

Odlični v znanosti 2017

Ljubljana, oktober 2017

Tehnološki preboj na področju dušenja vibracij, udarnih obremenitev in hrupa

Raziskovalna skupina:

dr. Marko Bek, dr. Alexadra Aulova, dr. Marina Gergesova, dr. Joamin Gonzales Gutierrez, dr. Anatoly Nikonov, mag. Ragunanth Venketesh, mag. Plavel Oblak in dr. Igor Emri

Raziskovalni partnerji:

dr. Bernd von Bernstorff, dr. Arkady Voloshin, dr. Rostislav Simonynts, in dr. Hongbing Lu

Center for Experimental Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

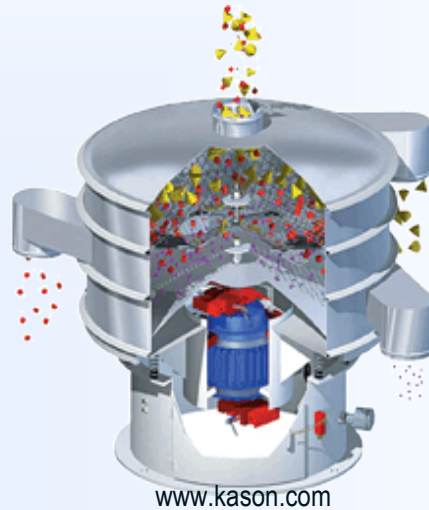
Problem

- Vibracije in hrup nezaželene
- Vibracije potrebne (nadzorovano)



www.shutterstock.com

Teptanje



www.kason.com

Ločevanje materialov



<http://goo.gl/EHFO6H>

Železniški transport



<http://goo.gl/VQYCDp>

Gospodinjski aparati

Problem

- EU komisija ocenjuje, da je družbeni (medicinski) strošek povezan samo s cestnim in železniškim hrupom in vibracijami v EU 40 milijard €/leto



EUROPEAN COMMISSION

Brussels, 9.12.2011
COM(2011) 856 final

2011/0409 (COD)

C7-0487/11

Proposal for a

REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

on the sound level of motor vehicles

(Text with EEA relevance)

{SEC(2011) 1504 final}

{SEC(2011) 1505 final}

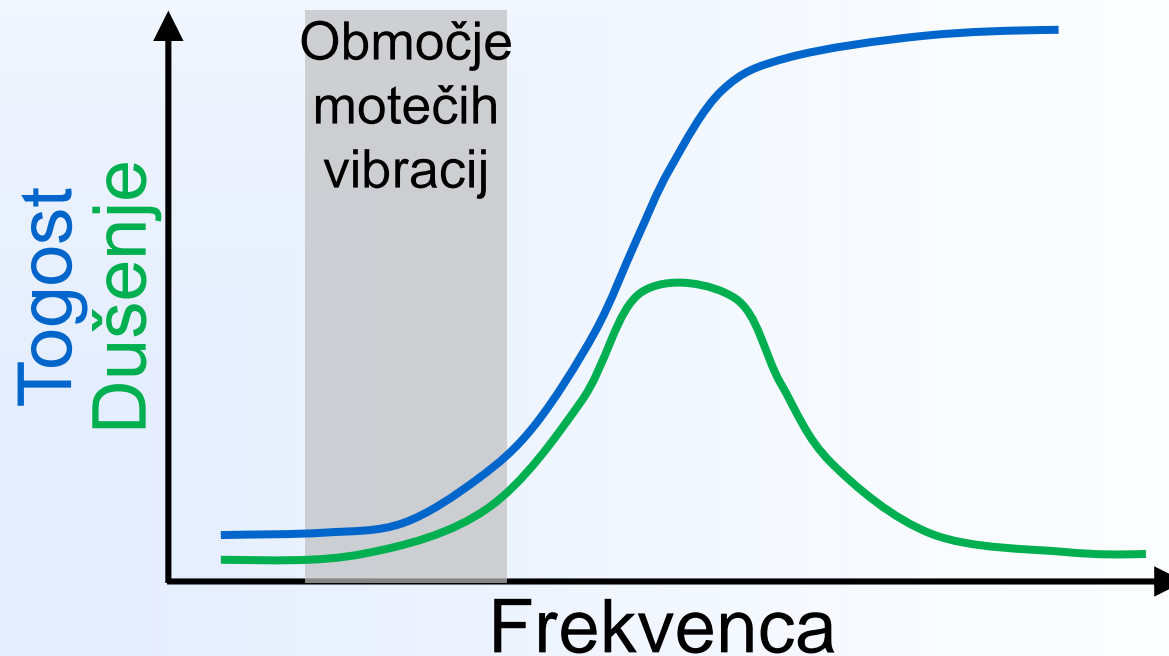
Tehnološki preboj

- Predstavljena bo invencija, ki kreativno povezuje raziskovalne rezultate naše programske skupine in predstavlja *tehnološki preboj* na področju dušenja vibracij, udarnih obremenitev in hrupa.
- Dušilni elementi izdelani po naši tehnologiji prekašajo vse trenutno znane tehnične rešitve za najmanj deset (10) krat!
- Predstavljeni dosežek je demonstrativni primer *na raziskavah temelječe inovacije* (research based innovation)

Inventivna integracija bazičnih znanj - 1

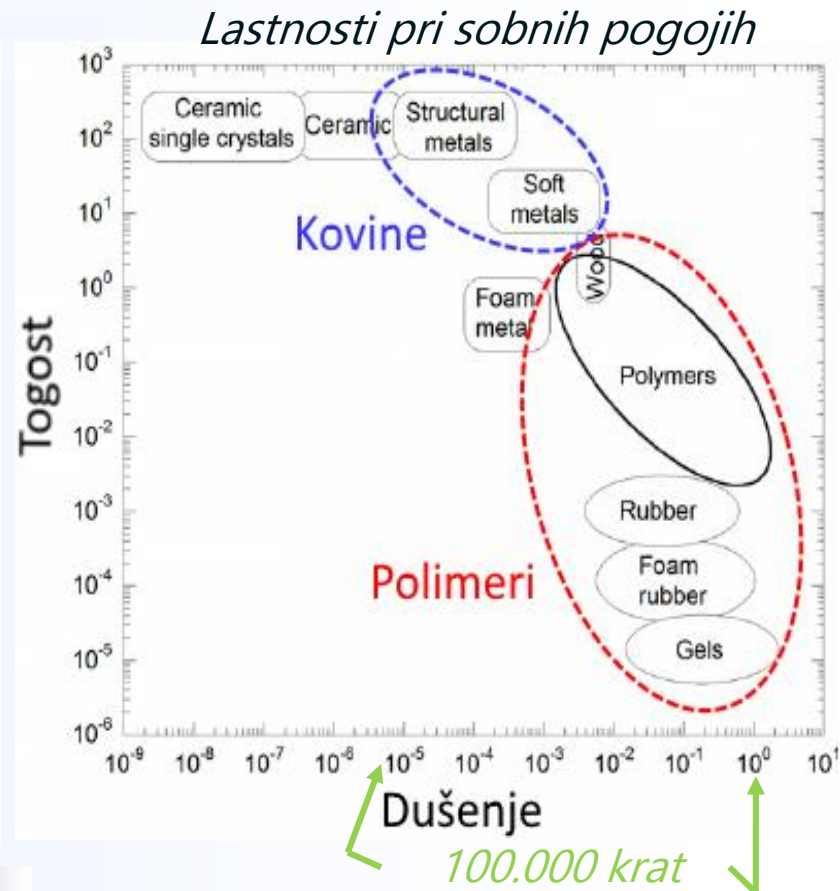
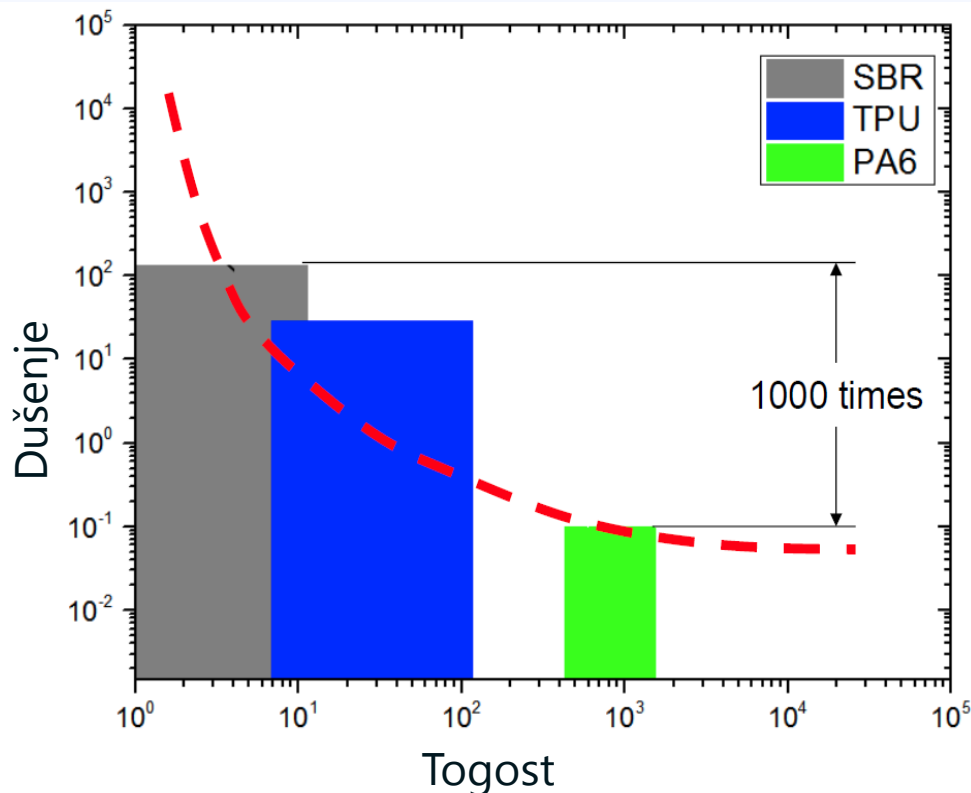
Osnove o vedenju polimerov :

- Lastnosti polimerov se spreminjajo s časom in frekvenco mehanske obremenitve
- Polimeri izkazujejo dobro dušenje in togost pri visokih frekvencah



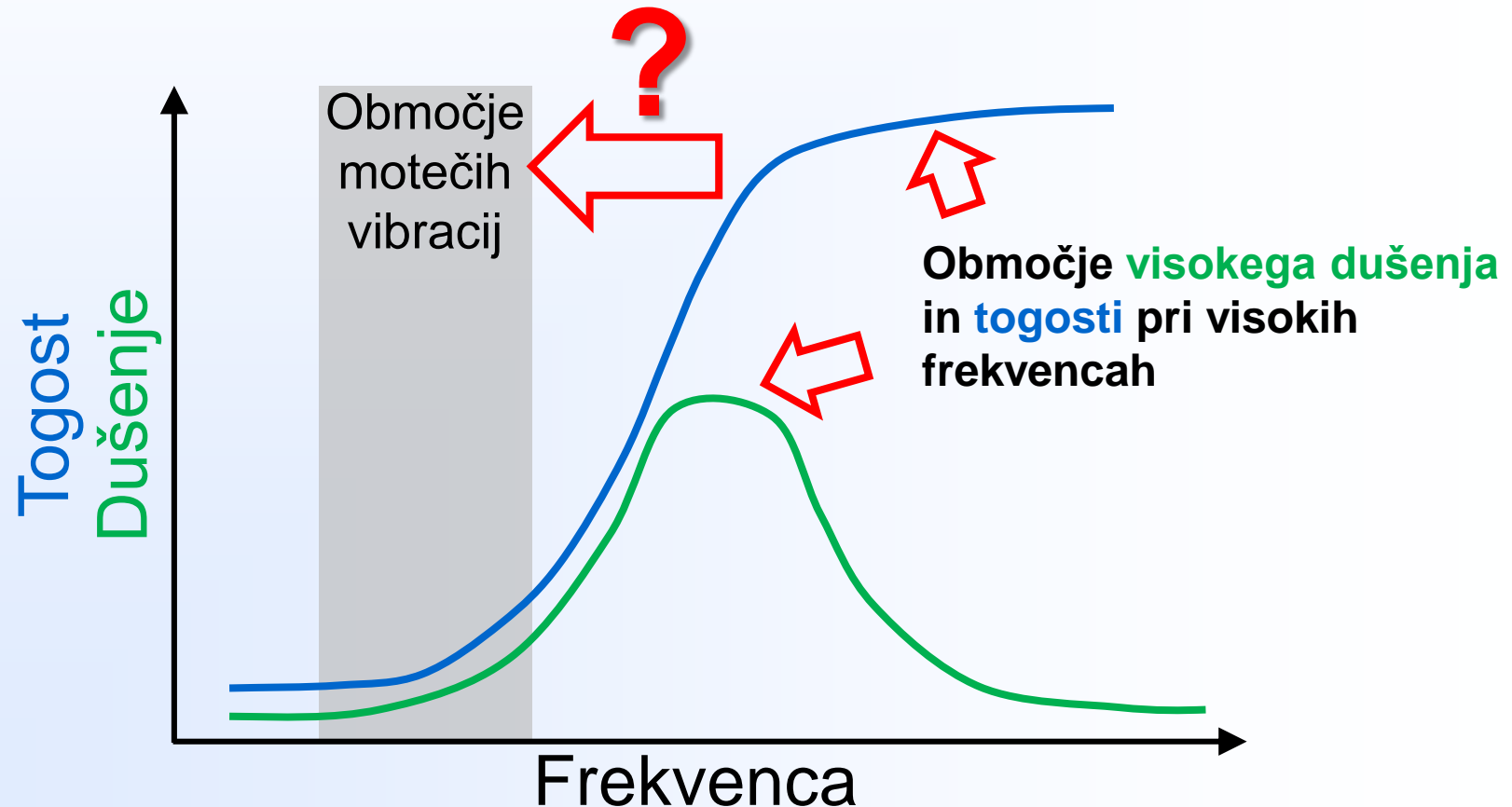
Potencial obstoječih materialov

- Različni polimeri – različne lastnosti
- Pri sobnih pogojih imajo zadovoljivo togost in dušenje
- V primerjavi s kovinami polimeri:
 - **1000 – 1M** krat boljše **dušenje**
 - **togost 1000 – 100.000** krat slabša.



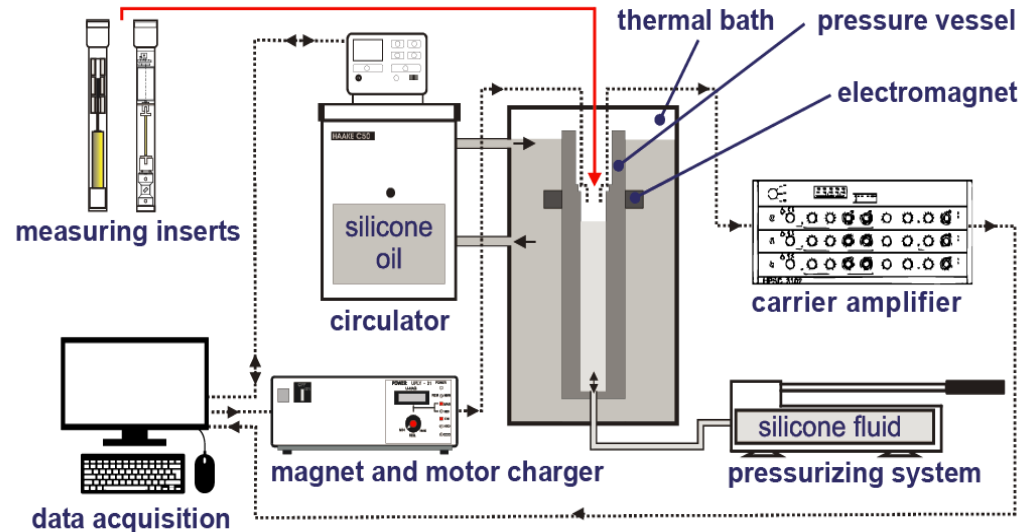
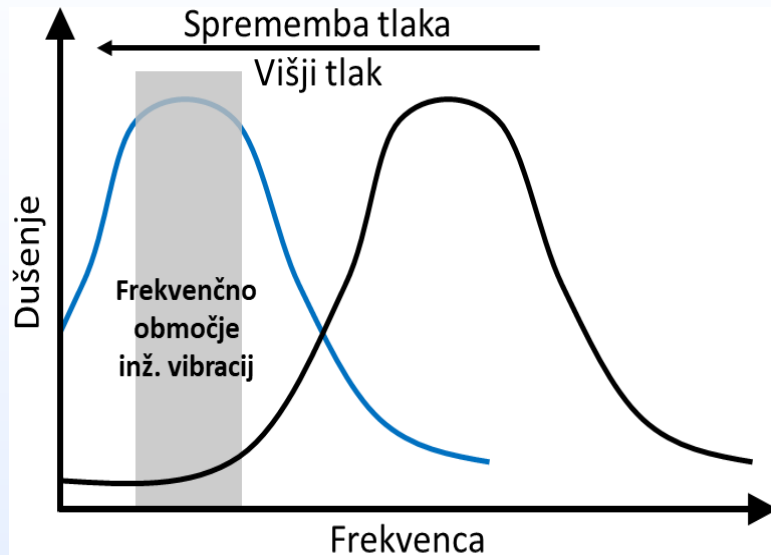
Potencial obstoječih materialov

Ali lahko izboljšamo dušenje in togost polimernih materialov?



Inventivna integracija bazičnih znanj - 2

● Vpliv tlaka in temperature na vedenje časovno odvisnih materialov:



Google Scholar: 457 citatov

- ✦ The effect of temperature and pressure on the mechanical properties of thermo-and/or piezorheologically simple polymeric materials in thermodynamic equilibrium—A critical review; *Mechanics of Time-Dependent Materials* 6 (1), 53-99, 2002
- ✦ Poisson's ratio in linear viscoelasticity—a critical review; *Mechanics of Time-Dependent Materials* 6 (1), 3-51, 2002
- ✦ A measuring system for bulk and shear characterization of polymers; *Experimental mechanics* 46 (4), 429-439, 2006
- ✦ The closed form tTP shifting (CFS) algorithm; *Journal of rheology* 55 (1), 1-16, 2011 **Nov ISO STANDARD: ISO 18437: 2017**

Inventivna integracija bazičnih znanj - 3

Modeliranje nelinearnega vedenja polimerov – model Knauss-Emri

$$\sigma_{kk}(t) = 3 \int_0^t K[t'(t) - \lambda'(t)] \frac{\partial \theta(\lambda)}{\partial \lambda} d\lambda \quad S_{ij}(t) = 2 \int_0^t G[t'(t) - \lambda'(t)] \frac{\partial e_{ij}(\lambda)}{\partial \lambda} d\lambda$$

$$t'(t) - \lambda'(t) = \int_{\lambda}^t \frac{d\xi}{\Phi[T(\xi), \theta(t), c(\xi)]} \quad \log \Phi[T(\xi), \theta(t), c(\xi)] = \frac{b}{2.303} \left(\frac{1}{f[T(\xi), \theta(t), c(\xi)]} - \frac{1}{f_0} \right)$$

$$f[T(\xi), \theta(t), c(\xi)] = f_0 + f_T + f_{\theta} + f_c$$

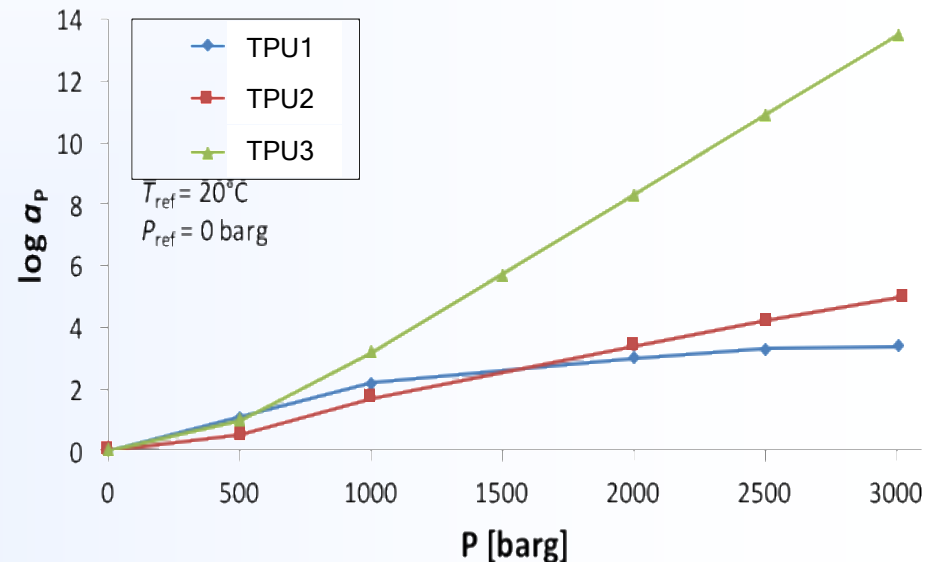
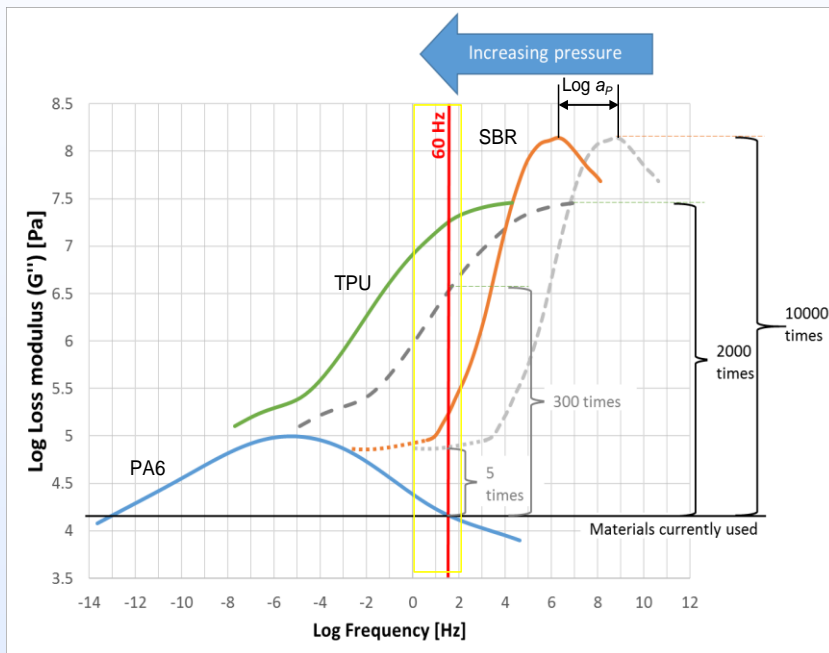
$$f_T = \int_0^t \alpha(t - \lambda) \frac{\partial T(\lambda)}{\partial \lambda} d\lambda \quad f_{\theta} = \frac{1}{3} \int_0^t M(t - \lambda) \frac{\partial \sigma_{kk}(\lambda)}{\partial \lambda} d\lambda \quad f_c = \frac{1}{3} \int_0^t \gamma(t - \lambda) \frac{\partial c(\lambda)}{\partial \lambda} d\lambda$$

Google Scholar: 455 citatov

- ✦ Volume change and the nonlinearly thermo-viscoelastic constitution of polymers; *Polymer Engineering & Science* 27 (1), 86-100, 1987
- ✦ Non-linear viscoelasticity based on free volume consideration; *Computers & Structures* 13 (1-3), 123-128, 1981

Vpliv tlaka na vedenje polimerov

- S hidrostatskim tlakom lahko spreminjamo frekvenčno odvisnot togosti in dušenja polimerov



Kako ustvariti tako visoke hidrostatske tlake?

Inventivna integracija bazičnih znanj - 4

- Fundamentalno razumevanje klasične mehanike (narava časovne odvisnosti, izvor dvojice sil, relacija med tlačno in strižno obremenitvijo,...)

- ⊕ Visokega tlaka $P = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ NI mogoče zagotoviti z enoosno obremenitvijo, ker se material zruši zaradi strižnih napetosti.

- ⊕ Na mikro- in nano-skali nekateri osnovni koncepti *klasične mehanike* ne veljajo!



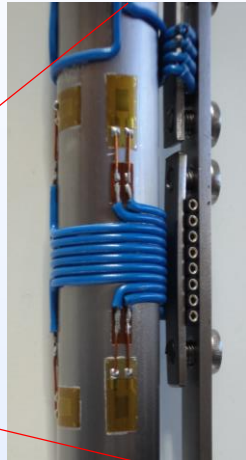
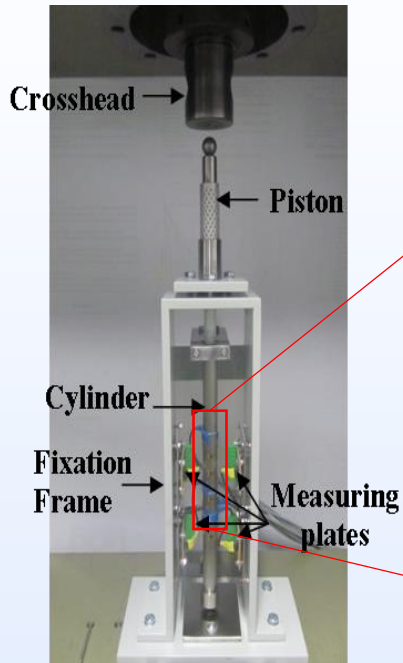
$$\lim_{V \rightarrow 0} \frac{\sigma_{kk}}{\tau_{ij}} = \infty$$

Google Scholar: 105 citatov + 7197 downloads

- ⊕ Mechanics of polymers: Viscoelasticity; Springer handbook of experimental solid mechanics, 49-96, 2008
- ⊕ Rheology of solid polymers; Rheology Reviews 2005,
- ⊕ Time-dependent behaviour of solid polymers; Encyclopaedia of life support systems (EOLSS), UNESCO, 2010
- ⊕ Textbook: Statics – Learning Statics: Learning from Engineering Examples, Springer, 2016 (7197 Downloads)

Inventivna integracija bazičnih znanj - 5

● Razumevanje vedenja granuliranih materialov:



⊕ Granuliran material se vede kot tekočina



⊕ Granuliran material je samozapopren



Google Scholar: 5 citatov + 2 mednarodna patenta

- ⊕ Apparatus for measuring friction inside granular materials—Granular friction analyzer; Powder Technology 288, 255-265, 2016 (5 citatov)
- ⊕ *Dissipative bulk and granular systems technology* : EP 12006059 (A1) - 2014-02-26. München: Europäisches Patentamt, 2016. 17 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [12444187](#)]
- ⊕ *Sleeper with damping element based on dissipative bulk or granular technology* : EP2700838 (B1), 2015-07-01. München: Europäisches Patentamt, 2016. 23 f., ilustr. [COBISS.SI-ID [12444699](#)]

Inventivna integracija bazičnih znanj - 6

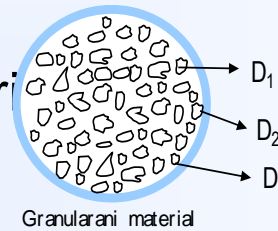
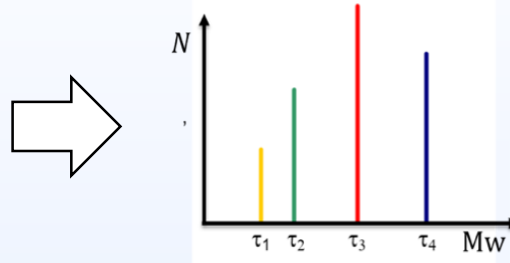
Ugotovili smo, da s spreminjanjem porazdelitve velikosti *gradnikov* lahko vplivamo na kinetiko procesov v sistemu:

- **Molekularni nivo:** spreminjanje porazdelitve molskih mas

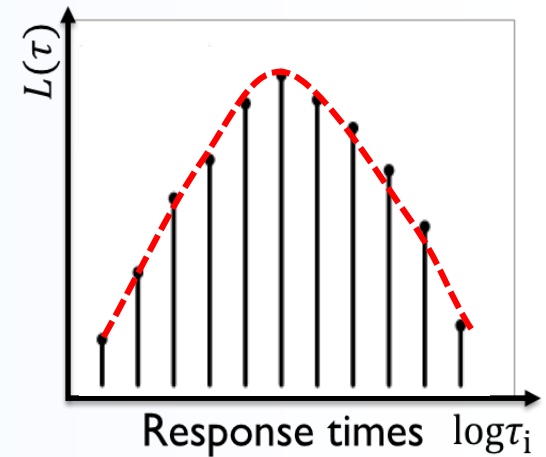
Mehanski spekter



Shematski prikaz polimernega materiala



Granularni material



- **Makro nivo:** granularni material

Google Scholar: 403 citatov + 19 mednarodnih patentov

- ⊕ Generating line spectra from experimental responses. Part I: Relaxation modulus and creep compliance; Rheologica Acta 32 (3), 311-322, 1993
- ⊕ Generating line spectra from experimental responses. Part II: Storage and loss functions; Rheologica Acta 32 (3), 322-327, 1993
- ⊕ Generating line spectra from experimental responses. III. Interconversion between relaxation and retardation behavior; International Journal of Polymeric Materials 18 (1-2), 117-127, 1992
- ⊕ Generating line spectra from experimental responses. Part IV: Application to experimental data; Rheologica acta 33 (1), 60-70, 1994
- ⊕ Determination of mechanical spectra from experimental responses; International journal of solids and structures 32 (6-7), 817-826, 1995
- ⊕ The effect of molecular mass distribution on time-dependent behavior of polyamides; Journal of applied mechanics 73 (5), 752-757, 2006
- ⊕ 30 mednarodnih patentov (20 citatov v člankih)

Inventivna patentirana ideja

Dissipative bulk and granular systems technology : EP 12006059 (A1)
- 2014-02-26. München: Europäisches Patentamt, 2016. 17 f., ilustr.
[COBISS.SI-ID [12444187](#)]

- Z ustrezno porazdelitvijo velikosti delcev granuliranih materialov lahko spreminjamo njihovo »pretočnost«.
- Tak granulirani material uporabimo za ustvarjanje hidrostatičnega tlaka znotraj togega-fleksibilnega kontejnerja – podobno kot z zrakom v pnevmatikah.
- Ustvarjeni hidrostatični tlak spremeni lastnosti samega granuliranega materiala.
- Na ta način lahko s tlakom zvezno spreminjamo frekvenčne karakteristiko dušilnih lastnosti viskoleastičnega materiala in jo uskladimo s frekvenco/hitrostjo mehanske obremenitve →

Granulirani Dušilni Elementi - GDE

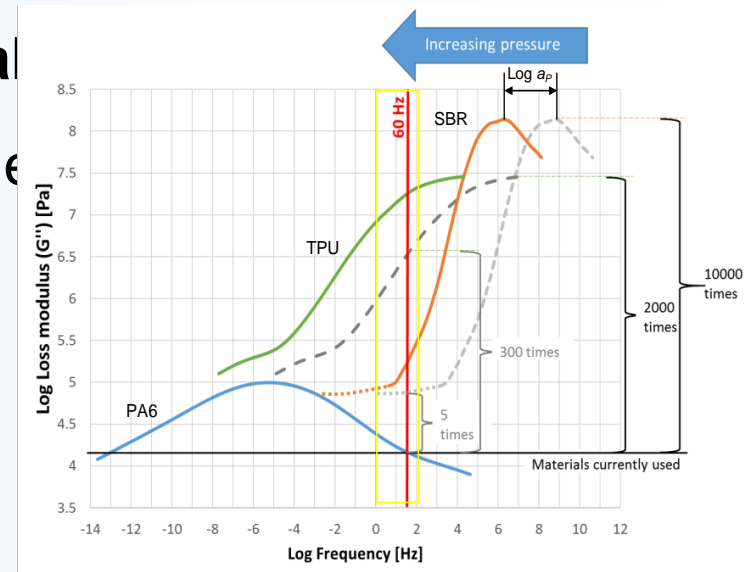
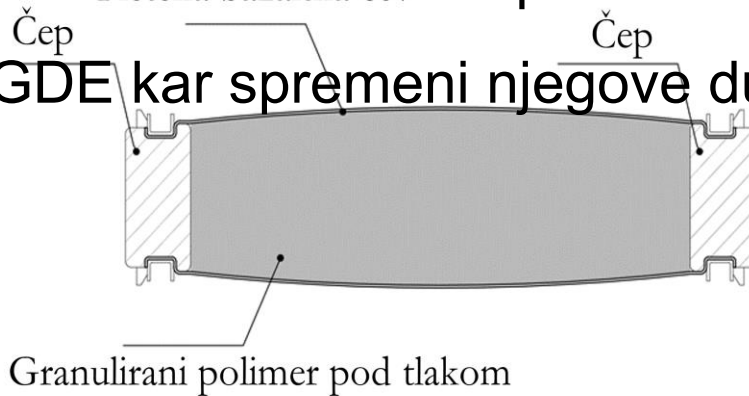
- Granuliran Dušilni Element (GDE) je sestavljen

iz:

- Pletene (bazaltne) cevi
- Napolnjene z **granuliranim** polimernim **materialom**



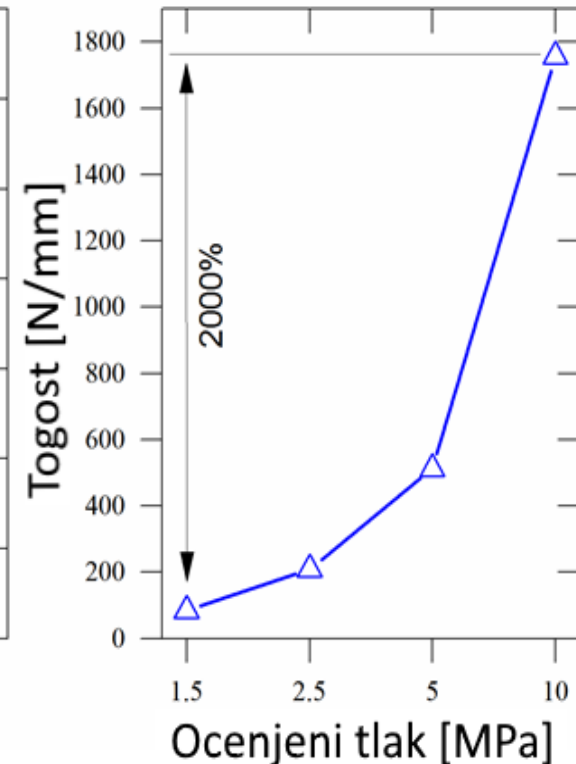
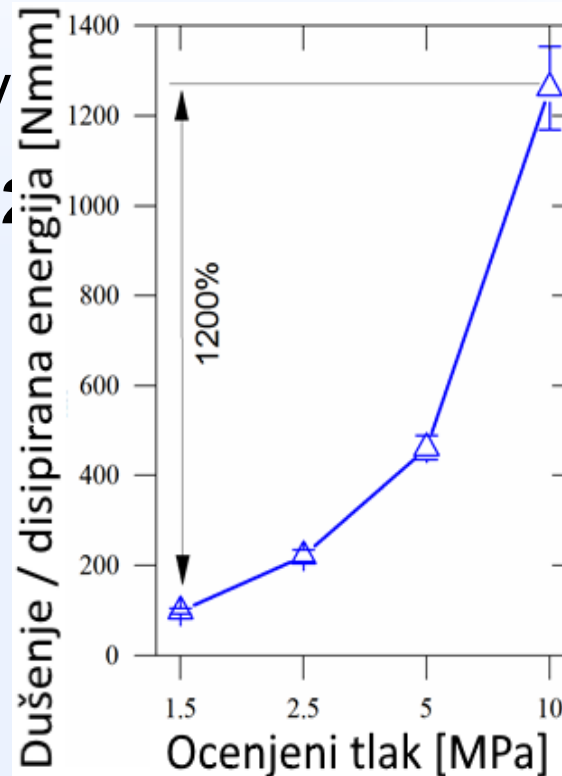
- Polimerni material izpostavimo **tlaku** kar spremeni njegove dušilne



Granulirani Dušilni Elementi - GDE

- GDE narejeni iz odpadne gume avtomobilskih pnevmatik
- Ob izpostavitvi GDE hidrostatičnemu tlaku so se:

- Dušilne lastnosti povečane za faktor 1200%
- Togost pa za faktor 20000%
GDE napolnjen z odpadno gumo



Implementacija & uporaba

- Avtomobilski odbijači
- Protipotresna zaščita
- Dušenje vibracij & hrupa strojev
- Dušenje vibracij & hrupa železniških tirnic

Potencial za Slovenijo:

- Razvojno-raziskovalni oddelek
- Proizvodnja



Thank You for Your Attention

isiT



BASE



Contacts:

Center for Experimental Mechanics
Faculty of Mechanical Engineering,
University of Ljubljana

Pot za Brdom 104, SI-1125, Ljubljana
SLOVENIA

Telephone: (+386-1) 6207 100
Fax: (+386-1) 6207 110
E-mail: cem@fs.uni-lj.si

