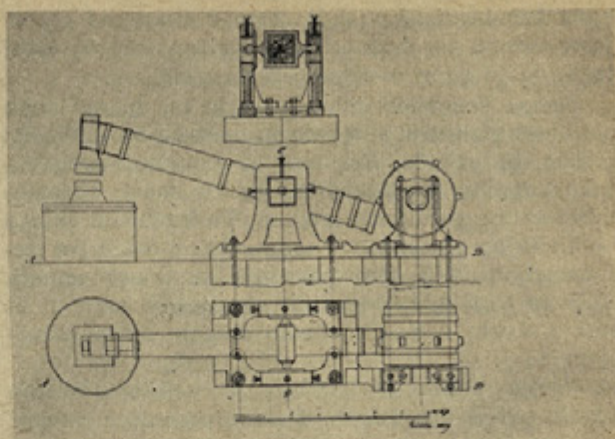


gorica. Od prastarih vetrnih in slovenskih peči do peči na volka in plavžev, prek vigenjcev in kovačij se je ustalila in razmahnila tamkaj žebljarska in železarska obrt ter industrija. V Kovaškem muzeju v Kropi je mnogo, še zmerom neproučenega gradiva za zgodovino našega strojništva; povrh tehniških zanimivosti bo mogoče odkriti tam tudi prenekateri drobiž iz domače terminologije, ki je bila iz razumljivih vzrokov naslonjena na tuje vire, v glavnem nemške in italijanske, nahajamo pa v njej tudi mnogo izvirnih strokovnih besed, ki bodo — tu pa tam — lahko nadomestile naše zdaj izumetničeno izrazje za že takrat znane pojme.

Seveda tudi ni naključje, da obratuje dandanes v Zrečah tovarna kovanega orodja, saj so bile nekoč kovačije po vsej Dravinjski dolini, pa tudi v Oplotnici so kovali poljedelsko orodje za vse južne kraje. Nič manj stara ni tradicija žirovskih kovačev ali iz Železnikov, izdelovalcev orodja v Mekinjah pri Kamniku, na Muti in okoli Stične, kos in pil v Tržiču ter še mnogoterih drugih »strojnih« izdelkov, katerih naštevane pa bi konec koncev presegalo okvir tega sestavka.

Teh nekaj na hitro zbranih drobcov iz zgodovine strojniške dejavnosti in strojne industrije naj bi samo v še bolj jarki luči pokazalo, kako ogromen korak smo v tej industrijski veji storili v zadnjih desetih letih. Ni namen teh zaključnih besed, da bi to poglavje izčrpali podrobneje in s konkretnimi podatki, saj bodo (in so delno že) to opravili drugi ob drugačnih priložnostih. Ko pa gledamo skromne mejnike po poti naše industrije skozi stoletja in si obenem v duhu predočujemo gigantske objekte in zanje ter v njih vložene napore za vedno večjo osamosvojitve naše strojne industrije, predvsem



Sl. 3. Izvirna risba kladiva za delavnico v idrijskem rudniku. (Iz leta 1859, hrani jo Mestni muzej v Idriji.)

metalurške na Jesenicah, v Ravnah, Štorah, Slovenski Bistrici in Kidričevem, dalje naše izrazite strojne velike Litostroj, TAM, strojno tovarno v Trbovljah in — denimo še — vzorno industrijo precizne mehanike Iskro v Kranju, da ne govorimo o drugih, ki rastejo in utrjujejo svoj sloves po drugih republikah naše domovine, nas navdaja tale tiha, toda zavestna misel: Slovencem je že narava podarila velike prednosti iz svoje zakladnice za industrializacijo njihovega kraja: najprej surovino in energijo, obenem pa še pridne roke, oprte na tradicije, tiste globoke korenine, na katerih mora to zdravo drevo roditi še lepše sadove od dosedanjih. Pot je na široko odprta, treba je le krepko stopiti naprej po njej.

Avtor: prof. ing. Albert Struna, Oddelek za strojništvo Tehniške fakultete v Ljubljani.

DK 621—272.6

Gumijaste vzmeti

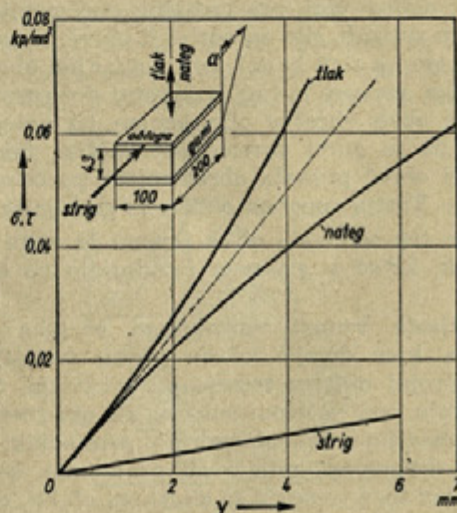
BRANKO KOZINA

Razen jeklenih vzmeti so bile v zadnjih letih uvedene v široka področja tehnike tudi gumijaste vzmeti.

Izraz gumijaste vzmeti je ustrezen, saj tudi tuja literatura obravnava »rubber — springs« in »Gummifedern«. Na tržišču pa srečujemo te elemente z manj določenimi nazivi: monntings, Schwingmetall, silentbloks, flexible-bearings, vibro-insulators itd., ki bistvo teh elementov zajemajo napačno ali nepopolno, in jih zato ne bom uporabljal in tukaj prenašal v slovenščino.

Vzmeti so elementi, ki jih oblikujemo iz takega materiala in s tako obliko, da je njihova prožnost velika. Največ uporabljamo jeklene in gumijaste vzmeti.

Gumi se razlikuje od vzmetnega jekla v tem, da je veliko prožnejši in manj trden, kar je splošno znano. Manj znana pa je ta posebnost gumijske, da so deformacije pri strižnih obremenitvah petkrat večje kakor pri tlačnih in nateznih, kar kaže nje-



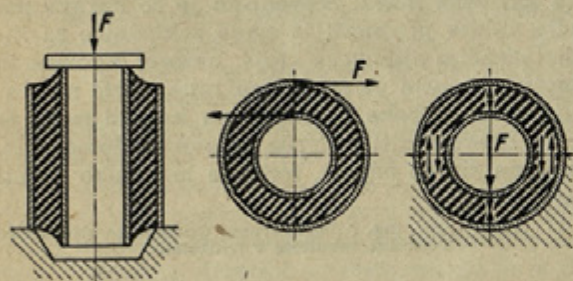
Sl. 1. Karakteristike gumijastih prizmatičnih vzmeti srednje trdote $\sigma = 0,08 \text{ km/mm}^2$ (po Niemannu)

gova karakteristika (sl. 1). Zato oblikujemo gumijaste vzmeti po možnosti kot strižne vzmeti, torej tako, da je gumi obremenjen na strig.

Druga posebnost gumija pa je ta, da ga lahko pri vulkaniziranju spajamo in vežemo na kovinske plošče ali obroče. Pri tem se površini sprimeta tako popolno, da prenašata lahko enake obremenitve kakor gumijasta sredina. Ta kovinska obloga — ali tkivo pri vrveh — gumi delno ovira pri deformacijah in s tem povečuje nosilnost vzmeti. Zato so tudi karakteristike gumijastih vzmeti, ki imajo skoraj vedno kovinsko oblogo, rahlo ukrivljene.

Tretja posebnost gumija je veliko notranje trenje pri deformacijah. Del obremenitve vzmeti se uporablja za premostitev odpora pri trenju in se odvaja kot toplota. Gumi zato oddaja precej manjše delo, kakor ga sprejema, sunke in nihaje ne samo zmanjšuje, temveč tudi duši. V tem se gumi bistveno razlikuje od jekla, ki skoraj nima notranjega trenja.

Tudi oblike gumijastih vzmeti so drugačne kakor oblike jeklenih. Razen prizmatičnih uporabljamo največ obročne oblike (sl. 2), bodisi kot strižne ob aksialni obremenitvi ali pa kot zvojnje vzmeti ob prenosu momenta. Prednost obloge se



Sl. 2. Obročna vzmet pri aksialni, tangencialni in radialni obremenitvi

posebno dobro vidi pri radialni obremenitvi. S pritiskom zunanje sile na notranji obroč ni namreč obremenjen na tlak le del med notranjim obročem in podlogo, marveč je tudi nasprotni del gumijaste povezave obeh obročev obremenjen na nateg, ob straneh pa je gumi obremenjen strižno, tako da gumijasti obroč prenaša obremenitev po celotnem obodu. — Tretja osnovna oblika je gumijasta vrv.

Razen teh osnovnih oblik imamo še vrsto drugih oblik, ki se v glavnem razlikujejo po obliki obloge.

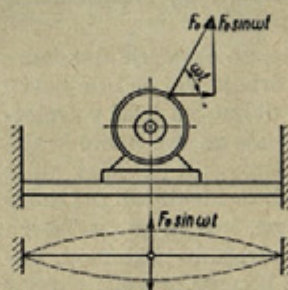
Gumijaste vzmeti vgrajujemo v take konstrukcije, kjer delajo težave sunki, tresljaji in ropot. Strojni deli se tresejo ali vibrirajo, če se deformirajo pod vplivom sunkov ali obremenitev, ki se ponavljajo v enakomernih presledkih. Pod vplivom deformacij nihajo ali se tresejo, sekundarni pojav tega tresenja so akustični efekti, ropot.

Vibracije strojnih naprav in njihove splošno znane škodljive posledice povzročajo največkrat

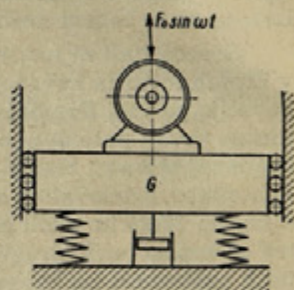
ekscentrične mase pri rotaciji in mehanizmi z neenakomernim gibanjem, včasih tudi neenakomerni vodni, plinski ali elektromagnetni tokovi.

Slika 3 kaže primer o pritrditvi stroja, čigar rotor ni dobro izbalansiran, tako da neizravnane centrifugalne sile povzročajo v vertikalni smeri z vsakim vrtljajem sunek navzgor in navzdol.

Vsak vertikalni sunek lahko izzove vertikalno nihanje nosilca, na katerem je stroj. Podobno niha tudi stroj s podlogo, če sta elastično podprta ali elastično vezana na podporo, kakor to kaže slika 4.



Sl. 3. Ekscentrična masa rotacijskega stroja povzroča upogibne vibracije nosilca



Sl. 4. Vertikalno nihanje prožno pritrjenega rotacijskega stroja

Pod vplivom sunka zaniha masa stroja in podloga s frekvenco

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad \text{kjer je } \omega = \sqrt{\frac{g}{y_0}}$$

Torej je:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y_0}}$$

Tu je g zemeljski pospešek ($= 9,81 \text{ m/s}^2$) in y_0 deformacija vzmeti pod vplivom lastne teže G , ki znaša:

$$y_0 = \frac{G}{C}$$

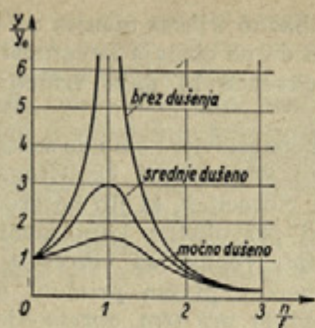
C je enotna sila (sila, ki upogne vzmet za enoto deformacije) ali karakteristika vzmeti.

Sistem torej pod vplivom sunka zaniha s frekvenco, ki jo določa njegova lastna teža G in karakteristika C vzmeti, na kateri niha.

Motilna frekvenca sunkov, ki jih povzroča rotor, pa je enaka vrtilni hitrosti n rotorja.

Če je $n = f$, potem drugi sunek ojačuje nihanje, ki ga je povzročil prvi sunek, kar se nadaljuje tako dolgo, dokler se pod vplivom vedno večjih obremenitev vzmet oziroma elastični del sistema ne preobremeni in ne poruši. Tedaj govorimo o resonanci frekvence sunkov in nihajev sistema. V primeru resonance torej tudi najmanjša ekscentriciteta rotorja lahko povzroča zelo močne vibracije in amplitude y .

Če pa frekvenci nista enaki, se menjavajo interference, razdobja, ko zunanji impulzi nihanje pospešujejo in zopet zadržujejo. Čim večja je razlika

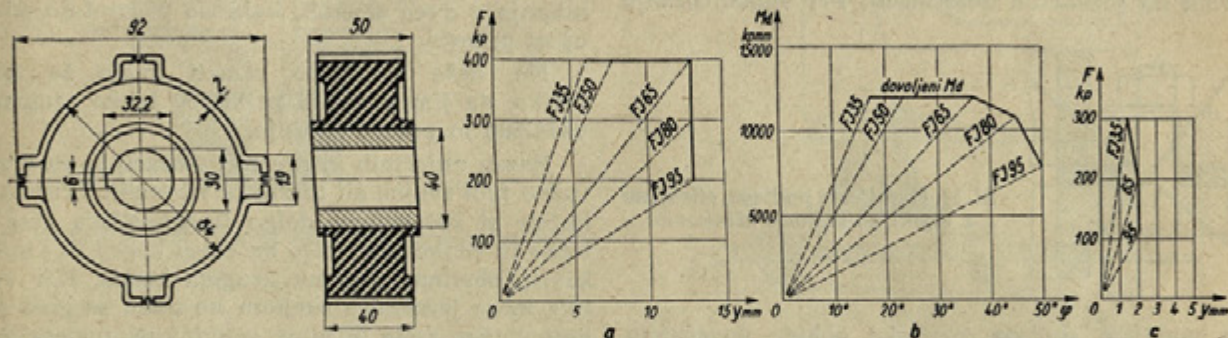


Sl. 5. Rotacija ekscentrične mase povzroča pri nihanju brez dušenja velike deformacije y , če je $n \approx f$, če pa je $n > f$, so deformacije tem manjše, čim večji je n/f . Dušenje jih močno zmanjša posebno v resonančnem področju.

To ponovitev znanih pojmov iz dinamike sem imel za potrebno zato, da popravim nekatere precej razširjene, napačne pojme o funkciji gumijastih vzmeti v borbi proti posledicam vibracij. Gumijaste vzmeti niso izolatorji vibracij, kakršne prikazujejo nekatere proizvodne tvrdke. Prehodov vibracij ne preprečujejo, temveč jih le omejujejo s tem, da spreminjajo lastno frekvenco konstrukcije tako, da se nevarnost resonance s frekvenco sunkov dovolj umakne. S tem se jakost vibracije ob nastanku zmanjša, pri čemer sodelujeta tudi notranje trenje gumija ali dušenje.

Za konstrukterja so torej gumijaste vzmeti podobno sredstvo, s katerim lahko omeji nastanek vibracij na znosno amplitudo. Navadno zadostuje določitev teže dela strojne naprave, ki lahko zaniha, in karakteristike vzmeti, na kateri niha.

Karakteristike za obročne vzmeti in tako zvane tirnice U podajata za izdelke znane tvrdke Con-



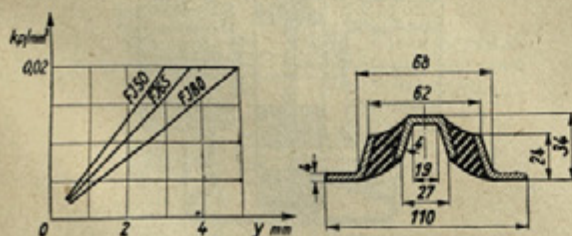
Sl. 6. Obročna vzmet in njene karakteristike za strižno (a) ter zvojno (b) in za radialno (c) obremenitev. Označbe FJ 35 do 95 zajemajo uvedene vrste gumija

frekvenc, tem hitreje si ta razdobja slede drugo drugemu, tako da manjši impulzi sploh ne utegnejo močnejše zanihati sistem. Diagram na sliki 5 razlaga razmerje deformacij med in pred vibracijo v odvisnosti od razmerja obeh frekvenc. Iz nevarnega območja resonance se hitro odmaknemo, če oblikujemo vzmeti tako, da dopuščajo le dva ali trikrat manjše frekvence od vrtilne hitrosti stroja, ki povzroča vibracije.

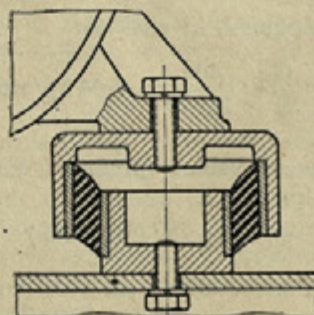
Notranje trenje vzmeti pač toliko bolj zmanjšuje amplitudo nastalega nihanja, kolikor močnejše je. Tedaj govorimo o dušenju nihanja, ki ga povzroča notranje trenje vzmeti.

tinental — Hannover sliki 6 in 7. Način njihove vgraditve ali pritrditve strojev, katerih rotorji ali ročni mehanizmi povzročajo vibracije, pa kažeta sliki 8 in 9.

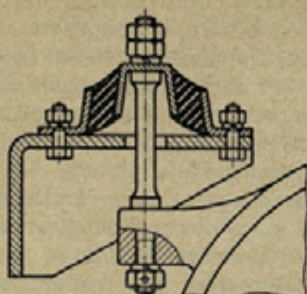
Tako pritrujemo batne motorje in elektromotorje, obdelovalne stroje, tekstilne in tiskarske stroje, kompresorje, ventilatorje, centrifuge, sita, dvigala itd. v vozilih, ladjah, jeklenih konstruk-



Sl. 7. Prožne tirnice U in njihova karakteristika. Izvajajo se v dolžinah do 2 000 mm (izvedba Continental)



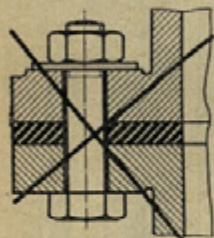
Sl. 8. Prožno podprta noga motorja



Sl. 9. Prožno obešen motor

cijah, zgradbah in povsod tam, kjer vibracije ogrožajo trdnost naprave ali kjer moti ropot.

Enostavne gumijaste podloge (sl. 10) so malo učinkovite, ker je zveza obeh mas z razmeroma togim stebrom vijaka tudi toga. Razen tega pa je tudi obremenitev gumija neenakomerna in navadno vodi do plastičnih deformacij. Pri vulkaniziranju



Sl. 10. Gumijaste podloge, stisnjene z vijaki, so le malo učinkovite

z gumijem spojene kovinske obloge povečujejo nosilnost vzmeti, posredujejo enakomeren prenos zunanjih sil na občutljivi gumijasti del vzmeti in so slednjič tudi dovolj toge za pritrditev na sosedne elemente. Zato izvajamo zveze z gumijastimi vzmetmi vedno tako, da eno oblogo vežemo s konstrukcijo, ki vibrira, drugo pa posebej pritrujemo na dele, ki naj čim manj vibrirajo. Vzmeti seveda ne smemo premoščati s togimi vezmi.

Enostavnost izračuna ustreznih vzmeti naj pokažem s primerom:

Agregat, težak 400 kp, leži na štirih tirnicah U, ki so dolge po 50 mm; vrtilna hitrost je 1450 vrt/min. Skupni prerez vzmeti po sliki 8 je:

$$S = 4 \cdot 5 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 25 \text{ mm} = 10\,000 \text{ mm}^2$$

Strižne napetosti, ki znašajo:

$$\sigma = \frac{G}{S} = \frac{400}{10\,000} = 0,04 \text{ kp/mm}^2$$

so dopustne.

Za gumijasto vzmet (prožnost FJ 65) je po diagramu slike 8:

$$y_0 = 3 \text{ mm} (= 0,003 \text{ m})$$

Frekvenca mase stroja na označenih vzmeteh:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y_0}} = 0,159 \sqrt{\frac{9,81}{0,003}} = 9,08 \text{ 1/s} = 545 \text{ 1/min}$$

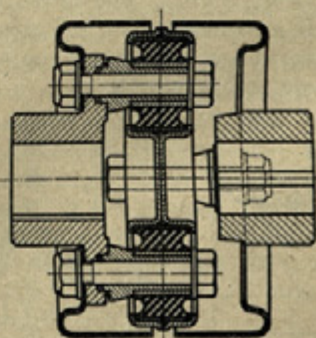
je torej približno trikrat manjša od vrtilne hitrosti stroja, tako da ne obstaja nevarnost resonance. Se manjše frekvence bi dale vzmeti z mehkejšim gumijem.

Zaradi poenostavitve smo do sedaj govorili samo o vertikalni komponenti centrifugalne sile in o vertikalnih vibracijah, ki jih povzroča. Seveda povzroča tudi pravokotna komponenta vibracije v svoji ravnini. Vendar so vibracije v tej ravnini oziroma smeri v prvem primeru manj značilne, kajti nosilec je pri tem obremenjen na tlak in nateg; ker je prerez velik, so deformacije le majhne in možnost preobremenitve v tej smeri manjša. Seveda je frekvenca prečnega nihanja lahko popolnoma drugačna kakor za vzdolžno nihanje. Zato je koristna tudi njena kontrola in taka določitev, ki izključuje resonanco.

Obe vibraciji se pojavljata istočasno. Razpravljali pa smo o njih ločeno zato, ker je predstava nihanja v eni prosti smeri lažje razumljiva, kakor nihanje v dveh smereh, kakršno povzročajo omenjeni primeri.

No, naše gumijaste vzmeti imajo že tako obliko, da jim v večini primerov lahko zaupamo vzdolžno in prečno nihanje.

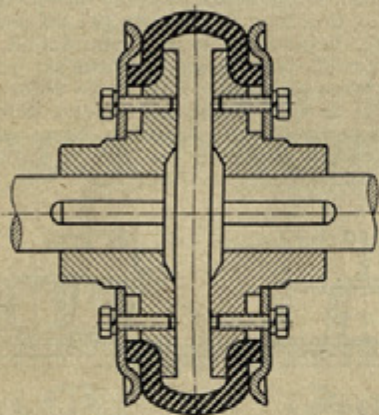
Razen vzdolžnih in prečnih vibracij so za gredi važne tudi zvojne ali torzijske vibracije. Predstavljajmo si kot primer dolgo transmisijsko gred s težko in veliko jermenico na enem koncu in s sunkovito obremenitvijo na drugem koncu. Ker velika masa jermenice sunkom ne sledi, se gred po vsej dolžini zvija in niha, enako kakor vpeta mirujoča palična zvojna vzmet. Če se sunki ponavljajo v določenem ritmu, se pojavlja možnost resonance impulzov in torzijskega nihanja. Temu se zopet lahko izognemo z vgraditvijo elastičnega elementa, elastične gredne vezi ali sklopke. Slika 11 kaže tako gredno vez z vgrajenimi obročnimi vzmetmi. Le-te prenašajo vrtilni moment gredi in so torej radialno obremenjene. Obročne vzmeti z oblogo izkoriščajo pri tem celotni gumijasti obroč, kakor smo to omenili za radialno obremenitev na sliki 2. Starejše izvedbe grednih vezi z gu-



Sl. 11. Prožna gredna vez z vgrajenimi obročnimi vzmetmi (Silentbloc)

mijastimi obroči brez jeklene obloge omogočajo le tlačno obremenitev gumija, torej mnogo manjšo nosilnost in so zato manj popolne.

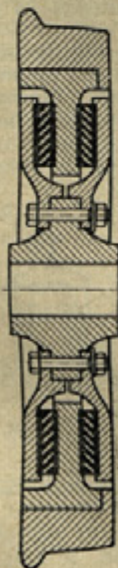
Prenos večjih neenakomernosti med gonilnimi in gnanimi stroji preprečujejo zelo prožne gredne vezi (slika 12). Dolžina zvojni obremenitvi izpostavljenega gumijastega venca je tolikšna, da je možno medsebojno zaostajanje in prehitevanje obeh rotorjev do 20° in izravnavanje več milimetrskih in stopinjskih odstopov od koaksialnosti obeh gredi.



Sl. 12. Zelo prožna gredna vez (Periflex — Stromag)

Podobna je zaščita tirničnih vozil pri prožni povezavi vencev in gredi (slika 13). Enake oblike gumijastih vzmeti srečujemo pri napravah za dušenje vibracij pri motorjih z notranjim zgorevanjem.

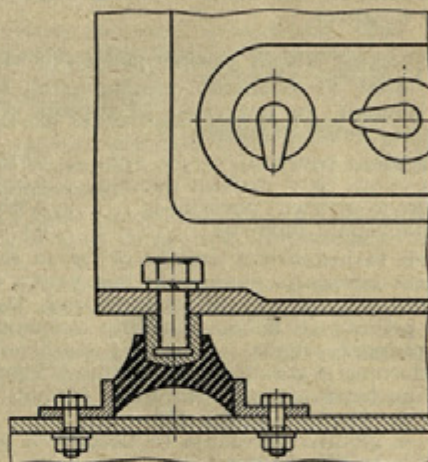
Posebno področje uporabe gumijastih vzmeti obsega naposled zaščita občutljivih naprav pred



Sl. 13. Zmanjševanje prenosa sunkov pri tirničnih vozilih

vibracijami. V vozilih, ladjah in jeklenih konstrukcijah, ki vibrirajo zaradi vgrajenih strojev, pritrjujemo občutljive naprave, instrumente, radijske oddajnike in sprejemnike itd. z gumijastimi vzmetmi. Za težje naprave uporabljamo zgoraj omenjene obročne oblike, za lažje pa tudi manjše, kakršne kaže slika 14 za primer prožne pritrditve občutljivega instrumenta.

Za zaključek naj še omenim, da se gumijaste vzmeti, podobno kakor jeklene, uporabljajo povsod tam, kjer s prožno povezavo strojnih naprav omejujemo vibracije in posamezne sunke, izravnavamo



Sl. 14. Na prožno obešen instrument se ne prenašajo vibracije od podporne konstrukcije

pri montaži ali med obratovanjem nastale izpremembe medsebojne lege, izenačujemo razdelitev obremenitev na več podpor, povzročamo stalne pritiskne sile itd. Prožne zveze prihajajo iz letalstva in avtomobilizma, na ostala področja pa se uvažajo razmeroma le počasi.

Posebno pri nas se gumijaste vzmeti le malo uporabljajo. S tem se gubijo možnosti za graditev manjših fundamentov, razporeditev strojev v višjih nadstropjih betonskih in jeklenih zgradb, zmanjševanje dinamičnih obremenitev konstrukcij, zaščita občutljivih naprav in zmanjševanje ropota. Ta pregled gumijastih vzmeti naj bi poskusil pokazati, da so njihovi izračuni in oblike precej enostavni.

K temu bi še dodal, da v naši tovarni Sava — Kranj že izdelujejo precej osnovnih oblik. Pri reševanju težjih problemov se lahko poslužujemo izdelkov in izkušenj tovarne Continental, ki ima v Zagrebu svoje zastopstvo. V vsakem primeru se zato tudi pri nas lahko izvedejo prožne konstrukcije, če so potrebne.

Avtor: dr. ing. Branko Kozina, Oddelek za strojništvo Tehniške fakultete v Ljubljani.