

Referat

HRUP NA VOZNIH POVRŠINAH

Noise on the road surface

Pripravil:
Dejan Hribar,
univ. dipl. inž. grad.

KAZALO

1.0 UVOD	4
2.0 MEHANIZMI HRUPA MED PNEVMATIKO IN VOZNO POVRŠINO	4
<i>2.1 MEHANIČNI PROCESI.....</i>	<i>4</i>
2.1.1 Radialne in tangencialne vibracije na pnevmatiki.....	4
2.1.2 Ogrodne vibracije.....	6
<i>2.2 AERODINAMIČNI PROCESI.....</i>	<i>7</i>
2.2.1 Turbulenca zraka	7
2.2.2 Resonančna luknja v kanalu pnevmatike	7
2.2.3 Črpanje zraka.....	7
2.2.4 Helmholtz - no resonančno širjenje in cevna resonanca	8
<i>2.3 TORNOSTNI PROCESI</i>	<i>8</i>
2.3.1 Zlepljanje - zdrs.....	8
2.3.2 Adhezija zlepljanja - odtrganja	9
<i>2.4 PROCES PRENAŠANJA</i>	<i>10</i>
2.4.1 Efekt roga	10
2.4.2 Absorpcija	11
2.4.3 Usmerjenost vira hrupa	11
3.0 ZAKLJUČEK.....	11
4.0 LITERATURA.....	12

Povzetek

V ceste so vložena zelo velika finančna sredstva. Zato jih je potrebno ohraniti v stanju, ki bo omogočilo varno, udobno in gospodarno uporabo. Problem, kot je hrup, to onemogoča. Omenjen problem širjenja hrupa med pnevmatiko in vozno površino ne moremo popolnoma preprečiti, lahko pa ga zmanjšamo vendar, če to želimo narediti, je potrebno poznati njihovo vedenje.

Hrup med pnevmatiko in vozno površino nastaja delno zaradi ustvarjanja vibracij na strukturi pnevmatike (interakcija med pnevmatiko in vozno površino) in delno zaradi gibanja zraka v praznih prostorih na območju kontaktov. Ta dva dela sta največja povzročitelja nastanka hrupa med pnevmatiko in vozno površino. Akustična upornost podlage je lastnost vozne površine in vpliva na širjenje izvornega zvoka v smeri sprejemnika.

Na mejni ploskvi med pnevmatiko in vozno površino posamezen mehanizem ustvarja energijo, ki se širi kot zvok. To so *izvorno povzročeni mehanizmi*. Obstajajo pa tudi karakteristike na mejni ploskvi med pnevmatiko in vozno površino, kjer se ustvarja energija, ki se pretvori v zvok in širi močneje. Te karakteristike so opredeljene kot *zvočno povišani mehanizmi*.

Summary

Considerable financial resources have been invested into roads. For that reason they should be kept in a condition, that would enable safe, comfort and economical use. Problems like noise make that impossible. Mentioned problem of noise spreading between the tire and road surface could not be completely prevented; it could be reduced, though, but in order to accomplish that we should be familiar with their conduct.

Noise emanating from tires tire/road on road surfaces is caused partly by the generation of vibration in the tire structure, excited by the tire/road surface interaction, and partly by the movement of air in the cavities of the tread pattern principally in the region of the contact patch. These two parts are the very sources of tire/road noise. The acoustical impedance of the surface is a property of the road and influences the propagation of originated sound towards its receiver.

At the tire/pavement interface, several mechanisms create energy which is eventually radiated as sound. These are *source generation mechanisms*. There are also characteristics of the tire/pavement interface that cause that energy to be converted to sound and radiated efficiently. Those characteristics are defined *sound enhancement mechanisms*.

1.0 UVOD

Hrup med pnevmatiko in vozno površino nastaja delno zaradi ustvarjanja vibracij na strukturi pnevmatike (interakcija med pnevmatiko in vozno površino) in delno zaradi gibanja zraka v praznih prostorih na območju kontaktov. Ta dva dela sta največja povzročitelja nastanka hrupa med pnevmatiko in vozno površino. Akustična upornost podlage je lastnost vozne površine in vpliva na širjenje izvornega zvoka v smeri sprejemnika.

Na mejni ploskvi med pnevmatiko in vozno površino posamezen mehanizem ustvarja energijo, ki se širi kot zvok. To so *izvorno povzročeni mehanizmi*. Obstajajo pa tudi karakteristike na mejni ploskvi med pnevmatiko in vozno površino, ki povzročajo energijo, ta se pretvori v zvok in širi močneje. Take karakteristike so opredeljene kot *zvočno povišani mehanizmi*.

Glavno vprašanje, ki se postavlja v referatu, je: »Kateri mehanizmi in procesi nastajanja hrupa med pnevmatiko in vozno površino so pomembnejši in kako nastanejo?«

2.0 MEHANIZMI HRUPA MED PNEVMATIKO IN VOZNO POVRŠINO

Na ploskvi med pnevmatiko in vozno površino poznamo mehanizme, ki ustvarjajo energijo in jih delimo v dve glavni skupini:

- *izvorno povzročeni mehanizmi*,
- *zvočno povišani mehanizmi*.

Hrup med pnevmatiko in vozno površino nastane kot kombinacija fizikalnih procesov, ki jih razvrščamo na:

- *mehanične procese*: udarci in trki na kontaktu med profilom pnevmatike in vozno površino ustvarjajo radialne in tangencialne vibracije,
- *aerodinamične procese*: proces, ki nastane v notranjosti med pnevmatiko in vozno površino,
- *tornostne procese*: adhezija in efekt mikro-premikanja profila pnevmatike, ko je v kontaktu s cesto in
- *širitvene procese*: akustične neugodne karakteristike na podlagi vplivajo na širitveno pot.

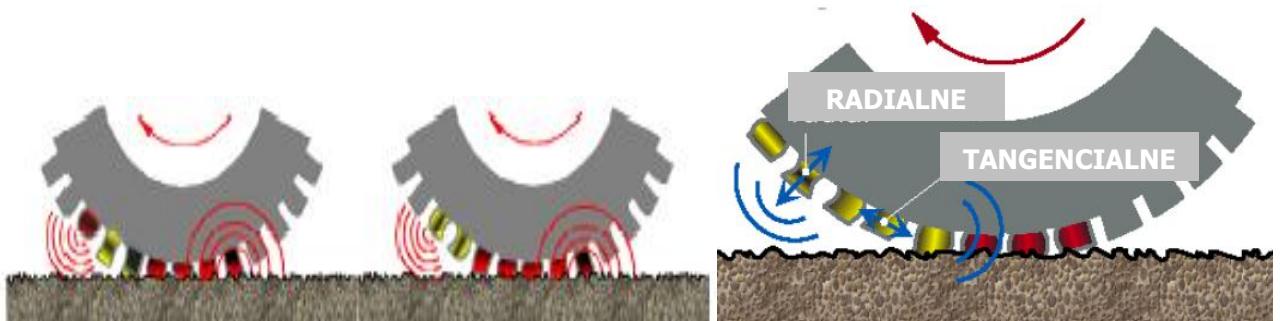
Ti procesi vplivajo tako na karakteristike vozne površine kot tudi na karakteristike pnevmatike.

2.1 MEHANIČNI PROCESI

2.1.1 Radialne in tangencialne vibracije na pnevmatiki

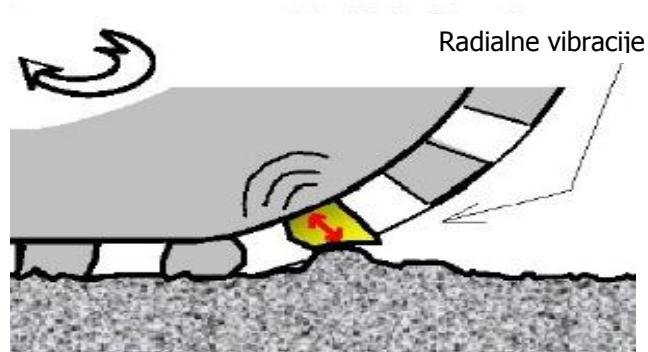
Vibracije se ustvarjajo v pnevmatiki vozila. Nastanejo zaradi trkov in neravnin na vozni površini. Natančneje, radialne in tangencialne vibracije nastanejo takrat, ko rebresa pnevmatike vstopijo in

zapustijo kontaktno površino med pnevmatiko in vozno površino oziroma se ustvari gibanje elementov na pnevmatiki. Ta mehanizem je prikazan na sliki 1.



Slika 1: Shematični prikaz radialnih in tangencialnih vibracij na pnevmatiki

Radialne vibracije se ustvarjajo, ko rebro pnevmatike udari z vozno površino in se prenašajo v notranjost pnevmatike (prikujuje slika 2). Podobno je, ko rebresa pnevmatike zapuščajo kontaktno površino, takrat se ponovno počasi povrnejo v prvotno lego, hkrati pa nastane gibanje reber. To naglo gibanje privede med tem procesom do vzbujenosti obeh vibracij (radialne in tangencialne) v strukturi pnevmatike. Sam proces je bolj znan pod imenom »snap out«. Ko se pnevmatika splošči, na območju kontakta, nastane sprememba oblike pnevmatike, ustvarijo se tangencialne sile, katere se upirajo trenju med pnevmatiko in vozno površino. Ko sile premikanja prekoračijo sile trenja, pogaženi elementi pnevmatike zdrsnejo po podlagi. Ta gibanja prav tako vzbujajo primarne tangencialne vibracije v strukturi pnevmatike.

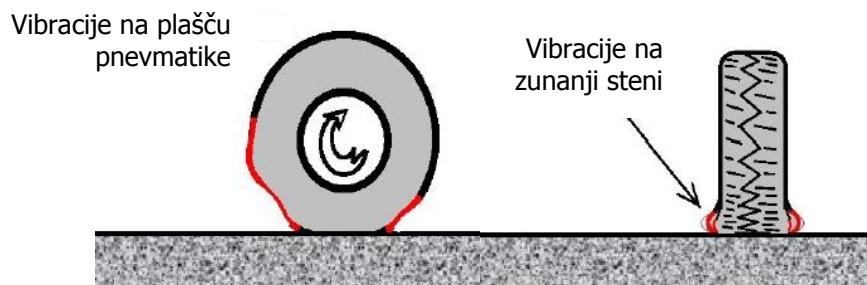


Slika 2: Shematični prikaz radialnih vibracij ob udarcu rebra pnevmatike s podlago

Nastanek vibracij v kotaleči se pnevmatiki je odvisen od vrste profila pnevmatike, od stopnje mikrostukture (večji faktor hrupavosti) na površini vozišča, od trenja adhezije med pnevmatiko in površino vozišča. Če imamo togo površino ali vnesemo mehanično oviro v površino ceste lahko to vpliva na nivo vibracij v pnevmatiki, ki so ustvarjene s trki med profilom pnevmatike in vozno površino. Hrup zaradi vibracij, ki se ustvarja na pnevmatiki doseže nižje frekvence (frekvence pod 1kHz).

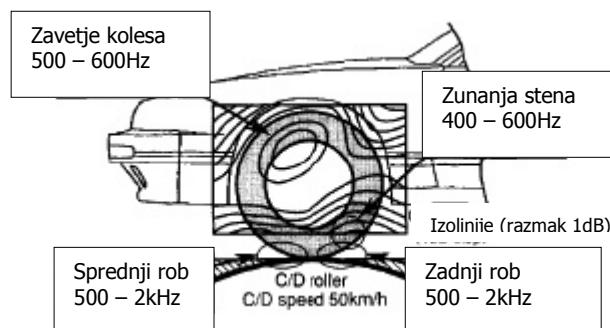
2.1.2 Ogrodne vibracije

Ko pnevmatika medsebojno vpliva z makrostrukturo ceste se vibracija iz profila prenaša na zunanjost pnevmatike in deluje kot nekakšna »glasbena plošča«, ki oddaja zvok. Na površini profila in zunanjosti pnevmatike nastajajo visoke frekvence, ki igrajo pomembno vlogo v poglavju nastajanja hrupa med pnevmatiko in cesto (glej sliko 3).



Slika 3: Ogrodne vibracije pnevmatike okoli plašča in na zunanji steni kontaktne površine

Emisija hrupa za osebni avto je bila izmerjena v laboratoriju s kotalečo se pnevmatiko po valju na gladki podlagi. Izmerjena intenziteta zvoka je prikazana na sliki 4.



Slika 4: Izolinije intenzitete zvoka izmerjene v laboratoriju

Za kotalečo pnevmatiko osebnega vozila je prikazano, da nastajata dve kritični točki, in sicer: ravno pred sprednjim robom in desno pred zadnjim robom, kjer pnevmatika doseže kontakt s podlago.

Vibracije na plašču pnevmatike so kombinacije nekaj različnih tipov valovanja, ki predstavljajo različne frekvence. Ugotovljeno je, da se ogrodne vibracije mnogo bolj efektivno širijo in zato so glavne povzročiteljice širjenja hrupa.

2.2 AERODINAMIČNI PROCESI

2.2.1 Turbulenca zraka

Turbulenca zraka okoli pnevmatike nastane na pnevmatiki z odmikanjem zraka, ko se kotali po cesti. Zrak »drgne« ob rotirajoči plašč pnevmatike in s tem povzroča hrup. Mehanizem je mogoče primerjati z rotirajočim se ventilatorjem. V nobeni raziskavi še ni bilo dokazano, da ta proces važneje vlivajo na celotni nivo hrupa.

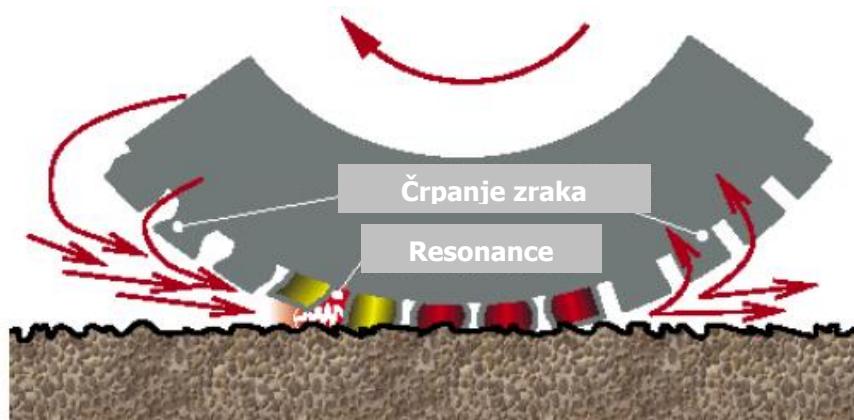
2.2.2 Resonančna luknja v kanalu pnevmatike

Resonance v luknji znotraj pnevmatike kolesa prispevajo k nastanku hrupa v pnevmatikah. Te resonance so izrazitejše pri »luknjah« v prostoru, kot so mostovi in železniški prehodi, vendar pomembnejše ne vplivajo na širjenje hrupa.

2.2.3 Črpanje zraka

Osnovna teorija črpanja zraka je predstavljena kot nenadno odtekanje ujetega zraka v žlebovih profila pnevmatike ali v teksturi naležne površine. Ko se kontakt pnevmatike in podlage nenadoma premakne naprej, se zgoščeni zrak zaradi velike hitrosti sprosti od kontakta površine in ta proces črpanja zraka povzroča hrup. Črpanje zraka je lahko glavni povzročitelj širjenja hrupa.

Nedavna dognanja o črpanju zraka govorijo, da kotaleča pnevmatika odmika zrak od pnevmatike, ko se predel začetka kontakta deformira. Zgoščen zrak je sproščen, ko se odlepijo od podlage žlebovi in zareze pnevmatike v katerih je ujet. Pritisak zraka, prilagojen vzroku tega procesa, dosega važen nivo hrupa med 1-3 kHz, zlasti, ko vozna površina ni porozna in relativno gladka. Na sliki 5 je shematično prikazan mehanizem črpanja zraka.



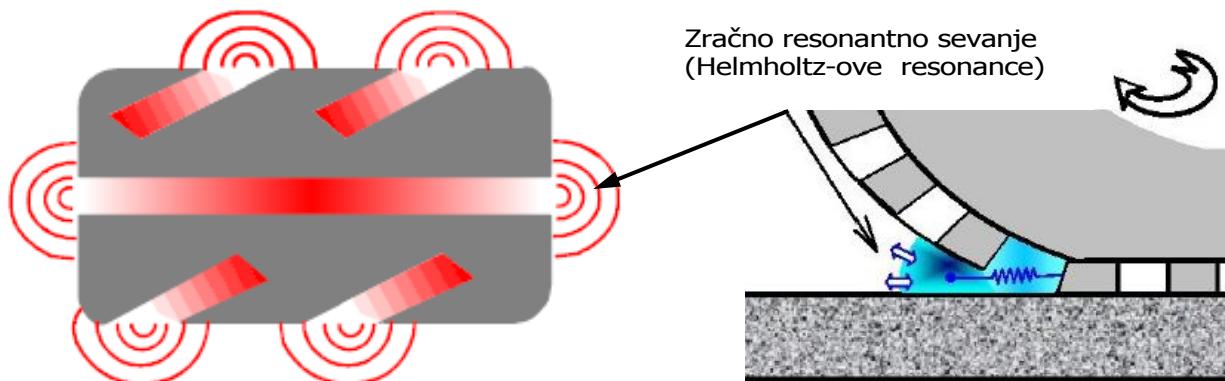
Slika 5: Črpanje zraka

Helmholtz-ova resonanca lahko poveča ta hrup. Ukrep za zmanjšanje omenjenega hrupa je v podlagi vozne površine (npr. porozna površina) s katero razpršimo zrak, ki je ujet v žlebovih.

2.2.4 Helmholtz - no resonančno širjenje in cevna resonanca

Helmholtz-ove resonance se pojavijo ob zapuščanju (zadnjem delu) pnevmatike s podlago. Volumen zraka v luknji deluje kot vzmetna resonanca z maso zraka v »grlu« med luknjo in zunanjim zrakom (glej sliko 6). Ko se pnevmatika kotali, grlo spreminja svojo obliko. Od tod sledi, da resonance spreminjajo frekvence. To pa vodi v obstoj tonskih izbruhov za vsako luknjo posebej. Za pnevmatike s prečnimi žlebovi ta efekt povzroča celotno emisijo hrupa. Predvideva se, da se podoben efekt lahko zgodi v votlinah podlage, vendar njihova velikost ni pomembna za resonančno frekvenco.

Cevna resonanca nastaja natanko proti stoječim valovom v žlebovih pnevmatike. Resonančni zvok ima dolžino vala dvakratna dolžina cevi, v primeru, da imamo cev odprt na obeh koncih. Če pa imamo odprtino le na enem koncu odprt je dolžina vala štirikratna dolžina cevi. Vsaka površina v kontaktu z gladko vozno površino ustvarja sistem cevnih rezonatorjev. Njihova resonančna frekvanca je odvisna od geometrijskih karakteristik kolesa, vendar ne od hitrosti rotirajočega se kolesa.



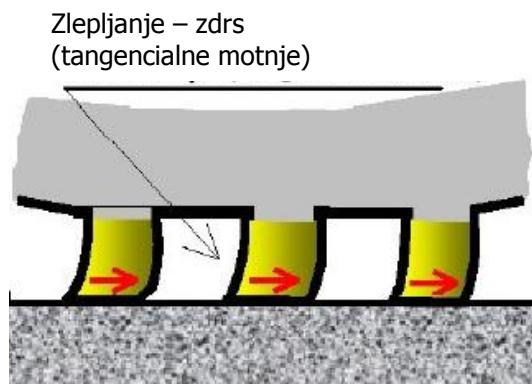
Slika 6: Spodnji pogled pnevmatike: resonance in Holmholz-ovi rezonatorji

2.3 TORNOSTNI PROCESI

2.3.1 Zlepiljanje - zdrs

Zlepiljanje – zdrs ali trenjske vibracije so povzročene zardi vibracij pnevmatike združene z trenjskimi silami na kontaktu med pnevmatiko in vozno površino. Ko se pnevmatika na kontaktni površini splošči nastane spremenjen radij pnevmatike, ki ustvarja tangencialne sile (horizontalne) med pnevmatiko in cesto (slika 7). Omenjene sile se upirajo trenju, togosti pnevmatiki in preostalim silam, ki se razgubijo ob zdrsu pnevmatike po vozni površini. Trenje med pnevmatiko in vozno površino je razdeljen na histerezno in adhezijsko komponento trenja. Komponenta adhezije nastane na molekularni ravni in zelo vpliva na stopnjo karakteristike fine hrapavosti ali ostrine vozne površine. Pri drsenju med pnevmatiko in vozno površino adhezijske vezi, ki se ustvarijo med njima, se pretrgajo in razpadajo tako, da med njima ni več kontakta. Rebro pnevmatike je s tem prosto tako, da lahko zdrsne po vozni površini. Ponovno je vzpostavljen kontakt, ko so upirajoče se sile izničene. Histerezne sile se nanašajo na fenomen povečanja, ki prav tako sodeluje pri drsenju po podlagi. Na kontaktu med rebrom pnevmatike in podlago nastane okoli ostrih zrn na vozni površini

pritisk, ki je po velikosti simetričen na obe strani zrna. Ko se zgodi zdrs, rebro pnevmatike povzroči na sprednji strani podlage neenakomerno nalaganje in začne zavirati kontakt na padajočem nagibu zrna v podlagi. To pripomore k dvigu nastanka nesimetričnega pritiska in mrežnih sil, katere se upirajo motnjam zdrsa. Pri velikih hitrostih je ta mehanizem bolj izrazit. Histerezna komponenta trenja med pnevmatiko in vozno površino se velikokrat kontrolira z ostrino podlage, katera vsebuje teksturo dolžine vala v odvisnosti od velikosti zrna materiala, ki je v podlagi. Vibracije nastanejo v kombinaciji zdrsa elementov s podlago, kot izguba adhezije na kontaktu podlage in nato nastanku histereznih trenjskih sil, ki povzročajo deformacije pnevmatike. To doprinese do procesa zlepjanja - zdrs na naležni površini in vibracij na pnevmatiki. Vibracije na pnevmatiki s tem mehanizmom povzročajo hrup, kateri pa je odvisen od hitrosti drsenja elementov po podlagi.



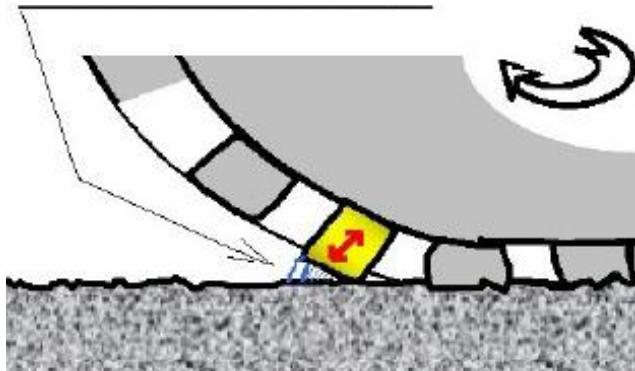
Slika 7: Zlepjanje – zdrs

2.3.2 Adhezija zlepjanja - odtrganja

Proces zlepjanja – odtrganja nastane takrat, ko postane naležna podlaga lepljiva (npr. zimske pnevmatike pri visokih temperaturah) in ko je vozna površina zelo čista. Zaviranje zaradi adhezijskih vezi med pnevmatiko in cesto povzroča vibracije in mogoče nastane občasen pretok zraka skozi odprto režo. Vsekakor se pnevmatike lahko zlepijo z vročim asfaltom. V tem primeru adhezivne vezi postanejo močnejše to pa vodi k povečanemu trošenju gume na zadnjem robu pnevmatike. Predvideva se, da je efekt vpliv elektromagnetnega fenomena med pnevmatiko in podlago. Do sedaj omenjeni proces ni prinesel pomembnega nivoja hrupa glede na ostale procese.

Kontakt med pnevmatiko in vozno površino povzroči adhezijo med njima. Ko zapišča rebro pnevmatike kontaktno površino adhezivna sila drži kot je prikazano na sliki 8. Ko se sprosti rebro in podlaga nastane energija zvoka in vibracije na obodu pnevmatike.

Adhezija »zlepljanje – odtrganje«



Slika 8: Adhezija

2.4 PROCES PRENAŠANJA

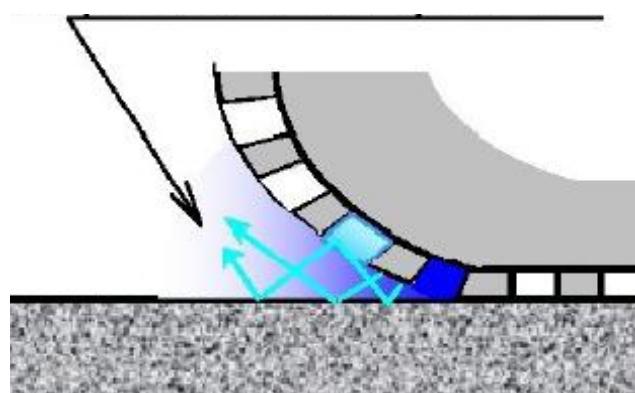
2.4.1 Efekt roga

Vozna površina in površina pnevmatike posnema votlino, ki se obnaša kot rog. Oddajanje zvoka na kontaktu med pnevmatiko in vozno površino ima za posledico efektivnejše širjenje. Proses je osredotočen na osnovi dveh kvalitet zvoka:

- povečan nivo tlaka in
- skupno povečanje moči širjenja zvoka.

Najdaljše povečanje, ki je bilo predstavljeno, privede v območja 2 kHz. Na sliki 9 je shematično predstavljen povečan efekt roga.

Povečan efekt roga



Slika 9: Efekt roga

2.4.2 Absorpcija

V splošnem širjenje hrupa od povzročitelja z razdaljo v prazen prostor zvok zmanjšuje s koeficientom oslabitve, ki pa je odvisen od oblike pred valom. Za idealizirano akustično točko nastanka hrupa se zvočni valovi širijo. Čeprav vozila ne moremo opisati kot idealno akustično točko nastanka hrupa, lahko podobna oslabitvena funkcija doseže ob relativno dolgi razdalji od ceste za izoliran vozilo hrup, ki se širi kot odraz močnega odboja od tal. Princip geometičnega širjenja energije zvoka je lahko pomemben takrat, ko se zgodijo odboji od tal. Ko imamo vozno površino porozno je potrebno upoštevati dodatne faktorje pri izračunu ravni hrupa. Na poroznih voziščih se energija zvoka absorbira na površini ceste v pore vozišča. Zvok uhaja v zgornje plasti voziščne konstrukcije, kjer se delno širi in absorbira. Absorpcija pomeni, da se energija zvoka preoblikuje v termično energijo. Pri cestah se to odraža kot:

- efekt izgube viskoznosti, ko tlačni valovi pritiskajo zrak pri izhodu votline v podlagi ceste,
- termo - elastično vlaženje.

Porozna vozna površina ne absorbira vsega nastalega zvoka. Absorpcija je predvsem odvisna od frekvence in od parametrov:

- debeline sloja,
- hrapavosti in
- poroznosti.

Če nadaljujemo, absorpcija je odvisna tudi od kota pojava zvočnih valov na vozni površini.

Element, ki prikazuje absorpcijo je tudi Helmholtz resonator v vozni podlagi. Resonator lahko deluje kot absorber takrat, ko je pri resonančni frekvenci vsa prisotna energija absorbirana.

2.4.3 Usmerjenost vira hrupa

Pnevmatike niso sferično oblikovan vir hrupa, ampak je sestavljen iz več virov. Vemo pa, da emisija hrupa ni razpršena na vse strani. Raven hrupa pred pnevmatiko je približno za 1 dB(A) večji kot nivo zadaj za pnevmatiko. Razlike so verjetno v fenomenu »zlepljanje – odtrganje«. Vemo, da je širjenje hrupa s strani manjše kot zadaj za pnevmatiko. Razlika je bolj očitna pri gladki podlagi in manj pri porozni površini.

3.0 ZAKLJUČEK

V ceste so vložena zelo velika finančna sredstva. Zato jih je potrebno ohraniti v stanju, ki bo omogočilo varno, udobno in gospodarno uporabo. Problem, kot je hrup, to onemogoča. Omenjen problem širjenja hrupa med pnevmatiko in vozno površino ne moremo popolnoma preprečiti, lahko pa ga zmanjšamo vendar, če to želimo narediti, je potrebno poznati njihovo vedenje.

Vsi fizikalni procesi *mehanični, aerodinamični, tornostni, širitveni* vplivajo na širjenje hrupa.

Ugotovljeno je, da se glavne povzročiteljice širjenja hrupa, ki privedejo do neugodnih visokih frekvenc naslednji procesi:

- vibracije na pnevmatiki (predvsem ogrodne),

- črpanje zraka,
- Helmholtz-ovo resonančno širjenje in
- efekt roga.

Kombinacija vseh naštetih procesov je najbolj neugodna. Potrebno je poudariti, da vpliva na intenziteto omenjenih procesov pri nastanku hrupa:

- hitrost vozila,
- lastnost pnevmatike in obrabne plasti na vozišču.

Z uporabo omenjenih spoznanj o mehanizmih nastajanja hrupa med pnevmatiko in vozno površino se izboljšujejo predvsem sestave voznih površin, ki absorbirajo hrup.

4.0 LITERATURA

- [1] Žmavc J., Gradnja cest: voziščne konstrukcije, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Ljubljana, 1997
- [2] W. van Keulen, M . Duškov, Inventory study on basic knowledge on tyre/road noise, Delft, Nizozemska, oktober 2005
- [3] Robert Bernard, Roger L. Wayson, “An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement”
- [4] Sandberg U., Ejsmont J.A., “Tyre/road noise reference book”, Informex, Kisa, Sweden, 2002 (www.informex.info)