

MERENJE VIBRACIJA





Potvrda da frekvencije i amplitude vibracija ne prekoračuju granice postojanosti materijala od koga je napravljen određeni mašinski element.

Izbegavanje pobuđivanja rezonanse kod pojedinih delova mašine.

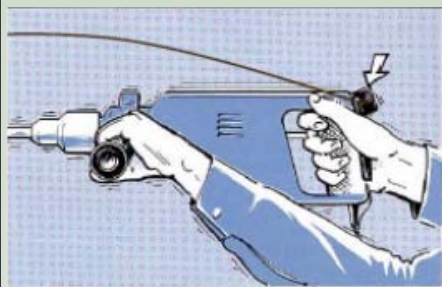


Prigušenje vibracija ili izolovanje izvora vibracija.

Pravilno održavanje mašina praćenjem njenog stanja.



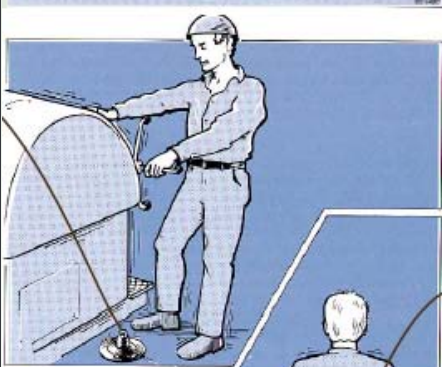
Izrada i verifikacija kompjuterskih modela mašinskih konstrukcija (modalna analiza sistema).



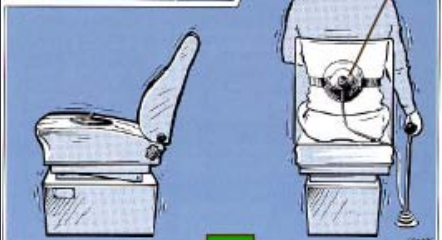
Potvrda da frekvencije i amplitude vibracija ne prekoračuju dozvoljene vrednosti za izloženost čoveka vibracijama koje deluju preko sistema šaka/ruka.



Procena rizika od nastajanja vibracionih bolesti.



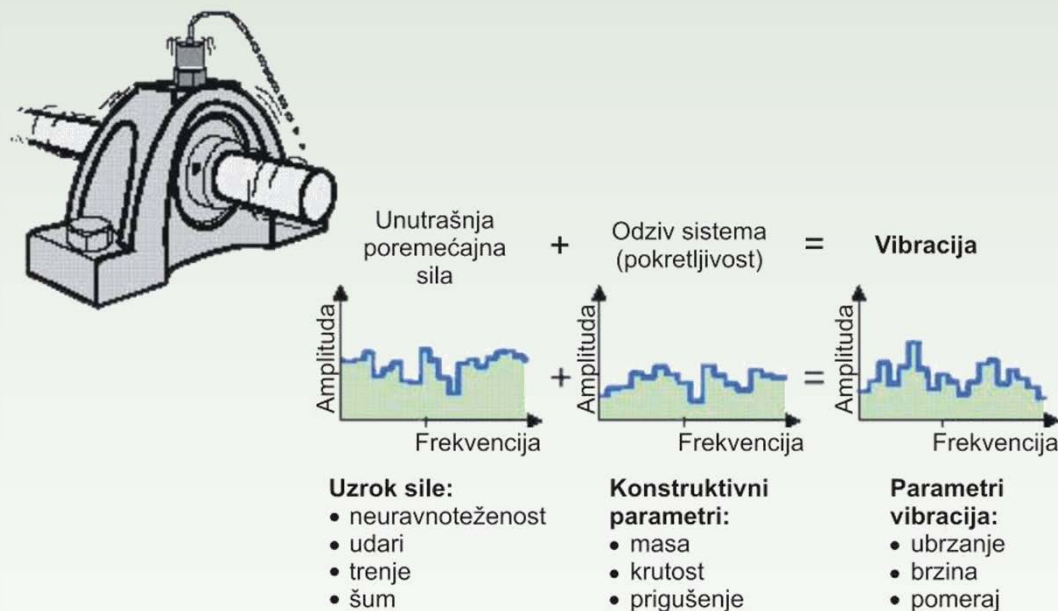
Potvrda da frekvencije i amplitude vibracija ne prekoračuju dozvoljene vrednosti za izloženost čoveka vibracijama koje deluju na celo telo čoveka.



Procena rizika od nastajanja vibracionih bolesti.

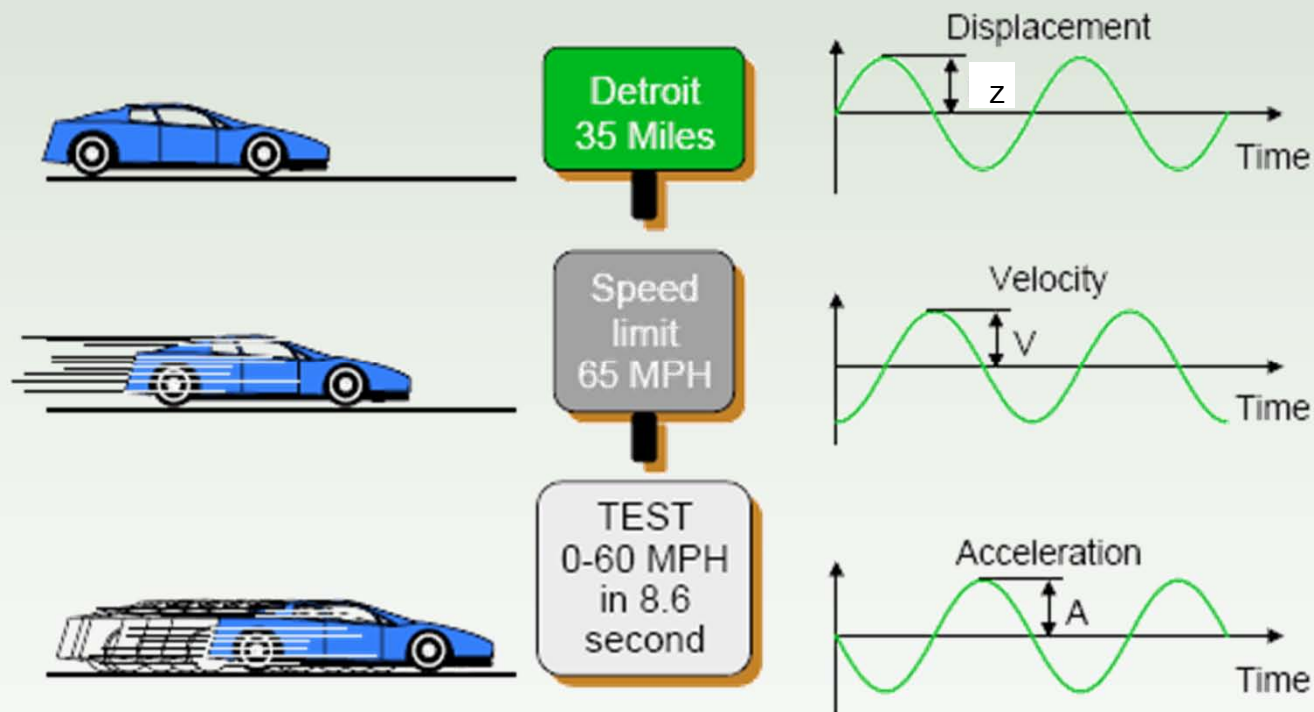
- Merenje vibracija često predstavlja kompromis.
- Neposredno merenje sile koja stvara vibracije, što bi bilo najpoželjnije, je nemoguće. Iz tog razloga se prilikom sprovođenja analize vrši merenje odziva sistema (posledica) na dejstvo sile, koji u stvari predstavlja vibracije.

- Odziv sistema određen je pokretljivošću sistema koja zavisi od konstruktivnih parametara sistema.

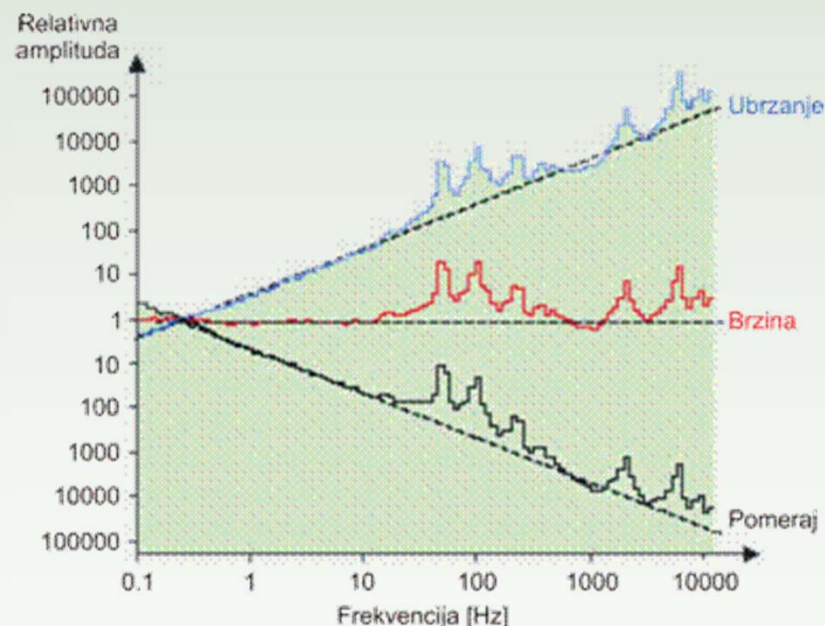


► Osnovne veličine koje se koriste za merenje i opisivanje vibracija su:

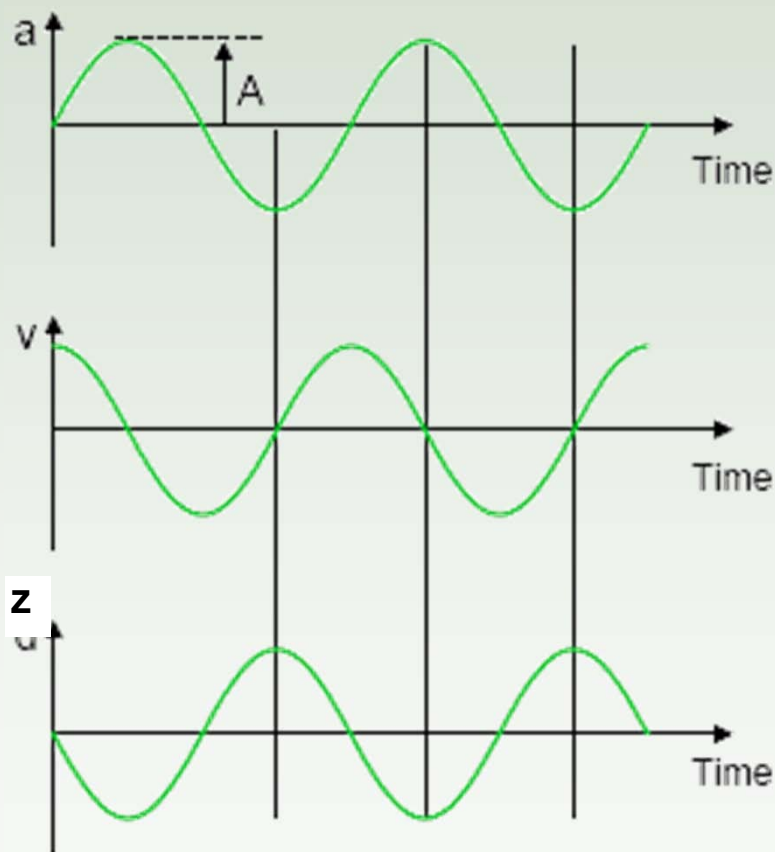
- ⊕ pomeraj z [m]
- ⊕ brzina v [m/s]
- ⊕ ubrzanje a [m/s²]



- Ukoliko vrsta merenja koje se izvodi ne zahteva merenje posebnog parametara, npr. zbog zahteva nekog standarda, opšte je pravilo da treba izabrati parametar koji ima najpravniji odziv u posmatranom frekvencijskom opsegu.
- U slučaju da frekvencijski odziv nije poznat, merenje treba startovati merenjem **brzine**.
- Akcelerometar kao pretvarač daje ubrzanje, ali se ostali parametri mogu odrediti integraljenjem.



- Ukoliko je poznati parametar **ubrzanje**, druga dva parametra mogu se jednostavno odrediti jednostrukim ili dvostrukim integraljenjem signala ubrzanja.



$$a = A_a \sin \omega t$$

$$a = A_a$$

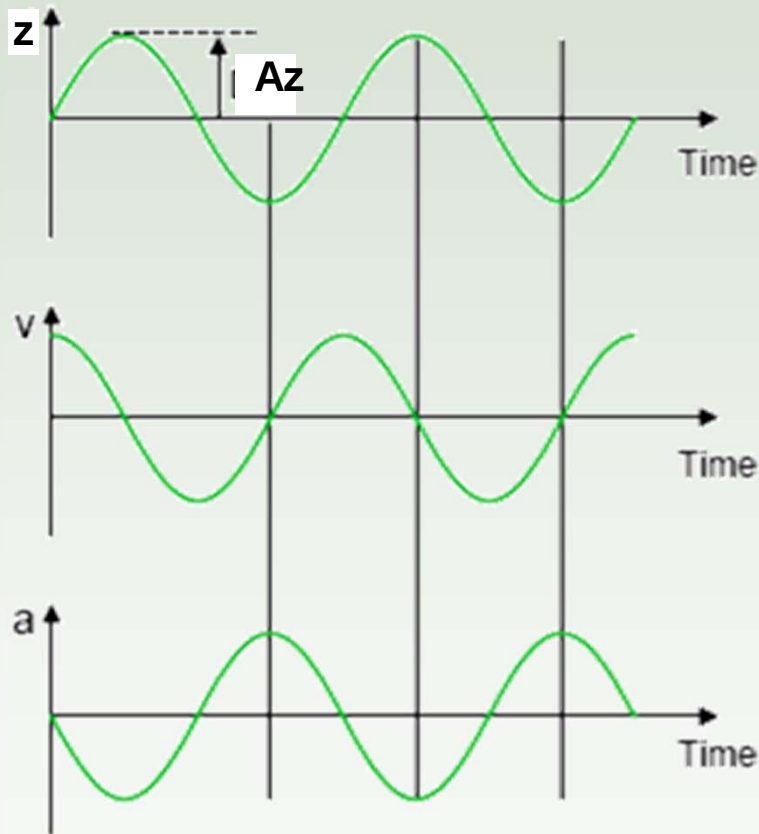
$$v = \int a dt = -\frac{A_a}{\omega} \cos \omega t$$

$$v = \frac{A_a}{\omega}$$

$$z = \iint a dt dt = -\frac{A_a}{\omega^2} \sin \omega t$$

$$z = \frac{A_a}{\omega^2}$$

- Ukoliko je signal **pomeraja** poznat, ostali parametri mogu se odrediti jednostrukim ili dvostrukim diferenciranjem ovog signala.



$$z(t) = A_z \sin(\omega t - \varphi_0)$$

$$v_{(t)} = \dot{z}_{(t)} = A_z \omega \cos(\omega t - \varphi_0)$$

$$v_{(t)} = A_v \cos(\omega t - \varphi_0)$$

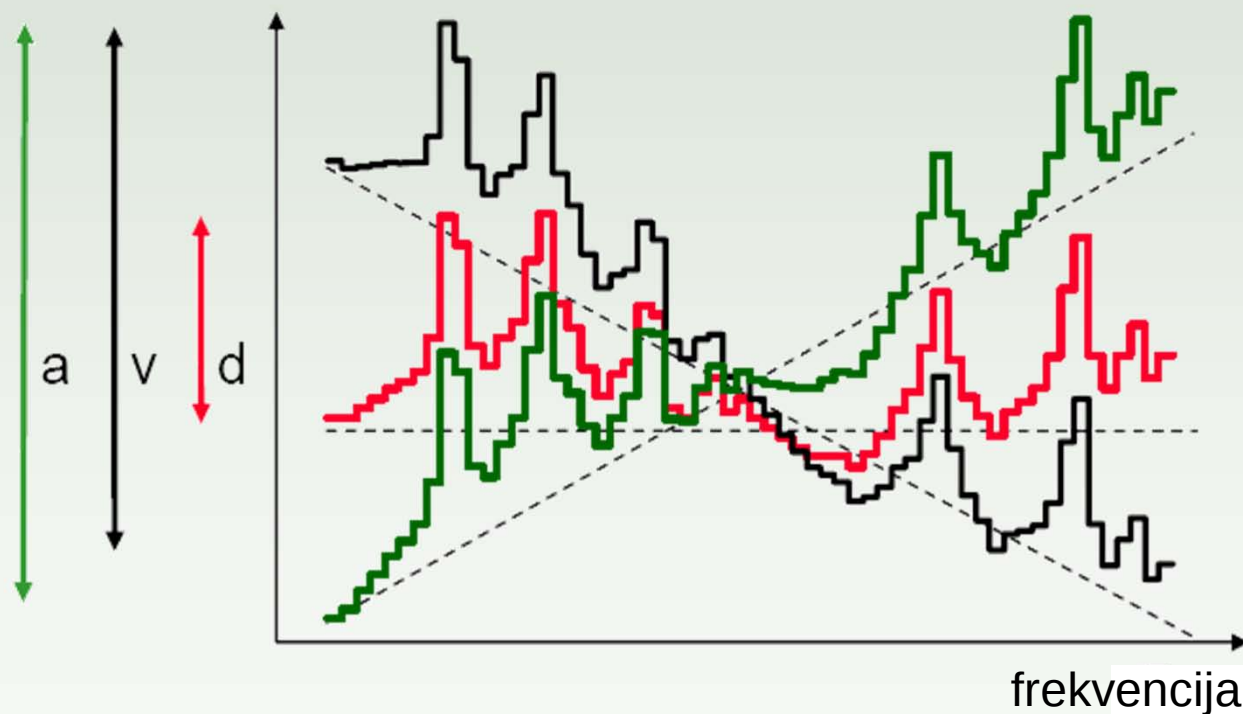
$$A_v = A_z \omega$$

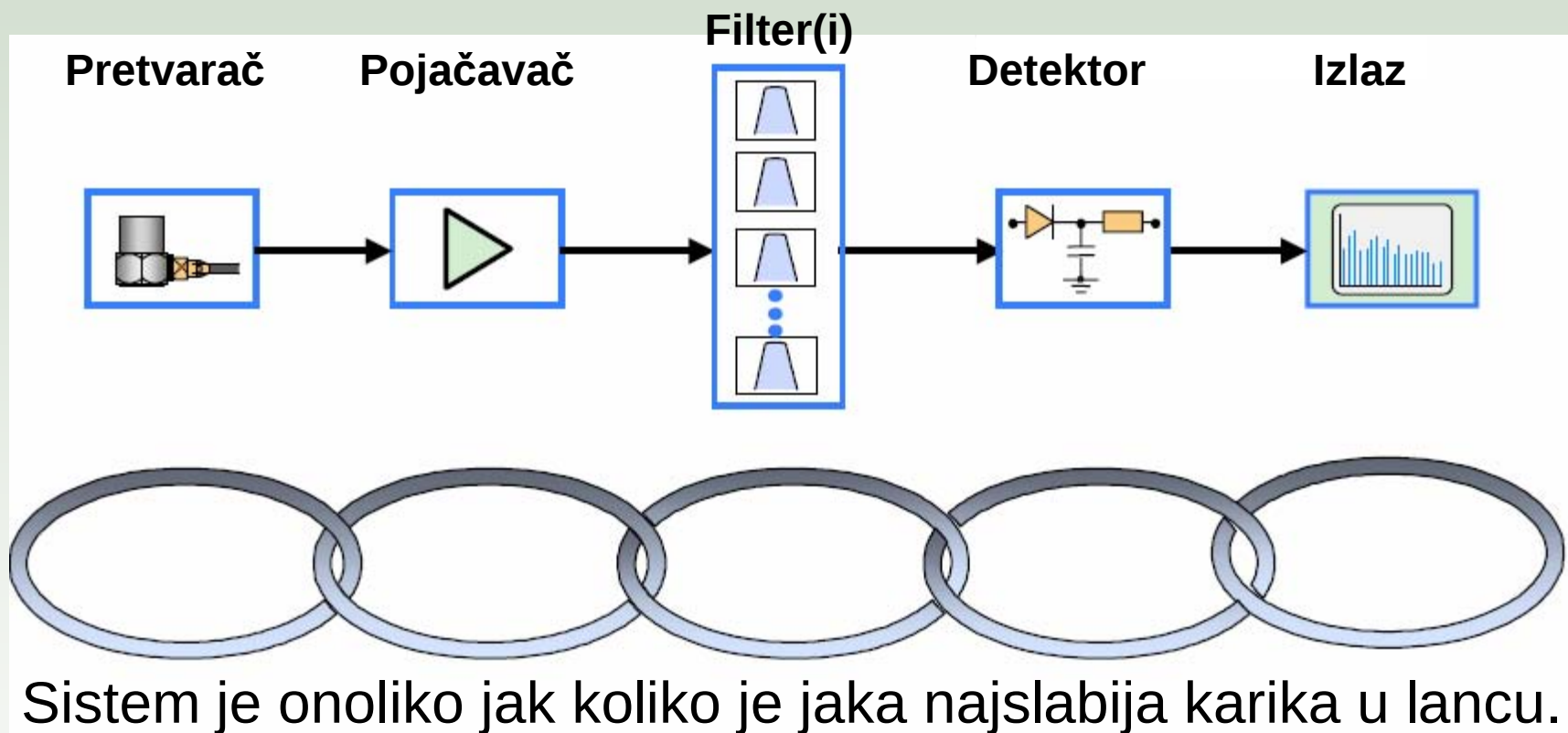
$$a_{(t)} = \ddot{z}_{(t)} = -A_z \omega^2 \sin(\omega t - \varphi_0 + \pi)$$

$$a_{(t)} = -A_a \sin(\omega t - \varphi_0 + \pi)$$

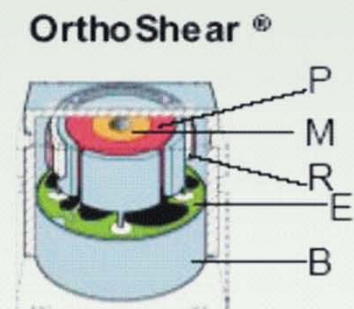
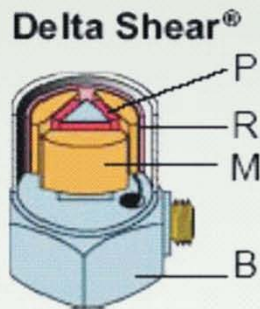
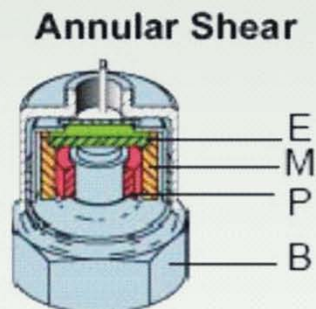
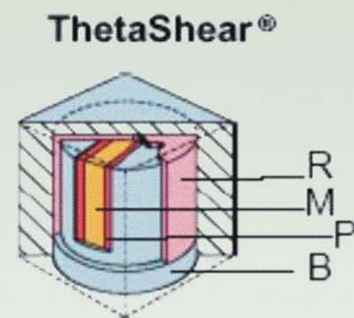
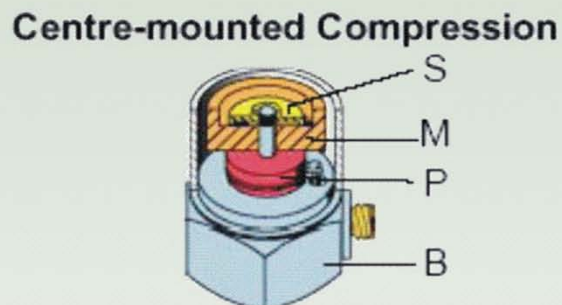
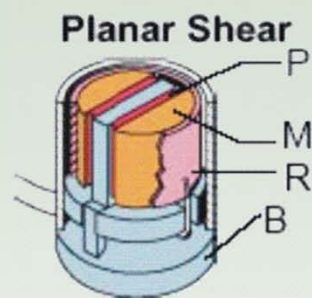
$$A_a = A_z \omega^2$$

- Pri merenju i oceni uticaja vibracija na čoveka standardi preporučuju i definišu ubrzanje kao parametar za merenje i ocenu.
- Granične vrednosti su definisane preko ubrzanja.





- Pretvarač je uređaj koji registruje i prepoznaje fizičku veličinu (vibracije) i vrši njeno pretvaranje u električni izlazni signal koji je srazmeran merenoj promenljivoj veličini.



P: Piezoelektrični elementi

E: Ugrađena elektronika

S: Opruga

R: Vezni prsten

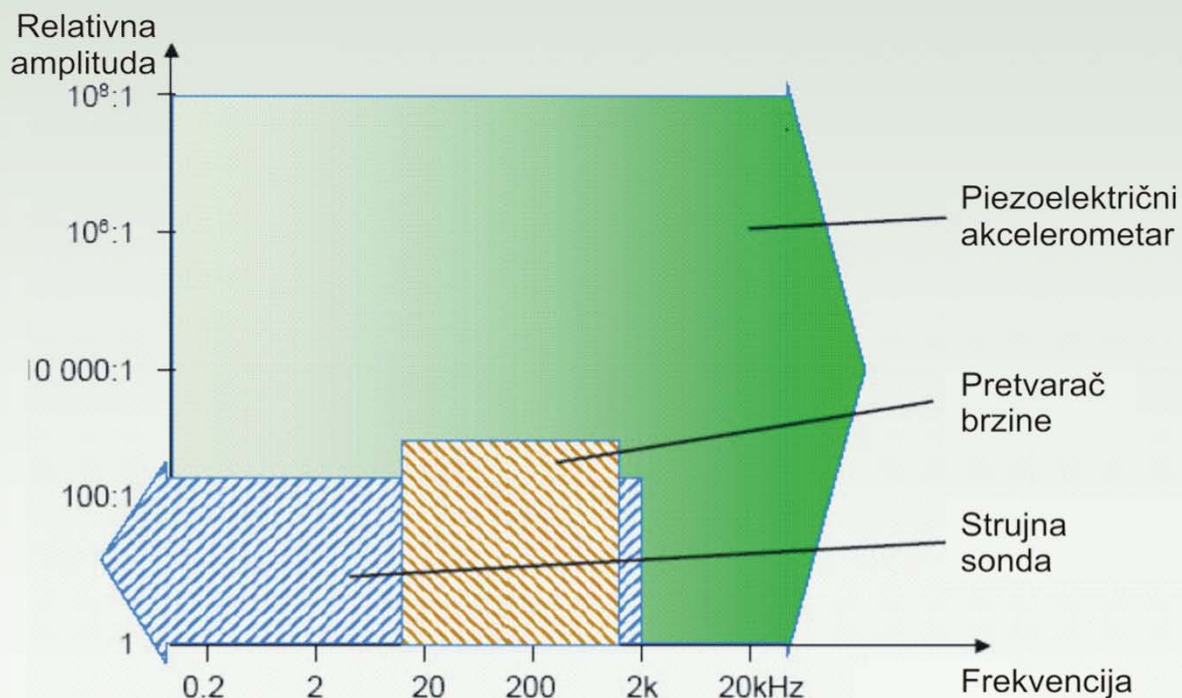
B: Osnova

M: Seizmička masa

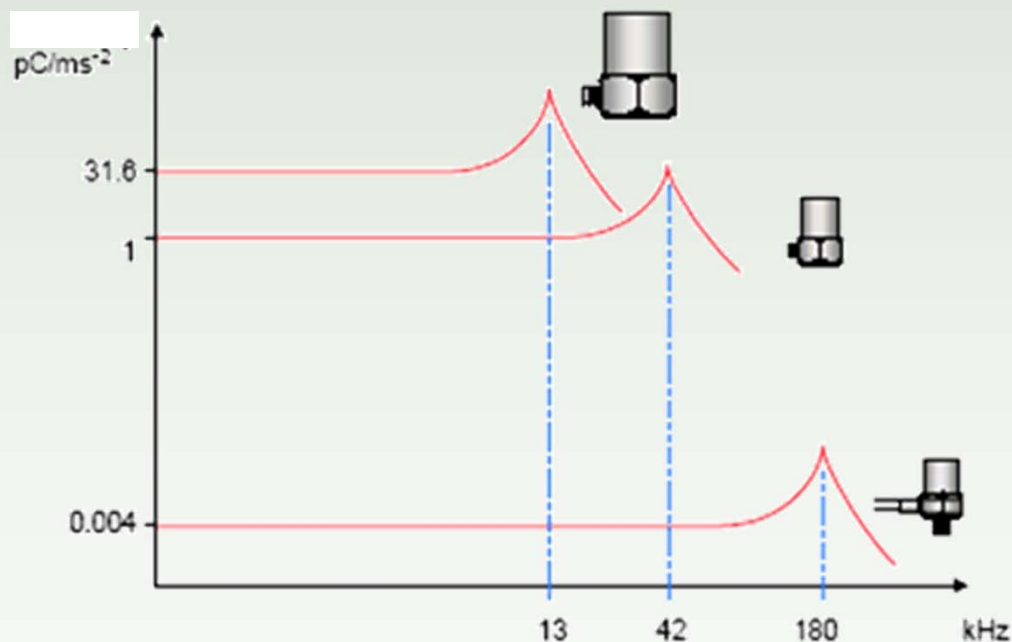
- Tehnike merenja u zavisnosti od parametra vibracija, koji se meri, koriste razne tipove pretvarača koji imaju različite radne opsege:
 - ⊕ za merenje pomeranja - vibrograf, pretvarač naprezanja, kapacitivni pretvarači ili beskontaktni pretvarač
 - ⊕ za merenje brzine - pretvarači sa pokretnim kalemom (elektromehanički) ili piezoelektrični pretvarači
 - ⊕ za merenje ubrzanja – piezoelektrični akcelerator
- Pretvarači pomeraja registruju relativno kretanje između merne tačke i posmatrane površine, dok pretvarači brzine i akceleratori vrše merenja apsolutnog kretanja strukture na kojoj su pričvršćeni.

- Frekvencijski i dinamički radni opsezi pojedinih vrsta pretvarača se značajno razlikuju, što opredeljujuće utiče na izbor pretvarača prilikom merenja vibracija.

Akcelerometar je najčešće korišćeni pretvarač za merenje vibracija.



- Akcelerometri imaju linearan (ravan) odziv u širokom frekvencijskom opsegu od 0.5 Hz do 20 kHz, a neki tipovi akcelerometra i preko 50 kHz.
- Linearan odziv podrazumeva nepromenljivu vrednost osetljivosti akcelerometra.

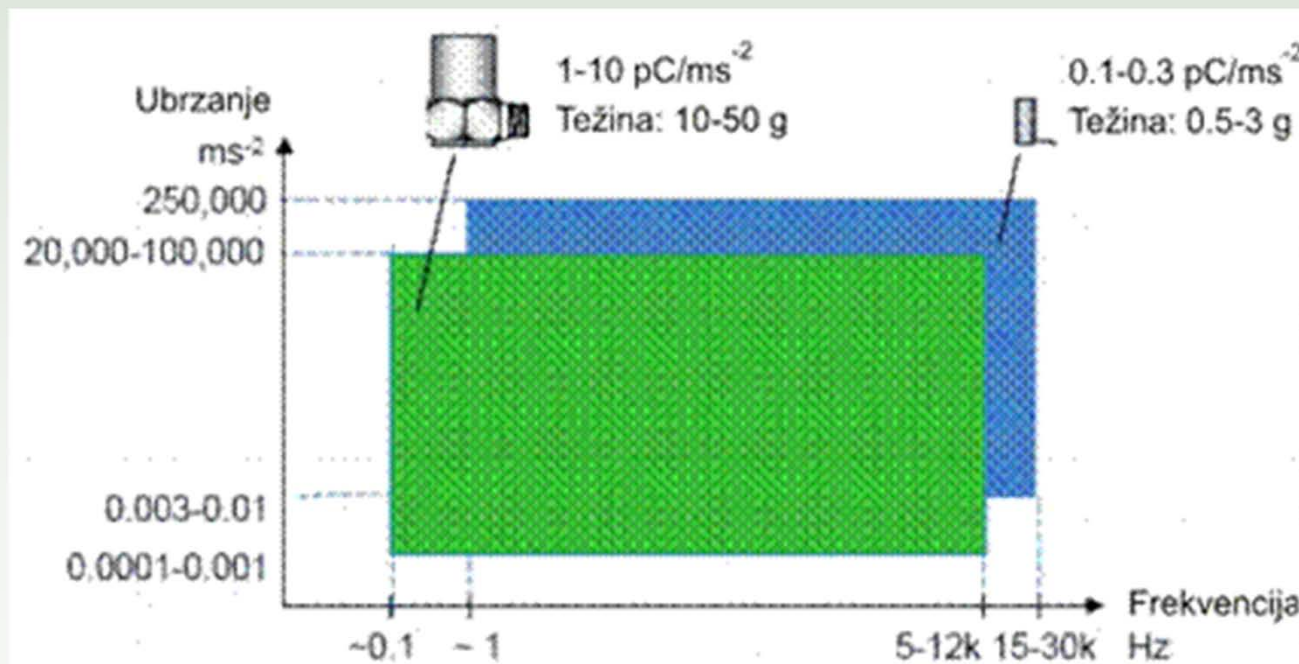


$$s = \frac{Q}{a} \left[\text{pC/ms}^2 \right]$$

Q - naelektrisanje, pC

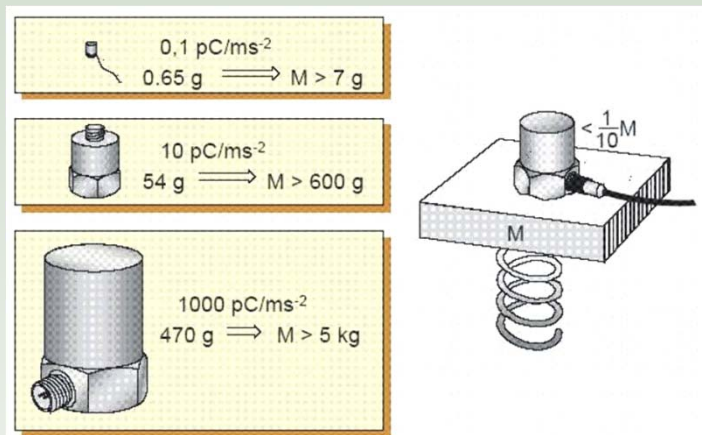
a - ubrzanje, ms^{-2}

- Akcelerometri svojom konstrukcijom mogu registrovati vibracije u opsegu odnosa amplituda od skoro 100 000 miliona prema 1 ($10^{11}:1$).
- Upotrebom decibelske skale ovaj opseg je smanjen na podesnih 220dB.
- Dinamički opseg pojedinačnog akcelerometra uobičajeno iznosi 10^8 .

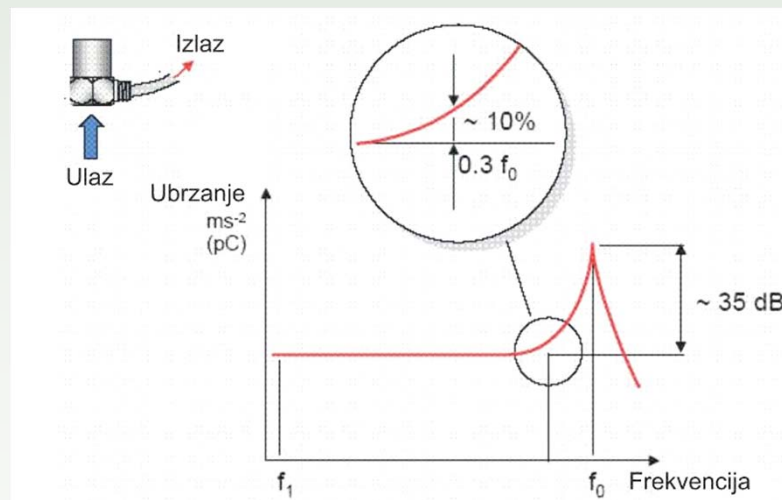


► Pri izboru akcelarometra treba voditi računa da:

- ⊕ masa akcelarometra treba da bude najmanje 10 puta manja od mase objekta čije se vibracije mere



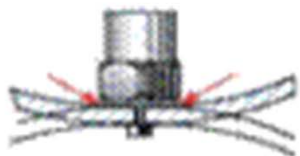
- ⊕ frekvencijski opseg izvora treba da se poklapa sa frekvencijskim odzivom akcelarometra – ne sme se poklopiti sa rezonantnim područjem



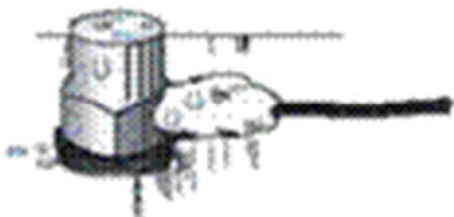
- Pri izboru akcelometra treba voditi računa da:
- ⊕ dinamički opseg akcelometra treba da bude usaglašen sa praćenom pojavom vibracija
 - ⊕ temperatura kontaktne površine na mašini mora da se nalazi u okviru propisanog opsega radne temperature akcelometra; pregrevanje piezokeramičkog materijala dovodi do depolarizacije, a sa tim i do gubitka osetljivosti
 - ⊕ pojave koje se ne odnose na merenje (spoljašnji uticaji), a utiču na rad akcelometra i mogu dovesti do promena u rezultatu merenja, treba sprečiti ili ublažiti u najvećoj mogućoj meri.

Uticaj okoline na rad akcelerometra

- Naprezanje osnove



- Vlažnost



- Buka



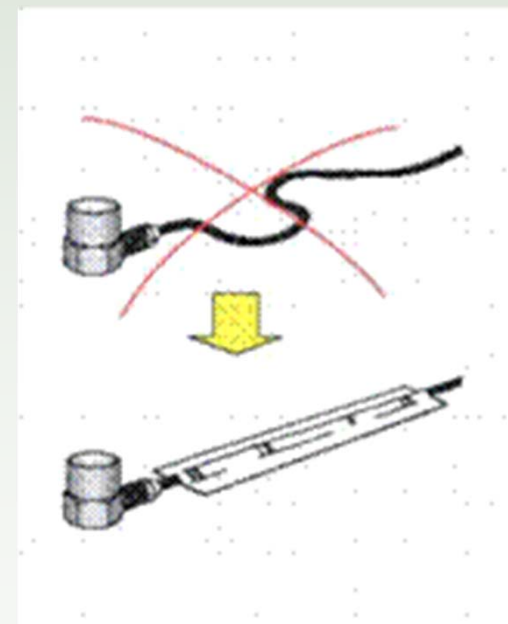
- Korozivni materijali



- Magnetno polje

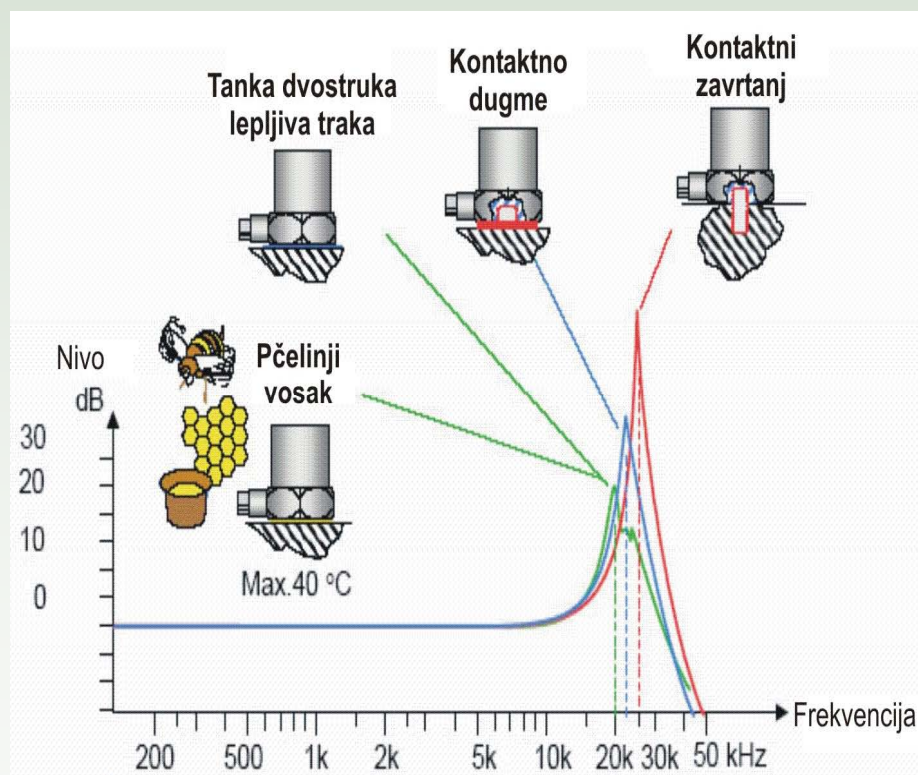


- Radijacija

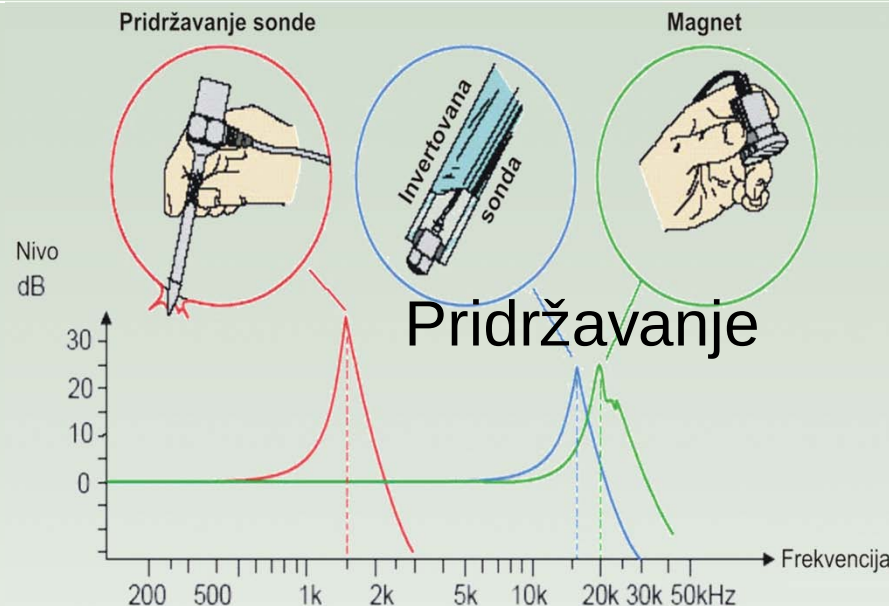
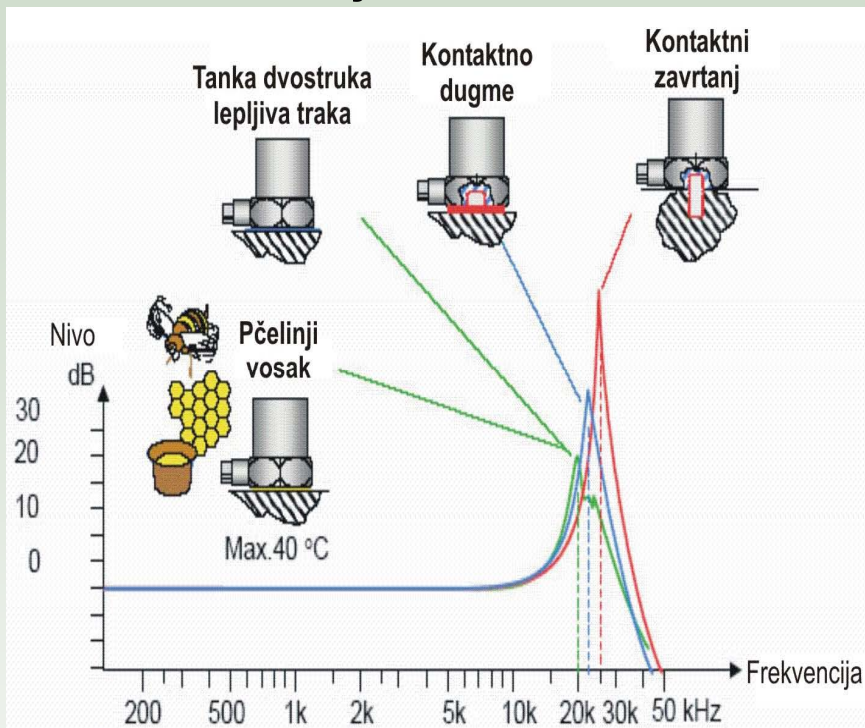


- Pravilno pričvršćivanje akcelometra na objekat koji vibrira ima odlučujući uticaj na rezultat merenja
- Piezoelektrični akcelerometar poseduje najveću osetljivost u pravcu koji je normalan na njegovu površinu.
- Povezivanje akcelometra sa objektom koji izvodi vibracije se na različite načine:

- ⊕ pričvršćivanjem
- ⊕ pridržavanjem
- ⊕ izolavanjem

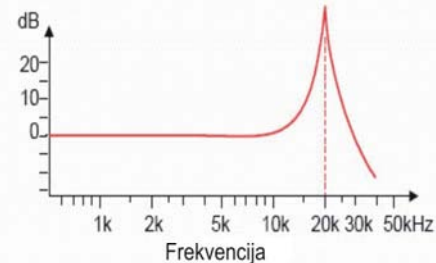
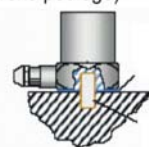


Pričvršćivanje

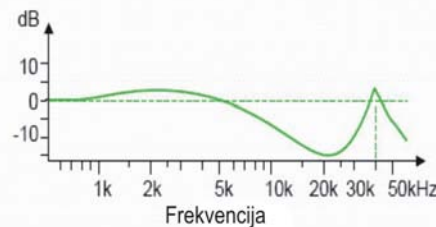
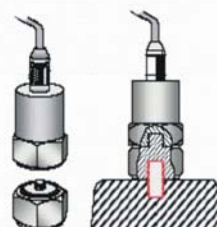


Izolovanje

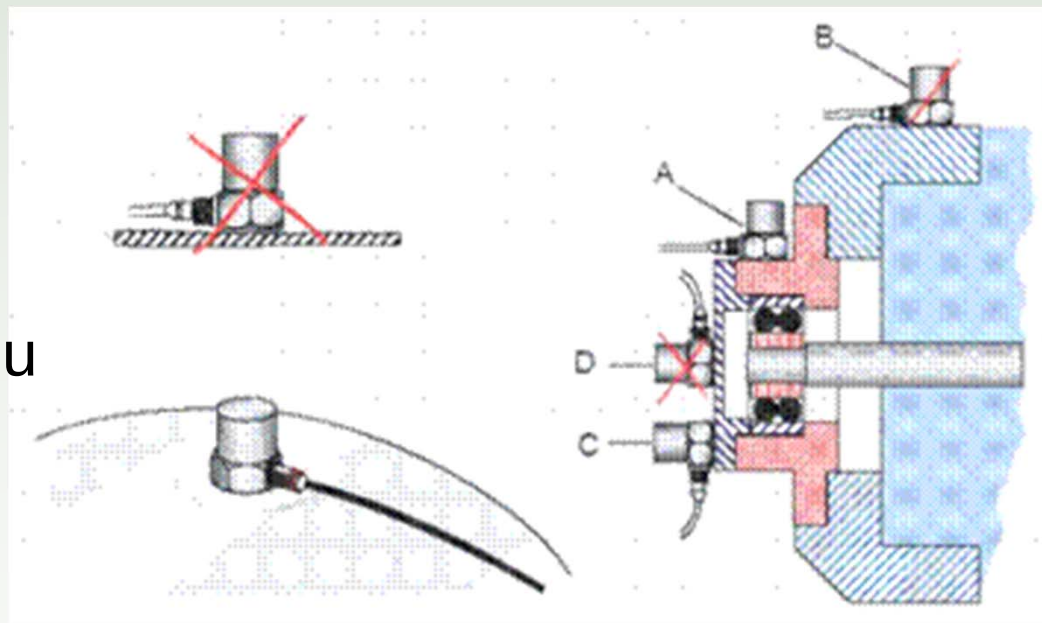
Električno
(sprečavanje pražnjenja preko podloge)



Mehanički filter
(zaštita od jakih udara)

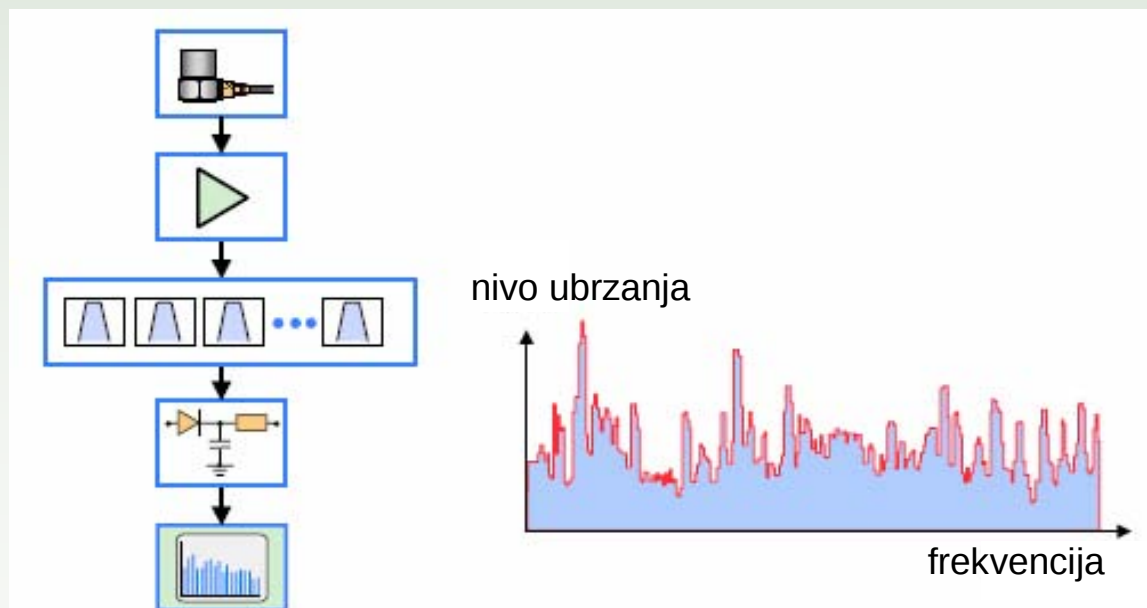


- Određivanje mernog mesta (lokacije) pretvarača vibracija predstavlja kritičan faktor u monitoringu stanja mašina i dijagnostici neispravnosti.
- Pri merenju vibracijama se preporučuje korišćenje više lokacija (mernih tačaka) i pravaca merenja.
- Obavezno merenje vibracija u aksijalnom i u jednom od radijalnih pravaca, obično u onom u kome se očekuje najmanja krutost.



➤ Postupak frekvencijske analize:

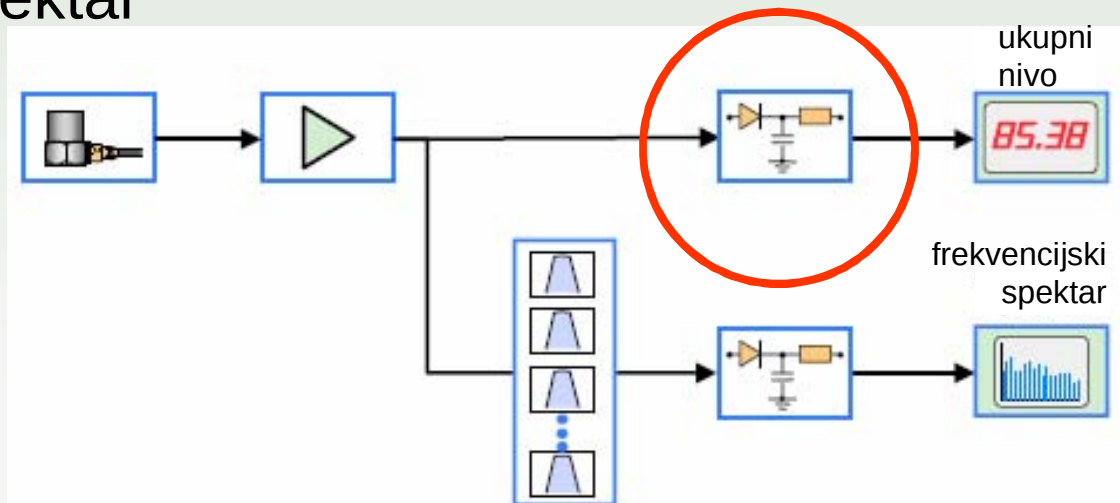
- ⊕ propuštanje signala kroz filter uz istovremenu promenu centralne frekvencije jednog filtra u cilju prekrivanja celog frekvencijskog opsega od interesa (ili istovremenim korišćenjem više filtera), daje veličinu nivoa signala na različitim frekvencijama
- ⊕ rezultat koji se dobija predstavlja frekvencijski spektar.



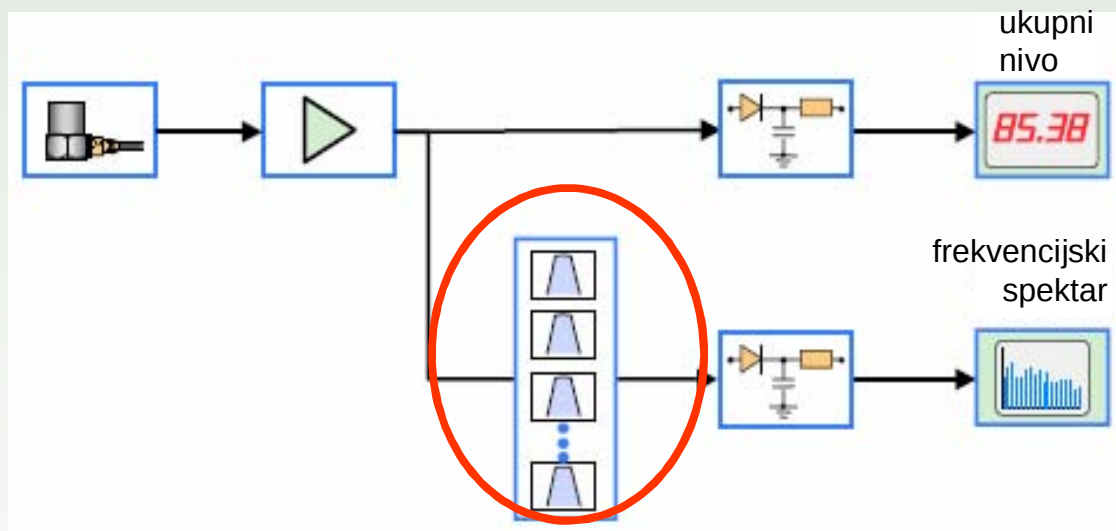
- Najjednostavniji način da se opiše stanje bilo kog sistema je opisivanje jednim brojem.
- Ukupni nivo vibracija se dobija na izlazu RMS detektora, koji daje kao rezultat broj koji izražava energetske nivo vibracija.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

- Takav podatak ne pruža dovoljno mogućnosti za bilo kakvu dijagnostiku, za šta je potrebno mnogo više parametara, pre svega frekvencijski spektar



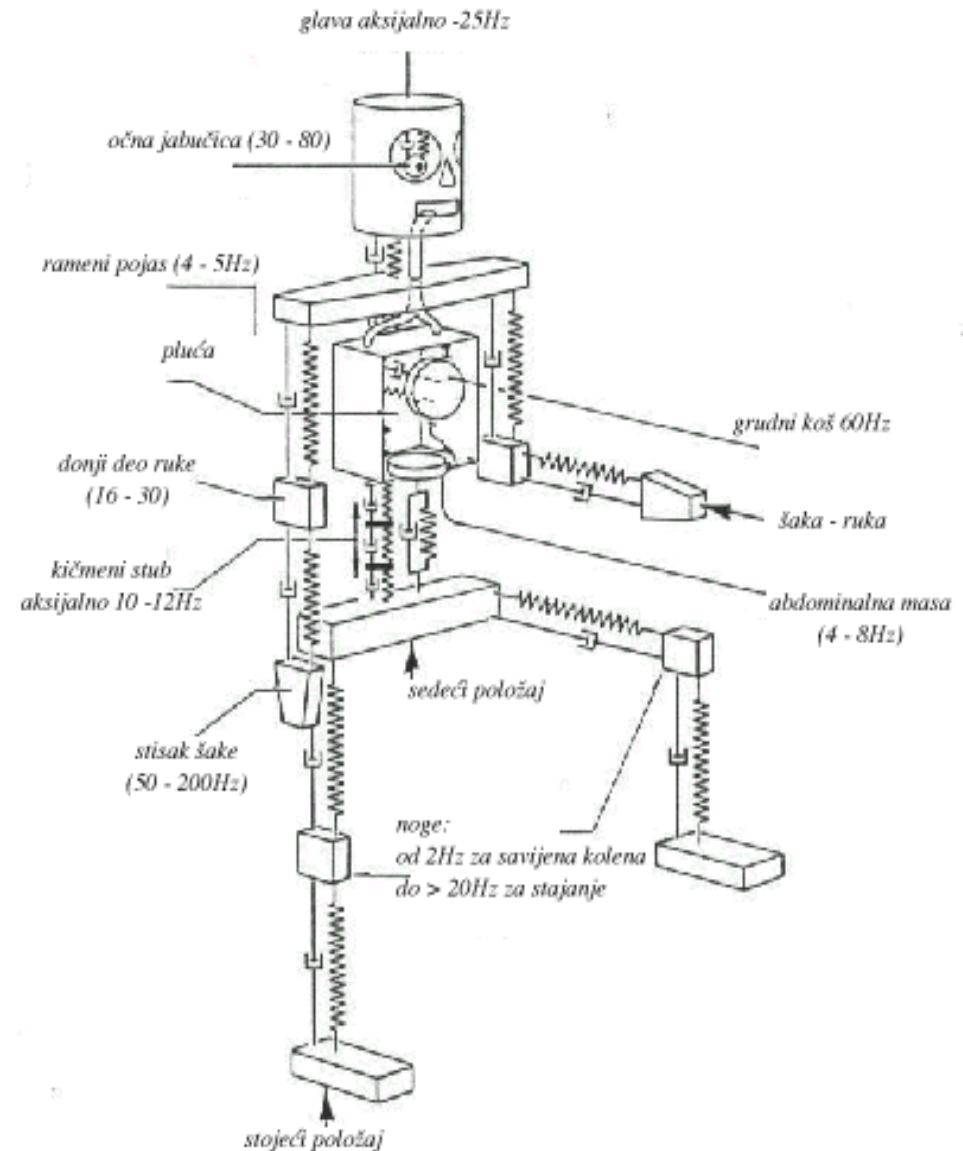
- Frekvencijski spektar u mnogo slučajeva daje detaljnije informacije o izvorima signala, koje se ne mogu dobiti na osnovu vremenskog signala. Time se stvara mogućnost za pravljenje različitih vrsta dijagnostike.
- Frekvencijski sadržaj se može odrediti na više načina - upotrebom filtera ili digitalnom obradom korišćenjem Furijeove transformacije.



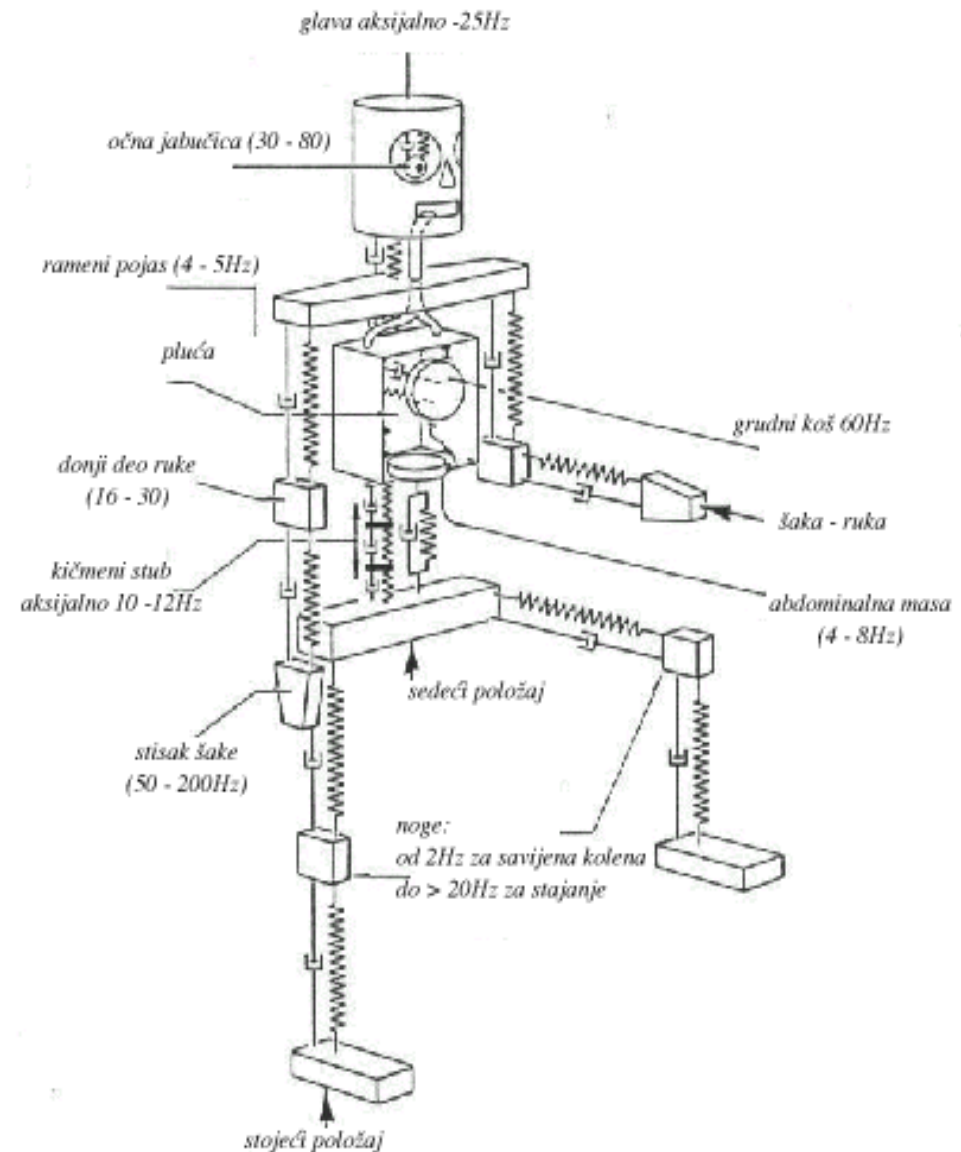
- ▶ Za donošenje odluke da li je dovoljno samo praćenje (monitoring), odnosno ispitivanje ukupnog nivoa, ili je neophodan ceo frekvencijski spektar, inženjer koji sprovodi ispitivanja mora da poznaje mašinu, oštećenja (kvarove) koja se najčešće dešavaju, odnosno koji je deo objekta od značaja za ispitivanje.



- Ljudsko telo se može posmatrati kao mehanički sistem čija je ekvivalentna šema prikazana na slici zajedno sa sopstvenim frekvencijama pojedinih deloga ljudskog tela.
- Kada je telo pobuđeno vibracijama različiti delovi tela vibriraju različitim amplitudama u zavisnosti od sopstvene frekvencije.



- Otuda dejstvo vibracija koje deluju na čoveka mogu da imaju veći značaj ukoliko se pobudna frekvencija poklopi sa nekom od sopstvenih frekvencija.
- Jedan od najvažnijih delova je trbuh koji ima sopstvenu frekvenciju od 0.8 do 8 Hz.



HUMAN VIBRATION - HUMANE VIBRACIJE?

- Vibracije koje deluju na čoveka (HV) definišu se kao efekti mehaničkih vibracija na ljudsko telo.
- Ponekad su ove vibracije prijatne ili informativne (ljudjačka, mobilni telefon, pejdžer, vibromasažer).
- Ponekad su ove vibracije prijatne ili informativne (ljudjačka, mobilni telefon, pejdžer, vibromasažer).



- Ako je izloženost HV one mogu da imaju i štetne efekte na čoveka i njegovo zdravlje (viljuškar, pneumatski čekić, motorne testere i sl.)
- Procenjuje se da samo u **Americi 1.5 miliona** radnika radi sa ručnim vibracionim alatima a da oko **7 milona** radnika rukuje transportnim i drugim pokretnim vozilima koja generišu vibracije.



Hand arm vibration



Vibracije šaka-ruka

Lokalne vibracije koje deluju na pojedine delove ljudskog tela koji su u neposrednom kontaktu sa vibrirajućim sistemom – najčešće je to sistem šaka-ruka.

Whole body vibration



Vibracije celog tela

Opšte vibracije koje deluju na ljudsko telo kao celinu, na celu površinu tela, kada se čovek nalazi u okruženju mašine koja vibrira ili koje mogu da se prenesu na celo telo kroz mesto kontakta odnosno strukturu oslonca.

Morska bolest

Javljaju se tipično na brodovima ili kod automobila sa mekim oslanjenjem
0.1 do 0.63 Hz



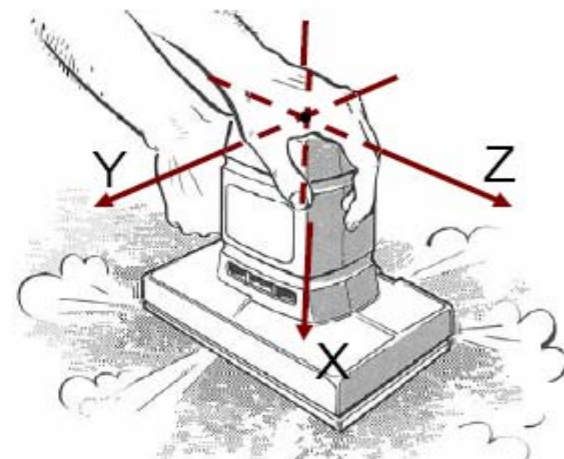
Vibracije celog tela

Javljaju se tipično kod vozila i u zgradama
1 do 80 Hz



Vibracije šaka-ruka

Javljaju se tipično pri korišćenju ručnih alata ili radnih komada
6.3 do 1 kHz



► Standardi za merenje HV

Vibracije celog tela



Vibracije šaka-ruka



► Oba standarda preporučuju merenje terčnih vrednosti ubrzanja vibracija i ukupnih vrednosti vibracija.

- Kao primarni merni parametar za HV koristi se frekvencijski ponderisana efektivna vrednost ubrzanja vibracija:

$$a_w = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i a_i)^2}$$

gde je:

a_w – ponderisana vrednost ubrzanja

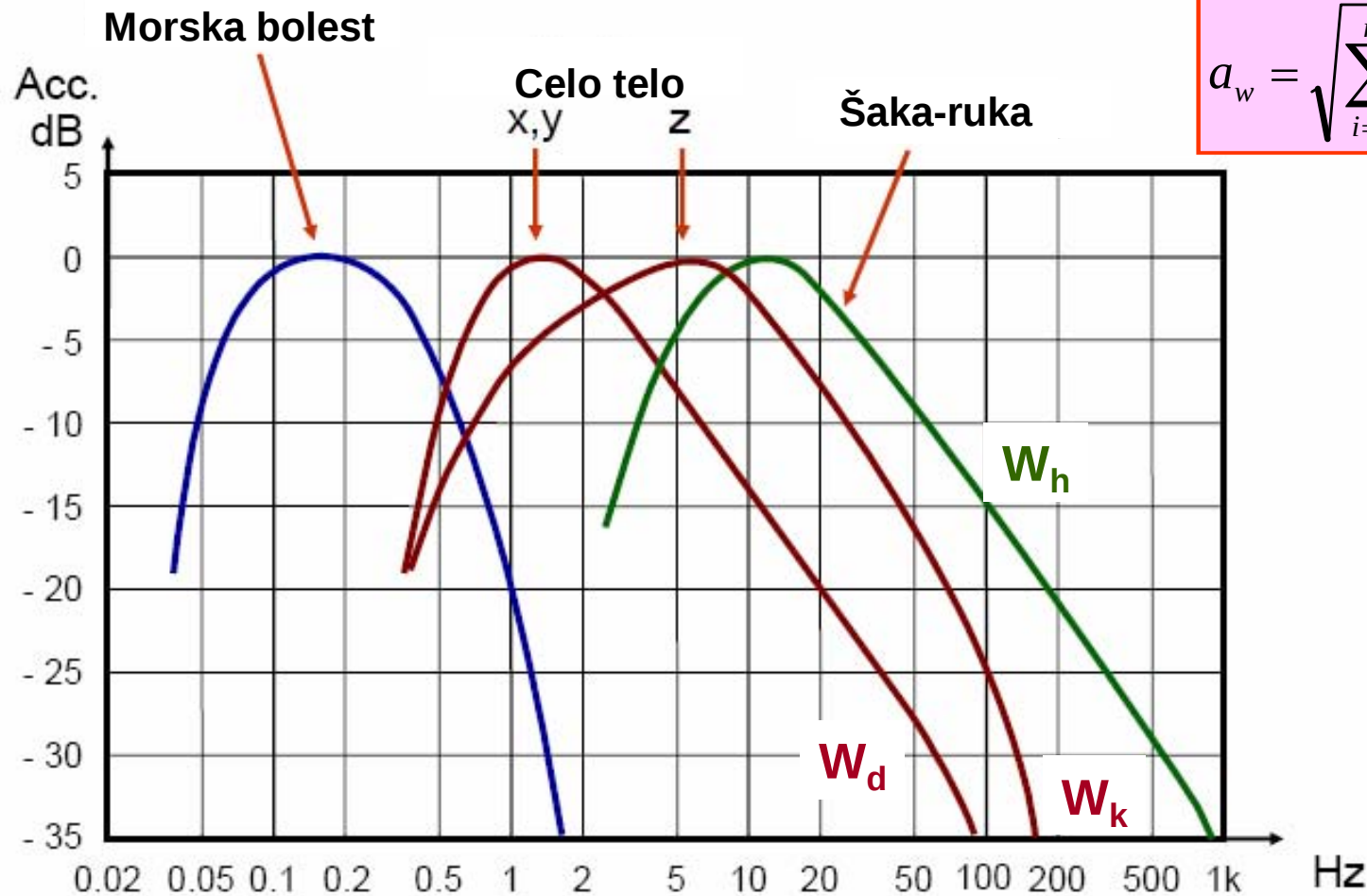
W_i – vrednost ponderacione krive za i -ti terčni opseg

a_i – izmerena efektivna (RMS) vrednost ubrzanja za i -ti terčni opseg

n - broj terčnih opsega

- Za vibracije šaka-ruka ponderaciona vrednost ubrzanja se često obeležava sa a_{wh} jer je ponderaciona kriva označena sa W_h .

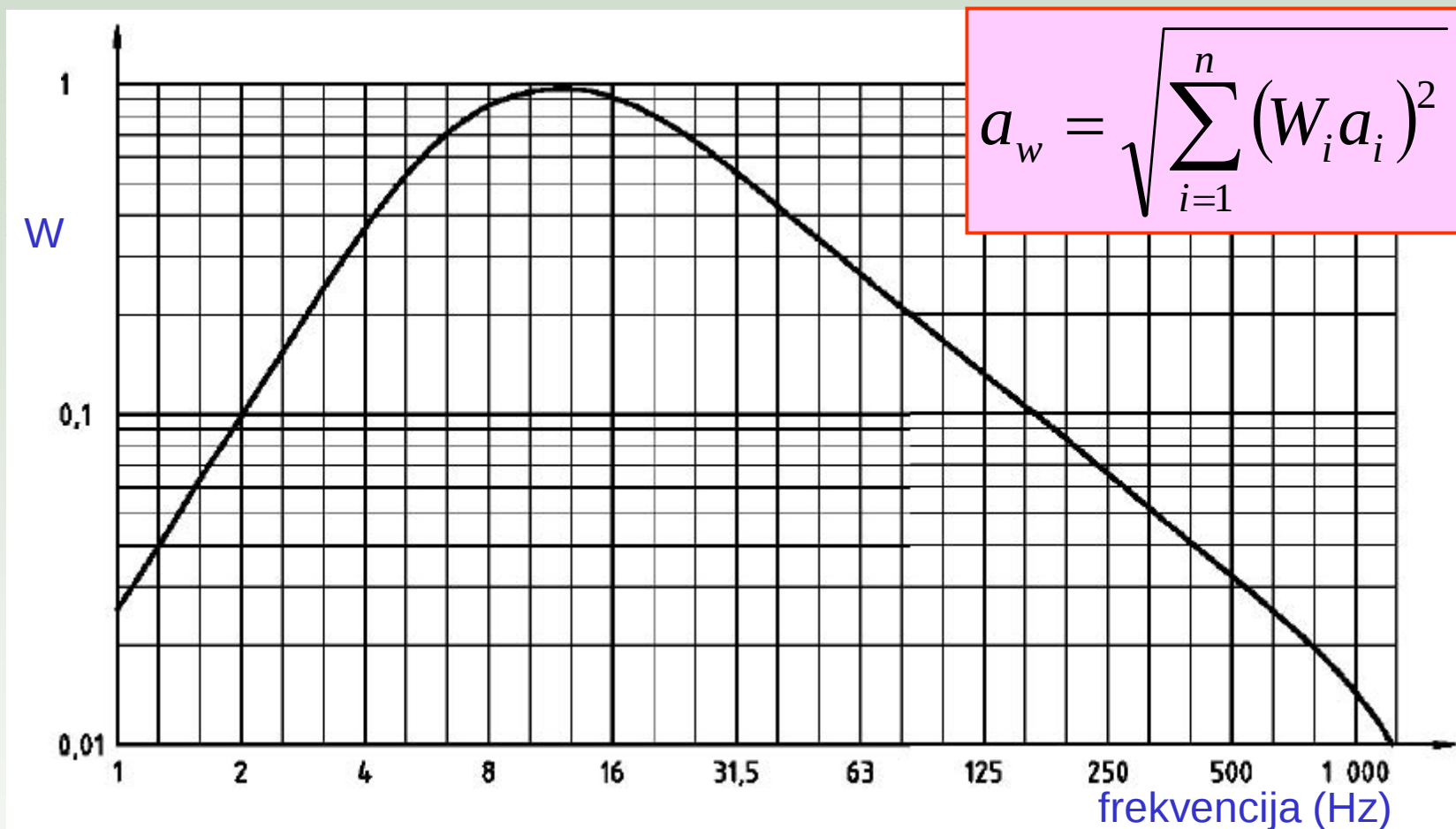
Ponderacione krive



$$a_w = \sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i a_i)^2}$$

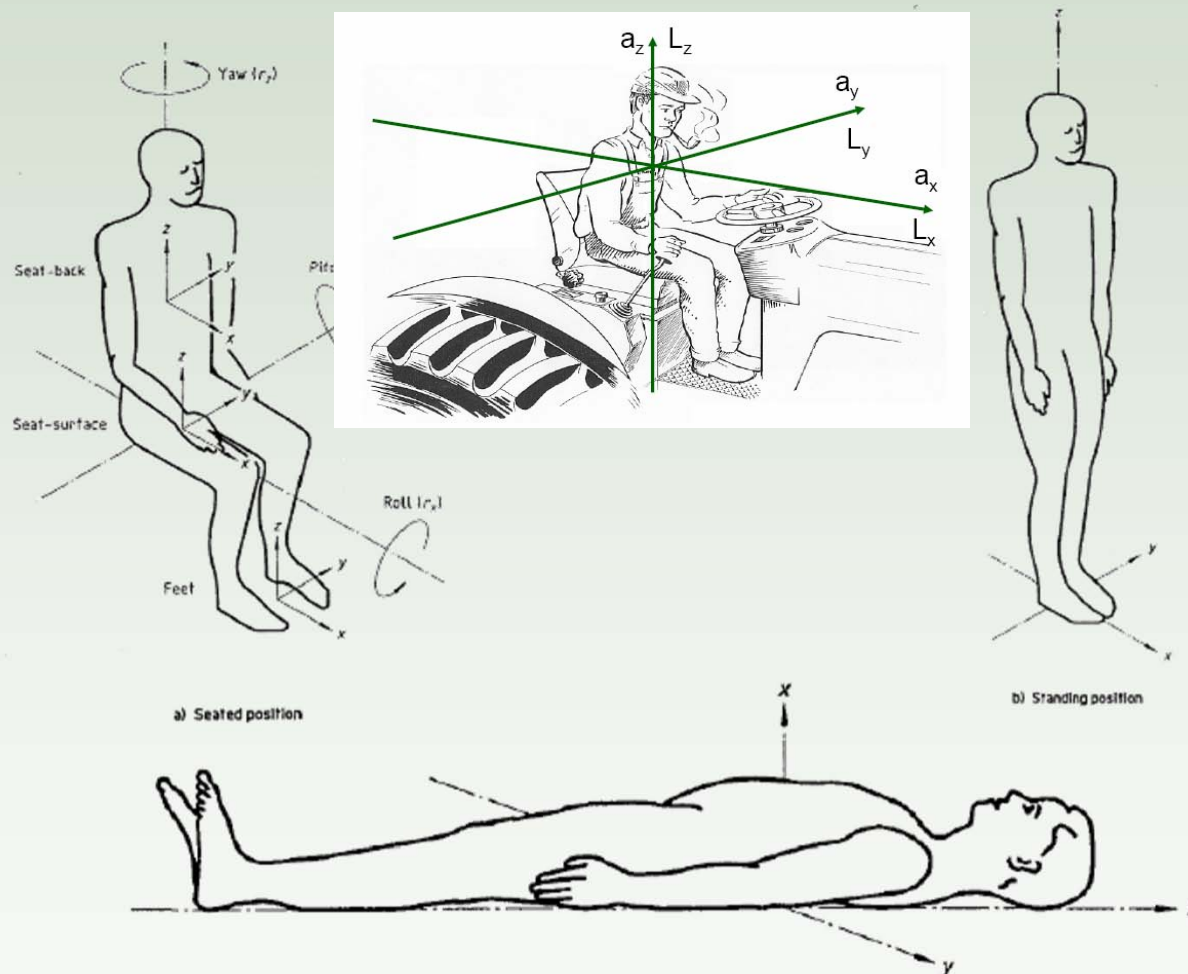
- Kriva za celo telo za vertikalni pravac daje najveći značaj frekvencijama od 4-13Hz, a za bočne pravce frekvencijama od 0.5-2Hz.

➤ Ponderaciona kriva za vibracije šaka-ruka (ISO 5349):

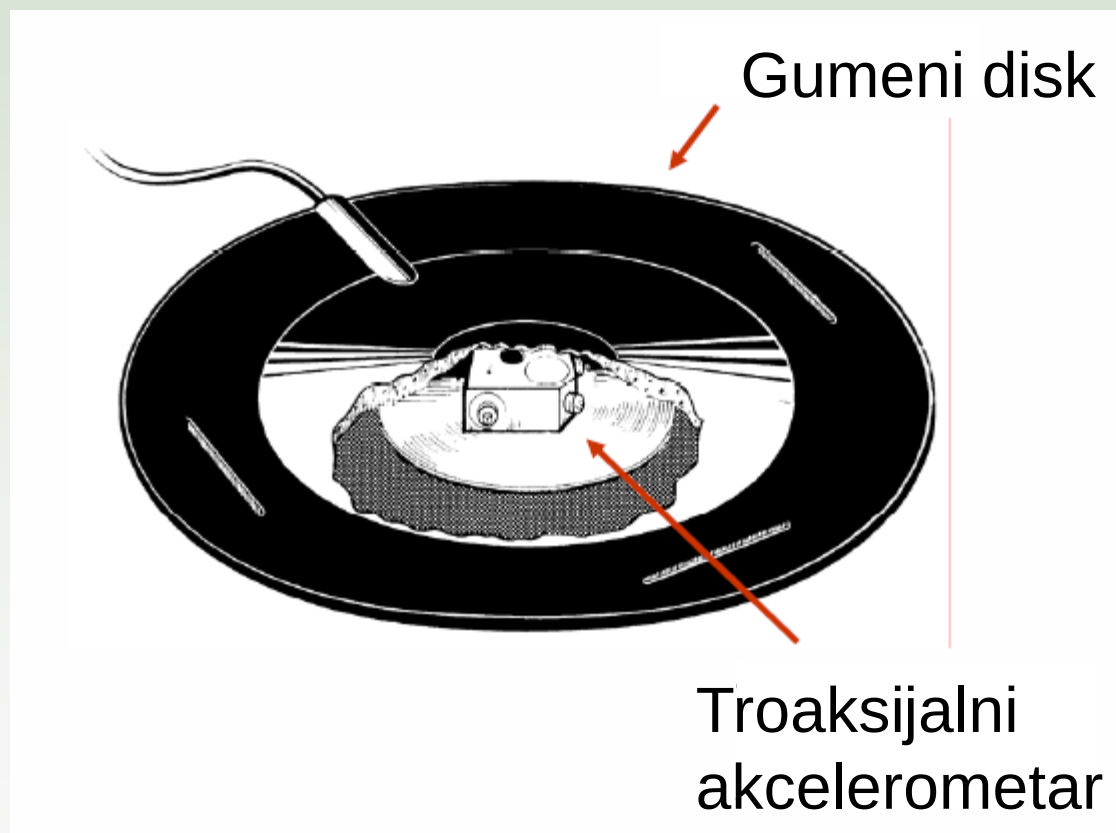


➤ Kriva je najosetljivija između 8 i 16 Hz - najveći značaj daje ovim frekvencijama.

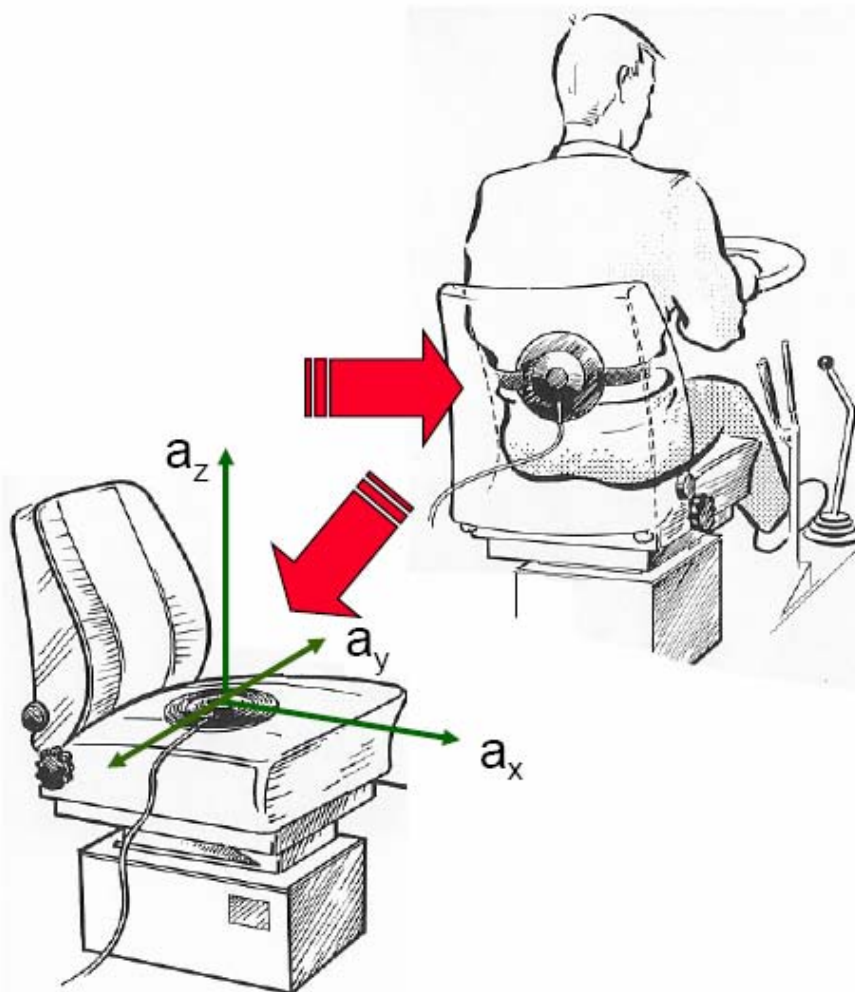
- Vibracije celog tela se mere istovremeno u sva tri pravca, u frekvencijskom opsegu od 1 do 1250 Hz.



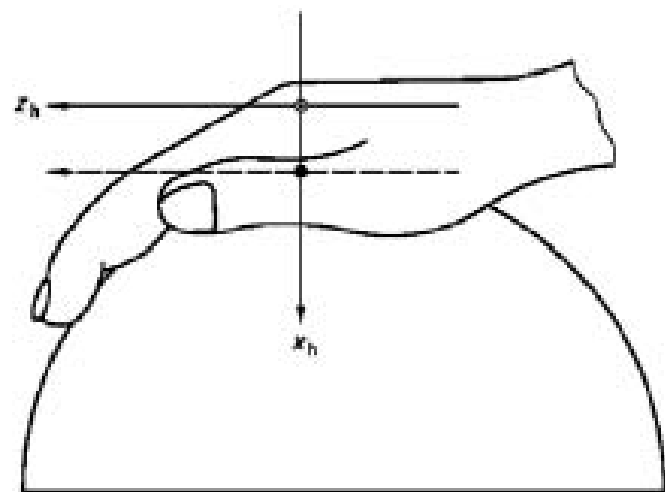
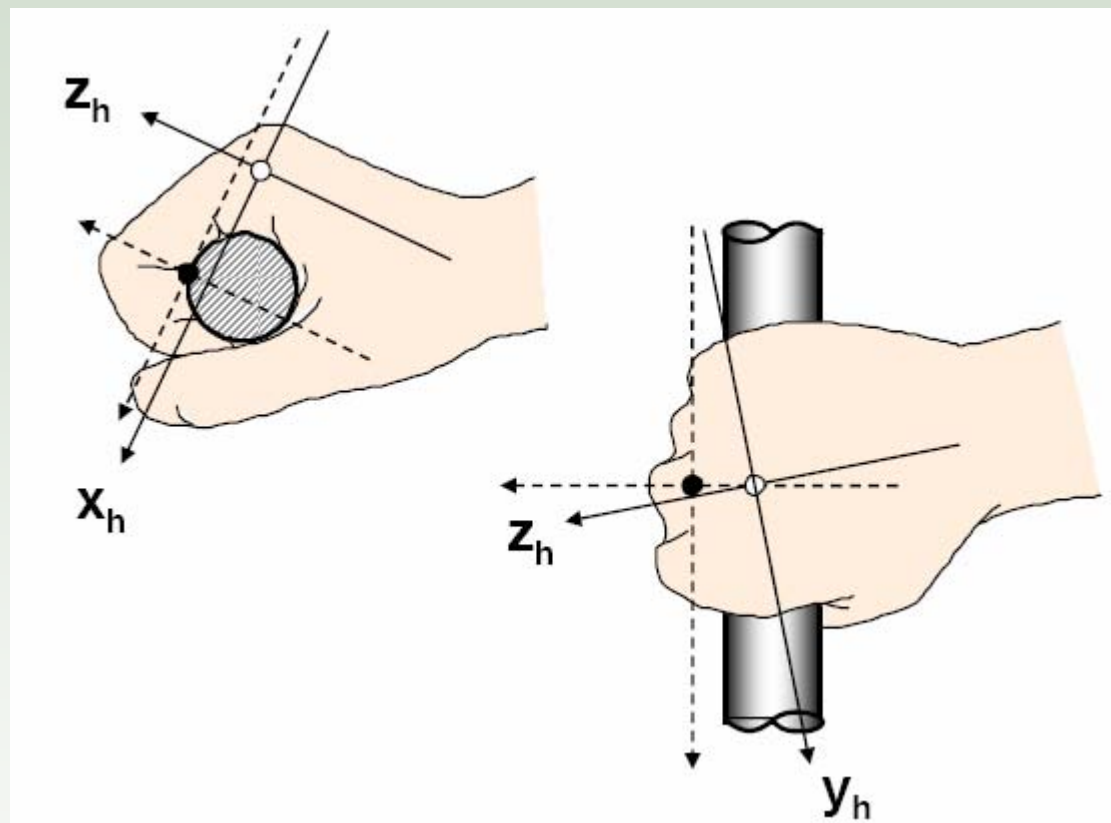
- Koristi se troaksijalni akcelerator sa adapterom za sedište.



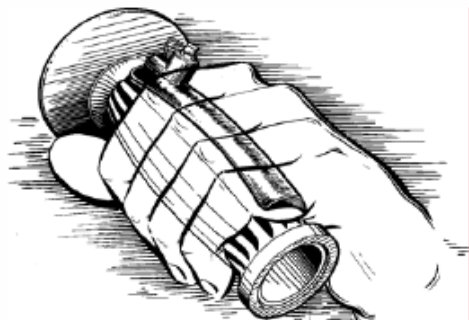
► Postavljanje adaptera.



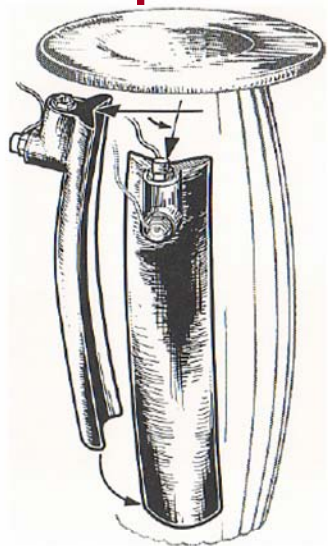
- Vibracije šaka-ruka se takođe mere istovremeno u sva tri pravca u frekvencijskom opsegu od .



- Koristi se adapteri. Adapteri se koriste samo ako nije moguće direktno pričvršćivanje akcelorometara.



Adapter za šaku



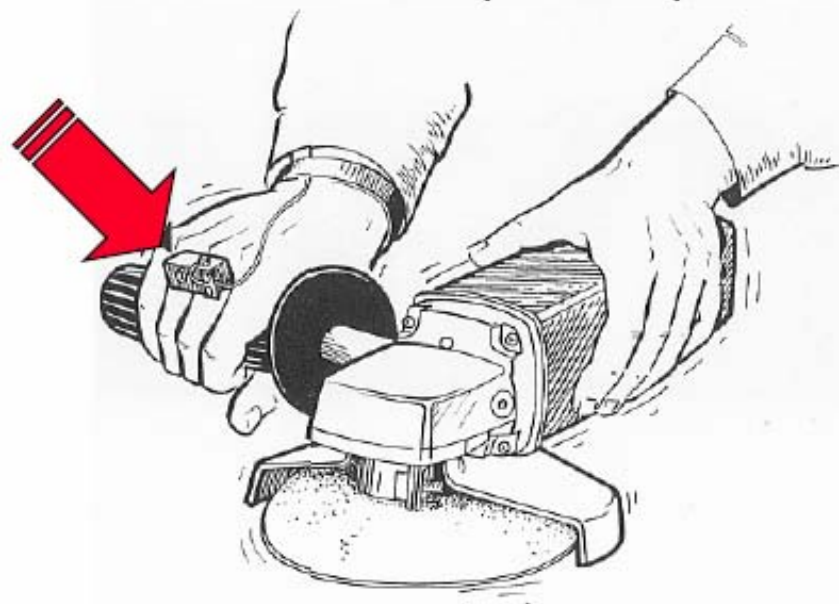
Adapter za prste

► Primeri.

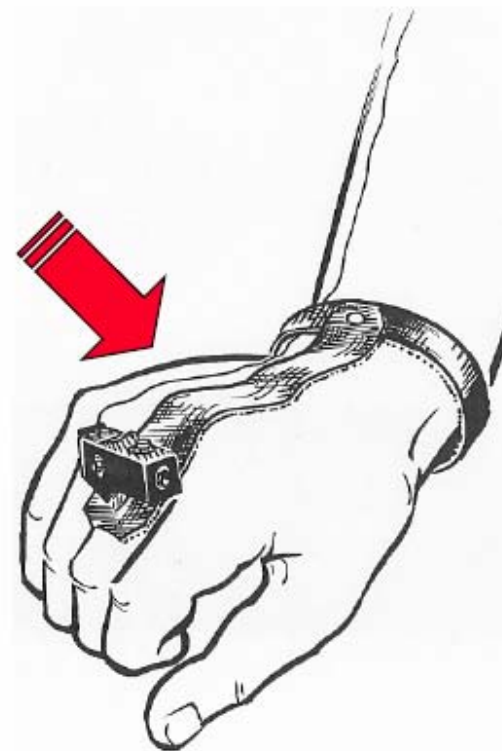
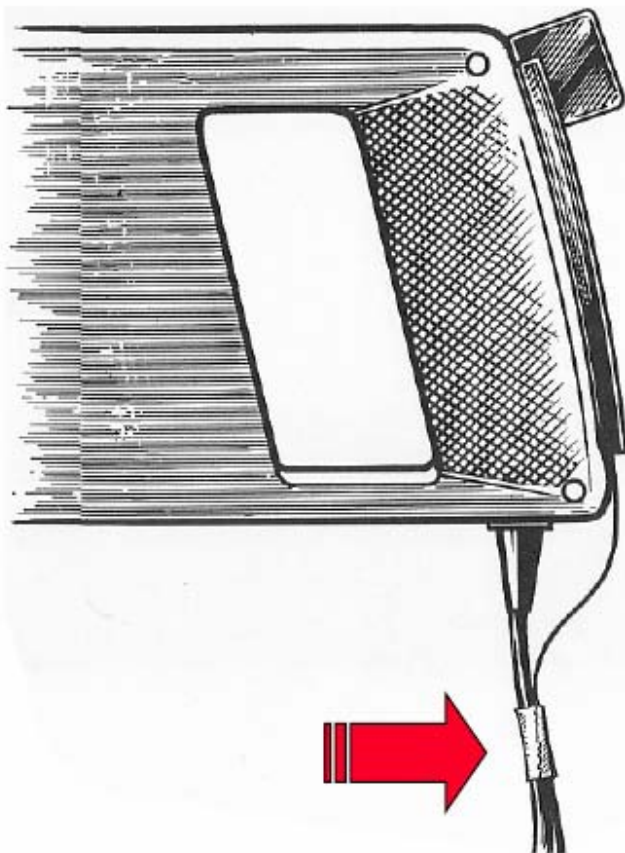
Adapter za dlan



Adapter za prste

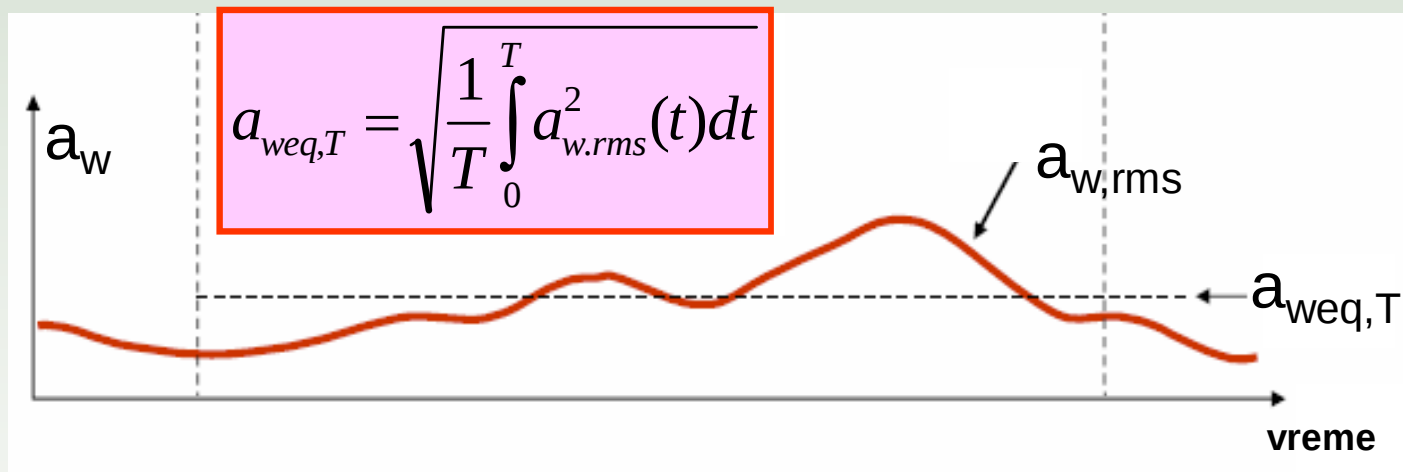


► Kablovi.



Merni kablovi moraju biti učvršćeni, tako da su minimalno izloženi vibracijama radi parazitskih indukcijskih smetnji

- Za ocenu kumulativnog efekta vibracija, odnosno učinak vibracija u određenom vremenskom intervalu T , pored efektivne vrednosti koristi se i energetski ekvivalenta frekvencijski ponderisana vrednost ubrzanja, $a_{weq,T}$ ili "TAWAV".



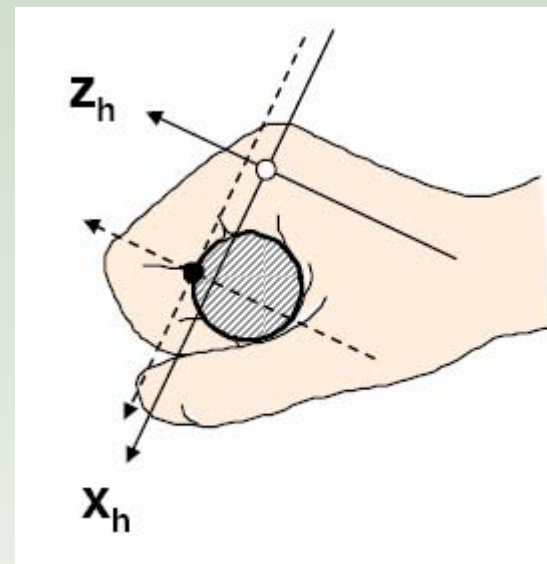
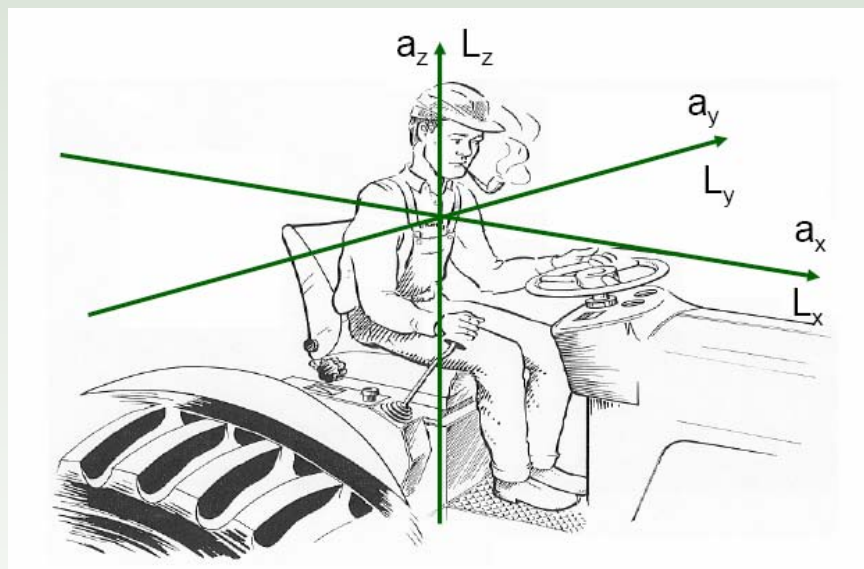
- Često se označavanje ove veličine skraćuje sa a_w ili a_{eq} .

- Pored ekvivalente vrednosti ubrzanja, a_{eq} , za ocenu vibracija celog tela koristi se i parametar “doza vibracija” - VDV (*Vibration Dose Value*):

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt}$$

- Doza vibracija se izražava u $ms^{-1.75}$.

- Ukupno ubrzanje vibracija se određuje sumiranjem vrednosti u sva tri ortogonalna pravca:

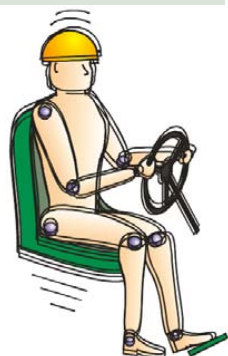


$$a_v = \sqrt{a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2}$$

$$a_v = \sqrt{(1.4a_{wx})^2 + (1.4a_{wy})^2 + a_{wz}^2}$$

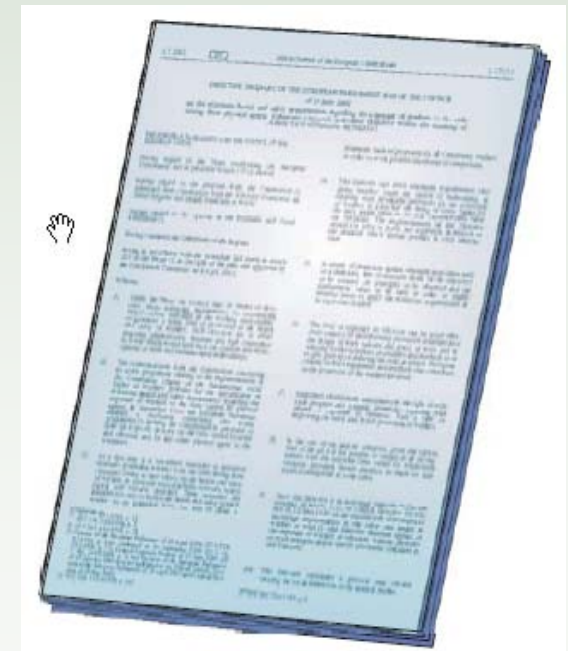
► Instrument - analizator vibracija koje deluju na čoveka





OCENA VIBRACIJA KOJE DELUJU NA ČOVEKA

- ▶ Ne postoji nacionalni propis koji definiše dozvoljene vrednosti izloženosti vibracijama.
- ▶ Za članice EU važi direktiva 2002/44/EC - Minimalni zahtevi u pogledu bezbednosti i zdravlja za izloženost radnika riziku koji nastaje od fizičkih štetnosti (vibracije).
- ▶ Direktiva je imala za cilj da:
 - ✓ Postavi minimalne zahteve za kontrolu rizika
 - ✓ Definiše granične vrednosti
 - ✓ Definiše akcione vrednosti
 - ✓ Postavi zahteve poslodavcima da obezbede eliminisanje rizika ili smanjenje na najmanju moguću meru





EUROPEAN PARLIAMENT

▶ Dozvoljene vrednosti vibracija utvrđene direktivom:

	Šaka-ruka	Celo telo
Granična vrednost dnevne izloženosti, A(8)	5 m/s ²	1.15 m/s ² VDV = 21 m/s ^{1,75}
Akciona vrednost dnevne izloženosti, A(8)	2.5 m/s ²	0.5 m/s ² VDV = 9.1m/s ^{1,75}

- ✚ “Limit value” – granična vrednost kojoj radnik sme biti izložen uz primenu ličnih zaštitinih sredstava.
- ✚ “Action value” –vrednost kada je poslodavac dužan da preduzme mere za smanjenje vibracija.

SKALA ZA PROCENU RIZIKA



granična vrednost 1.15 m/s^2

akciona vrednost 0.5 m/s^2



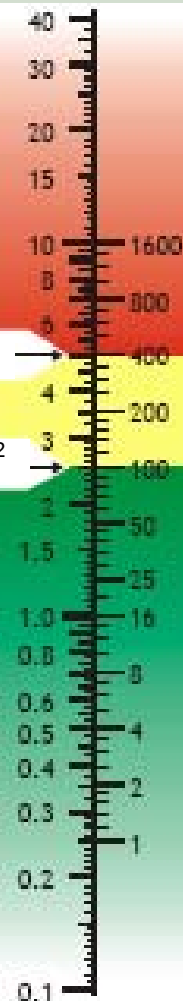
granična vrednost 5 m/s^2

akciona vrednost 2.5 m/s^2

ZONA ALARMA

ZONA UPOZORENJA

ZONA TOLERANCIJE





EUROPEAN PARLIAMENT

- ▶ Dozvoljene vrednosti direktivom upoređuju se sa dva parametra:

- ⊕ dnevna izloženost vibracijama, $A(8)$

$$A(8) = a_{v(eq,8h)} = a_v \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

a_v – ukupna izmerena ekvivalentna vrednost ubrzanja

T – vreme izloženosti vibracijama

T_0 – referentno vreme (8h)

- ⊕ doza vibracija, VDV - samo za vibracije celog tela

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt}$$

- ▶ Pre nego što se odredi izloženost vibracijama potrebno je odrediti vreme izloženosti vibracijama za svaki alat koji radnik koristi i za svaki proces u kome učestvuje.
- ▶ Potrebno je uzeti u obzir samo vreme kada je radnik izložen vibracijama (ne uzimati u obzir pauze u radu).
- ▶ Podaci:
 - ✓ Štoperica
 - ✓ Video zapis kamerom



VIBRACIJE + VREME = IZLOŽENOST VIBRACIJAMA

IZLOŽENOST VIBRACIJAMA + VREME = OŠTEĆENJE TKIVA

- ▶ Izračunavanje ukupne dnevne izloženosti vibracijama kada radnik radi sa različitim alatima:

$$A(8) = \sqrt{\frac{a_{v1}^2 T_1 + a_{v2}^2 T_1 + \dots a_{vn}^2 T_n}{T_1 + \dots T_n}} = \sqrt{A(8)_1^2 + A(8)_2^2 + \dots + A(8)_n^2}$$

gde je: $T_1 + \dots T_n = T_0$

- ▶ Izračunavanje ukupne doze izloženosti vibracijama kada radnik radi sa različitim alatima ili mašinama:

$$VDV = \sqrt[1/4]{\sum_{i=1}^n VDV_i^4}$$

- ▶ Ako je poznata izloženost za vreme T1, izloženost za vreme T2 izračunava se kao:

$$A(T_2) = A(T_1) \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

- ▶ Dozvoljeno vreme izloženosti izmerenim vibracijama može se izračunati kao:

$$T_{doz} = \left(\frac{A(8)_0}{a_v} \right)^2 \cdot T_0$$

a_v – ukupna izmerena ekvivalentna vrednost ubrzanja

$A(8)_0$ – dozvoljeno vreme izloženosti za 8h

T_{doz} – dozvoljeno vreme izloženosti vibracijama

T_0 – referentno vreme (8h)

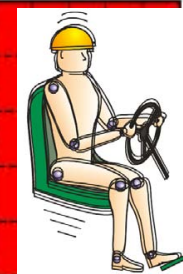
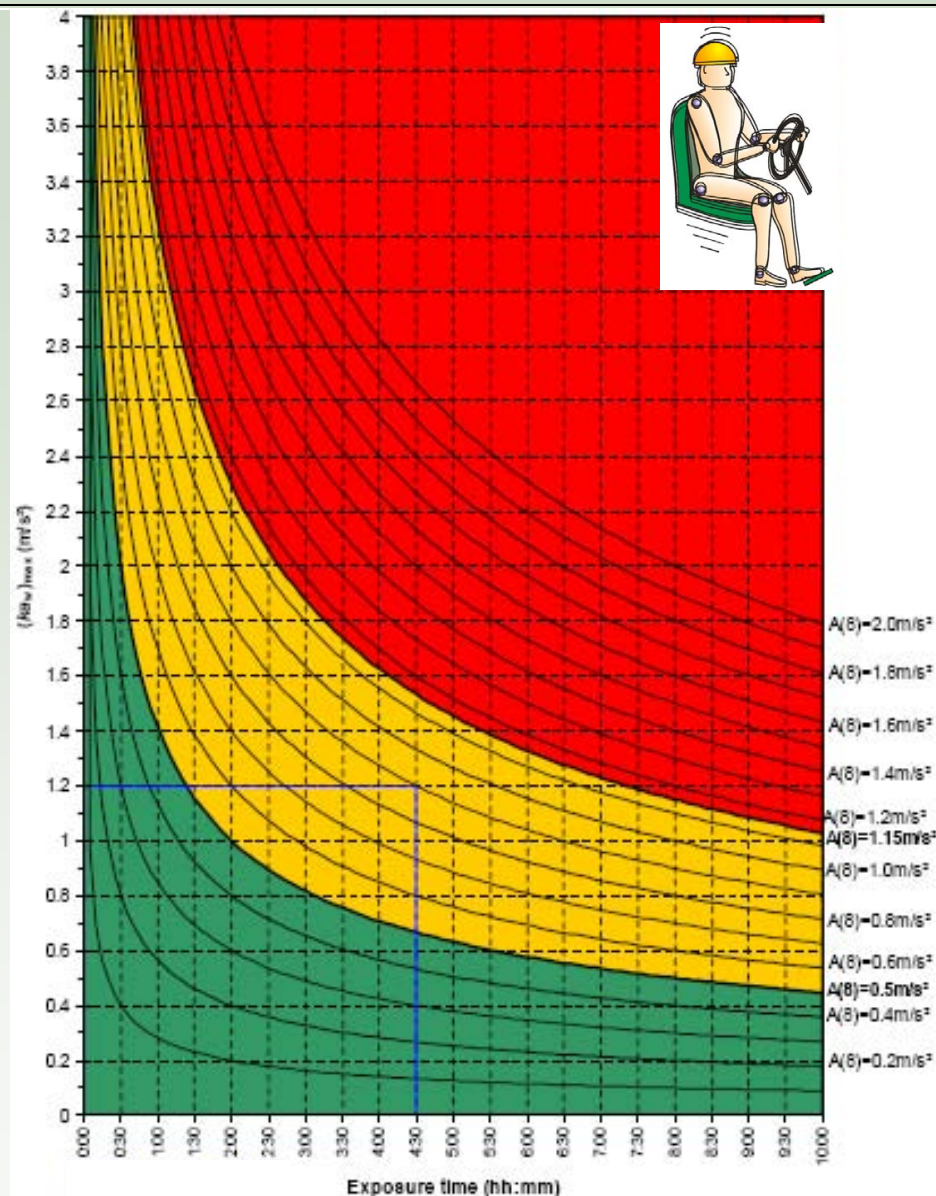
IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, $A(8)$ ZA VIBRACIJE CELOG TELA – POSTUPAK 1

1. Odrediti presečnu tačku
 - ▶ amplituda vibracija, $(ka_w)_{\max}$
 $k=1.4$ za x- i y-osu
 $k=1$ za z-osu
 - ▶ vreme izloženosti, t
2. Pronaći $A(8)$ liniju na kojoj se nalazi ili je blizu nje presečna tačka

$$a_z = 1.2 \text{ m/s}^2 \rightarrow A(8) = 0.9 \text{ m/s}^2$$

$t = 4\text{h}30\text{min}$

Grafik dnevne izloženosti



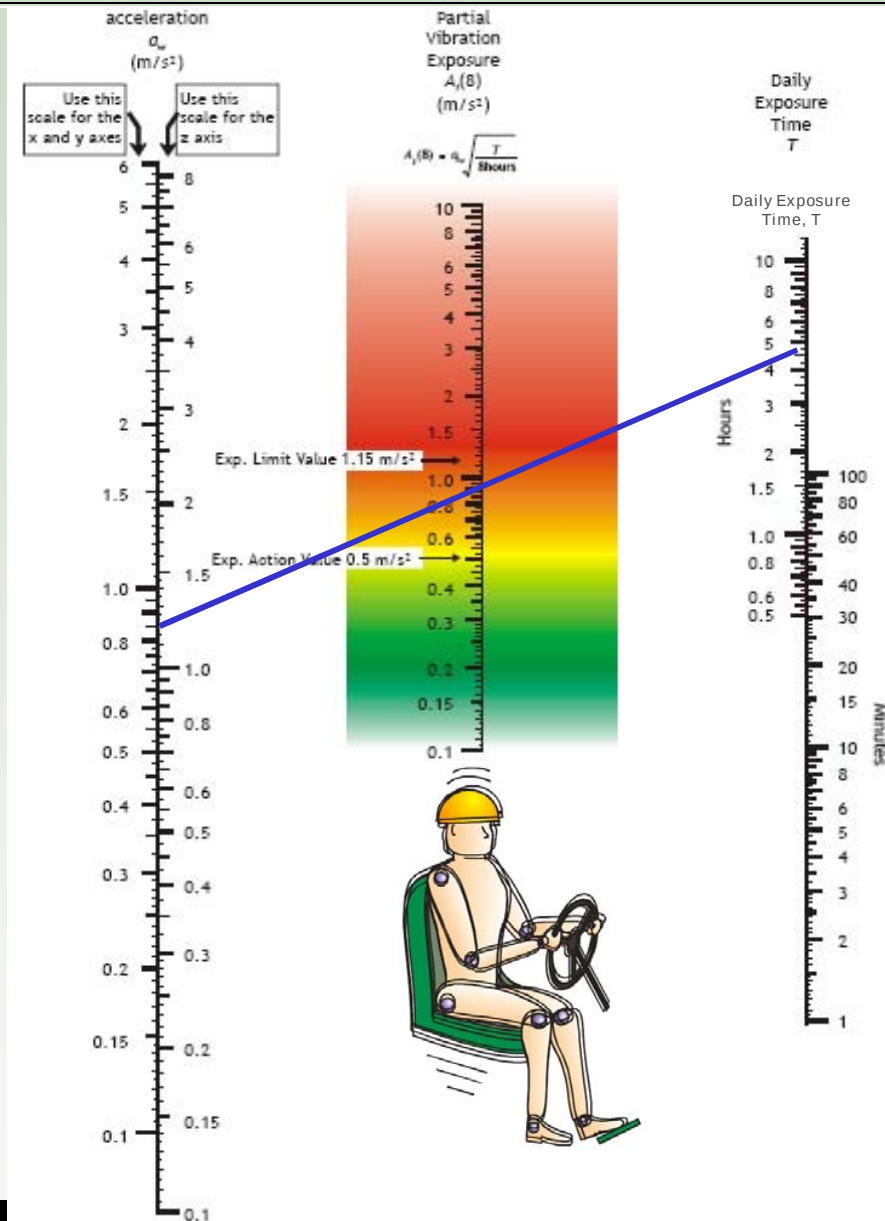
IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, A(8) ZA VIBRACIJE CELOG TELA – POSTUPAK 2

1. Na levoj skali pronaći tačku koja odgovara amplitudi vibracija (leva strana skale koristi se za x- i y-osu, a desna za z-osu).
2. Povuci liniju od tačke na levoj skali do tačke na desnoj koja odgovara vremenu izloženosti.
3. Očitati A(8) na mestu gde povučena linija preseca središnju skalu.

$$a_z = 1.2 \text{ m/s}^2 \rightarrow A(8) = 0.9 \text{ m/s}^2$$

$$t = 4\text{h}30\text{min}$$

Nomogram dnevne izloženosti



IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, A(8) ZA VIBRACIJE CELOG TELA – POSTUPAK 3 (POENI IZLOŽENOSTI)



$$P_E = 50 \left(\frac{(ka_w)_{\max}}{0.5} \right)^2 \frac{T}{8} 100$$

Vrednosti u skladu sa
direktivnom 2002/44/EC:

EA (0.5m/s²)=100 poena

EL (1.15m/s²)=529 poena

$$A(8) = 0.5 \sqrt{\frac{P_E}{100}}$$

Tabela za određivanje
poena izloženosti

Acceleration x k (m/s²)	2	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	2400
	1.9	45	90	180	360	540	720	905	1100	1450	1800	2150
	1.8	41	81	160	325	485	650	810	970	1300	1600	1950
	1.7	36	72	145	290	435	580	725	865	1150	1450	1750
	1.6	32	64	130	255	385	510	640	770	1000	1300	1550
	1.5	28	56	115	225	340	450	565	675	900	1150	1350
	1.4	25	49	98	195	295	390	490	590	785	980	1200
	1.3	21	42	85	170	255	340	425	505	675	845	1000
	1.2	18	36	72	145	215	290	360	430	575	720	865
	1.1	15	30	61	120	180	240	305	365	485	605	725
	1	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500	600
	0.9	10	20	41	81	120	160	205	245	325	405	485
	0.8	8	16	32	64	96	130	160	190	255	320	385
	0.7	6	12	25	49	74	98	125	145	195	245	295
	0.6	5	9	18	36	54	72	90	110	145	180	215
	0.5	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125	150
	0.4	2	4	8	16	24	32	40	48	64	80	96
	0.3	1	2	5	9	14	18	23	27	36	45	54
	0.2	1	1	2	4	6	8	10	12	16	20	24
		15m	30m	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	12h
	Daily Exposure time											

IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, $A(8)$, ZA VIBRACIJE CELOG TELA PRI OBAVLJAJU VIŠE RAZLIČITIH OPERACIJA

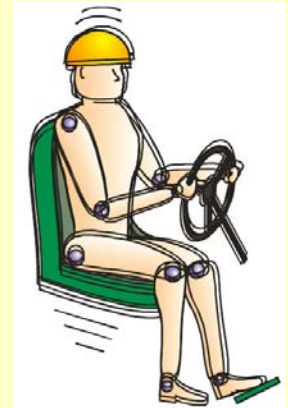


1. Određivanje parcijalne izloženosti za različite operacije koje radnik obavlja u toku radnog vremena

$$A_{x,i}(8) = 1,4 a_{wx} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}}$$

$$A_{y,i}(8) = 1,4 a_{wy} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}}$$

$$A_{z,i}(8) = a_{wz} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}}$$



2. Određivanje ukupnih vibracija za sva tri pravca

$$A_j(8) = \sqrt{A_{j1}(8)^2 + A_{j2}(8)^2 + A_{j3}(8)^2 + \dots}$$

3. Najveća vrednost predstavlja dnevnu izloženost $A(8)$

IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, A(8) ZA VIBRACIJE ŠAKA-RUKA – POSTUPAK 1

1. Odrediti presečnu tačku

- ▶ amplituda ukupnih vibracija, a_{hv}

$$a_v = \sqrt{a_{wx}^2 + a_{wz}^2 + a_{wy}^2}$$

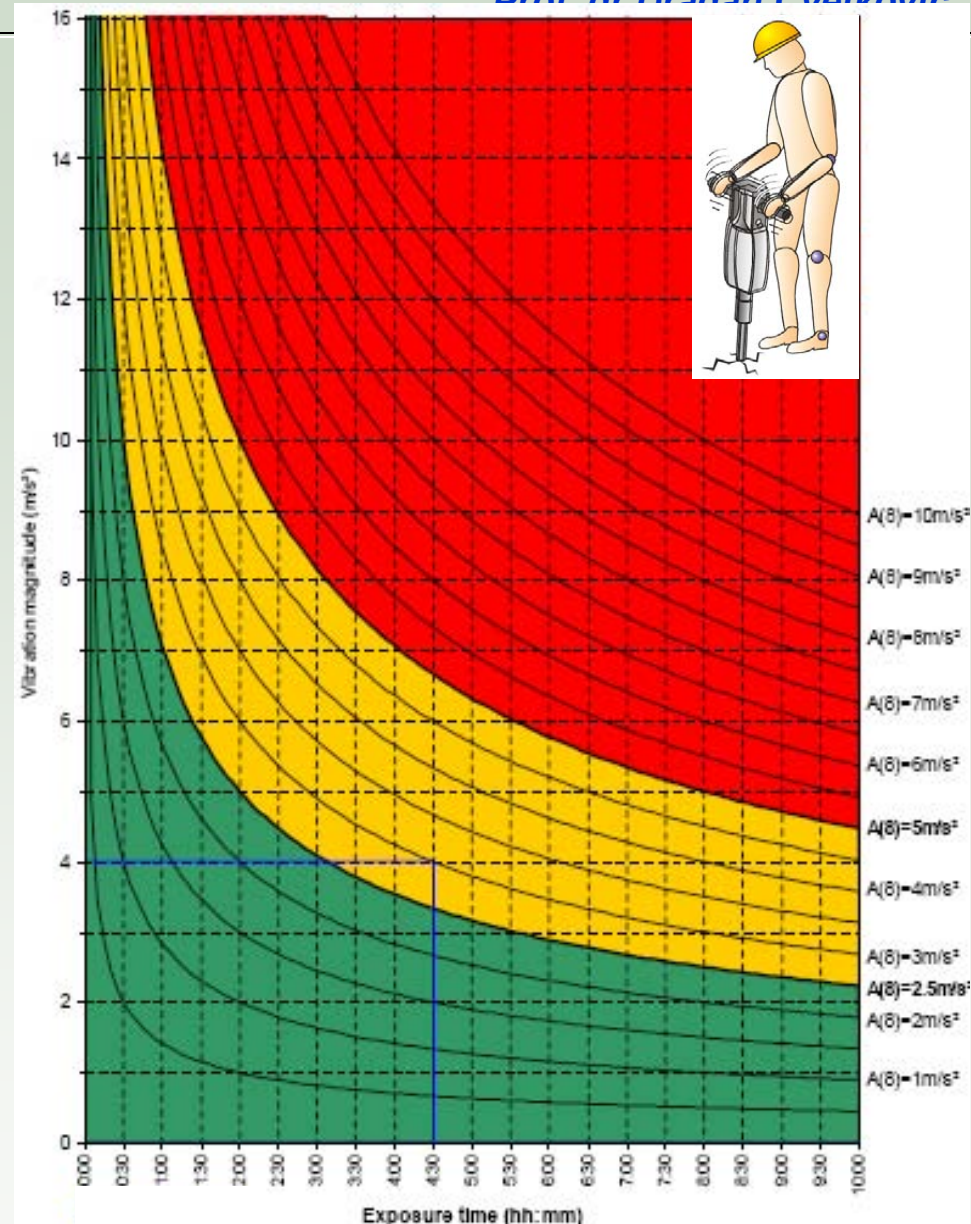
- ▶ vreme izloženosti, t

2. Pronaći A(8) liniju na kojoj se nalazi ili je blizu nje presečna tačka

$$a_z = 4 \text{ m/s}^2 \rightarrow A(8) = 3 \text{ m/s}^2$$

t = 4h30min

Grafik dnevne izloženosti





IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, $A(8)$ ZA VIBRACIJE ŠAKA-RUKA – POSTUPAK 2

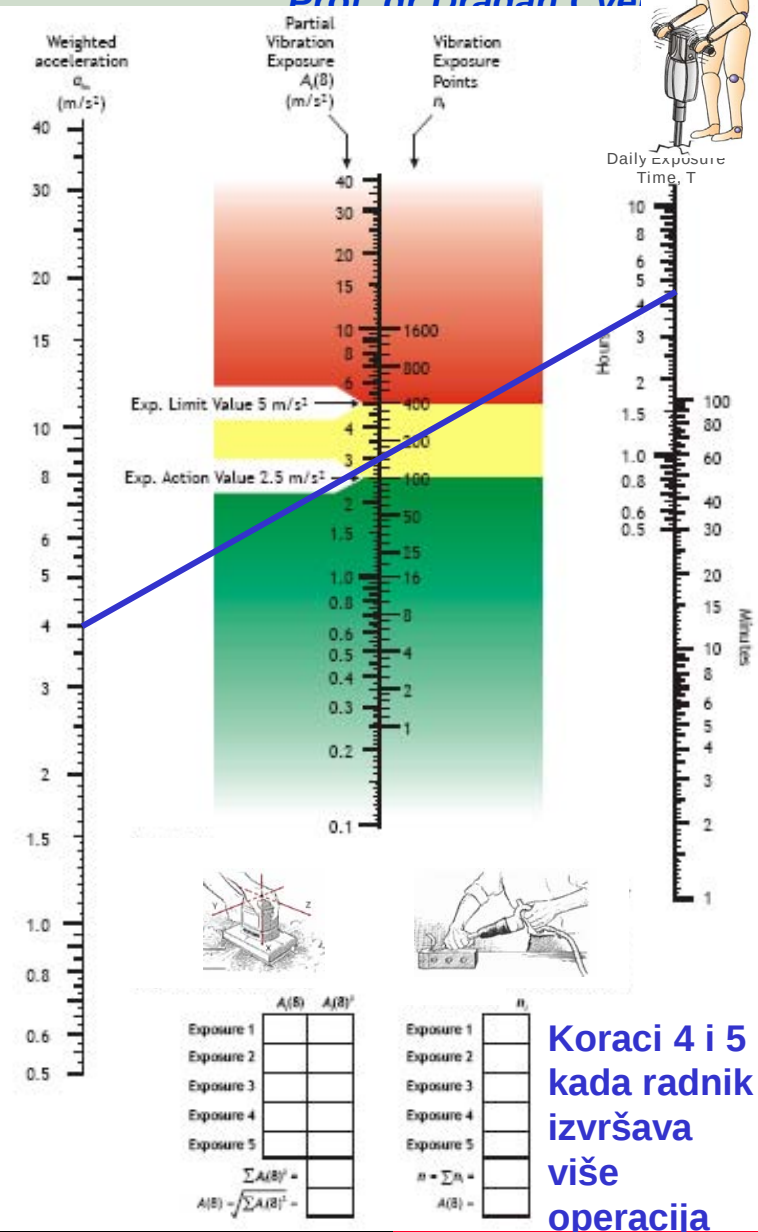
1. Na levoj skali pronaći tačku koja odgovara amplitudi vibracija a_v .
2. Povuci liniju od tačke na levoj skali do tačke na desnoj koja odgovara vremenu izloženosti.
3. Očitati parcijalnu vrednost $A(8)$ na mestu gde povučena linija preseca središnju skalu.

$$a_z = 4 \text{ m/s}^2 \quad t = 4 \text{ h } 30 \text{ min} \quad \Rightarrow \quad A_i(8) = 3 \text{ m/s}^2$$

4. Kvadrirati svaku parcijalnu vrednost $A'(8)$ i sabrati sve vrednosti.
5. Kvadratna vrednost rezultujuće vrednosti daje $A(8)$.

$$A(8) = \sqrt{\sum_i A_i(8)^2}$$

Nomogram dnevne izloženosti



IZRAČUNAVANJE DNEVNE IZLOŽENOSTI, A(8) ZA VIBRACIJE ŠAKA-RUKA – POSTUPAK 3 (POENI IZLOŽENOSTI)

$$P_E = 2 \left(\frac{a_{hv}}{2.5} \right)^2 \frac{T}{8} 100$$

Vrednosti u skladu sa direktivnom 2002/44/EC:

EA (2.5m/s²)=100 poena

EL (5m/s²)=400 poena

$$A(8) = 2.5 \sqrt{\frac{P_E}{100}}$$

Tabela za određivanje poena izloženosti



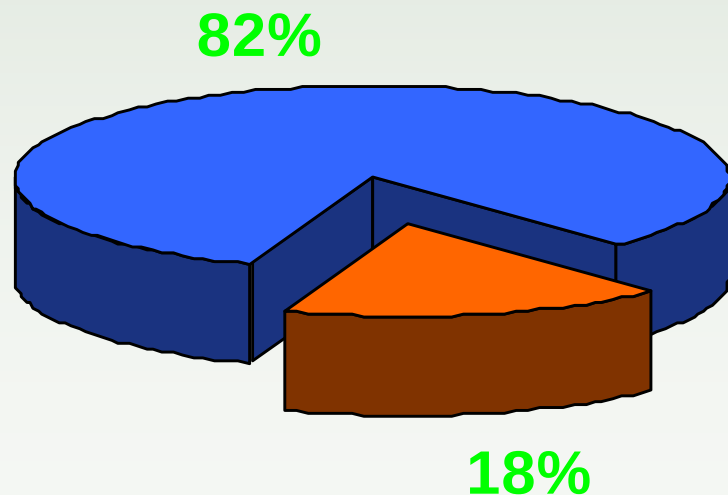
	20	67	200	400	800	1600	2400	3200	4000	4800	6400	8000
	19.5	63	190	380	760	1500	2300	3050	3800	4550	6100	7600
	19	60	180	360	720	1450	2150	2900	3600	4350	5800	7200
	18.5	57	170	340	685	1350	2050	2750	3400	4100	5500	6850
	18	54	160	325	650	1300	1950	2600	3250	3900	5200	6500
	17.5	51	155	305	615	1250	1850	2450	3050	3700	4900	6150
	17	48	145	290	580	1150	1750	2300	2900	3450	4600	5800
	16.5	45	135	270	545	1100	1650	2200	2700	3250	4350	5450
	16	43	130	255	510	1000	1550	2050	2550	3050	4100	5100
	15.5	40	120	240	480	960	1450	1900	2400	2900	3850	4800
	15	38	115	225	450	900	1350	1800	2250	2700	3600	4500
	14.5	35	105	210	420	840	1250	1700	2100	2600	3350	4200
	14	33	98	195	390	785	1200	1550	1950	2350	3150	3900
	13.5	30	91	180	365	730	1100	1450	1800	2200	2900	3650
	13	28	85	170	340	675	1000	1350	1700	2050	2700	3400
	12.5	26	78	155	315	625	940	1250	1550	1900	2500	3150
	12	24	72	145	290	575	865	1150	1450	1750	2300	2900
	11.5	22	66	130	265	530	795	1050	1300	1600	2100	2650
	11	20	61	120	240	485	725	970	1200	1450	1950	2400
	10.5	18	55	110	220	440	660	880	1100	1300	1750	2200
10	17	50	100	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000	
9.5	15	45	90	180	360	540	720	905	1100	1450	1800	
9	14	41	81	160	325	485	650	810	970	1300	1600	
8.5	12	36	72	145	290	435	580	725	865	1150	1450	
8	11	32	64	130	255	385	510	640	770	1000	1300	
7.5	9	28	56	115	225	340	450	565	675	900	1150	
7	8	25	49	98	195	295	390	490	590	785	980	
6.5	7	21	42	85	170	255	340	425	505	675	845	
6	6	18	36	72	145	215	290	360	430	575	720	
5.5	5	15	30	61	120	180	240	305	365	485	605	
5	4	13	25	50	100	150	200	250	300	400	500	
4.5	3	10	20	41	81	120	160	205	245	325	405	
4	3	8	16	32	64	96	130	160	190	255	320	
3.5	2	6	12	25	49	74	98	125	145	195	245	
3	2	5	9	18	36	54	72	90	110	145	180	
2.5	1	3	6	13	25	38	50	63	75	100	125	
		5m	15m	30m	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h
		Daily Exposure time										

Daily Exposure time

- ▶ Profesionalne bolesti su bolesti nastale u toku rada, prouzrokovane dužim neposrednim uticajem procesa rada i uslova na radnim mestima odnosno poslovima koje radnik obavlja.
- ▶ **Vibraciona bolest** je hronično profesionalno oboljenje, koje predstavlja patologiju više tkiva, a nastala je štetnim dejstvom vibracija sa radnog mesta, delujući na tkiva organa i sistema, u dužem vremenskom periodu.



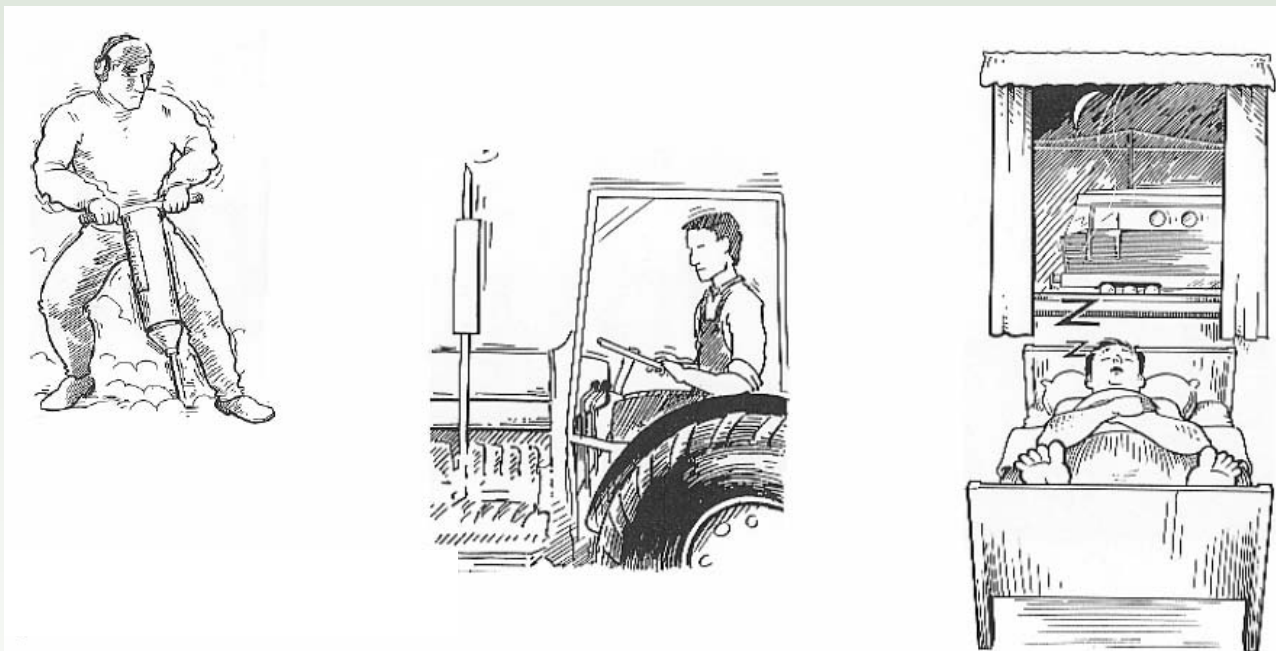
- ▶ Po učestalosti vibraciona bolest nalazi se na drugom mestu među profesionalnim oboljenjima, posle plućnih obeljenja.
- ▶ Studije pokazuju da:
 - ✓ u zavisnosti od uslova ekspozicije, od ove bolesti oboleva od 6% do 100% zaposlenih eksponiranih štetnom dejstvu vibracija.



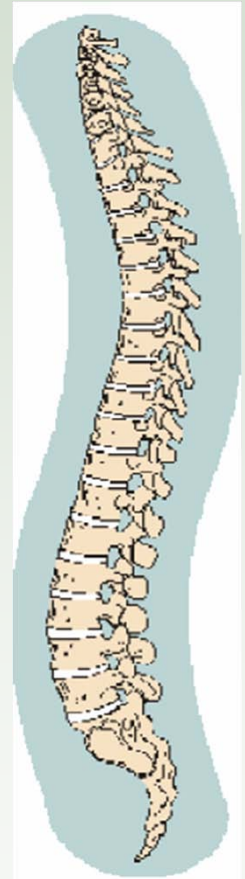
- Sve profesionalne bolesti
- Vibraciona bolest



- ▶ U zavisnosti od lokalizacije dejstva vibracija, razlikuju se i dva osnovna klinička oblika oboljenja:
 - ⊕ vibraciona bolest nastala pod dejstvom opštih vibracija (vibracija koje deluju na celo telo - **vibracije celog tela**)
 - ⊕ vibraciona bolest nastala pod dejstvom lokalnih vibracija (**vibracija koje deluju na sistem šaka/ruka**)



- ▶ Dugotrajno izlaganje vibracijama koje deluju na celo telo mogu izazvati promene u donjem kičmenom i trbušnom delu. Značajno dejstvo vibracija javlja se u ramenom i vratnom delu.
- ▶ Vibracije niskih frekvencija mogu izazvati morskú bolest.



▶ Prateći faktori koji pojačavaju dejstvo vibracija:

- ✓ Produženo sedenje u prinudnom položaju
- ✓ Produženo sedenje u lošem položaju
- ✓ Često uvijanje kičme
- ✓ Potreba za izvijanjem glave
- ✓ Često podizanje i nošenje tereta
- ✓ Neočekivani pokreti
- ✓ Nepovoljni klimatski uslovi



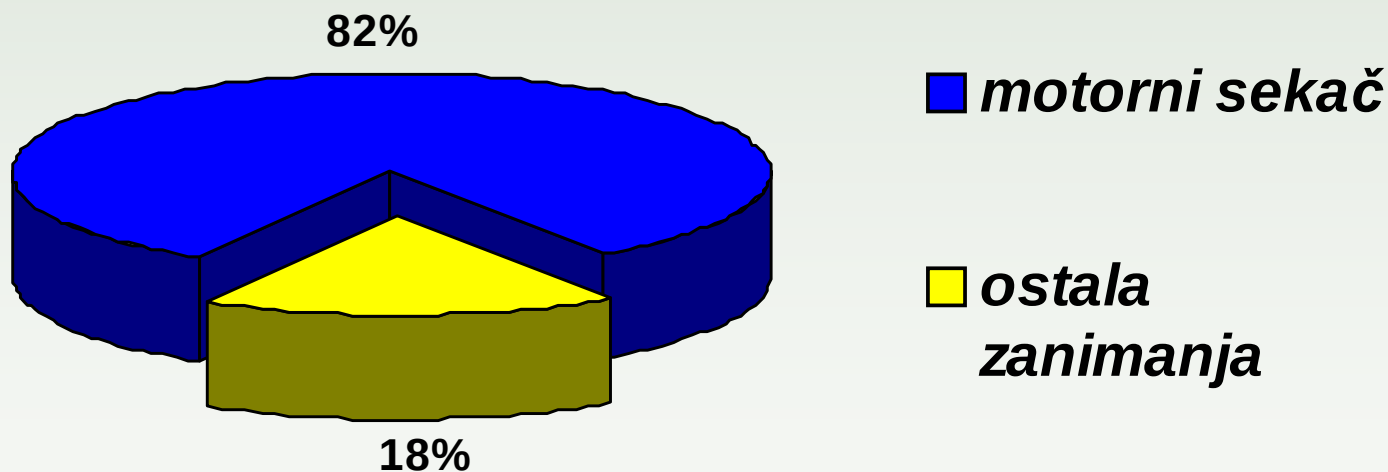
▶ Simptomi:

- ✓ Zamor
- ✓ Glavobolja
- ✓ Usporene reakcije
- ✓ Bol u leđima, vratnom i ramenom delu

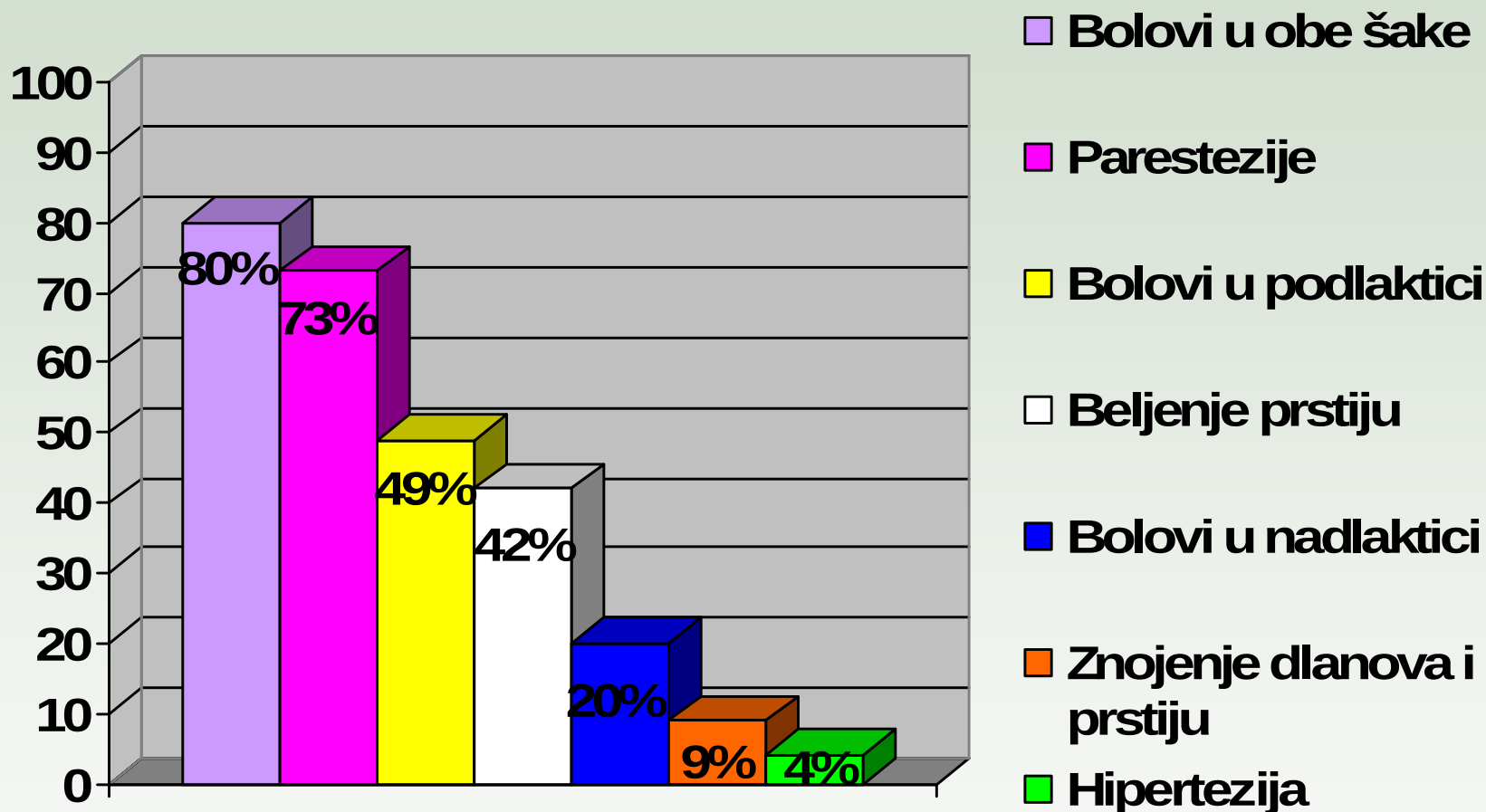
- ▶ Redovno i produženo izlaganje vibracijama koje deluju na sistem šaka-ruka u direktnom kontaktu sa vibracionim alatima mogu izazvati oštećenja tkiva kod gornjih ekstremiteta uključujući promene na prstima šaka i ručnih zglobova.
- ▶ Vibracije dovode do nekoliko tipova oboljenja od kojih je najpoznatiji sindrom belih ili mrtvih prstiju ili Raynaud-ov sindrom.



- ▶ Pri radu sa ručnim vibracionim alatom nastaju:
 - ⊕ poremećaji cirkulacije
 - ⊕ oštećenja koštano-mišićnog sistema gornjih ekstremiteta
 - ⊕ nervna oštećenja (funkcionalne i organske promene).
- ▶ Oboljenja se najčešće javljaju kod motornih sekača.



- Radnici koji rukuju vibracionim alatima najčešće ukazuju na sledeće simptome:



► Prateći faktori koji pojačavaju dejstvo vibracija:

- ✓ Povratni udar pri radu sa teškim pneumatskim alatima
- ✓ Produženo sedenje u prinudnom i lošem položaju
- ✓ Teško statičko naprezanje mišića gornjih ekstremiteta
- ✓ Neočekivani pokreti
- ✓ Nepovoljni klimatski uslovi
- ✓ Intenzivna buka



HVALA

