

# 3D-natisnjena termoaktivna vibroizolacija temelječa na kvazi-ničelni togosti



Gašper Bizjan<sup>1\*</sup>, Janko Slavič, Tilen Košir

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana

(\*e-mail: gasper212.bizjan@gmail.com)

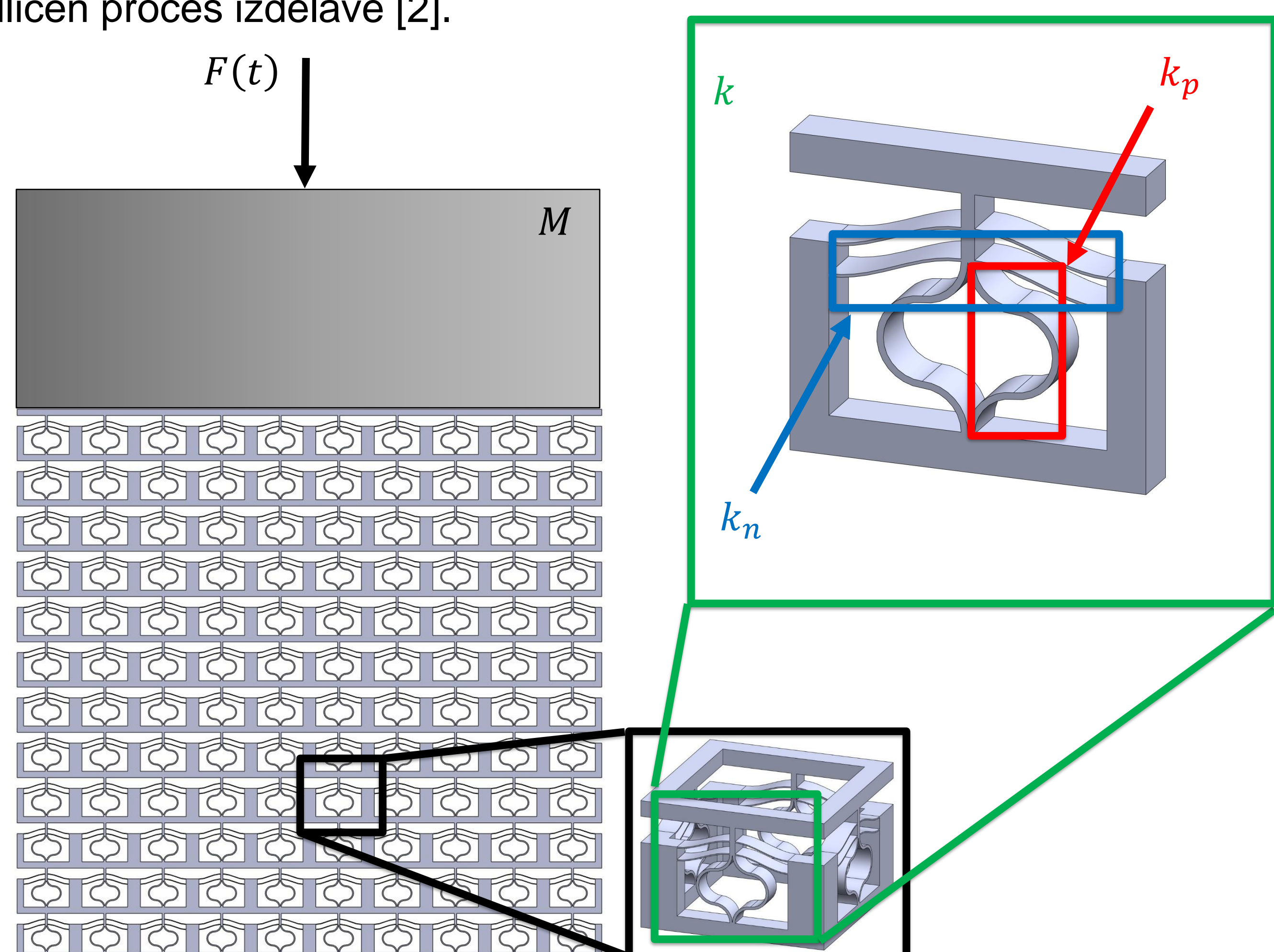
več o raziskavi

## Uvod

Prisotnost nenadzorovanih vibracij v inženirskih aplikacijah hitro vodi v prekomerno obrabo ali celo v kritično odpoved materiala in strojnih delov. Z implementacijo vibroizolativnega metamateriala (MM) lahko omogočimo zaščito sistema pred dinamičnimi obremenitvami.

## Reprezentativna osnovna celica

MM sestavljajo periodično razporejene podstrukture, ki skupaj tvorijo material s fizikalnimi lastnostmi, ki ga v naravi ne najdemo [1]. Te lastnosti je v celoti možno razbrati iz posamezne reprezentativne osnovne celice (ROC), kot je vidno na sliki 1. Geometrijsko kompleksne podstrukture lahko z aditivno tehnologijo skoraj poljubno postavimo v prostoru in jih na makronivoju formuliramo v MM poljubne oblike, zato se je ta izkazala kot odličen proces izdelave [2].



Slika 1: Vibroizolativni MM, ki ga tvorijo ROC, ločuje sistem mase  $M$  od okolice.

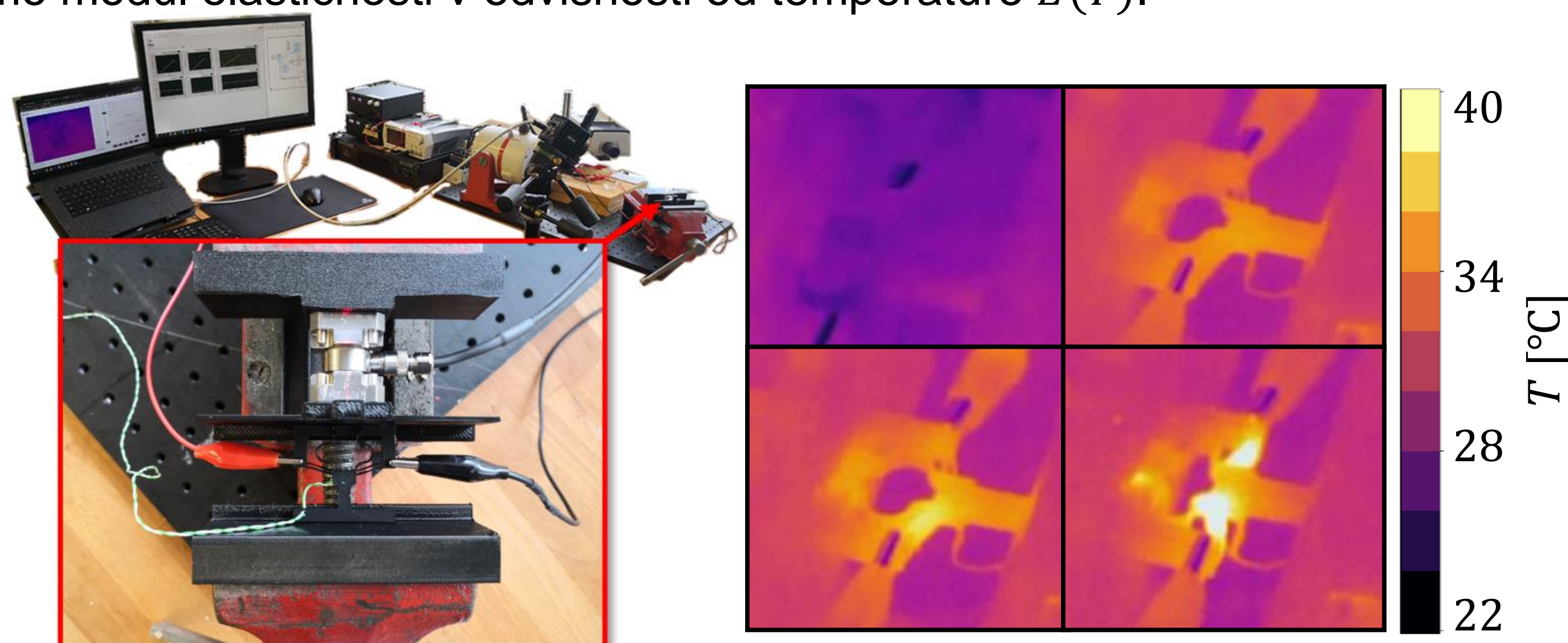
## Kvazi-ničelna togost

V praksi je največkrat uporabljena linearna vibroizolacija, ki je učinkovita le, če je njena lastna frekvenca precej nižja od frekvence vzbujaanja. Za odpravo te pomanjkljivosti je bila zasnovana ROC z nelinearno vibroizolacijo  $k(X)$ , ki izkazuje visoko statično togost  $k_1$  in  $k_3$  in veliko nosilnost, medtem ko nizka dinamična togost  $k_2$  pomeni povečano območje izolacije pri nizkih frekvencah. Tako imenovana kvazi-ničelna togost (KNT) omogoča skoraj ničelno dinamično togost v delovni točki  $k_2$ . Kot vidimo na sliki 1, jo tvorimo z združitvijo navpičnih lokov togosti  $k_p$  in z uporabo vodoravnih kosinusnih nosilcev, ki pri pomiku preskočijo in vnašajo negativno togost  $k_n$  [2]. Zadostiti moramo pogoju:

$$k_2 = 2k_p + k_{n2}$$

## Krmiljenje togosti z Joulovim tokom

Dodatno krmiljenje togosti omogoča uporaba prevodnega filameta. S segrevanjem preko električnega toka lahko uporabimo termoelektrični pojav in manjšamo togost ter tako krmilimo delovanje MM (slika 2). Določili smo modul elastičnosti v odvisnosti od temperature  $E(T)$ .

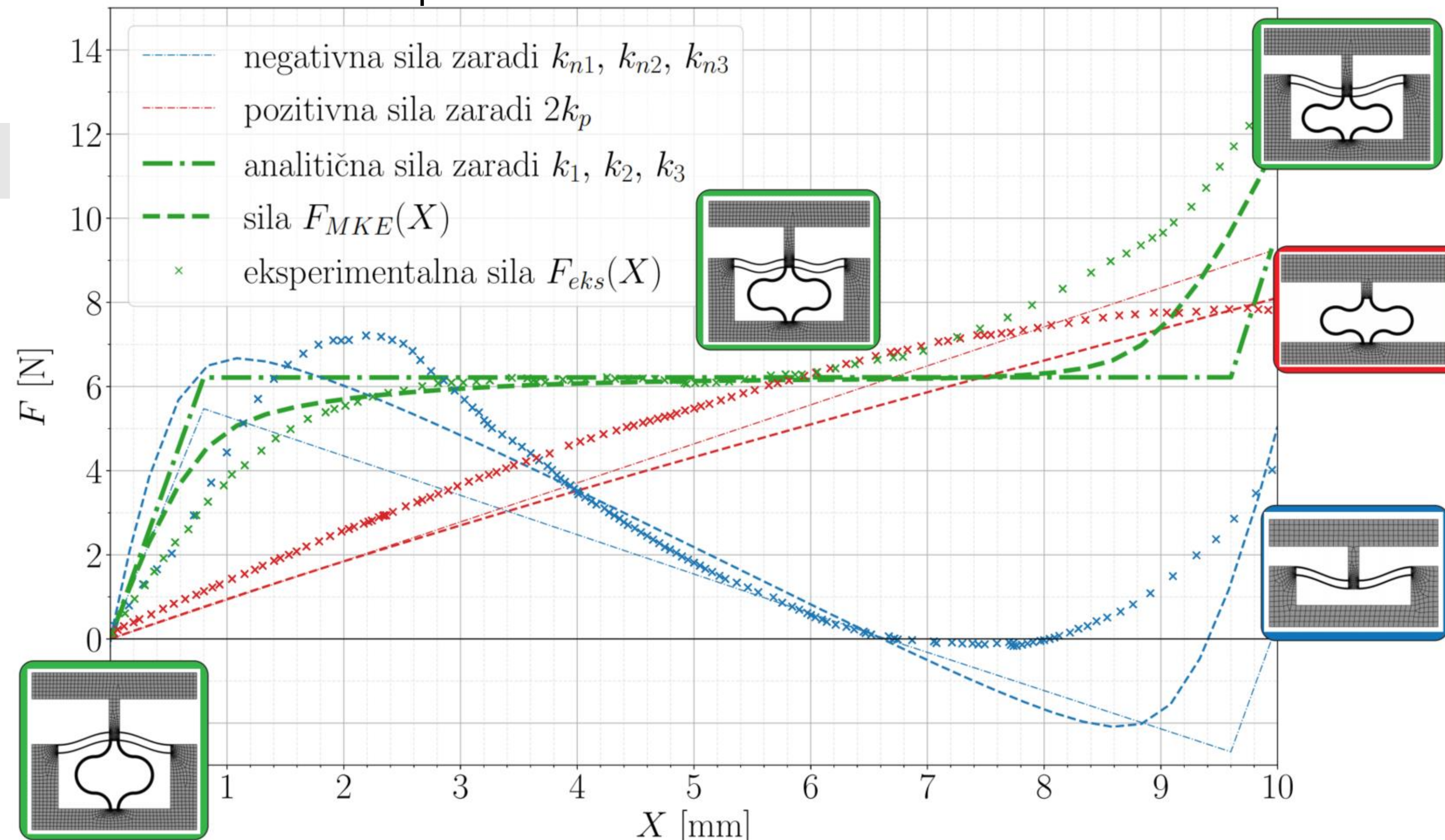


Slika 2: Eksperiment za določanje statične togosti pri različnih temperaturah

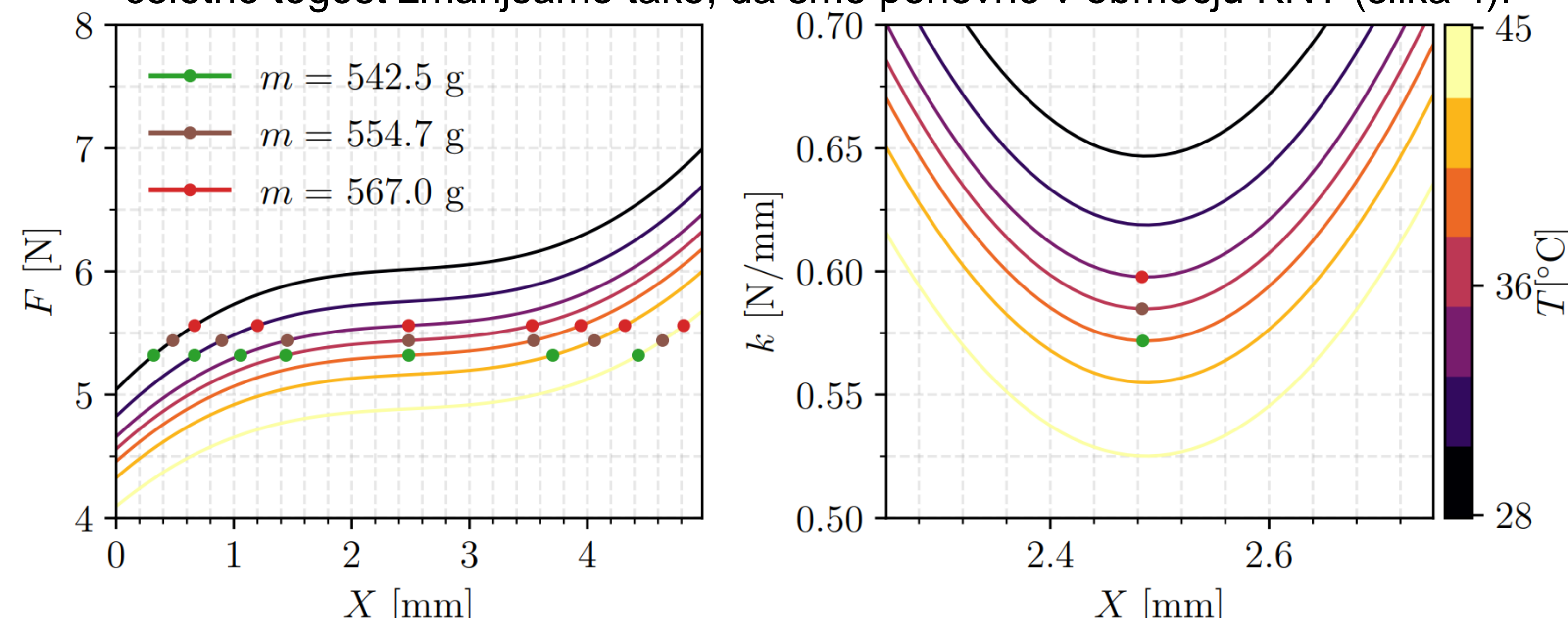
## Rezultati

### Statična karakteristika reprezentativne osnovne celice

Z uporabo analitičnih enačb, numeričnih simulacij po metodi končnih elementov in eksperimentalno smo tvorili KNT na sliki 3.



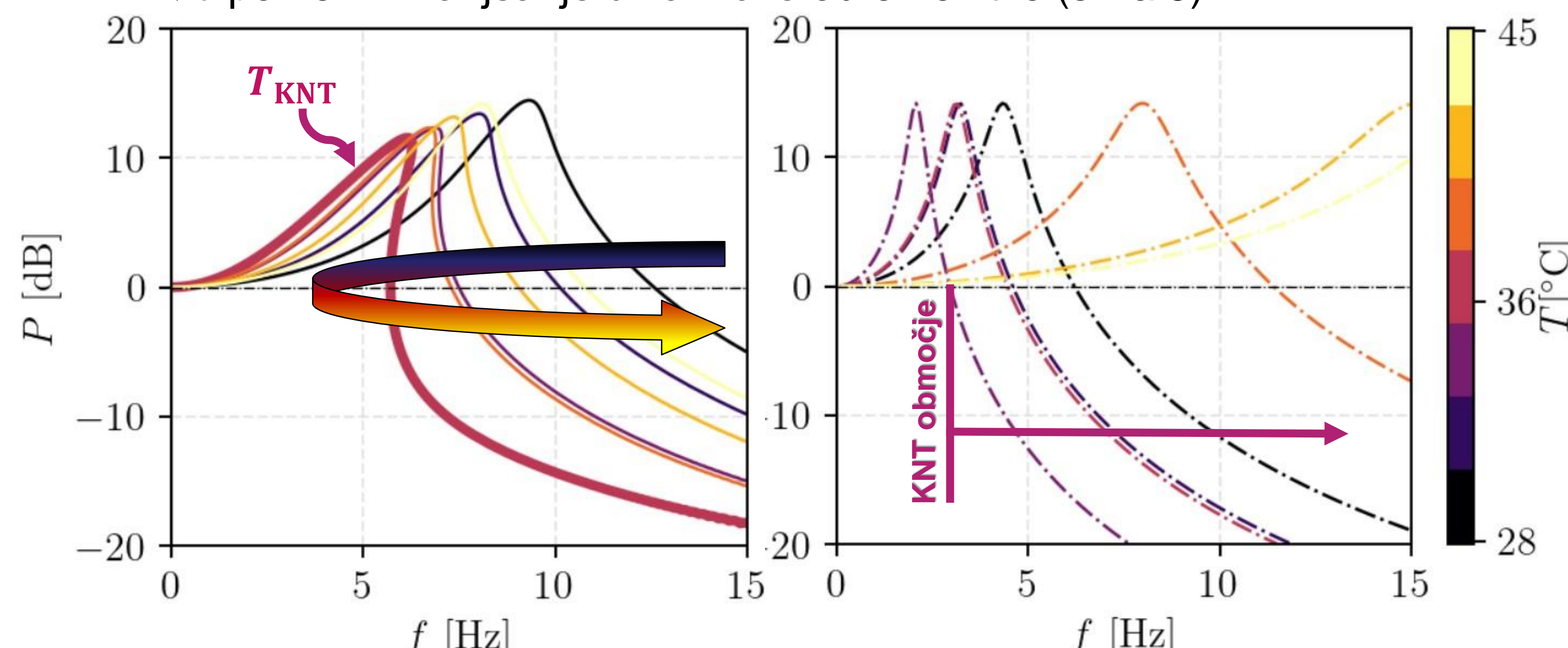
Slika 3: Potek sile  $F$  v odvisnosti od pomika  $X$  za vodoravni in navpični nosilec ter ROC. Pri spremembi sistema (mase  $m$ , s katero obremenimo posamezno ROC) se ne nahajamo več v območju  $k = 0$ . S spreminjanjem temperature lahko celotno togost zmanjšamo tako, da smo ponovno v območju KNT (slika 4).



Slika 4: Potek sile  $F$  in togosti  $k$  v odvisnosti od pomika ROC  $X$  ter od temperature  $T$ . Pri spremembi mase  $m$  lahko z ustrežno temperaturo ostanemo pri minimalni togosti.

### Prenosnost metamateriala

Dinamične lastnosti MM lahko opazujemo na podlagi prenosnosti, pri čemer  $P < 0$  pomeni zmanjšanje dinamične obremenitve (slika 5).



Slika 5: Analitični (levo) in numerični (desno) potek prenosnosti  $P$  pri frekvencah  $f$ . Opazujemo obremenitev  $m = 554.7$  g pri različnih temperaturah. Z ustrežno kombinacijo temperature in mase se nam frekvenčno območje dušenja  $P < 0$  poveča, saj imamo lastnost KNT. Pri spremembi obremenitve lahko prilagodimo temperaturo, da ostanemo pri največjem dušenju.

## Zaključki

V raziskavi smo preučili in dokazali uporabnost 3D tiskane KNT vibroizolacije, ki izkazuje možnost krmiljenja z Joulovim tokom.

## Literatura

- [1] S. Dalela, P.S. Balaji, D. P. Jena, Nonlinear Dyn., 108 (2022) 1931-1971
- [2] H. Fan, L. Yang, Y. Tian, Z. Wang, Composite Structures, 243 (2020), 112-144
- [3] J. Qiu, J.H. Lang, A.H. Slocum, Microelectromech. Sys., 13 (2004) 137-146