



TARTU ÜLIKOOL



Tarkadest ja pehmetest materjalidest robotid

Miks tehtud, kuidas tehtud, mida ära tehtud

Alvo Aabloo

TARTU ÜLIKOOL

TEHNOLOOGIAINSTITUUT

Sisukord

Elektroaktiivsed “Targad” materjalid
Modelleerimine eri tasanditel
Robotika, pehme robotika,
koostöörobotika



Robotika, Pehmerobotika, Koostöörobotika



- Efektiivne eelnevalt kaardistatud keskkondades
- Kõrge täpsus ja korratavus
- Rohkem standardiseeritud
- Ruumiliselt elusorganismidega koos

CHALLENGES

Mittedefineeritud keskkonnad
Füüsiline tarkus



Õrnade objektide käsitlemine

Elusorganismidega suhestumine



Valmistamine

Membrane preparation

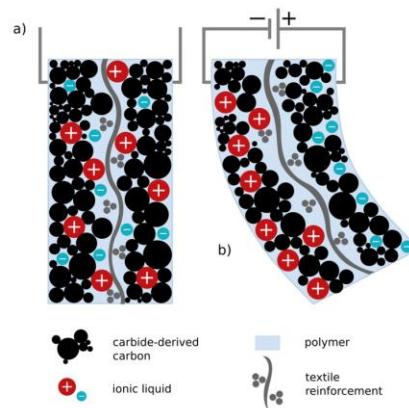
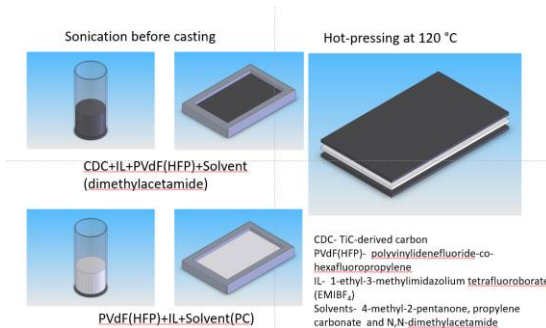
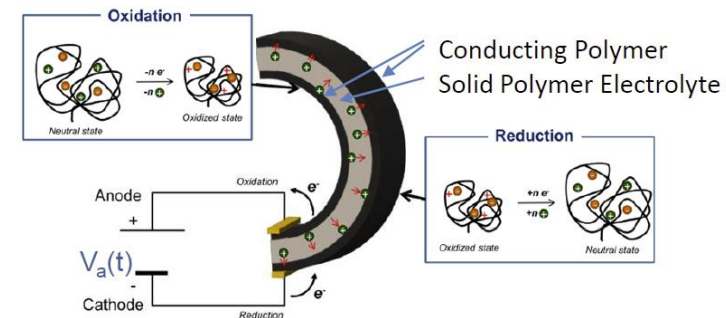


Figure 1. Composition of a three-layer carbon-based actuator in neutral (a) and actuated (b) state and a SEM image of the cross-section (c) also showing a textile reinforcement fibre.

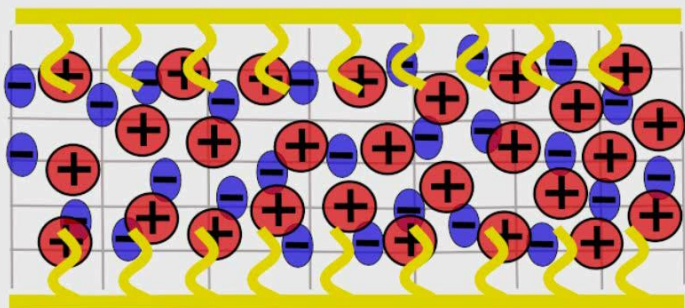


- ✓ Kuumpressimine
- ✓ Kihtsadestus
- ✓ Elektrospinnimine
- ✓ Elektrokeemiline ja keemiline süntees

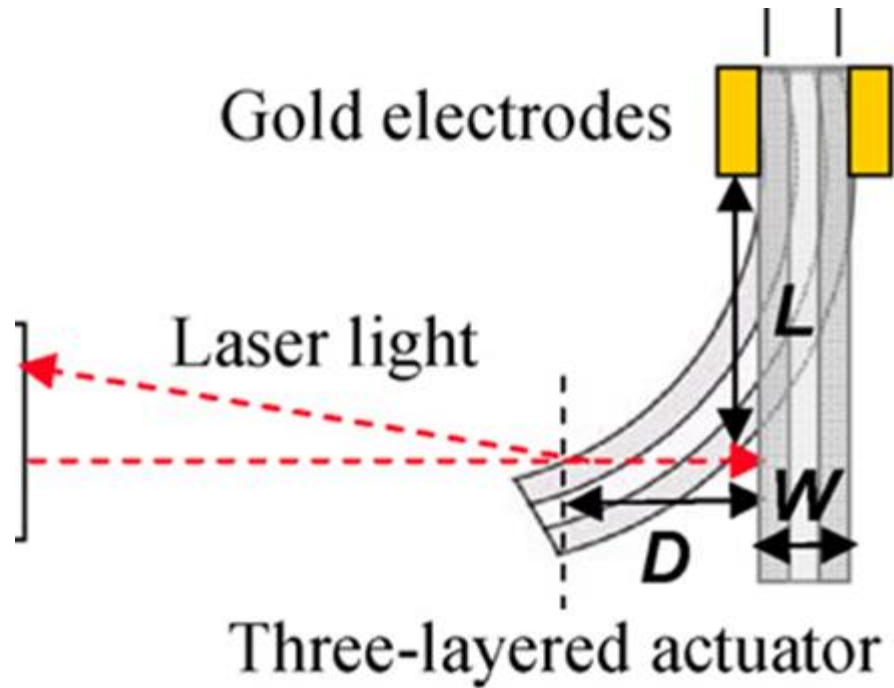


Tööpõhimõte

(populaarteaduslik selgitus)

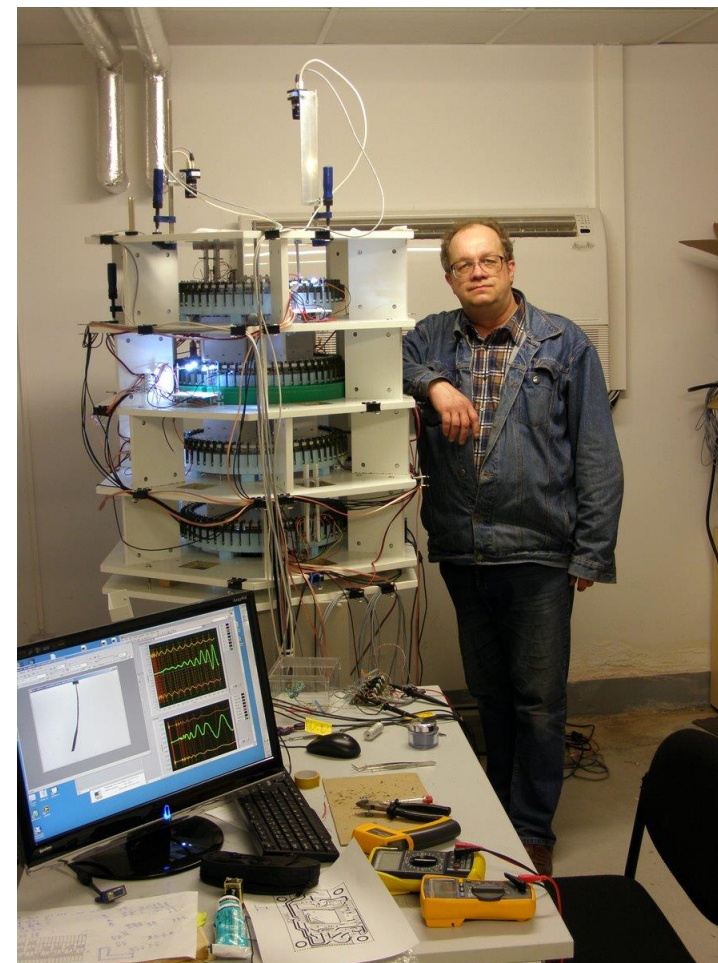
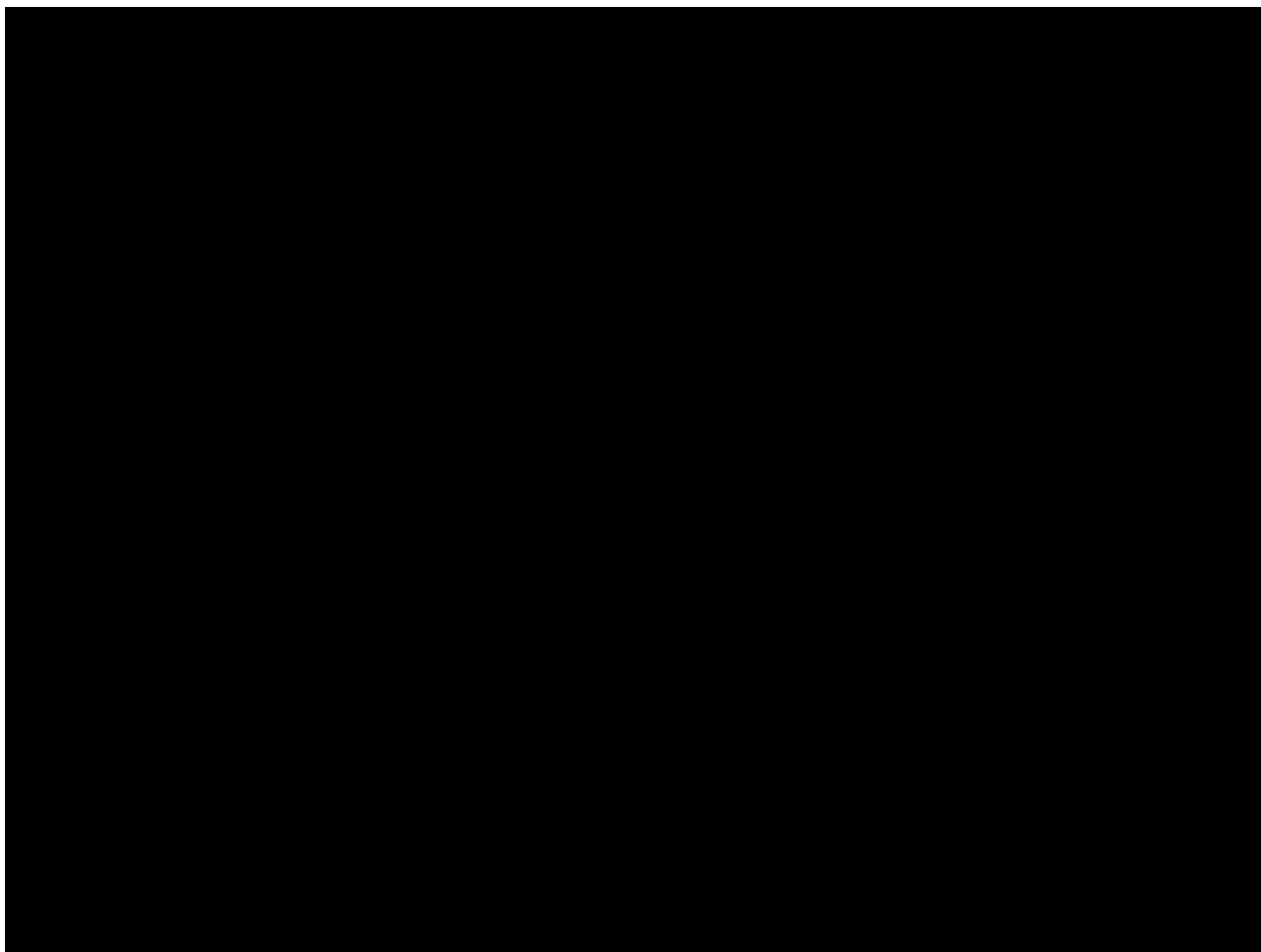


Mõõtmine(ε)

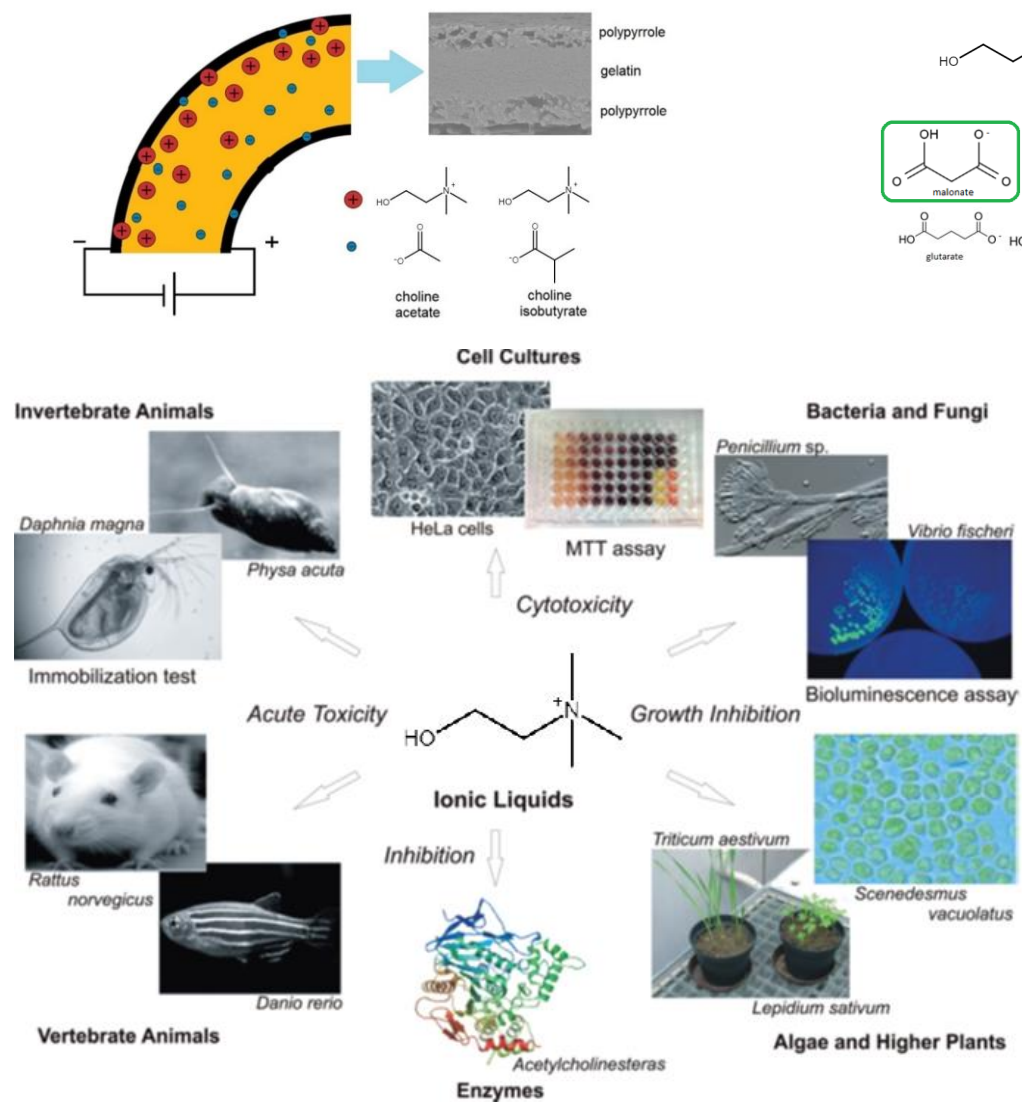


$$\varepsilon = \frac{2 \cdot D \cdot W}{L^2 + D^2}$$

T. Sugino et al. / Sensors and Actuators B 141 (2009) 179–186



Bioühilduvus, koliiniga ioonvedelikud

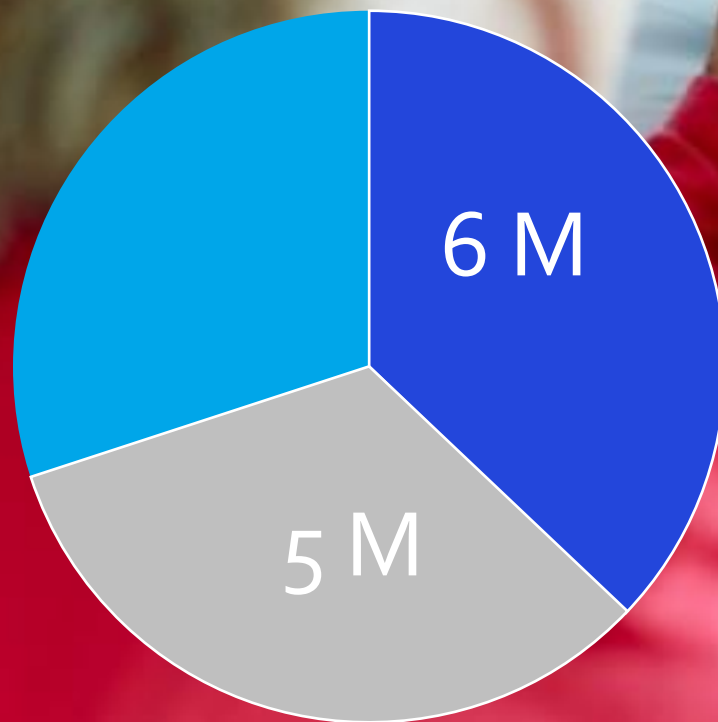


	Escherichia coli	Staphylococcus aureus	Shewanella oneidensis MR-1		
	anoxic 22h	anoxic 22h	anoxic 22h	anoxic 48h	anaerobic 48h
[Ch][Ac]	600	> 1000	250	350	350
[Ch][Ib]	500	> 1000	200	300	300
[Ch][Iv]	400	600	300	350	350
[Ch][2mb]	450	850	150	300	300
[Ch][Mal]	140	125	45	45	45
[Ch][Glu]	125	90	45	45	45
[Ch][Cit]	125	62	22.5	45	45

Minimal inhibitory concentrations for *E. coli*, *S. aureus*, *S. oneidensis* values

Insult

WHY

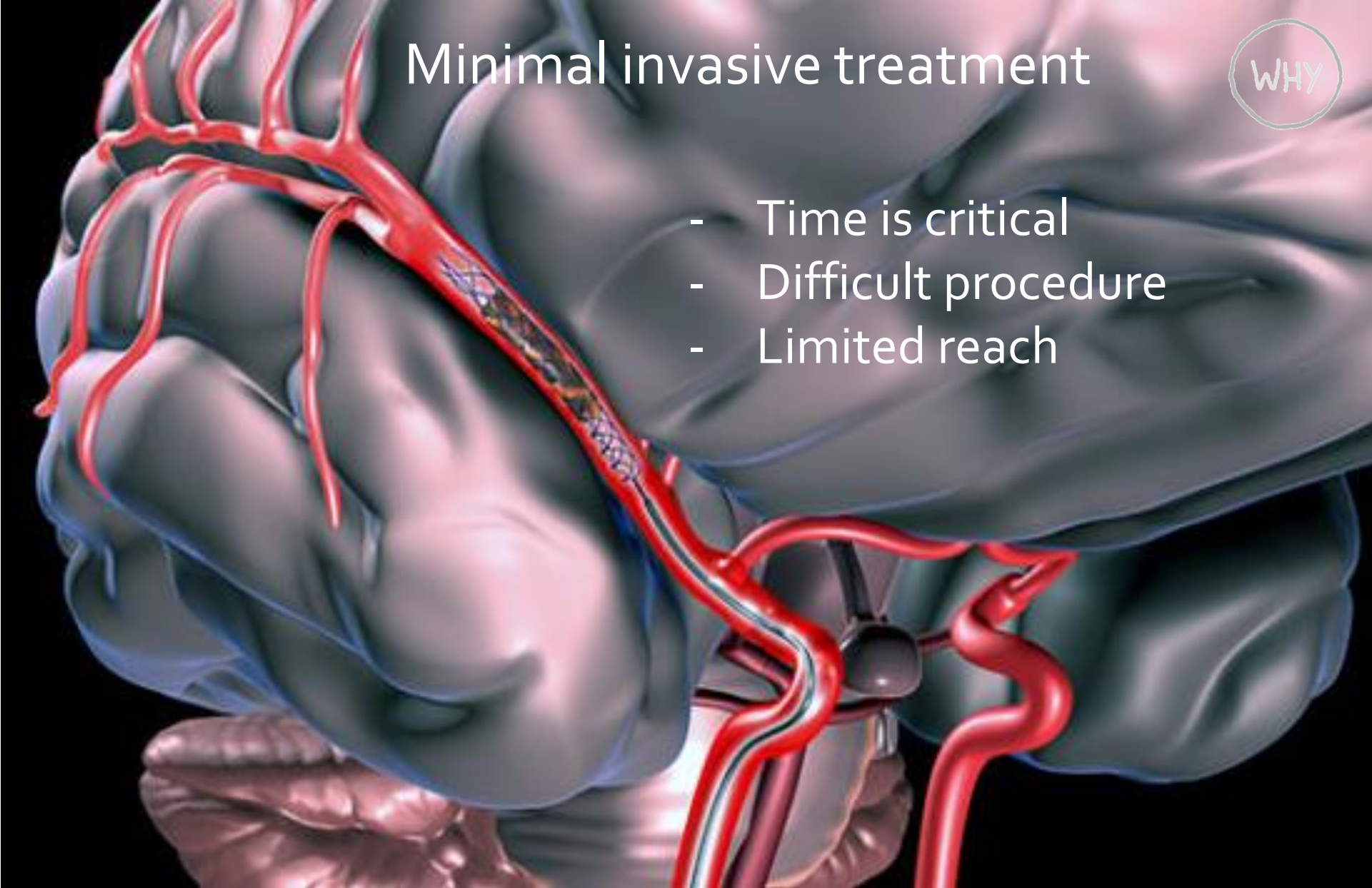


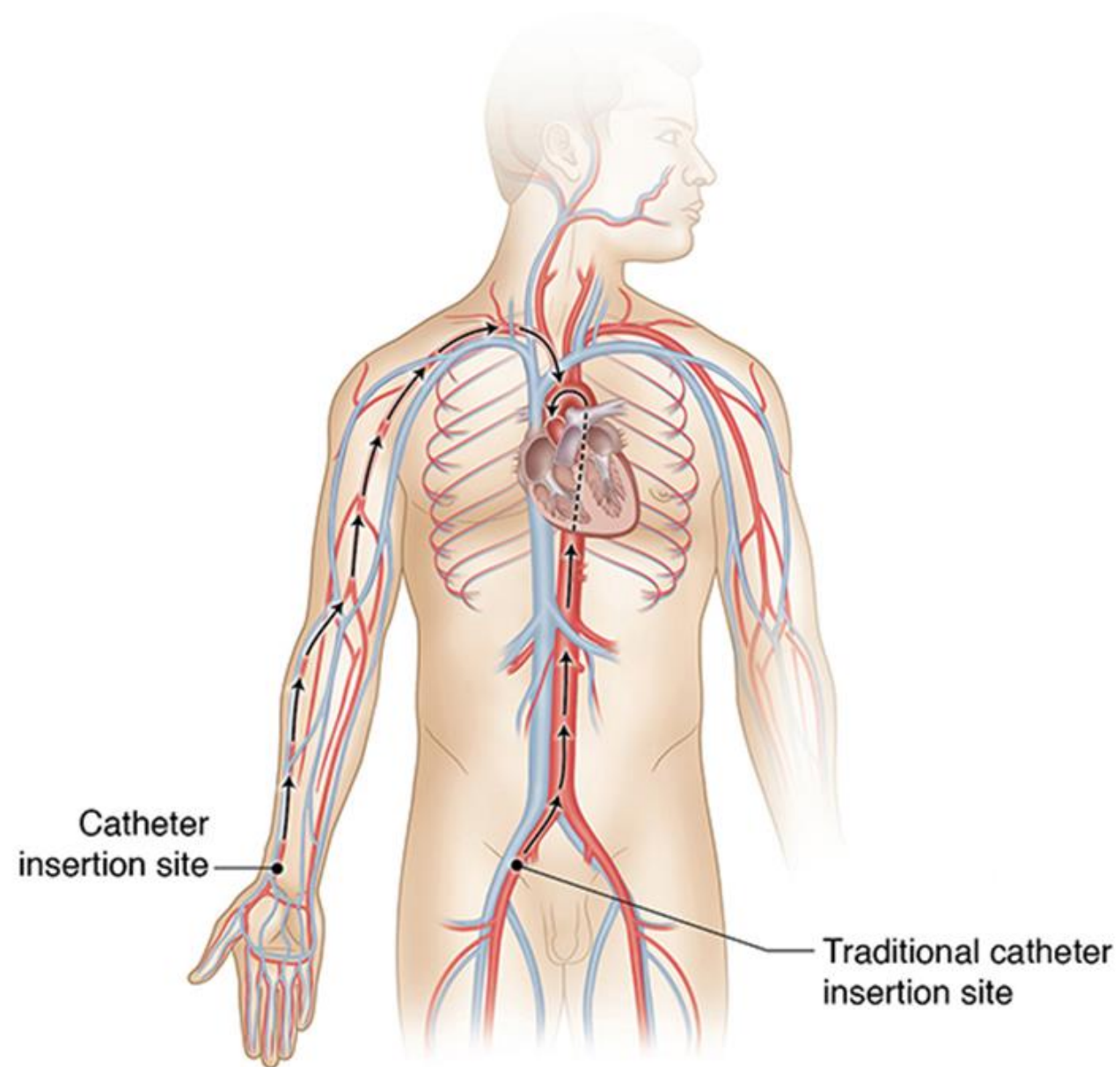
Source: WHO

Minimal invasive treatment

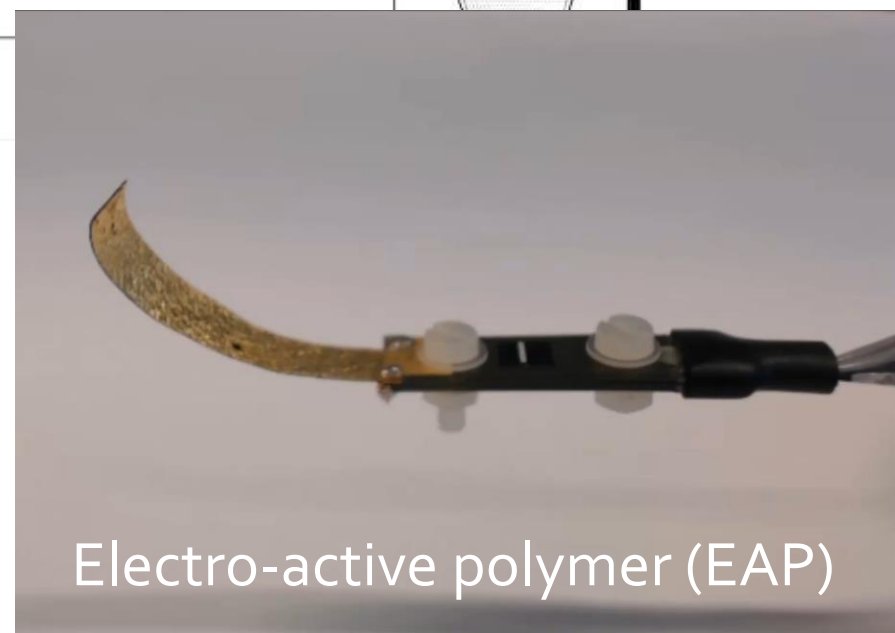
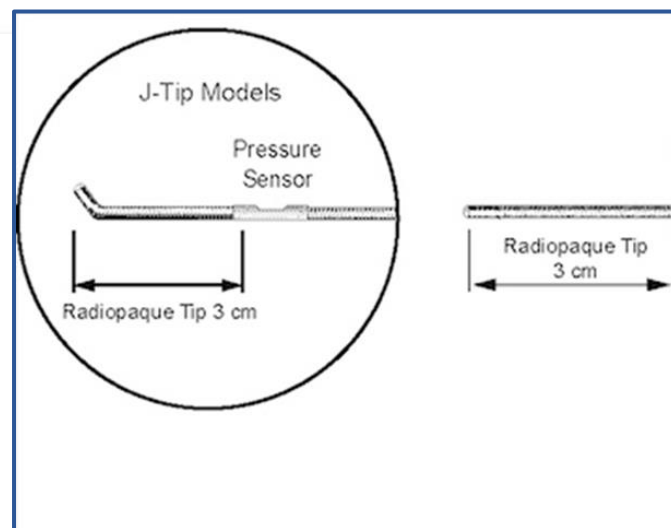
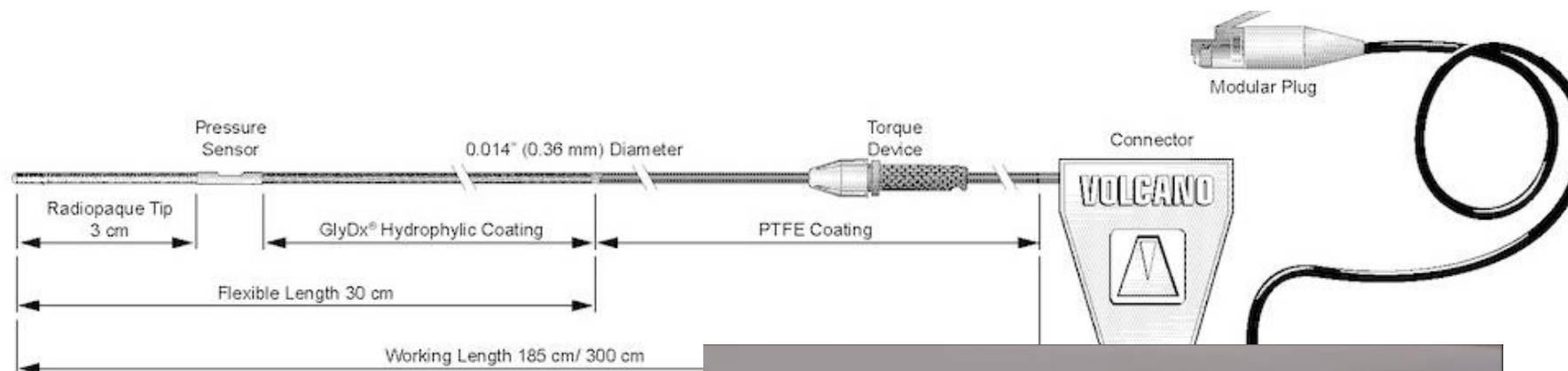
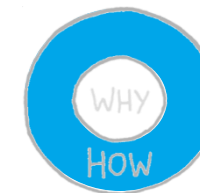


- Time is critical
- Difficult procedure
- Limited reach





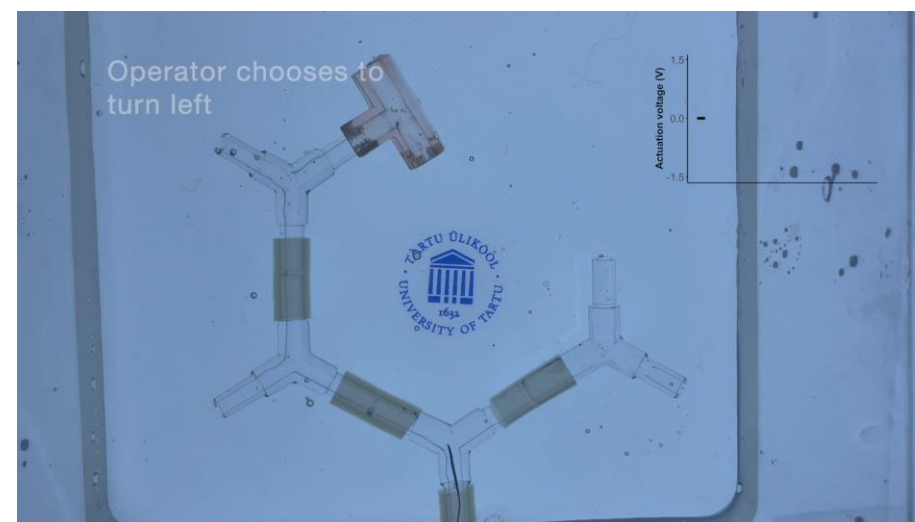
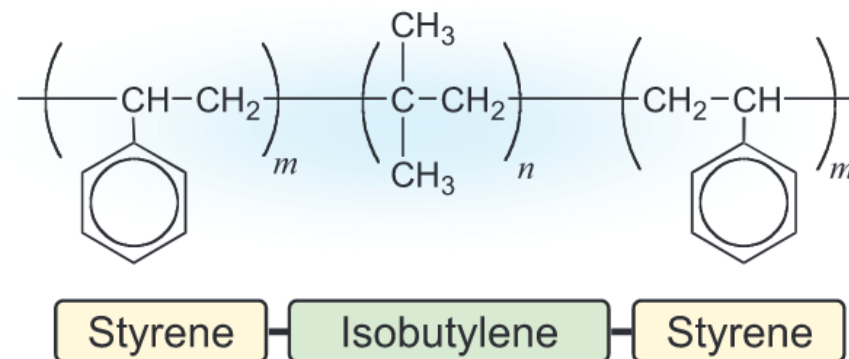
loonsed EAP aktuaatorid minimaalselt invasiivsetes meditsiiniseadmetes



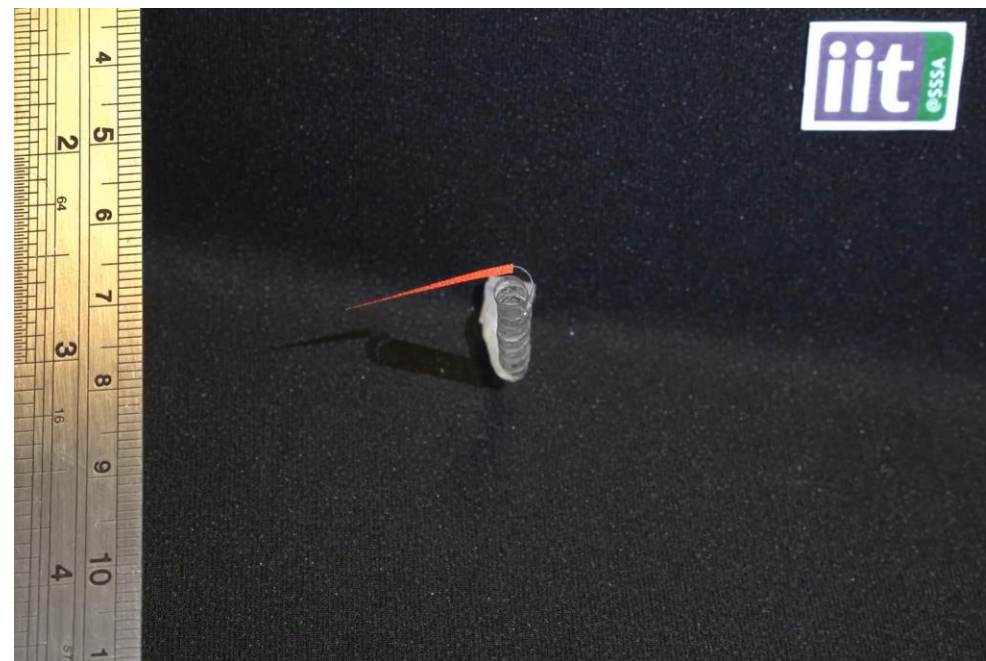
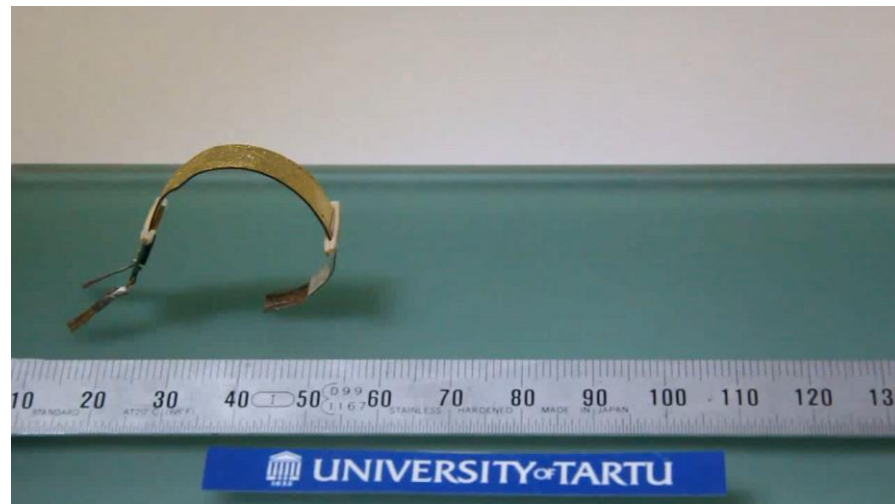
Electro-active polymer (EAP)

Kapseldamine

- SIBS (poly(styrene-*block*-isobutylene-*block*-styrene))
- Suurepäraseid barjääriomadused
- Meditsiinilised rakendused Biosobiv, hemosobiv, inertne



Kontseptsiooni arendused



Textile ionics: artificial skin

A variable-stiffness tendril-like soft robot
based on reversible osmotic actuation



Assembly of the flexible electrodes

21.10.22

A variable-stiffness tendril-like soft robot
based on reversible osmotic actuation



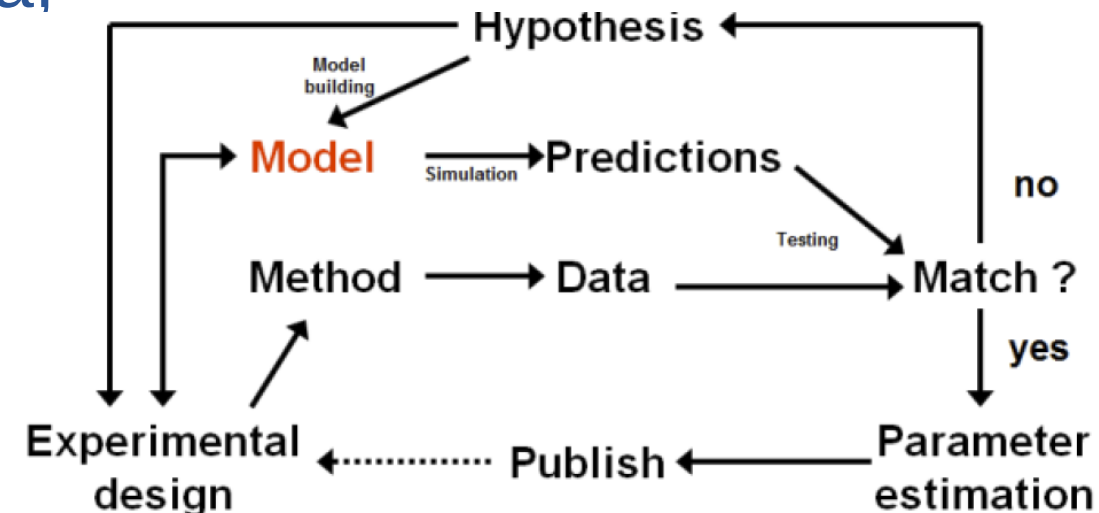
Completion of the electroactive control unit assembly

Vahekokkuvõte

- CDC süsinikul baseeruvad tugevamad ioonsed EAP materjalide valmistamine
- Bioühilduvad aktuaatorid ja sensorid
- Bio ja hemoühilduvad kapseldamise tehnoloogiad
- Prototüübid

Modeleerimine tehnikas ja teaduses

- Teadus loob reaalsuse mudeleid, et mõista ja mõista teha ennustusi maailma kohta, milles me elame ja meie ümber.
- Tehnika (*inseneeria*) kasutab mudeleid vajalike seadmete loomiseks
- Mudel on objekti või süsteemi esitus



- ❖ Keerulise füüsilise süsteemi mõistmine (süsteemianalüüs)
- ❖ Käitumise ja reaktsiooni kirjeldamine (simulatsioon)
- ❖ Jõudluse või omaduste optimeerimine (parameetiline analüüs)
- ❖ Reaktsiooni juhtimine või jälgimine (juhitavus ja jälgitavus)

Must, Valge ja Hall mudel



- Must kast: põhineb andmete kaardistusel ehk süsteemi identifitseerimisel
- lihtne, sobib reaajas jälgimiseks
- piiratud rakendus, minimaalne ülevaade olemasolevatest mehhanismidest



- Valge kast: põhineb füüsikalistel põhimõtetel
- haarab süsteemi füüsika põhielemendid
- Sageli keeruline, ei sobi reaajas jälgimiseks

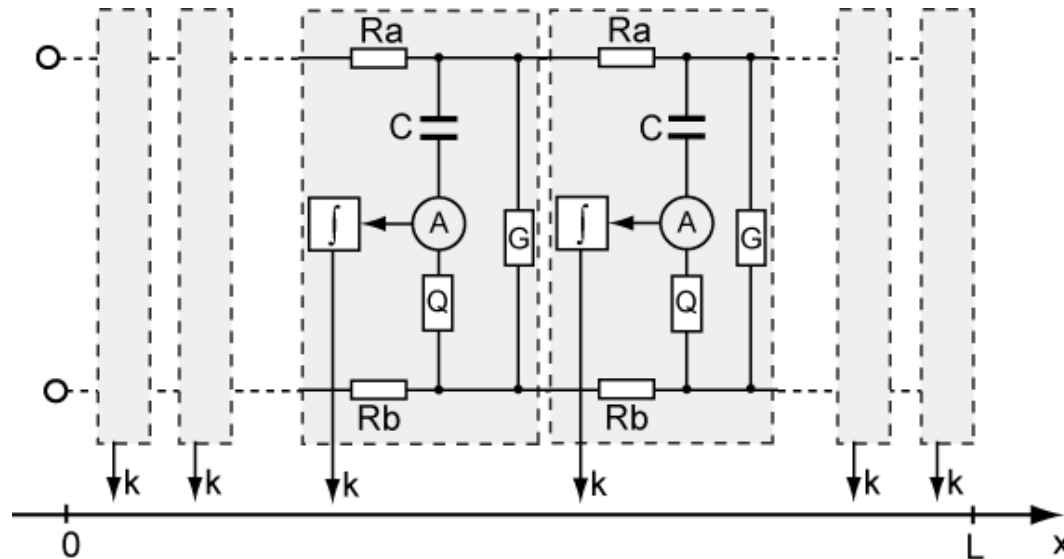


- Hall kast: põhineb osaliselt füüsikalistel põhimõtetel ja empiirilistel tulemustel
- Ületab lõhe süsteemi füüsilise ja teoreetilise lähenemise vahel

Hajusparameetritega süsteemid

PDAE models	Distributed Parameter models	Lumped Parameter models
Elliptic, parabolic and hyperbolic PDEs + Ordinary Differential equations (ODEs) + Supplementary algebraic equations (AEs)	• Finite difference • Finite Element • Volume Element • Spectral Element	• Ordinary Differential equations (ODEs) • Mass-spring-damper systems • Equivalent LC, RLC circuits • Transmission lines

Hajus iEAP mudel



$$q_C(x,t) = \int_{t_0}^{t_1} I_C(x,t) d\tau$$

$$k(x,t) = K \cdot q_C(x,t)$$

I_C - current of C

q_C - charge of C

k - flexure

K - constant

Osatulemistega hajusmudeli võrrandid

$$\frac{\partial}{\partial x} u(x, t) = (Ra + Rb) i(x, t) \quad \frac{\partial}{\partial x} i(x, t) = i_G(x, t) + i_C(x, t)$$

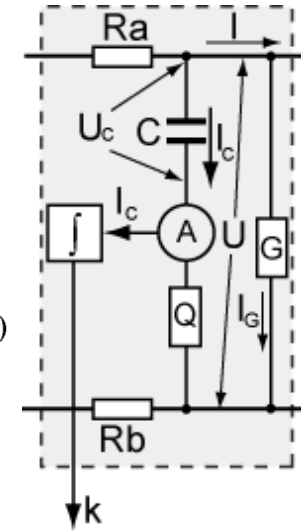
$$i_C(x, t) = Q(u(x, t) - u_C(x, t)) = C \frac{\partial}{\partial t} u_C(x, t)$$

$$i_C(x, t) = Qu(x, t) - \frac{Q^2}{C} \int_0^t u(x, t - \tau) e^{(-\frac{\tau}{QC})} d\tau$$

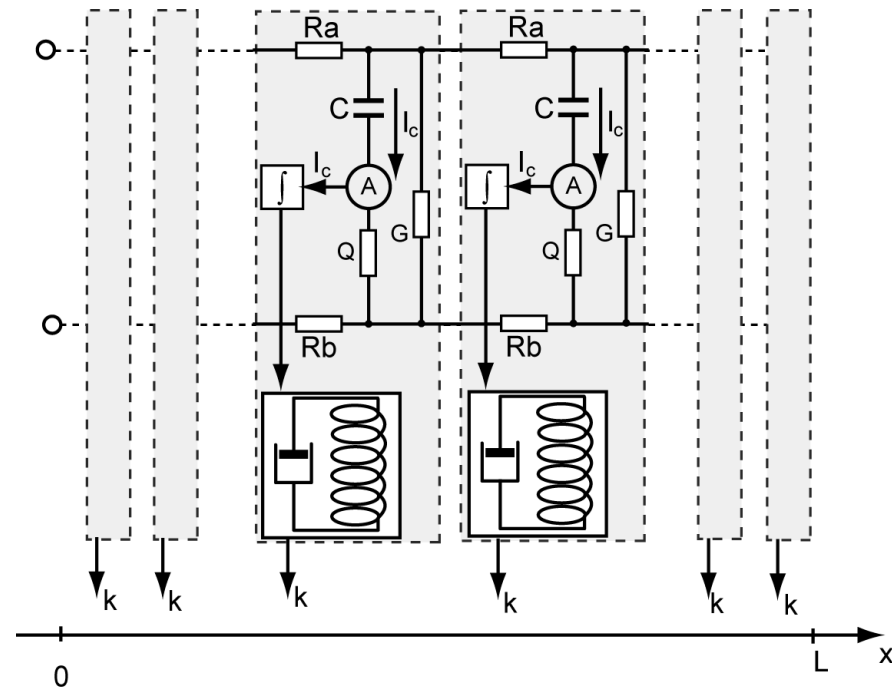
$$\frac{\partial}{\partial x} i(x, t) = Gu(x, t) + Qu(x, t) - \frac{Q^2}{C} \int_0^t u(x, t - \tau) e^{(-\frac{\tau}{QC})} d\tau$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} u(x, t) = (Ra + Rb)((G + Q) u(x, t) - \frac{Q^2}{C} \int_0^t u(x, t - \tau) e^{(-\frac{\tau}{QC})} d\tau)$$

Ra, Rb - resistance ($\frac{\Omega}{m}$)
 Q, G - conductivity ($\frac{1}{\Omega \cdot m}$)
 C - capacitance ($\frac{F}{m}$)



Viskoelastsuse mudel



Nernst-Planck Equation

$$\vec{J}_i = -D_i \vec{\nabla} c_i - \frac{z_i F}{RT} D_i c_i \vec{\nabla} \Phi_2 + c_i \vec{u},$$

Poisson's Equation

$$\nabla^2 \Phi_2 = -\frac{\eta_e}{\epsilon \epsilon_0}$$

Navier-Stokes equation

$$\rho_p \frac{\partial u}{\partial t} + \rho_p u \cdot \nabla u = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu (\nabla u + (\nabla u)^T)) + F_l$$

Application of porous electrode theory

Porosity

$$\epsilon = \frac{V_{empty}}{V_T}$$

Tortuosity

$$\tau = \frac{L'}{L}$$

$$\tau = \epsilon^{-\beta}$$

Change in property due to porosity

In Electrolyte

$$D_{eff} = D_i \frac{\epsilon}{\tau}$$

$$\rho_b = F^2 \sum_i \frac{z_i^2 D_{eff} c_i}{RT}$$

$$i_2 = -\rho_b \nabla \Phi_2 - z_i F (D_{eff+} - D_{eff-}) \nabla c_i$$

In Electrode

$$\rho_e = \frac{\epsilon \rho_b + (1 - \epsilon) \rho}{\tau}$$

$$i_1 = -\rho_e \nabla \Phi_1$$

Mechanical Response

Stress Generation

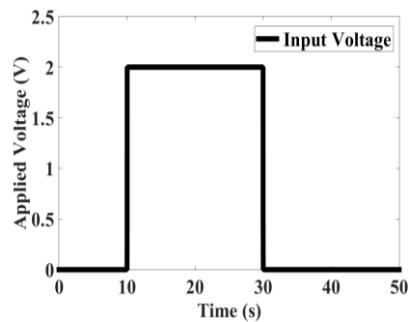
$$\sigma = E \epsilon$$

$$\epsilon_{in} \propto (C_+ - C_-)$$

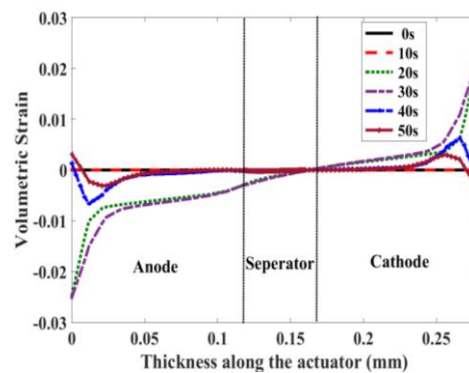
$$\epsilon_{in} = \beta_{ss} M_s \Delta C_{diff}$$

$$i_{dl} = aC \frac{\partial (\Phi_1 - \Phi_2)}{\partial t},$$

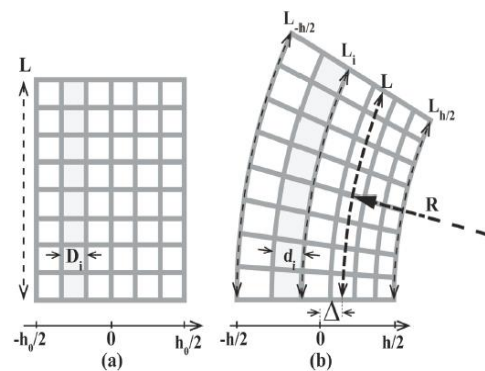
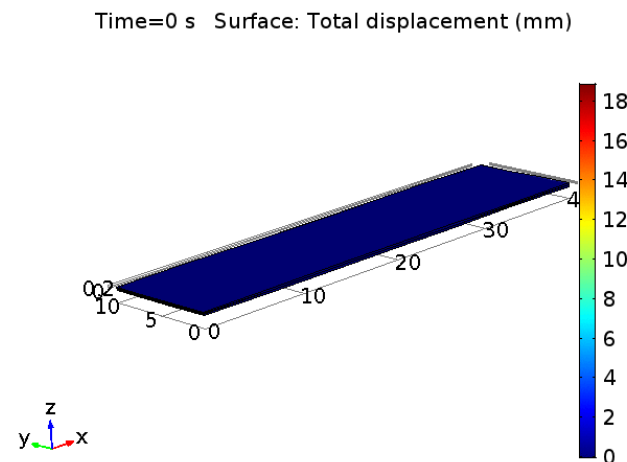
$$i_f = i_0 \left(e^{\frac{\alpha_a F \eta}{RT}} - e^{\frac{-\alpha_c F \eta}{RT}} \right),$$



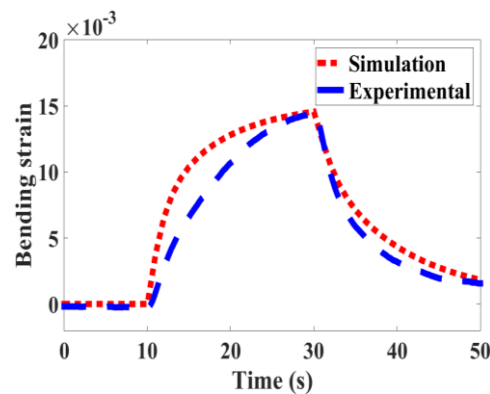
Input Voltage 2V



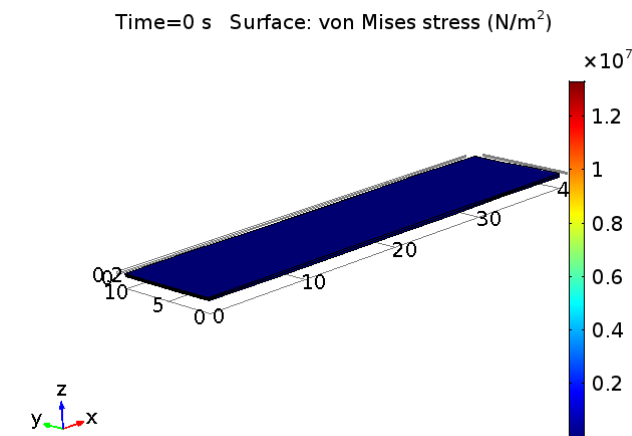
Volumetric strain



Electrode swelling

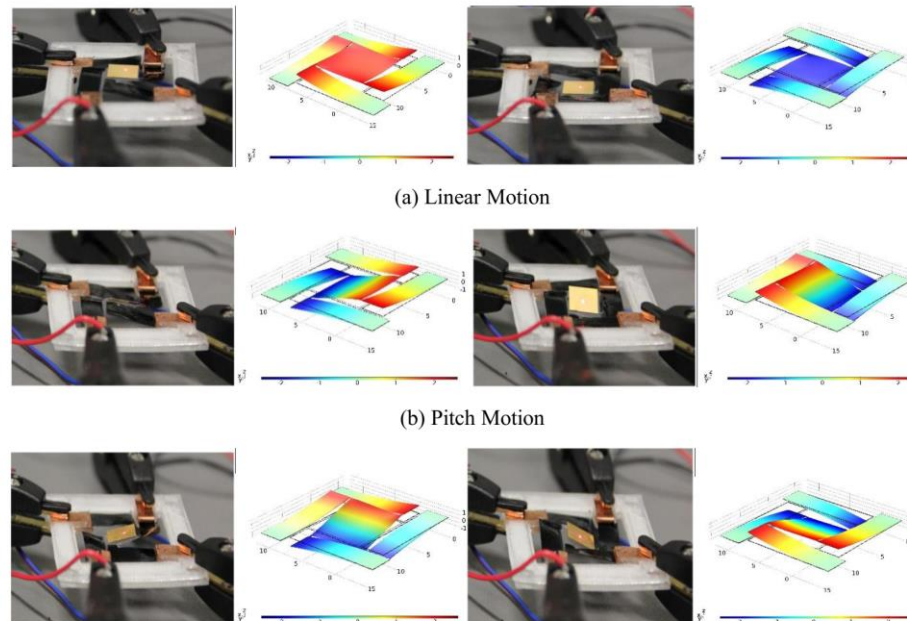


Strain at 2 V



Vahekokkuvõte

- Võimaldab füüsikaliste parameetreid uurida ja visualiseerimise kaudu paremini arusaadavaks teha
- Võimaldab uurida erinevate materjali omaduste mõju toimimisele
- Võimaldab projekteerida tehnilisi rakendusi





Haridus

Tööjõu ja tööandjate tehnoloogilise valmisoleku tase

Solaride, juba teine auto

- 360 motiveeritud inimest
- Keskkonna, tehnoloogia ja innovaatiliku elustiili propageerija
- 5 kõrgkooli
- 21 ettevõtet
- 5 riikliku taustaga toetajat



- Robotex
- Koolirobootika program
- DeltaX

Tänu sõnad

- Kõik endised ja praegused kolleegid
- Kõik endised ja praegused koostööpartnerid
- Mitmed rahastajad
- Perekond



Viimane slaid