

SWISS – LATVIAN
Cooperation Programme



Asfaltbetona veiktspējas novērtējums zemās temperatūrās – jauna pieeja

Aivars Kļavinskis, nozares speciālists
Būvniecības inženierzinātņu institūts
Rīgas Tehniskā universitāte



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Ministry of
Education and Science
Republic of Latvia



Latvian Council of Science



RIGA TECHNICAL
UNIVERSITY



Empa

Materials Science and Technology

ŠVEICES UN LATVIJAS sadarbības programma



Šveices – Latvijas sadarbības programmas «Lietišķā pētniecība» projekts LACHMAT –
progresīvas būvniecības un ceļu būves tehnoloģijas un materiāli

Projekta īstenošanas periods: 2025–2029

🏠 4.14 miljoni eiro



Zinātniskie partneri:

- Rīgas Tehniskā universitāte;
- Šveices Federālo materiālu zinātnes un tehnoloģiju laboratorija (Empa).

🎓 Jaunie un topošie pētnieki:



🏭 Industry partners:



- VSIA «Latvijas Valsts ceļi»;
- Latvian Concrete Association;
- Latvian Road Builders Association.



🎯 Mērķi:

- klimata pārmaiņām pielāgoti un datos balstīti risinājumi asfalta dzīves cikla pagarināšanai;
- ilgtspējīgi risinājumi modernu ceļa seguma materiālu izstrādei;
- īpaši augstas veiktspējas uzsmidzināms šķiedru betons ilgākai konstrukciju kalpošanai;
- 3D drukāts betons no vietējām izejvielām, tā ilgtermiņa ekspluatācijas īpašības un izturība;
- STEM popularizēšana jauniešu vidū.

🏆 Ieguvumi:

- klimatam draudzīgāka, produktīvāka un inovatīvāka būvindustrija;
- augstāka lietišķās pētniecības kvalitāte un pētniecības rezultātu pārnese;
- ciešāka Latvijas un Šveices zinātnieku sadarbība;
- aktīvāka jauno pētnieku iesaiste starptautiskos projektos;
- vairāk speciālistu ar jaunākajām tehnoloģiskajām zināšanām.



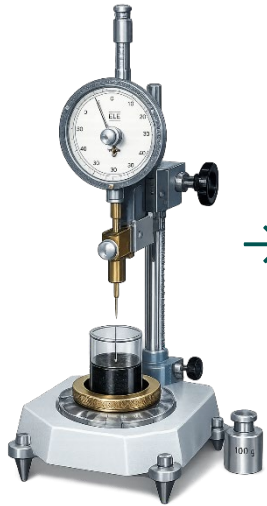
ASFALTBETONS

Komfortabls, drošs, pārskatāms, kluss, tīrs,
elastīgs, universāls, praktisks, ilgtspējīgs

~ 95 % minerālmateriāli ~ 5 % bitumens + “gaiss”



KONVENCIONĀLĀ TESTĒŠANA



PENETRĀCIJAS TESTS

→ 1888. (1959) gads
~80-85 grami
1 paraugs



GREDZENA UN LODES TESTS

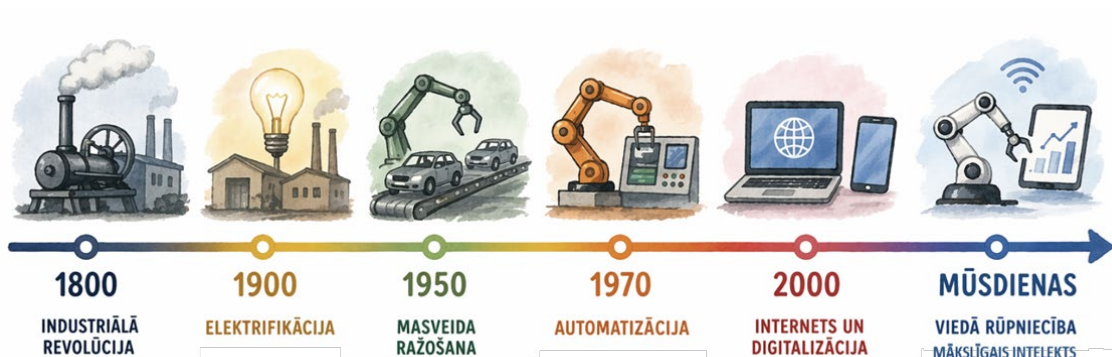
→ 1910. (1916) gads
~ 2 grami
x2 paraugi



FRASA TRAUŠLUMA TEMPERATŪRAS TESTS

→ 1937.gads
~0,5 grami
x2...x5 paraugi

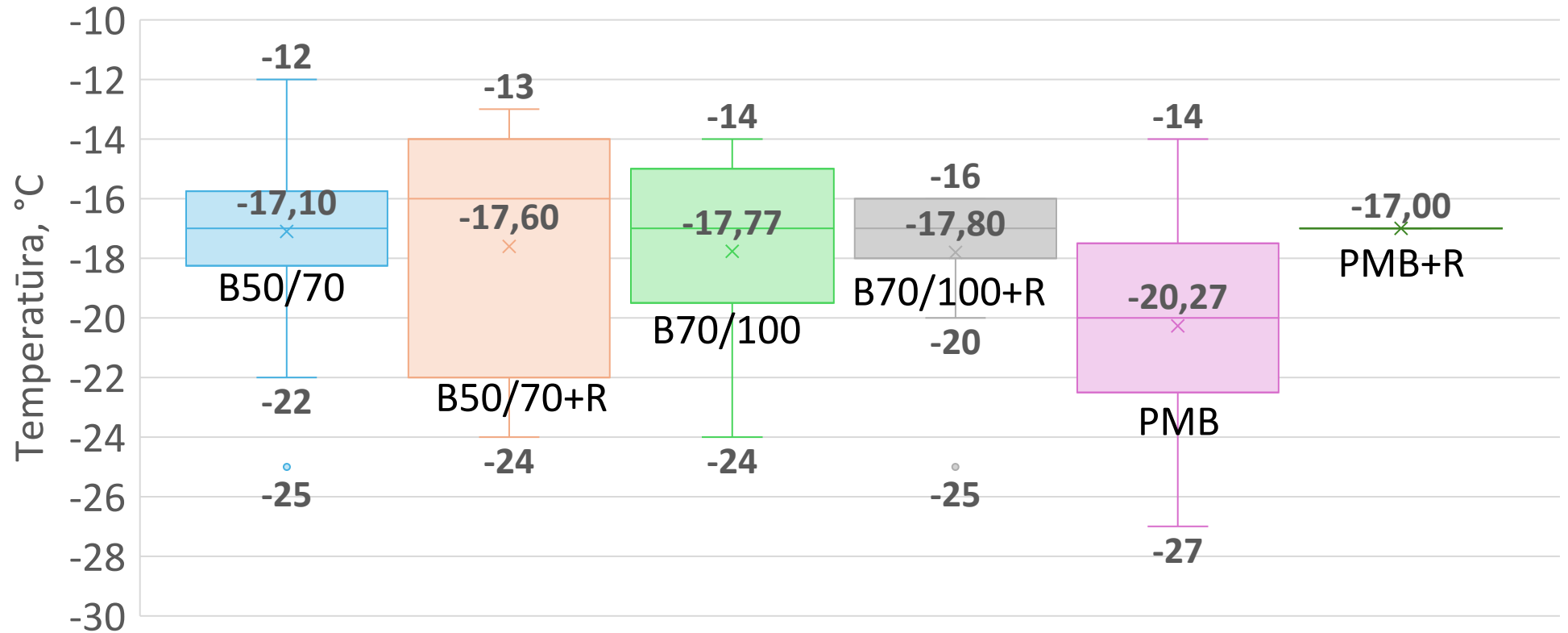
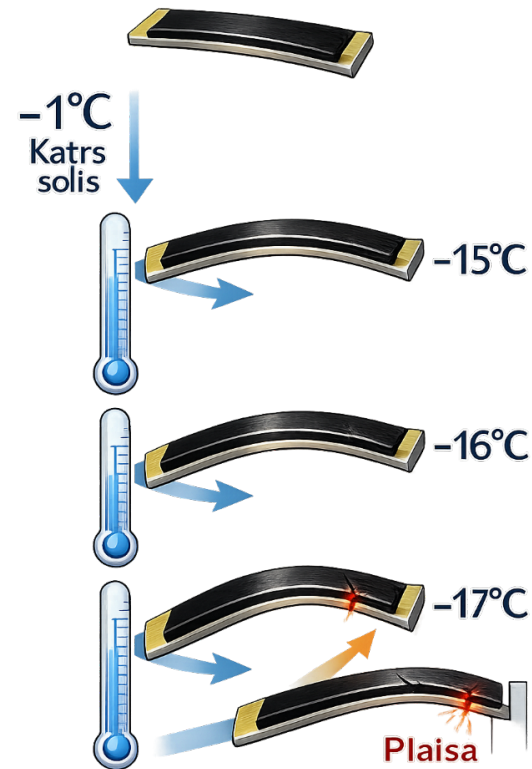
KONVENCIONĀLIE TESTI = **EMPĪRIESKIE RĀDĪTĀJI** → KAS TAS IR PAR MATERIĀLU? (FIKSĒTOS APSTĀKĻOS)
Robežstāvoklis vai gala rezultāts ≠ saistvielas uzvedību kopumā.



- 1930s dabīgais kaučuks
- 1950s latekss
- 1960s asphalt-rubber
- 1970s–1980s SBS/SBR/EVA polimērmodificēšana
- 2000...2020s bio un nano-modifikācija, warm-mix, self-healing.

FRAASA TRAUSLUMA TEMPERATŪRA

2022.-2023.gada dati (97 bitumena paraugi)



Bitumena tips, R-reciklētā materiāls, x-paraugu skaits



BITUMENS *

A close-up photograph of a glass pouring a thick, black, viscous liquid (bitumen) onto a light-colored, textured surface. The liquid is being poured from the top left, creating a thick stream that spreads out into a puddle at the bottom. The background is blurred, showing what appears to be a construction site with some structures.

Tumšs, Organisks, Lipīgs,
legūts no naftas pārstrādes,
Uzliesmojošs, Izolējošs,
Izotropisks, Termooksidatīvs,
Hidrofobs, Blīvs, Modificējams,
Pārstrādājams, Adhezīvs, Amorfs,
Neatjaunojams, Novecojošs,
Inerts, Ilgmūžīgs, Komplekss,
Koloidāls, Mikro-heterogēns,
Impregnējošs, Negaistošs,
Dielektrisks, Residuāls,
Emulgējams

Šķidrš, Plūstošs, Mīksts, Plastisks,
Elastīgs, Deformējams, Stingrs, Stiklains,
Trausls, Viskoelastīgs, Duktils, Kohezīvs,
Penetrējams, Pseudoplastisks, Relaksējošs
Termoplastisks, Neņūtonisks, Tikotropš,
Termoreoloģiski vienkāršš, Pašatjaunojošš,
Temperatūratkarīgs, Frekvencatkarīgs,
Tikso-elastīgs, Nogurumizturīgs,
Termiski atgriezenisks

* īpašības noteiktos gadījumos un apstākļos

REOLOĢIJA

(no grieķu valodas *rheos* - plūsma un *logos* - mācība)
zinātne par materiālu deformēšanos un plūšanu ārēju spēku iedarbībā.

KLASISKĀ MEHĀNIKA

IDEĀLI CIETS



Huka modelis

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

IEDĀLI ŠĶIDRS



Ņūtona modelis

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

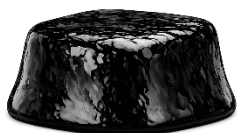
DAŽĀDU FAKTORU IETEKMĒ

→ Temperatūra → Slodze → Slodze laiks → Slodzes ātrums

ELASTĪGS



CIETS



VISKOELASTĪGS

VISKOZS



ŠĶIDRS

KĀPĒC TAS IR SVARĪGI?



Projektēšana



Ražošana



Būvniecība

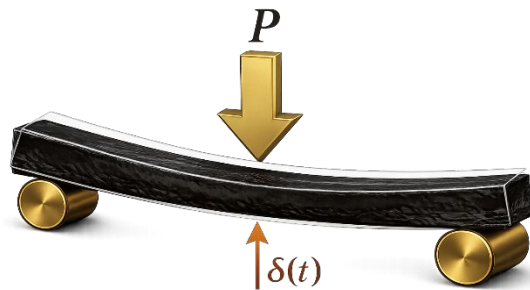


Eksploatācija

REOLOĢISKS RAKSTUROJUMS → KĀDS IR ŠIS MATERIĀLS PĒC BŪTĪBAS? (DAŽĀDOS APSTĀKĻOS)

ZEMAS TEMPERATŪRAS VEIKTSPĒJAS TESTI

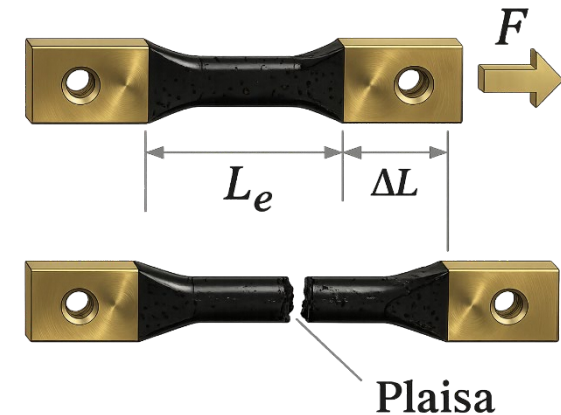
LIECES SIJAS REOMETRS BBR → 1992 (2001) → ≈15 grami (x3...x9)
(AASHTO T 313; ASTM D6648; EN 14771)



$S_{(t)}$ - šļūdes stingums
 $m_{(t)}$ - vērtība
 $\Delta T_c = T_{S(300MPa)} - T_{m(0,3)}$

Mēra: izlieci laikā pie konstantas slodzes
Raksturo: spriegumu veidošanos un relaksāciju

TIEŠĀS STIEPES TESTS DTT
(AASHTO T 314)



ϵ_f - lūzuma deformācija
 σ_f - lūzuma spriegums

Mēra: deformāciju un spriegumu tiešā stiepē
Raksturo: spēju izturēt šos spriegumus bez plaisas veidošanās

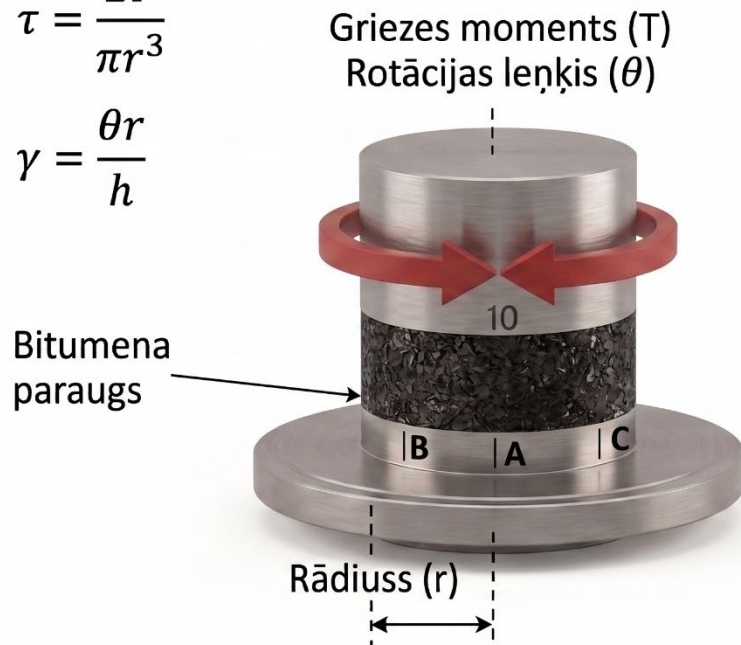
BBR + DTT → CCT kritiskā plaisāšanas temperatūra.

DINAMISKAIS BĪDES REOMETRS DSR

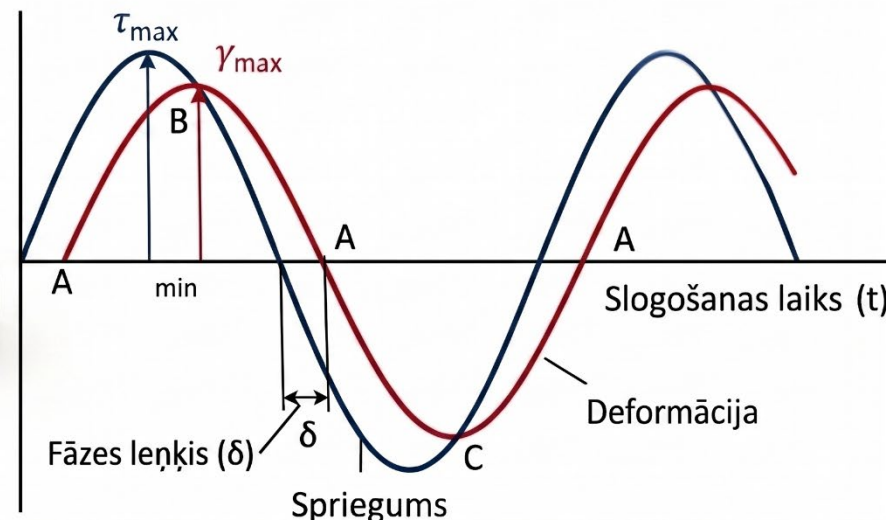


$$\tau = \frac{2T}{\pi r^3}$$

$$\gamma = \frac{\theta r}{h}$$



$$|G^*| = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}$$



Mēra: griezes momentu un leņķisko pārvietojumu oscilējošā bīdē

DSR 15 grami = 4x PP04, 8xPP08 mm un 4xPP25 mm

τ - bīdes spriegums

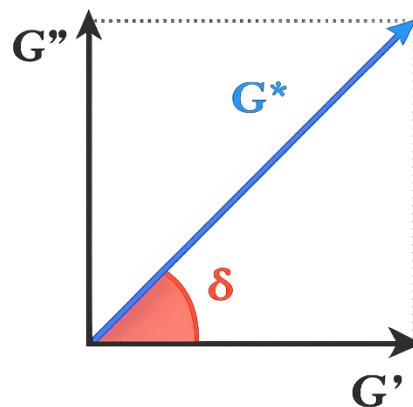
γ - bīdes deformācija

G^* - kompleksais bīdes modulis

δ - fāzes leņķis

G' - glabāšanas modulis (elastīgā komponente)

G'' - zudumu modulis (viskozā komponente)



$G' \uparrow G'' \downarrow$ - ELASTĪGĀKS



$G' \downarrow G'' \uparrow$ - VISKOZĀKS

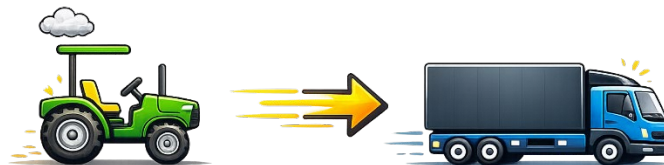


DSR PIELIETOJUMS

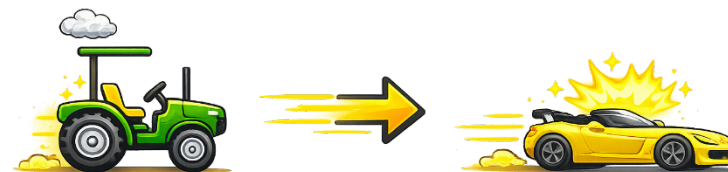
EN 14770(2005), AASHTO T 315(2002), ASTM D7175(2005)



Temperatūras tests



Amplitūdas tests



Frekvences tests
(10 rad/s ≈ 88-100km/h)

Vidējās temperatūrās (PP08 mm 5°C – 45°C):

$|G|^* \cdot \sin \delta \rightarrow$ **NOGURUMA PARAMETRS** \rightarrow (PAV novecināta)

Augstās temperatūrās (PP25 mm >30°C):

$\frac{|G|^*}{\sin \delta} \rightarrow$ **RISU PARAMETRS** \rightarrow (nenovecināta un RTFO)

MSCR – daudzkārtēja sprieguma šļūdes un atgūšanās tests [EN 16659, AASHTO T 350, ASTM D7405]:

J_{nr} - neatgūstamā šļūdes atbilstība , %**R** - atgūšanās \rightarrow **AIZSTĀJ ELASTĪGO ATJAUNOŠANOS**

BTSV – bitumena ātrās raksturošanas tests [EN 17643]:

T_{BTSV} , δ_{BTSV} - ekvivalentās vērtības pie $G^*=15$ kPa \rightarrow **ALTERNĀTĪVA MĪKSTĒŠANAS PUNKTA TESTAM**

DSR IESPĒJAS ZEMĀS TEMPERATŪRĀS

VĒSTURISKIE IEROBEŽOJUMI:

Mazāk precīzas iekārtas

Iekārtas kļūda → zemās temperatūrās iekārta izkropļoja mērījumus.



Iekārtas kļūda

MŪSDIENU IESPĒJAS:

Iekārtas kļūdas korekcija (compliance correction)

PP04 mm plātnes + kļūdas korekcija (līdz apmēram $-30...-40$ °C)

PP08 mm plātnes + kļūdas korekcija (līdz apmēram $-10...-20$ °C)

Relaksācijas testi **SRV, ZRV**

DSR kā papildinājums vai pat **BBR aizvietotājs**



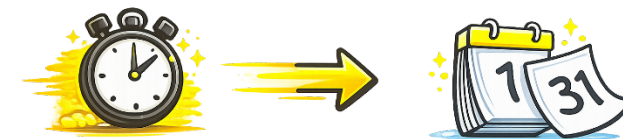
Zemākas temperatūras

STANDARTIZĀCIJA UN IEVIEŠANA:

ASV: AASHTO: T XXX-12 "DSR zemas temperatūras procedūra"

(ietver kļūdu korekciju un mērījumus līdz -40 °C.)

Eiropa: EN 14770 atzīst 4 mm plātņu piemērotību.



Relaksācijas tests



Standarta melnraksts

DSR PIELIETOJUMS ZEMĀS TEMPERATŪRĀS

OSCILĀCIJAS MĒRĪJUMI:

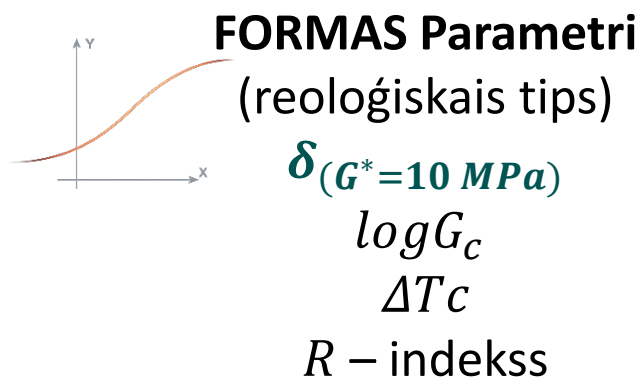
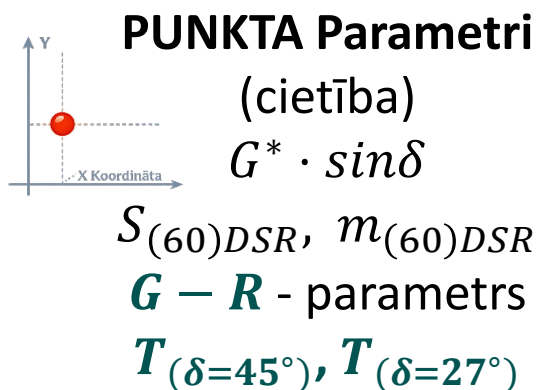
[PP04]

[DMTA-08] Ø8 mm × 12 mm



AMPLITŪDAS TESTS
FREKVENCES TESTS
TEMPERATŪRAS TESTS
GALVENĀS LĪKNES PIEEJA

$G^*, \delta, G', G'', \tan\delta, \eta^*, J^*, G_c, \omega_c, T_c$



ROTĀCIJAS MĒRĪJUMI:

SRV

ZRV

[PP04 un PP08]

[PP08]

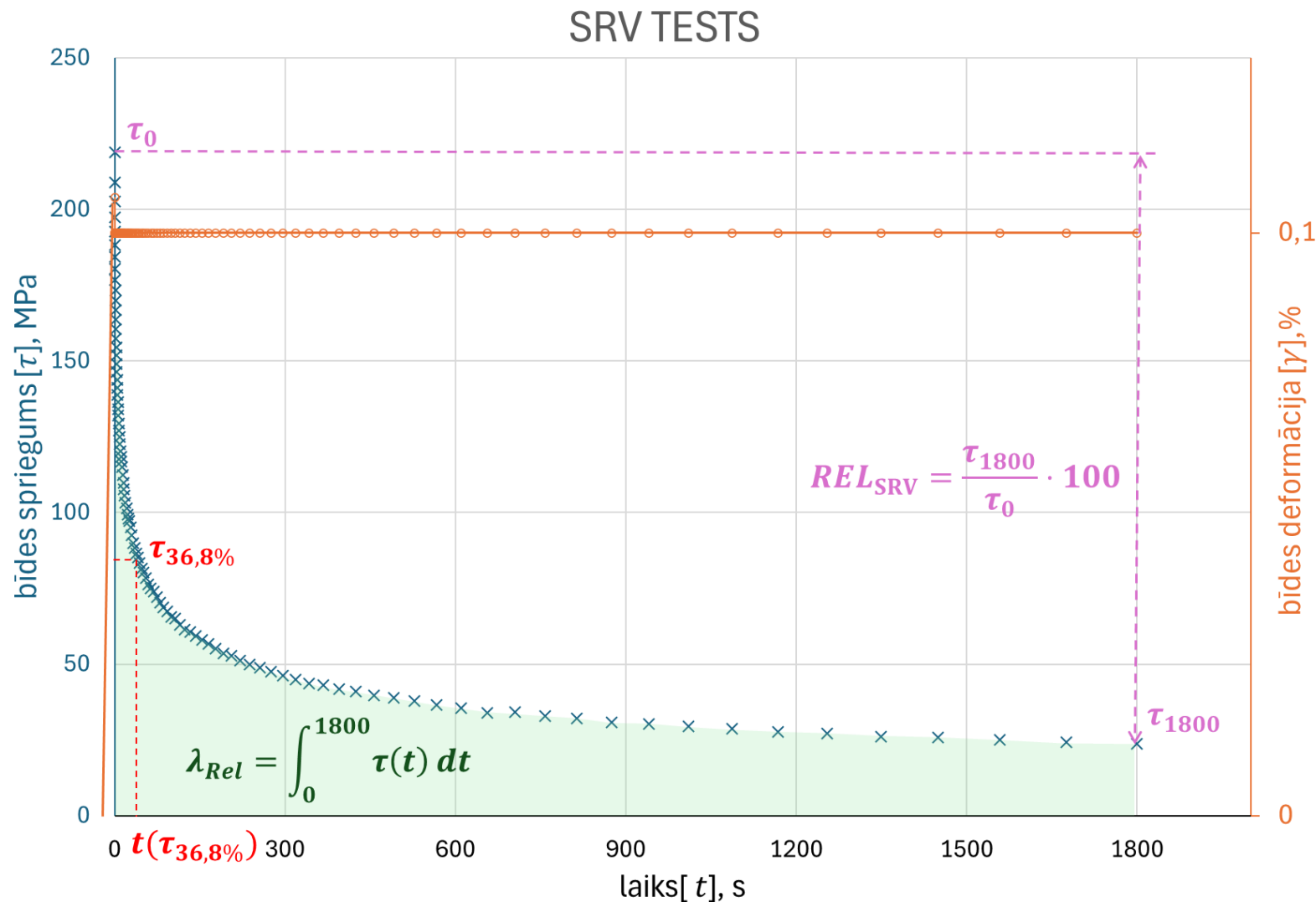


RELAKSĀCIJAS
TESTI

sākotnējais spriegums τ_0, σ_0
spriegums laikā $\tau(t), \sigma(t)$
spriegums pēc noteikta laika $\tau_{30}, \tau_{60}, \sigma_{60}$
relaksācija REL_{SRV}, REL_{ZRV}
relaksācijas ātrums $\frac{d\tau}{dt}, \frac{d\sigma}{dt}$
relaksācijas laiks t_{REL}
laukums zem relaksācijas līknes λ_{Rel}

SRV – SPRIEGUMA RELAKSĀCIJAS TESTS

Ruhr-Universität Bochum, BAST S 144, Anton Paar "SRV-Prüfung im DSR"



Testa ģeometrija: **PP08, h=2 mm**

Temperatūra: **-10 °C**

Deformācija: **0,1 %**

Slodzes laiks: **1 s**

Parauga kondicionēšana: **30 min**

Relaksācija: **30 min**

Pārbaudes ilgums: **105 min**

τ_0 - Bīdes spriegums sākumā

$\tau(t)$ - Bīdes spriegums laikā

τ_{30} - Bīdes spriegums beigās

REL_{SRV} - Relaksācijas rādītājs

λ_{Rel} - Relaksācijas viskozitāte

PLAISĀŠANAS RISKĀ PARAMETRI*:

$\lambda_{Rel} < 40 \text{ MPa}$ – nav sagaidāma

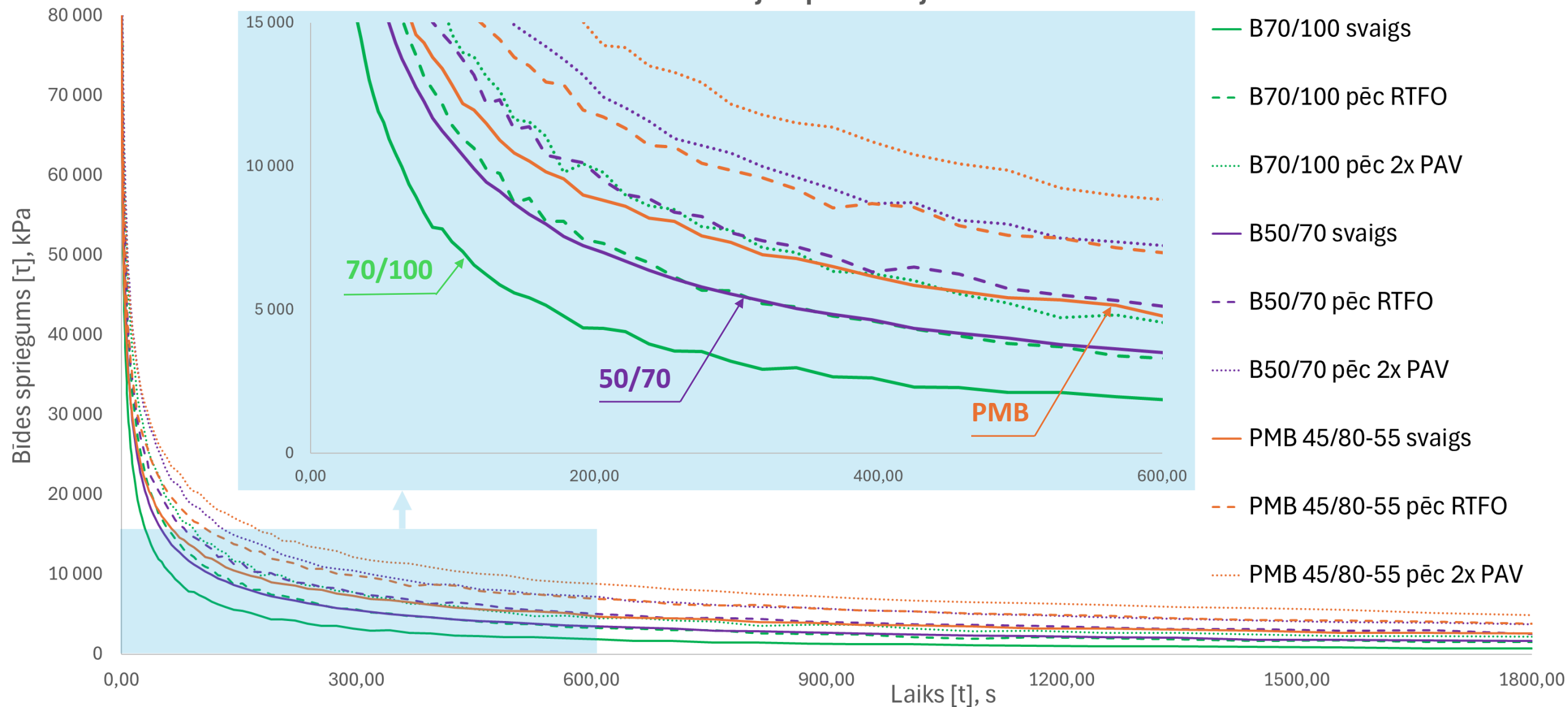
$\lambda_{Rel} 40 - 60 \text{ MPa}$ – iespējama

$\lambda_{Rel} > 60 \text{ MPa}$ – ļoti iespējama

*Izstrādāti Vācijas materiāliem un apstākļiem

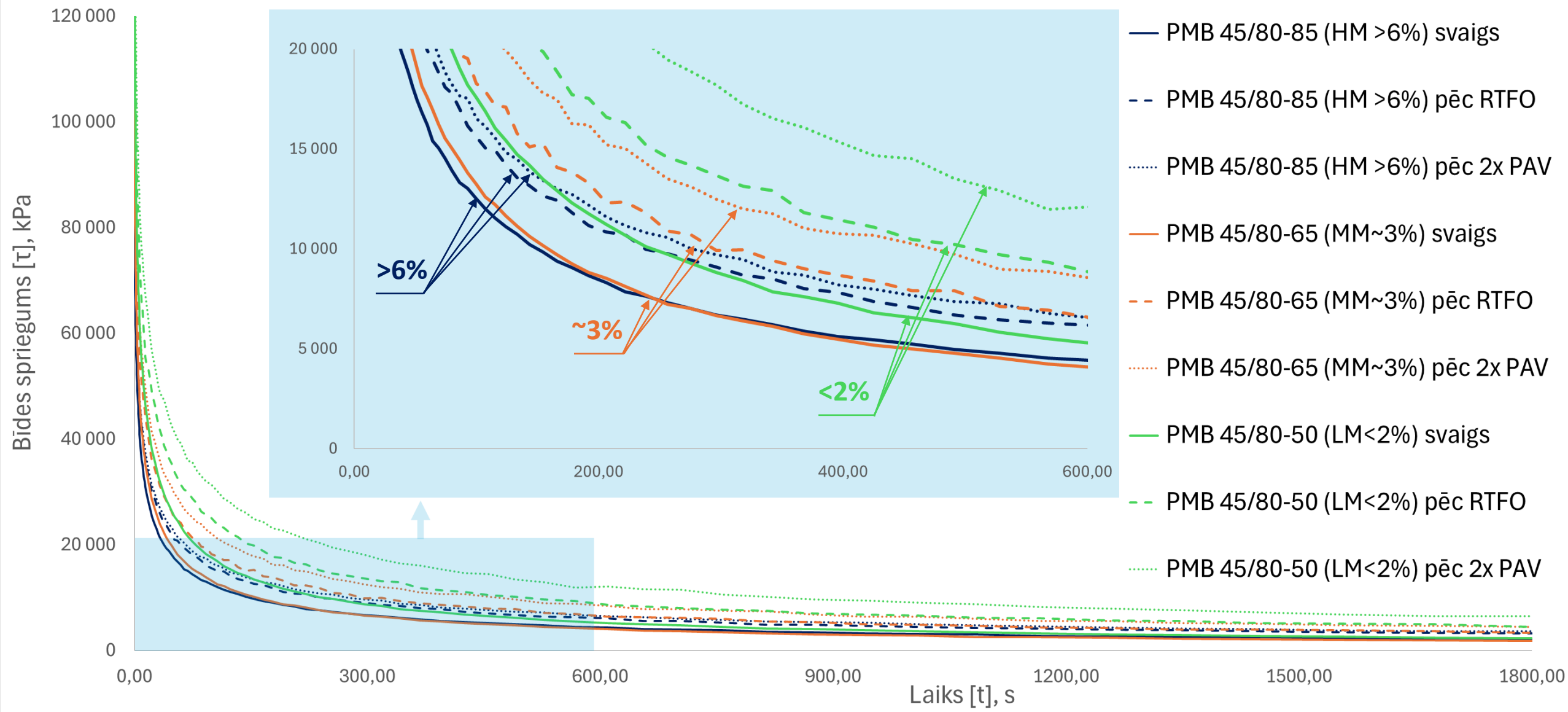
SRV TESTA REZULTĀTI

SRV Testa rezultāti Latvijā izplatītākajiem bitumeniem



SRV TESTA REZULTĀTI

SRV Testa rezultāti PMB 45/80-(dažādas modifikācijas) bitumeniem



KLASISKĀ - KONVENCIONĀLĀ JAUNĀ - MŪSDIENĪGĀKA

empīriskā pieeja veikspējas pieeja

