# Besisukančio skenavimo atominės jėgos mikroskopo valdymas

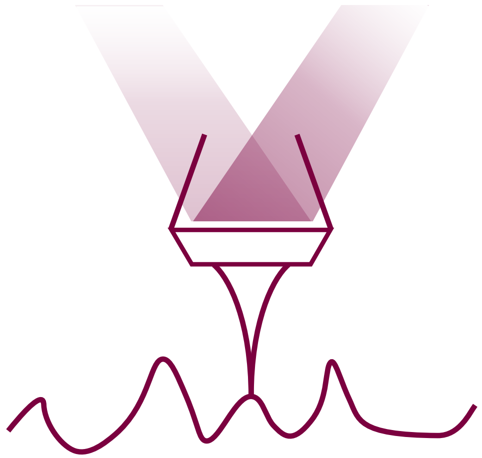
Viktor Novičenko

2024 gruodis, Kaunas

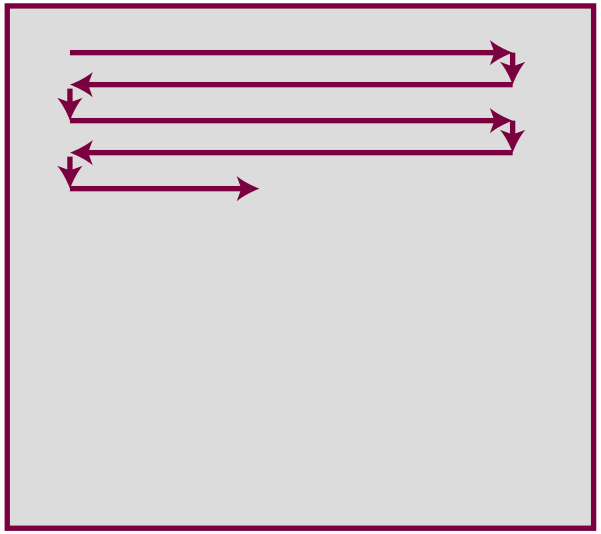
Vilnius University

# Atominės jėgos mikroskopo veikimo principas

Labai aštri adata (užaštrinta iki keleto atomų ant pačio smaigalio) braukdama per paviršių atsilenkinėja priklausomai nuo paviršiaus reljefo. Adatos atsilenkimus matuojame šviesdami su lazeriu ant adatos galvutės viršaus ir fiksuodami atsispindėjusį spindulį.



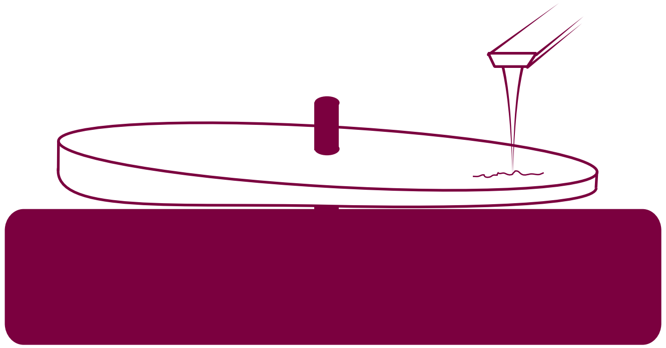
Dažniausiai adata vaikšto per bandinį “gyvatėle” (raster scanning). Toks skenavimas reikalauja precizinio ir lėto adatos stumdymo per bandinį. Pavyzdžiui judėjimai į kairę ir į dešinę turi būti vienodo ilgio, o judėjimas žemyn turi būti atliktas labai mažu žingsniu. Tai ilgina skenavimo laika bei mažina skenavimo plotą.



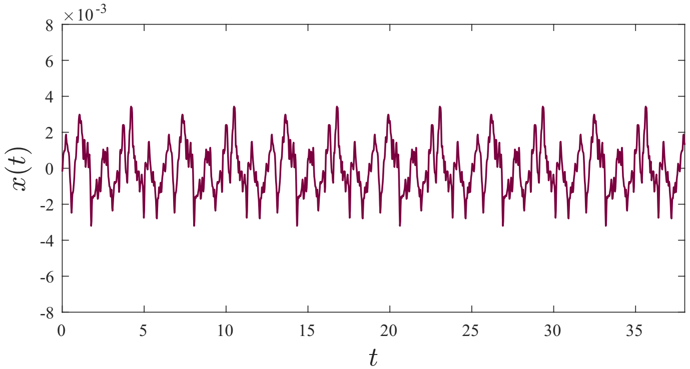
# Besisukančio skenavimo mikroskopo veikimo principas

Straipsnyje [A. Ulčinas and Š. Vaitekonis: Rotational scanning atomic force microscopy, Nanotechnology **28(10)** (2017)] autoriai pasiūlė greitą skenavimo būdą sukant bandinį ant padėklo. Toks skenavimas primena patefono veikimą.

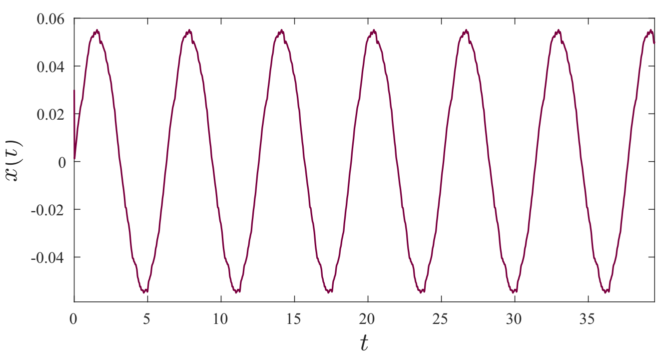
Tačiau bandinys visada bus pasviręs atžvilgiu adatelės galvutės. Todėl skenavimo metu bus matuojama pirma parazitinė harmonika, kuri neneša jokios naudingos informacijos. Be to, pirmos harmonikos indėlis į matuojamą signalą bus tuo didesnis, kuo toliau esame nuo sukimo centro (kuo didesnį plotą norime išmatuoti).

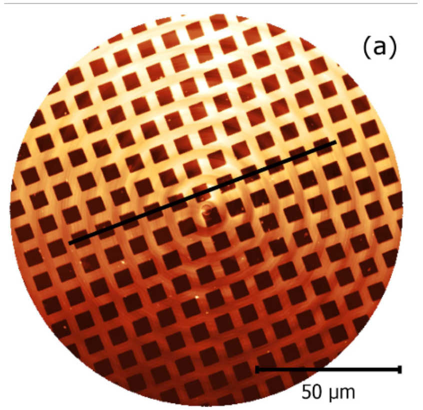


Norim išmatuoti:




Realiai matuojame:



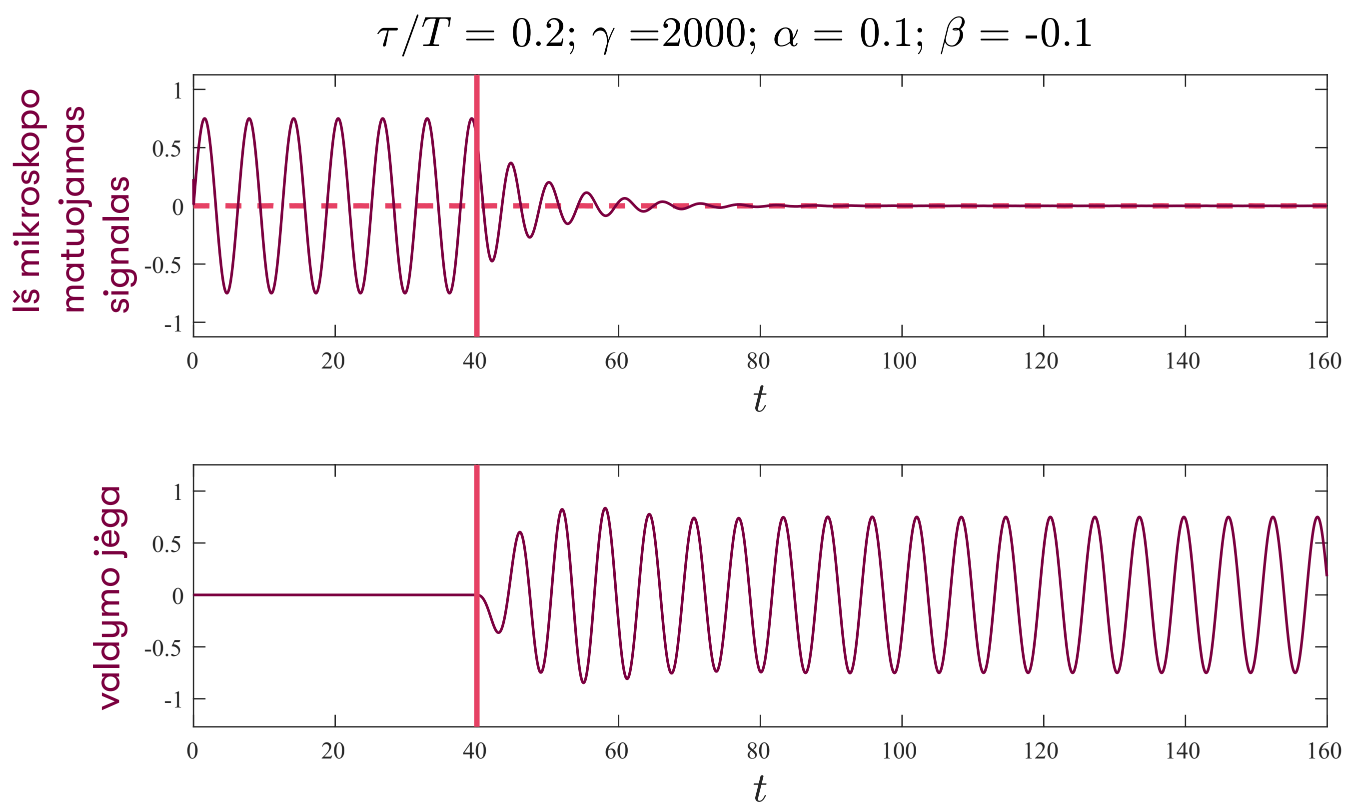



# Valdiklis kompensuojantis pirmą harmoniką matuojamame signale

Kartu su sukimu galime bandinį kilnoti aukštyn-žemyn, kad išeliminuoti parazitinę pirmą harmoniką signale. Tačiau čia atsiranda kita problema - delsa, kurią sudaro trys dedamosios: signalas iš mikroskopo į kontrolerį ateina ne akimirksniu, kontrolerio perskaičiavimas taip pat kažkiek užtrunka, galiausiai aukštyn-žemyn kilnojančio varikliuko reakcijos laikas nėra akimirksninis. Delsa šiuose procesuose yra esminė: jos neįmanoma visiškai panaikinti. Be to ji nėra iš anksto žinoma, ir ji gali keistis priklausomai nuo pvz. temperatūros, drėgmės ir t.t.

# Valdiklis kompensuojantis pirmą harmoniką matuojamame signale

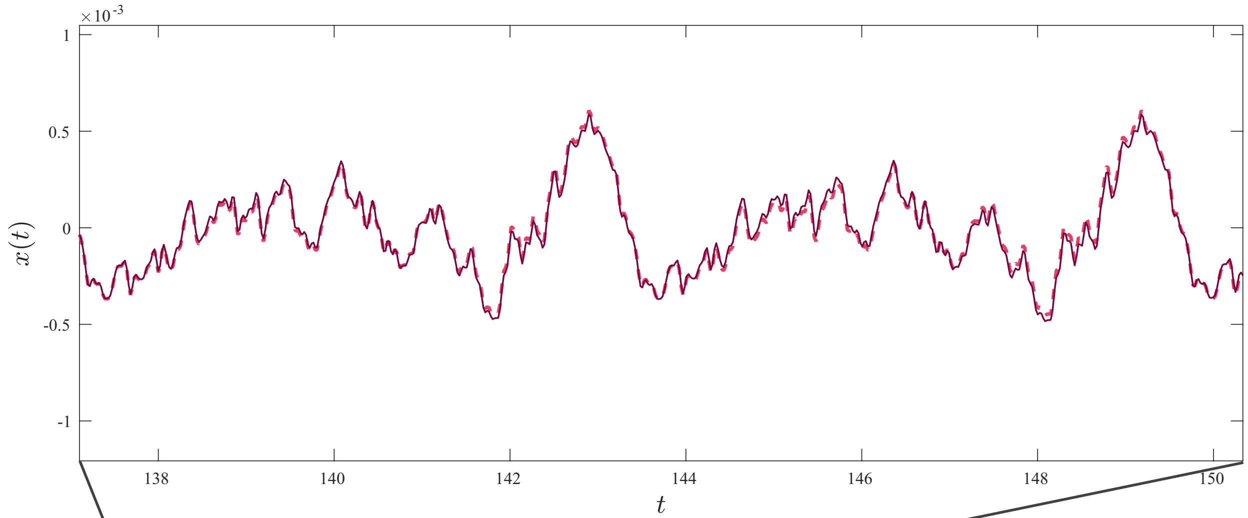
Kartu su sukimu galime bandinį kilnoti aukštyn-žemyn, kad išeliminuoti parazitinę pirmą harmoniką signale. Tačiau čia atsiranda kita problema - delsa, kurią sudaro trys dedamosios: signalas iš mikroskopo į kontrolerį ateina ne akimirksniu, kontrolerio perskaičiavimas taip pat kažkiek užtrunka, galiausiai aukštyn-žemyn kilnojančio varikliuko reakcijos laikas nėra akimirksninis. Delsa šiuose procesuose yra esminė: jos neįmanoma visiškai panaikinti. Be to ji nėra iš anksto žinoma, ir ji gali keistis priklausomai nuo pvz. temperatūros, drėgmės ir t.t.

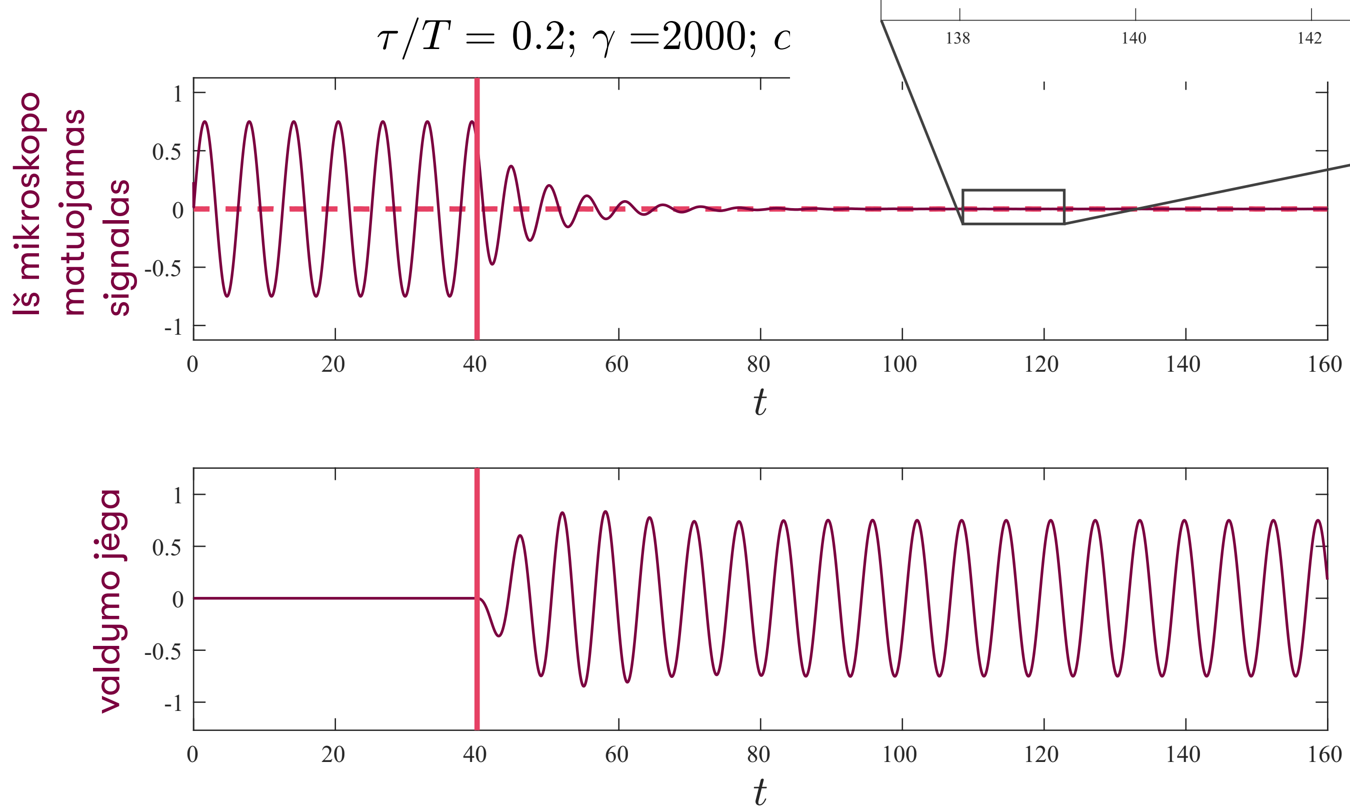



Mano algoritmas geba automatiškai detektuoti kokią kilnojimo aukštyn-žemyn jėgą reikia pritaikyti, kad išėjimo signale nebeliktų pirmos harmonikos. Čia pavaizduota skaitmeninė algoritmo realizacija.

# Valdiklis kompensuojantis pirmą harmoniką matuojamame signale

Kartu su sukimu galime bandinį kil
harmoniką signale. Tačiau čia atsi
dedamosios: signalas iš mikroskop
perskaičiavimas taip pat kažkiek u
reakcijos laikas nėra akimirksninis.
visiškai panaikinti. Be to ji nėra iš c
temperatūros, drėgmės ir t.t.




Mano algoritmas geba automatiškai detektuoti kokią kilnojimo aukštyn-žemyn jėgą reikia pritaikyti, kad išėjimo signale nebeliktų pirmos harmonikos. Čia pavaizduota skaitmeninė algoritmo realizacija.

# Matematinis problemos formulavimas

Adatelės judėjimo lygtis:

$$\dot{x}\left(t\right) = -\gamma x\left(t\right) + \sum_{j=0}^{+\infty} A_j \sin\left(j\omega t + \varphi_j\right)$$

$$\omega = 30 \div 50 \text{ Hz} \qquad \gamma \approx 100 \text{ kHz}$$

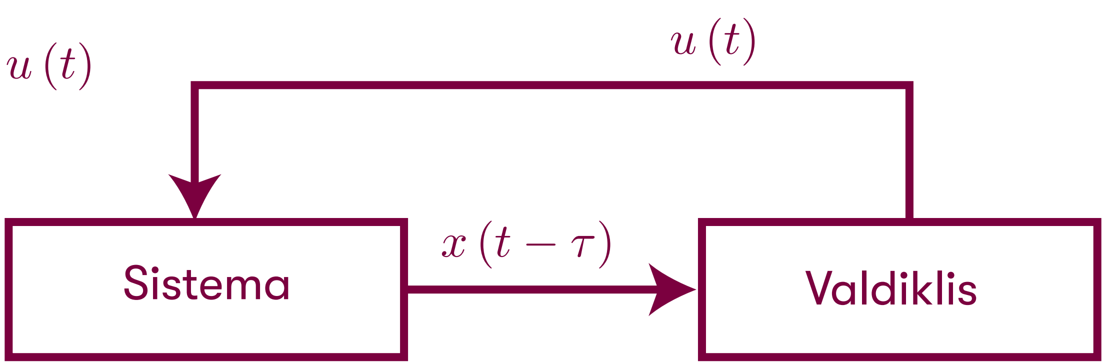
Apytikslus sprendinys:

$$x\left(t\right) = \frac{\sum_{j=0}^{+\infty} A_j \sin\left(j\omega t + \varphi_j\right)}{\gamma} + \mathcal{O}\left(\gamma^{-2}\right)$$

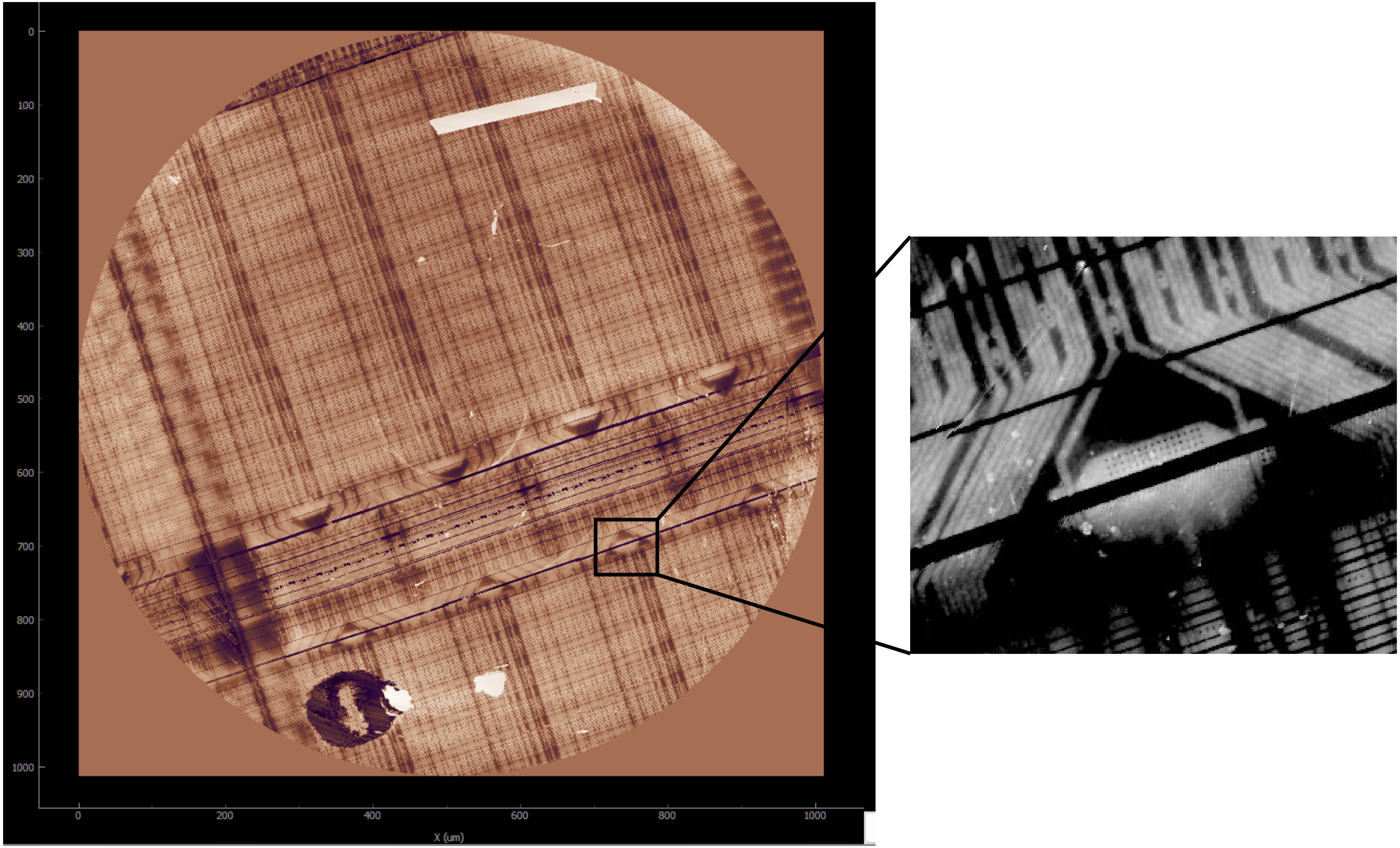
Sistema su valdymu:

$$\dot{x}\left(t\right) = -\gamma x\left(t\right) + \sum_{j=0}^{+\infty} A_j \sin\left(j\omega t + \varphi_j\right) + u\left(t\right)$$

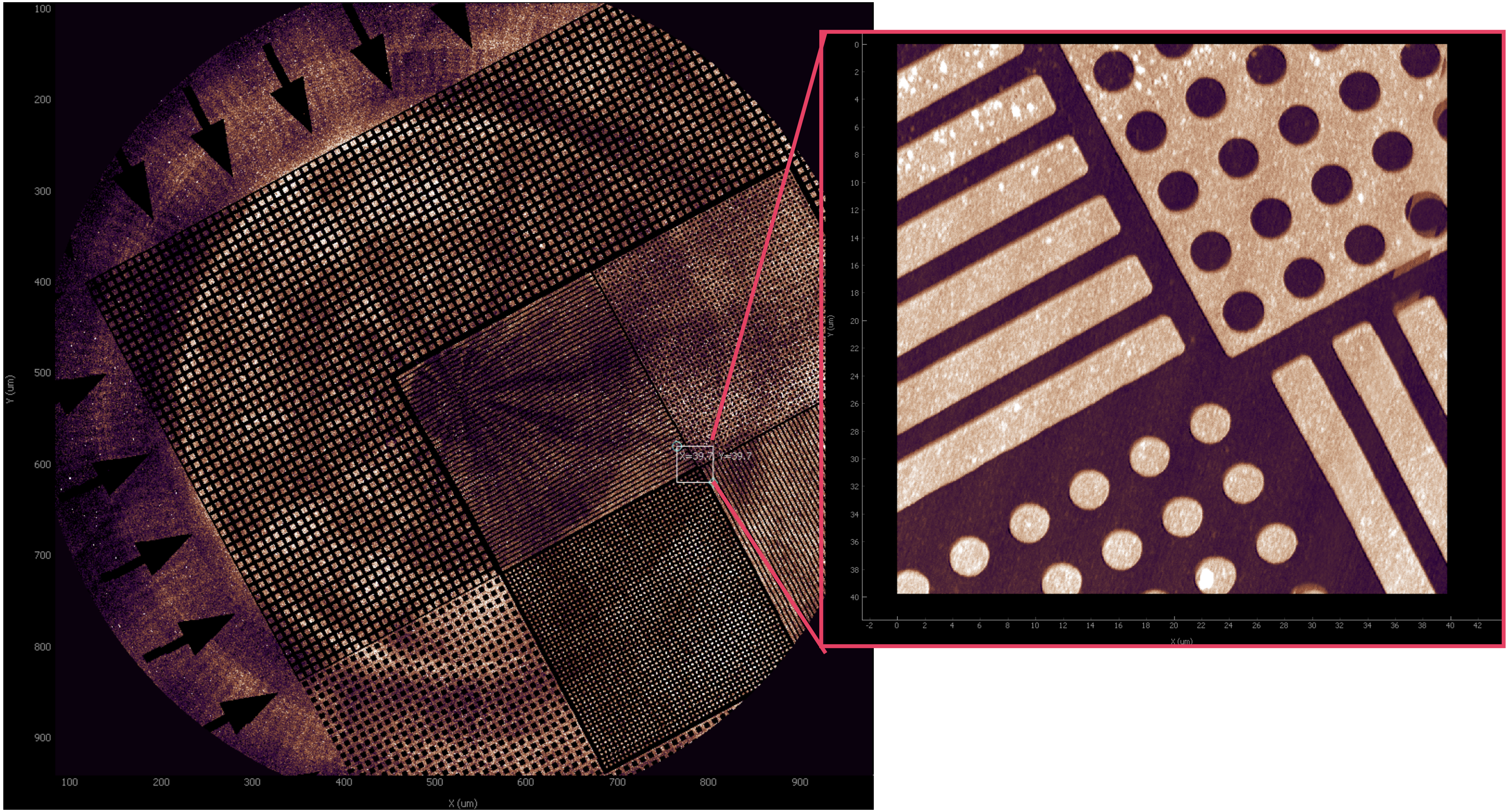
$$\boxed{C\left(s\right) = \frac{-2\gamma\left(\frac{\alpha s+\beta\omega}{s^2+\omega^2}\right)}{1 + \frac{\alpha}{s} + 2\sum_{j=2}^{N} \frac{\alpha s+\beta\omega}{s^2+j^2\omega^2}}}$$



# Skenuoto paviršiaus pavizdys (skersmuo 1 mm)



# Kitas skenavimo pavizdys (skersmuo 1 mm)



# Pabaiga

Vilnius
University