. Posega v spanje, počitek, študij in komunikacijo. Fiziološke posledice hrupa so poškodovane »lasne« celice v notranjem ušesu, ki se ne obnavljajo, kar pripelje do trajnih poškodb sluha, čezmerno izločanje hormonov, omotičnost, težko dihanje, otežene koncentracije in stres. Poleg fizioloških posledic hrupa pa poznamo tudi psihološke. Vemo, da številne ljudi različni slušni dražljaji motijo. Povzročajo lahko čustveno napetost. Če zvoka ni mogoče nadzirati in regulirati, so vir frustracije. Hrup lahko izzove čustveno reakcijo, ki se pokaže z izbruhom jeze in besa ali občutki strahu in tesnobe. Ljudje, ki so izpostavljeni čezmernemu hrupu, pogosto navajajo utrujenost kot splošno oceno počutja. Za osebe z motnjami sluha postane težavno predvsem poslušanje predavanj, sodelovanje na srečanjih in zabavah, obisk gledališč in drugih javnih prireditev. Težave imajo predvsem pri poslušanju radia in televizije in pri telefonskih razgovorih. Izguba sluha vodi v več ravni izolacije. Včasih celo tako daleč, da se posameznik ne počuti več kot del družbe, v kateri živi. Doživlja duševno stisko, nastopi lahko depresivnost. Rešitev je vsekakor preprečevanje hrupa. Tega lahko optimalno zmanjšujemo le, če vemo, kje moramo posegati v okolje. To lahko storimo, če hrup merimo. V Sloveniji obremenjenost s hrupom še ni popolnoma sistematično obdelana, čeprav hrup prizadene veliko število ljudi. Če obremenitev presega mejne ravni, nalagajo predpisi upravljavcem virov hrupa izvedbo ukrepov za zmanjšanje širjenja hrupa v okolje:

- zmanjšanje emisije hrupa na viru, tj. zmanjšanje zvočne moči vira,
- omejevanje širjenje hrupa s funkcionalnimi pregradami in
- zaščita bivalnih prostorov z izboljšano zvočno izolacijo oken, zvočno izolacijo fasadnih ali obodnih elementov.

Pri varovanju okolja pred hrupom je bistveno prostorsko načrtovanje, in sicer predvsem pri zmanjševanju hrupa cestnega prometa. Ukrepi za zmanjšanje hrupa cestnega prometa obsegajo:

- tehnične ukrepe, npr. uporaba modernejših in tišjih transportnih sredstev,
- uvedbo omejitev hitrosti prometa v mestnem prometu,
- načrtovanje in regulacijo prometne ureditve s preusmeritvami prometa na druge ceste,
- tehnične ukrepe, npr. uporaba poroznega asfalta na cestišču,
- uvedbo krožnega prometa za izognitev hrupu ob ustavljanju in speljevanju avtomobilov na semaforiziranih križiščih,
- sanacije objektov z večslojnimi okni in protihrupnimi fasadami ter namestitvev protihrupnih ograj pri gradnji novih naselij na periferiji,
- prometne zapore v središču mesta,
- ureditev kolesarskih poti v mestih,
- posodobitev voznega parka mestnega prometa.

Zanimiva se mi zdi rešitev Švice, ki za zaščito ljudi pred hrupom, tem subvencionira nakup zvočnoizoliranih oken. Zato bi predlagal, da bi bilo dobro uvesti enako subvencioniranje tudi pri nas predvsem tam, kjer so ljudje zelo izpostavljeni prometnemu hrupu (bližina avtocest, bližina prometnejših cest itd.). Velik del, ki bi pripomogel k temu, je tudi zaprtje mestnih središč za motorna vozila in seveda ureditev nadomestnega prevoznega sredstva, ki bi ga zagotovila država (mestni tramvaj, mestni avtobus na elektriko itd.).

Pri tem je bil dosežen že velik napredek, kljub temu pa države tega problema v celoti niso rešile, zato bo potrebno še veliko skupnega dela, da se bodo pokazale ustrezne rešitve za zaščito ljudi pred hrupom v prometu. Moje splošno mnenje pa je, da se lahko sami zaščitimo pred tovrstnimi problemi in se tako izognemo težavam, ki smo jih omenili v diplomski nalogi. Ker pa se večina ne zaveda kakšne zdravstvene težave povzroči daljša izpostavljenost hrupu, bi bilo potrebno tudi izobraževanje o posledicah in zaščiti pred hrupom.

## 8 LITERATURA

### Knjige:

1. Čudina, M. (2001). Tehnična akustika. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo.
2. Drmota, E. (1998). Protihrupne ograje ob avtocestah. Ljubljana: Družba za državne ceste.

### Diplomske naloge:

3. Burger, B. (2004) Hrup v prometu, Portorož.
4. Ergaver, M. (2002): Problematika cestnega hrupa na odseku HC Vipava-Selo, Portorož.
5. Ličen, S. (1998) Hrup v cestnem prometu, Portorož.
6. Trapečar, M. (1999) Hrup v cestnem prometu – mesto Ljubljana, Portorož.

### Internet strani:

7. Čili za delo. Hrup. Članek pridobljen na naslovu <http://www.cilizadelo.si/default-63100.html> dne 12. 12. 2008.
8. Evropska agencija o hrupu. O hrupu. Članek pridobljen na naslovu <http://www.eea.europa.eu/sl/themes/noise/about-noise> dne 12. 12. 2008.
9. Hrup. Predpisi EU/ mednarodne pogodbe in zakonodaja Republike Slovenije. Članek pridobljen na naslovu <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/hrup>. Pdf dne 10. 12. 2008.
11. Hrup na vozni površinah. Referat pridobljen na naslovu [http://www.gi-zrmk.si/Knjiznica/Referat-Hrup\(prometnice\).pdf](http://www.gi-zrmk.si/Knjiznica/Referat-Hrup(prometnice).pdf) dne 12. 12. 2008.
12. Revija EGES (3/2003). Vpliv hrupa pri pouku v osnovni šoli (str. 86–89). Članek pridobljen na naslovu <http://www.e-m.si/arhiv/03/3/086-89.pdf> dne 12. 12. 2008.
13. <http://scp.s-cptuj.mb.edus.si/~bejakm/izobrazevanja/ucbenik/>
14. Švicarska raziskava dokazala, da prometni hrup povečuje nevarnost infarkta (2003). Članek pridobljen na naslovu <http://www.cipra.org/sl/alpmedia/novosti/681/> dne 15. 12. 2008.
16. Vera Praprotnik. Psihološke posledice hrupa. Članek pridobljen na naslovu [http://si.osha.europa.eu/et2005/PDF/Psiholoske\\_posledice\\_hrupa.pdf](http://si.osha.europa.eu/et2005/PDF/Psiholoske_posledice_hrupa.pdf) dne 12. 12. 2008.
17. Ministrstvo za delo, družino in socialne zadeve. "Prenehajte s tem hrupom!". Priročnik z osnovnimi informacijami in navodili. Priročnik pridobljen na naslovu [http://www.mdds.gov.si/fileadmin/mdds.gov.si/pageuploads/dokumenti\\_pdf/prirocnik\\_2005.pdf](http://www.mdds.gov.si/fileadmin/mdds.gov.si/pageuploads/dokumenti_pdf/prirocnik_2005.pdf) dne 12. 12. 2008.
18. Visoka šola za zdravstvo. Predstavitev instrumentov. Članek pridobljen na naslovu [http://www.vsz.uni-lj.si/~si/Ostali\\_dokumenti/BO/Predstavitev\\_instrumenta.ppt](http://www.vsz.uni-lj.si/~si/Ostali_dokumenti/BO/Predstavitev_instrumenta.ppt) dne 12. 12. 2008.
19. Zveza prijateljev mladine. Hrup. Članek pridobljen na naslovu <http://www.zveza-zpm-mb.si/index.php?pg=98> dne 12. 12. 2008.

## KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Metro Count</i> .....	3
<i>Slika 2: Način postavitve gumijaste cevi</i> .....	4
<i>Slika 3: Grafa prikazujeta napake pri odčitavanju hitrosti vozila</i> .....	4
<i>Slika 4: Piezoelektrični senzor</i> .....	5
<i>Slika 5: QLD-6CX</i> .....	6
<i>Slika 6: Hi-Star</i> .....	7
<i>Slika 7: Hi-Star zaščitni ovoj</i> .....	8
<i>Slika 8: Kraj namestitve Hi-Stara</i> .....	8
<i>Slika 9: Radar Multanova</i> .....	9
<i>Slika 10: Kraj namestitve radarja za natančno merjenje</i> .....	10
<i>Slika 11: Uporaba laserske naprave za klasifikacijo vozil</i> .....	11
<i>Slika 12: Laserska naprava za merjenje v prometu in njena namestitev</i> .....	12
<i>Slika 13: Videonadzor prometa na križišču</i> .....	13
<i>Slika 14: Analizator zvoka 2260</i> .....	14
<i>Slika 15: Shema tipičnega merilca hrupa</i> .....	14
<i>Slika 16: Prikaz delovanja A-filtra</i> .....	15
<i>Slika 17: Kalibrator</i> .....	15
<i>Slika 18: Alkotest Dräger 7410</i> .....	17
<i>Slika 19: Traffi Patrol</i> .....	18
<i>Slika 20: Shema diagrama sistema za merjenje hrupa</i> .....	24
<i>Slika 21: Shema tipičnega merilca hrupa</i> .....	25
<i>Slika 22: Tipi filtrov</i> .....	25
<i>Slika 23: Karakteristike frekvenčnih filtrov A, B, C in D</i> .....	26
<i>Slika 24: Prikaz delovanja filtra A</i> .....	26
<i>Slika 25: Tipi mikrofonov</i> .....	27
<i>Slika 26: Kalibrator modela 4321</i> .....	28
<i>Slika 27: Analizator zvoka 2260</i> .....	29
<i>Slika 28: Merilec hrupa, priključen na računalnik</i> .....	29
<i>Slika 29: Izvori hrupa pri motornih vozilih</i> .....	30
<i>Slika 30: Slika prikazuje različne možnosti zvočne zaščite</i> .....	33
<i>Slika 31: Zemeljski nasip</i> .....	34
<i>Slika 32: Protihrupna ograja iz poliakrilnega stekla</i> .....	37
<i>Slika 33: Transparentna protihrupna ograja</i> .....	38
<i>Slika 34: Nasip, obložen z betonskimi oblikovanci</i> .....	39
<i>Slika 35: Poraščena stena</i> .....	40
<i>Slika 36: Prikaz delnih strešnih konstrukcij</i> .....	40

## KAZALO TABEL

<i>Tabela 1: Razredi, ki jih prepozna QLD-6CX (te se lahko tudi spremeni).....</i>	<i>6</i>
<i>Tabela 2: Mejne nočne in dnevne dovoljene ravni za posamezen vir hrupa v dB(A).....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 3: Kritične dnevne in nočne dovoljene ravni hrupa za posamezna območja v dB(A).....</i>	<i>23</i>