

VIBRACIJSKO DUŠILNE LASTNOSTI BUTILNIH VULKANIZATOV

VIBRATION DAMPING PROPERTIES OF BUTYL VULCANIZATES

Črtomir Šilar, Pavel Munih, Zoran Šušterič

Sava, d.d., Razvojno-tehnološki inštitut, Škofjeloška 6, 4502 Kranj, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 2000-10-10; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-08-16

Za izolacijo zgradb od tal, ki postaja vodilna tehnologija na potresno najbolj obremenjenih območjih, so potrebna visoko dušilna elastomerna ležišča. Z njihovo uporabo dosežemo znižanje lastne frekvence objekta in zmanjšamo prenos potresne energije s tal na objekt. V tem delu smo preučili vibracijsko dušilne sposobnosti butilnega elastomera v kombinaciji z žveplom in sajami, ki bi ga uporabili pri izdelavi protipotresnih ležišč.

Ključne besede: dušenje vibracij, butilni kavčuk, protipotresno ležišče

Insulating a building from the ground is becoming the most important technology in earthquake regions and requires highly-vibration-damping rubber bearings. Their application lowers the natural frequency of the building and reduces the ground-to-building transmission of the earthquake energy. In this work, the vibration damping properties of butyl elastomer in combination with sulphur and carbon black were studied, in terms of earthquake insulation bearings.

Keywords: vibration damping, butyl rubber, earthquake insulation bearings.

1 UVOD

Najnovejše rešitve na področju izolativne protipotresne gradnje priporočajo uporabo visoko dušilnih elastomernih ležišč, ki poleg fleksibilnosti vključujejo tudi visoko stopnjo togosti v vertikalni in horizontalni smeri ob čim večji stopnji dušenja, s čimer se odpravljajo vsi dodatni elementi za doseg navedenih lastnosti.

V literaturi se na tem področju pojavljajo tri skupine elastomernih materialov: vulkanizati naravnega kavčuka (NR), kloroprenskega kavčuka (CR) in butilnega kavčuka (IIR). V naši raziskavi smo zaradi širokega območja uporabnosti preučili dušilne lastnosti slednjih. Zaradi morebitne kompatibilnosti z drugimi elastomeri smo uporabili klorbutilni kavčuk (CIIR), ki spada v skupino halogeniziranih butilnih kavčukov. Izmerili smo dinamične mehanske funkcije, to sta dinamični strižni modul G' in strižni modul izgub G'' , količini, ki vplivata na dušilne lastnosti protipotresnih ležišč, ter pokazali, kako sta ti količini odvisni od vsebnosti saj in žvepla v kavčuku.

Namen tega dela je bil najti vulkanizat s čim boljšimi histereznimi lastnostmi (tangens izgub $tg\delta = G''/G'$) ob še sprejemljivih pomembnejših mehanskih lastnostih⁵.

2 TEORETIČNE OSNOVE

Najpomembnejša lastnost dušilnega elementa (ležišča) je njegova transmisivnost T , definirana kot razmerje med preneseno in vsiljeno zunanjo silo, ali ekvivalentno, razmerje med ustreznima pospeškoma oz. amplitudama pomika objekta in tal. Navedene količine

so v naslednji medsebojni zvezi: $F = ma_0 = -\omega^2 x_0$, kjer je F sila, a_0 amplituda pospeška in x_0 amplituda pomika. Transmisivnost kot funkcija frekvence je podana z naslednjo enačbo¹:

$$T(\omega) = \left\{ \frac{1 + tg^2\delta(\omega)}{[1 - (\omega/\omega_0)^2 G'(\omega)/G'(\omega_0)]^2 + tg^2\delta(\omega)} \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

kjer je ω vsiljena frekvenca, ω_0 lastna frekvenca nihajočega sistema, G' dinamični strižni modul elastomera in $tg\delta = G''/G'$ njegov tangens izgub, pri čemer je G'' strižni modul izgub. Učinkovitost dušenja vibracij narašča s pojemanjem transmisivnosti. Če sta vsiljena in lastna frekvenca podobni, $\omega \approx \omega_0$, se sistem odziva resonančno, kar povzroča najbolj uničujoče učinke potresa. V tem primeru se enačba (1) poenostavi v:

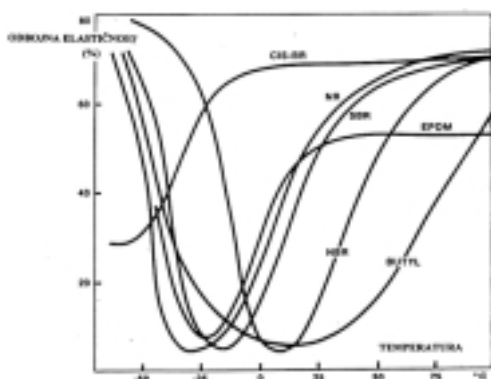
$$T(\omega) \approx [1 + tg^{-2}\delta(\omega)]^{1/2}. \quad (2)$$

Očitno je, da če želimo v resonančnih razmerah doseči čim nižjo transmisivnost (čim bliže 1), mora biti tangens izgub vulkanizata čim višji, zato smo v tem delu iskali vulkanizat s tako sestavo, ki omogoča čim višji $tg\delta$.

Primerna količina za hitro karakterizacijo viskoelastičnih materialov je odbojna elastičnost R , ki je s tangensom izgub v naslednji zvezi²:

$$R \approx \exp(-\pi tg\delta). \quad (3)$$

Ta enačba pove, da odbojna elastičnost pojema z naraščajočim tangensom izgub. Butilni vulkanizati se od drugih omenjenih razlikujejo predvsem po visokem



Slika 1: Odvisnost odbojne elastičnosti nekaterih vulkanizatov od temperature³

Figure 1: Dependence of rebound resilience on temperature for various rubbers³

tangensu izgub in posledično nizki odbojni elastičnosti v uporabnem temperaturnem območju (slika 1). To je bil tudi glavni vzrok za uporabo butila v tem delu.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

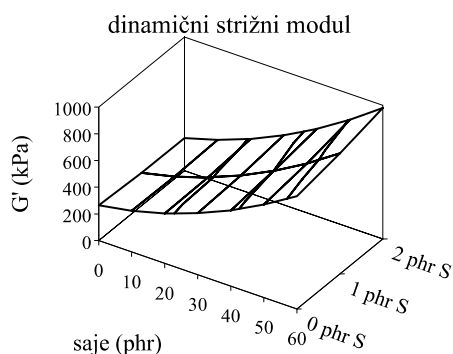
Sestavo zmesi smo načrtovali z Box-Hunterjevo statistično shemo⁴. V nespremenljivem delu receptur smo uporabili tri komponente: kavčuk (100 phr), ZnO (5 phr) in stearinsko kislino (1 phr), v spreminjajočem delu pa prav tako tri komponente: saje (0-60 phr), žveplo (0-2 phr) in pospeševalo (0-2 phr).

Box-Hunterjeva statistična shema predpisuje za tri variable dvajset mešanj, pri čemer je šest sestav enakih, kar omogoča določitev eksperimentalnih napak.

Tako dobljene elastomerne zmesi smo vulkanizirali v aparatu Rubber Process Analyser (RPA 2000 - Alpha Technologies). Vulkanizacija je potekala v komori volumna 4,5 cm³ 15 minut pri temperaturi 150 °C.

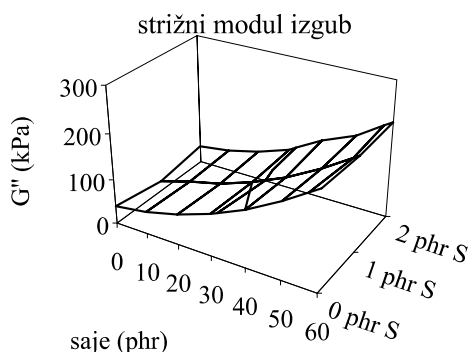
Pri tako dobljenih vulkanizatih smo z isto aparaturo izmerili tangens izgub pri strižni deformaciji 45 %, frekvenci 3Hz in temperaturi 40 °C.

Rezultate smo statistično obdelali z računalniškim programom, ki sloni na Box-Hunterjevi statistični shemi.



Slika 2: Odvisnost dinamičnega strižnega modula od vsebnosti žvepla in saj v CIIR- vulkanizatu

Figure 2: Dependence of dynamic modulus on carbon black and sulphur content for CIIR-rubber



Slika 3: Odvisnost strižnega modula izgub od vsebnosti žvepla in saj v CIIR - vulkanizatu

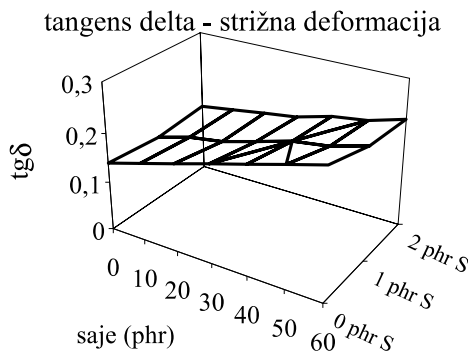
Figure 3: Dependence of loss modulus on carbon black and sulphur content for CIIR-rubber

Ta omogoča določitev lastnosti vulkanizatov pri katerikoli vsebnosti spreminjajočih sestavin v okviru opravljenega eksperimenta.

4 REZULTATI

Rezultati meritev so pokazali prevladujoč vpliv deleža saj in žvepla v celotni sestavi na izbrane merjene lastnosti, medtem ko je bil vpliv pospeševala precej manjši. Na sliki 2 so prikazani dinamični strižni moduli, na sliki 3 strižni moduli izgub in na sliki 4 tangensi izgub v okviru izbranih spremenljivk.

Iz dobljenih rezultatov je razvidno, da strižni modul izgub in tangens izgub pojemata z naraščajočo vsebnostjo žvepla, kar gre pripisati večji elastičnosti vulkanizatov. Po drugi strani pa pri dani vsebnosti žvepla omenjeni količini naraščata z vsebnostjo saj, ker v elastomeru aglomerati saj delujejo kot energijsko desipacijski centri. Dinamični strižni modul raste z vsebnostjo žvepla zaradi boljše premreženosti vulkanizatov, prav tako pa raste z vsebnostjo saj zaradi interakcij med delci polnila in molekulami elastomera, ki naredijo strukturo vulkanizata trdnejšo in bolj elastično.



Slika 4: Odvisnost tangensa izgub pri 45 % strižni deformaciji, frekvenci 3Hz in temperaturi 40 °C od vsebnosti žvepla in saj v CIIR - vulkanizatu

Figure 4: Dependence of $\tan\delta$ on carbon black and sulphur content at 45% shear strain and a frequency of 3Hz at 40 °C

5 SKLEP

Dobljeni rezultati so pokazali, da je z različnimi sestavami klorobutilnega kavčuka z žveplom in sajami možno ustvariti vulkanizate širokega območja togosti in dušilnih lastnosti. Takšni vulkanizati so zato primerni za izdelavo znatne izbire vibracijsko dušilnih elementov.

Ker je bil namen dela poiskati optimalno sestavo vulkanizata, ki bi ustrezal zahtevanim lastnostim, daje v okviru opravljenega dela optimalne rezultate vulkanizat z naslednjo sestavo: 100 phr CIIR, 5 phr ZnO, 1 phr stearinske kisline, 0,4 phr žvepla, 1,6 phr pospeševala in 48,4 phr saj.

6 LITERATURA

- ¹ J. M. Kelly: Earthquake-Resistant Design with Rubber, Springer Verlag, London, 1993, Chaps. 1-3
- ² R. P. Brown: Physical Testing of Rubber, Applied Science Publishers, London, 1979, Chap. 9
- ³ Bayer Polysar Technical Centre Antwerp: Butyl and Halobutyl Compounding Guide for Non-Tyre Applications, Bayer AG Business Group, Leverkusen, 1992
- ⁴ G. E. P. Box and J. S. Hunter: Multi-factor experimental design for exploring response surfaces, Ann. Math. Stat., London, 1957
- ⁵ Č. Šilar: Načrtovanje elastomernih protipotresnih materialov, diplomsko delo, FKKT, Ljubljana 1999